Reduce A/C

Reduzierung der Klimaanlagennutzung in Wohnhochhäusern in subtropischen und tropischen Klimaregionen

Verfasser: Univ. Projektass. Dipl. Ing. Ferdinand Oswald

Betreuung: Univ. Prof. Arch. DI Roger Riewe
IAT - Institut für Architekturtechnologie,
Technische Universität Graz

Zweitgutachter: Prof. Dr.-Ing. Werner Sobek
ILEK - Instituts für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren,
Universität Stuttgart

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen / Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am:

Ferdinand Oswald (Unterschrift):

Inhaltsübersicht

Inhaltsübersicht 4

Teil 01 Einführung 7

Aufbau der Arbeit 9

1.1 Problemstellung 11
1.2 Fragestellungen 23
1.3 Methodik 27
1.4 Entwicklung der Bevölkerungs- und Bebauungsdichte in Hongkong 33
1.5 Der Einfluss der Klimaanlage auf die Entwicklung Wohnhaustypologien der *Hong Kong Housing Authority* 51

Teil 02 Begriffsdefinitionen 103

2.1 Behaglichkeit 105
2.2 Subtropisches und Tropisches Klima 121

Teil 03 Bewertungsmethoden und -kriterien 137

3.1 Betrachtungsebenen der Analyse 139
3.2 Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten 143
3.3 Standortbedingte Kühlmethoden - Psychrometrie 177
3.4. Kühlmethoden-Funktionsweisen und deren Architektonische Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit 185

Teil 04 - Analyse der Fallstudien 258

A Tropen

4.1 Vorstudie - tropisches Holzhaus, Issan, Thailand 261
4.2 Erste Fallstudie - *The Met,* Bangkok, Thailand 293
4.3 Zweite Fallstudie - *Skyville*, Singapur 341

B Subtropen

4.4 Vorstudie - traditionelles Tulou, Fujian Region, China 387
4.5 Dritte Fallstudie - *Urban Tulou* , Guangzhou, China 411
4.6 Vierte Fallstudie - *Ngau Tau Kok* , Hongkong 457

Teil 05 Vergleich der Fallstudien und Forschungsbedarf **511**

5.1 Vergleich der vier Fallstudien mit Kennwerten 513
5.2 Modifikation von bestehenden Wohnhochhäusern 549
5.3 Verringerung der Lärmbelastung, Wing Cheong Estate, Hongkong 571

Teil 06 Fazit und Ausblick **587**

6.1 Makroebene - Städtebaulicher Handlungsbedarf 589
6.2 Mesoebene – Gebäudetypologie 593
6.3 Mikroebene – Öffnungen und Fassadenstrukturen 599
6.4 Metaebene – alternative und traditionelle Konzepte 607
6.5 Schluss 613

Teil 07 Anhang **615**

7.1 Interview WOHA - Architects 617
7.2 Tabellenverzeichnis 647
7.3 Literaturquellen 661
7.4 Detailliertes Inhaltsverzeichnis 676

Inhaltsverzeichnis - Teil 01

Teil 01 Einführung

Aufbau der Arbeit

1.1 Problemstellung

1.1.1 Klimastandort
1.1.2 Energieverbrauch A/C
1.1.3 Aufheizung der Städte
1.1.4 Zukunftsszenarien

1.2 Fragestellungen

1.3 Methodik

1.3.1 Simulationsmethoden
1.3.2 Bewertungsmethoden
1.3.3 Kennwerte
1.3.4 Fallbeispiele
1.3.5 Forschung
1.3.6 Zielsetzung

1.4 Entwicklung der Bevölkerungs- und Bebauungsdichte in HK

1.4.1 Bevölkerungsdichte
1.4.2 Ultra-Wohnhochhäuser weltweit
1.4.3 Geschichtlicher Hintergrund Hongkongs
1.4.4 Durchschnittliche Wohnungsgröße in HK
1.4.5 Die staatliche Förderung des Eigenheims
1.4.6 *Pencil Towers* - architektonische Besonderheit
1.4.7 Das *Bay Window*

1.5 Der Einfluss der Klimaanlage auf die Entwicklung Wohnhochhaustypologien der *Hong Kong Housing Authority*

1.5.1 Kolonialzeit und Vorgaben zur Belüftung - 1900
1.5.2 Erste *Housing Authority* Wohnbauten - 1950
1.5.3 Die *Slab-Block* Wohnhochhaustypologien - 1960
1.5.4 Die Punktförmigen Wohnhochhaustypologien - 1970
1.5.5 Das Kühlaggregat in Hongkong - 1980
1.5.6 Standort unspezifisch - 1990
1.5.7 Standort spezifische Projekte - 2000
1.5.8 Ursachen des Umdenkens - Fazit

Aufbau der Arbeit

Im ersten Teil der Arbeit, der Einführung, wird neben Problem- und Fragestellungen die historische Entwicklung der Bevölkerungs- und Bebauungsdichte in Hongkong geschildert. Ebenfalls wird der Einfluss der Klimaanlage auf die Entwicklung der Wohnhochhäuser der Hong Kong Housing Authority dargestellt. Im zweiten Teil werden die zentralen Begriffe der Behaglichkeit sowie des tropischen und subtropischen Klimas definiert. Sodann werden im dritten Teil in vier Unterkapiteln die Bewertungsmethoden und -kriterien für die Fallstudien erläutert: zunächst die Betrachtungsebenen der Analyse, dann die Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten und sodann die Untersuchung standortbedingter Kühlmethoden anhand des psychromatischen Diagramms. Abschließend werden die Funktionsweisen der einzelnen Kühlmethoden und deren architektonischen Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit erklärt. Diese Bewertungsmethoden und -kriterien werden dann im vierten Teil der Arbeit in den zwei Vorstudien und den vier Fallstudien angewendet. Um dem Klimaspektrum in den Subtropen und Tropen gerecht zu werden, wurden Untersuchungen an sechs Standorten durchgeführt: an drei Standorten in den Tropen (Ubon Ratchathani und Bangkok, jeweils in Thailand, sowie Singapur) und an dreien in den Subtropen (Longyan, Guangzhou und Hongkong, alle in China). Im fünften Teil der Arbeit werden die vier Gebäude-Fallstudien anhand der Kennwerte verglichen. Sodann werden hier spezifische Ergebnisse aus Forschungsarbeiten zu Modifikationen von bestehenden Wohnhochhäusern der HKHA erläutert und es werden erste Neuentwicklungen zur Verringerung der Lärmbelastung anhand des von der HKHA entwickelten Acoustic Balcony vorgestellt und deren Wirksamkeit wird evaluiert. Im sechsten und letzten Teil der Arbeit wird auf allen vier Betrachtungsebenen jeweils ein Fazit und Ausblick vorgenommen, in dessen Rahmen auch zukünftiger Forschungsbedarf näher erläutert wird.

1.1.1 Klimastandort
1.1.2 Energieverbrauch A/C
1.1.3 Aufheizung der Städte
1.1.4 Zukunftsszenarien

01 | Luftfeuchtigkeit wird als Kondensat sichtbar; Foto © Ferdinand Oswald

1.1 Problemstellung



1.1.1 Klimastandort

Klimastandort und die Problemfaktoren der hohen Luftfeuchte und der hohen Temperatur.

In den tropischen und subtropischen Regionen herrscht ein feuchtes und sehr warmes Klima. Im Inneren der Gebäude möchte man ein angenehmes Wohnklima mit 50 % Luftfeuchte und 22 Grad Celsius erzielen, während außen zum Beispiel in den südostchinesischen Ballungsgebieten im Sommer fast die doppelte Luftfeuchte und eine Temperatur bis zu 35 Grad Celsius herrschen. Diese Bedingungen führen zum Einsatz von Klimaanlagen in Form von dezentralen sogenannten Split-Klimaanlagen als gängige Praxis zur Regulierung des Innenraumklimas der Wohnungen. Diese Form der Klimaregulierung geht mit einem enorm hohen Energieverbrauch einher und bewirkt gleichzeitig eine weitere Aufheizung der Städte. Einige Kollegen wie zum Beispiel Professor Jingxiang Zhu[1] vertreten die Meinung, dass subtropische Regionen wie Hongkong prinzipiell nicht die Bedingungen einer angenehmen Behaglichkeit zum Wohnen und Arbeiten böten und deshalb die Nutzung der Split-Klimaanlage in der heißesten Sommerzeit nur reduziert werden könne. Das würde allerdings bedeuten, dass die Behaglichkeitsansprüche der Bevölkerung in den letzten 30 Jahren extrem angestiegen sein müssten, da in den vorhergehenden Jahrzehnten eine Klimaanlage für die meisten Personen nicht zur Verfügung stand. Dennoch haben die Menschen damals Wege gefunden, trotz der hohen Luftfeuchte und der hohen Temperaturen eine angenehme Behaglichkeit zu erreichen. Diese „natürliche" Raumkonditionierung[2] ist im Wesentlichen der Architektur zu verdanken, wie später noch gezeigt werden wird. Die Charakteristika der Klimastandorte werden im Kapitel 2.2 „Subtropisches und tropisches Klima" im Detail genauer beschrieben.

[1] Professor Zhu Jingxiang teaches architecture design, materials and construction at the Chinese University of Hong Kong, School of Architecture. His research is in the area of design methodology, new articulation of structures and space, and study of vernacular architecture. Before joined CUHK as assistant professor in 2004, he designed and constructed a number of public buildings in the city of Yancheng within ten years.

[2] Raumkonditionierung: Beheizung, Kühlung, Be- und Entlüftung, Befeuchtung, Beleuchtung, Trink- und Warmwasserversorgung unter Einsatz von Energie zur Ausbildung bestimmter Bedingungen in Räumen, Quelle: Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauens vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, o. O. 2013.

1.1.2 Energieverbrauch

In den heutigen Wohnbauten verwenden die Bewohner der tropischen und subtropischen Metropolen in den letzten Jahrzehnten verstärkt Split-Klimaanlagen. Nutzung und Energieverbrauch dieser Anlagen in feuchtheißen subtropischen Regionen sind gigantisch und Letzterer stellt einen wesentlichen Nachteil der Nutzung von Klimaanlagen dar. Allein für die Sieben-Millionen-Metropole Hongkong wird ein zusätzlicher Energieverbrauch durch Klimaanlagen in Höhe von jährlich 6,8 Gigawattstunden angenommen.[3]

Die 150 Millionen Einwohner der südostchinesischen Küstenregion benötigen für die Kühlung ihrer Wohnungen mit Klimaanlagen jährlich eine Energiemenge von 145 Gigawattstunden.[4] Im Vergleich zu anderen subtropischen Regionen auf anderen Kontinenten ist der Energieverbrauch hier geringer, weil hier weniger Einwohner leben. Jeder Haushalt verfügt über zwei bis fünf Klimaanlagen und Bürogebäude werden ebenso mit einer zentralen Klimaanlage gekühlt, denn ein behagliches[5] Raumklima ist in den Arbeitsplatz-Richtlinien vorgeschrieben. So kann man annehmen, dass jede Person im Durchschnitt pro Jahr ca. zehntausend kWh[6] Strom für Kühlung verbraucht.[7] Die Weltkarte zum Energieverbrauch der Klimaanlagen in den

[3] Am Beispiel Hongkong wurde folgende Kalkulation vorgenommen: In Bürogebäuden sind das ganze Jahr über durchgehend Klimaanlagen im Einsatz, weshalb in allen Monaten ein Klimaanlagenbetrieb von mindestens acht Stunden pro Person und Arbeitstag angenommen wird. In Wohnräumen wird die Klimaanlage im Mai und Oktober nur tagsüber (12 Stunden) verwendet. Es ist in dieser Zeit nicht allzu heiß, aber die Luftfeuchte ist in der Regel sehr hoch. In den heißen Sommermonaten Juli, August und September wird die Klimaanlage durchgehend auch nachts genutzt. Inklusive der Nutzung der Klimaanlage im Büro wird hier ein 24-stündiger Betrieb der A/C angenommen. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Tagesanzahl der Monate ergibt dies einen Jahresdurchschnittsverbrauch von 4.768 Stunden pro Person. Variierend nach Typ (Modell) der Klimaanlage und Intensität des Betriebes verbraucht diese ungefähr zwei kW pro Stunde. Das entspricht einem jährlichen Energieverbrauch von 9.536 kWh pro Person. Vgl. Air Conditioner Energy or Electricity Consumption, Mapawatt 2009, Online unter: http://mapawatt.com/2009/06/23/how-much-electricity-does-my-acconsume/ (Stand: 03.11.2012).

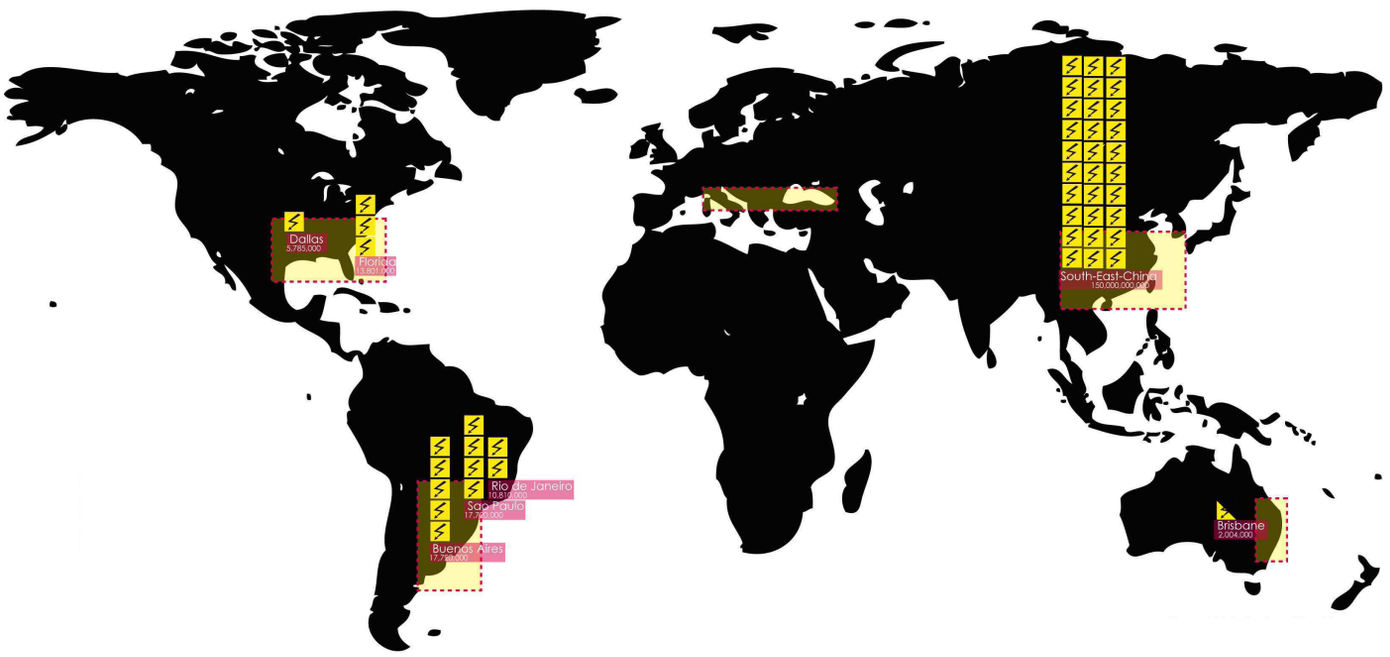
[4] Lang , Siwei: Progress in energy-efficiency standards for residential buildings in China, in: Energy and Buildings 36 (2004), S. 1191–1196.

[5] Die „Behaglichkeit" wird im Kapitel 2.1 „Behaglichkeit" genauer definiert und erklärt.

[6] Vgl. Air Conditioner Energy or Electricity Consumption, Mapawatt 2009, Online unter: http://mapawatt.com/2009/06/23/how-much-electricity-does-my-acconsume/ (Stand: 03.11.2012).

[7] In Europa wird der Energieverbrauch nicht pro Person, sondern pro Quadratmeter des Gebäudes berechnet. Dies hat den Vorteil, dass Personen nicht persönlich mit ihrem Ener-

1.1.2 Energieverbrauch



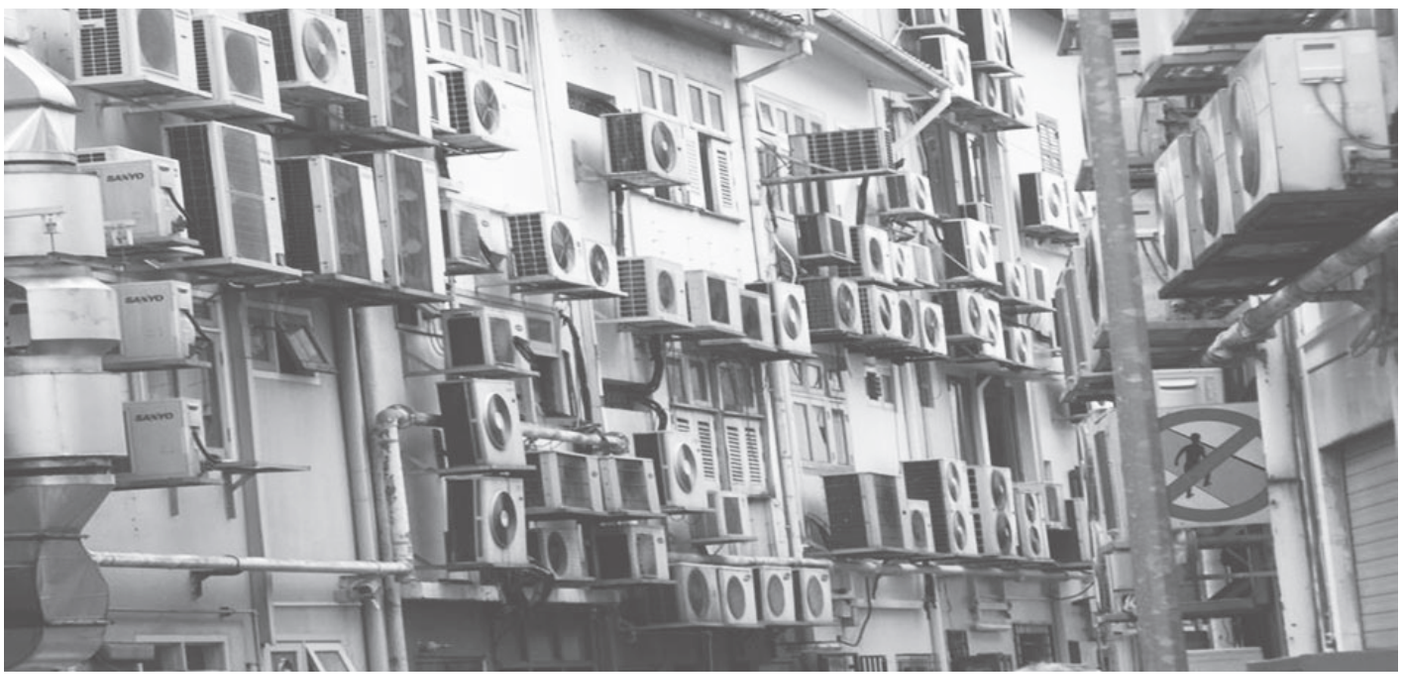
02

Regions of humid subtropical climate

Habitants of city or region

Energy consumption for air conditioning
in relation to inhabitants
10 000 kWh per person and year

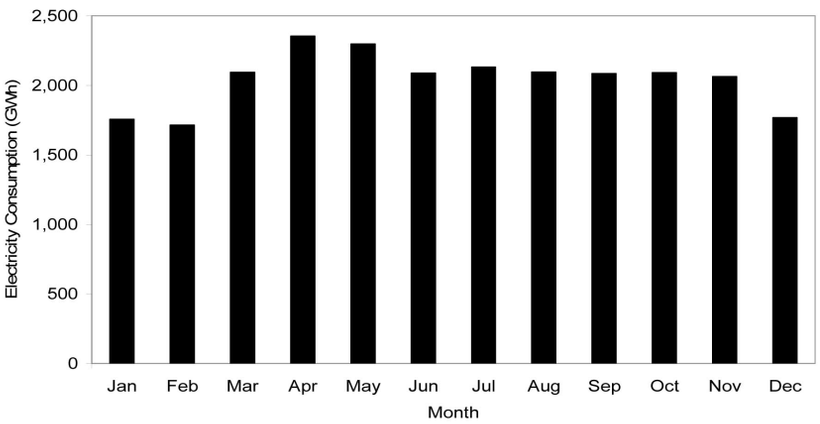
02 I Energieverbrauch für Klimaanlagen in subtropischen Gebieten, Diagramm © Ferdinand Oswald. Quellen: Köppen, Geiger: Klimaklassifizierung; Metropolitan World Atlas, 010 Publisher, Rotterdam 2007; Content, Rem Koolhaas, AMO/OMA, Taschen



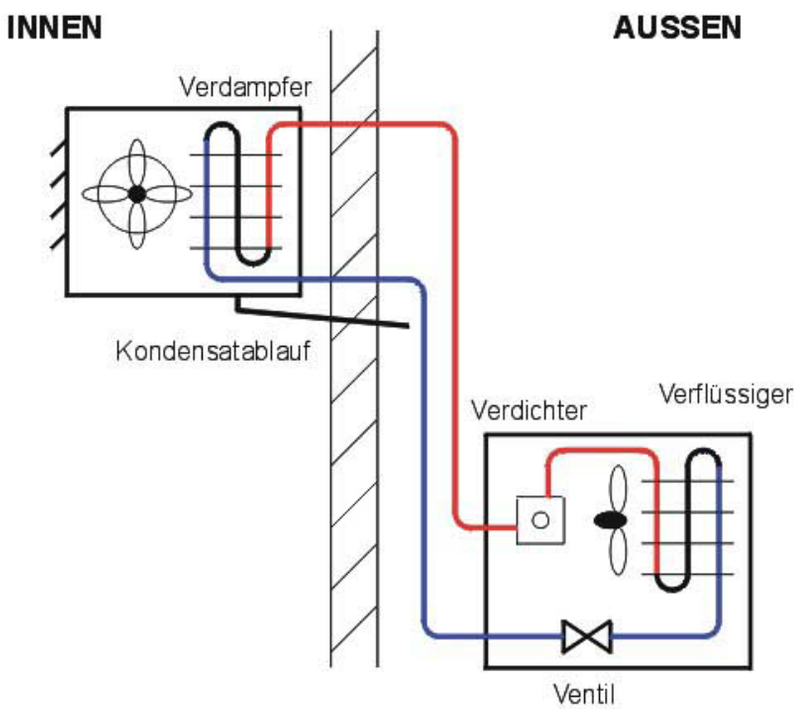
03

03 I Klimaanlagen in Hongkong 2010; Foto © Ferdinand Oswald

1.1.2 Energieverbrauch



04



05

04 I Monatlicher Elektrizitätsverbrauch in Wohnhäusern 2004 in Thailand. Quelle: Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Royal Thai Government; http://www.eppo.go.th/

05 I Kältekreislauf - Schema der Split-Klimaanlage. Quelle: http://www.hansdorfner.de/sonstiges/pics/split-pic.html

subtropischen Regionen macht vergleichsweise hohen Energiebedarf in Südostchina sichtbar, der insbesondere durch die hohen Einwohnerzahlen in diesen Gebieten bedingt ist.

Studien des Energieministeriums in Thailand zeigen, dass der Stromverbrauch in Thailand um 8 % pro Jahr stetig ansteigt. Die Installation eines Klimaaggregats ist in Wohnhäusern inzwischen zur Selbstverständlichkeit geworden. Pro Jahr werden 5.000 neue kleine Split-Klimaanlagen an Wohnhäusern installiert.[8] Dies zeigt, dass die Ansprüche der Bevölkerung steigen und der Wunsch nach einem künstlich konditionierten kühlen Innenraum in Wohngebäuden sich weiterhin verbreitet. Ein wesentlicher Grund für die kontinuierliche Steigerung der Klimaanlagennutzung in Thailand ist auch der ebenso wachsende Wohlstand der Mittelschicht, womit Bewohner erst die finanziellen Mittel für Klimaanlagen-Kauf und Bezahlung der Stromrechnungen aufbringen können. Der höchste Elektrizitätsverbrauch liegt im April, dem heißesten Monat im Jahr. In diesem einen Monat wird besonders viel künstliche Klimatisierung verwendet; ca. 2,4 Gigawatt elektrischer Strom werden in ganz Thailand hierfür verbraucht. Dies ist in dem Diagramm „Monatlicher Elektrizitätsverbrauch in Wohnhäusern 2004 in Thailand“ ersichtlich. Die gleichzeitige Anwendung vieler Klimaanlagen in sehr heißen Jahreszeiten belastet spürbar die Stromversorgungsnetze, vor allem in städtischen Gebieten.

In Deutschland gibt es im Sommer Jahresmitteltemperaturen zwischen 18 und 19,7 °C, das heißt sommerliche Maximaltemperaturen von bis zu 25 °C.[9] Aber sogar in moderaten Gebieten wie in Frankfurt am Main kämpft man in Sachen Gebäudekühlung mit dem Energieproblem und nutzt zur erforderlichen Kühlung von Bürohochhäusern in den heißen Sommermonaten Nachtstrom zur Generierung von Eis-Speichermassen[10]. Diese gespeicherte Kühle kann dann tagsüber ohne die Nutzung von Tagesstrom aus den öffentlichen Energienetzen zur Kühlung verwendet werden.

gieverbrauch konfrontiert werden. So liegt zum Beispiel im Vergleich der maximal zulässige Primärenergiebedarf eines Passivhauses bei 120 kWh/(m^2+a) (pro Quadratmeter und Jahr). In einem Plusenergiehaus wird sogar mehr Energie produziert, als verbraucht wird.

8 Quelle: Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Royal Thai Government; Online unter: http://www.eppo.go.th/ (Stand: 17.02.2015).

9 Vgl.: Müller-Westermeier, Gerhard (Hg.), Wetter und Klima in Deutschland, Hirzel Verlag, Stuttgart 2006.

10 Grüne Bilanzen – Neue Deutsche Bank Türme, in: DBZ Deutsche BauZeitschrift, Ausgabe 9/2011, Bauverlag, Gütersloh, Frankfurt am Main

1.1.2 Energieverbrauch

Dieser enorme Energieverbrauch schlägt nicht nur finanziell zu Buche, sondern wirkt sich auch auf die Energiebilanz im Hinblick auf den Klimaschutz aus. So entspricht ein Stromverbrauch von 10.000 kWh pro Person und Jahr dem enormen CO_2-Ausstoß von 2,7 Tonnen.[11]

Abschließend soll nun auch die technische Funktionsweise der Split-Klimaanlage erläutert werden. Das Verfahren ist in der Grafik„Kältekreislauf- Schema der Split-Klimaanlage“ dargestellt. Als Split-Geräte werden Klimaanlagen bezeichnet, die über eine Außeneinheit mit Kondensator (Verflüssiger) und Kompressor (Verdichter) verfügen, welche über Kältemittelleitungen mit einer Inneneinheit verbunden ist, die einen Verdampfer enthält. Eine solche Kaltluft erzeugende Klimaanlage besitzt eine Wärmepumpe, in deren Kältekreislauf der Zusammenhang zwischen Temperatur und Druck des Klimagases ausgenutzt wird: Prinzipiell erwärmt sich Gas, wenn man es komprimiert und umgekehrt kühlt es sich ab, wenn es sich wieder ausdehnen kann. Das Klima-Gas wird von außen komprimiert und in den Innenraum geleitet. Hier kann es sich an den Kühlrippen wieder ausdehnen und kühlt dabei die Innenraumtemperatur. Die Raumluft wird also an den Kühlrippen vorbeigeblasen und gibt dabei ihre Wärme an die Kühlrippen ab; dadurch entstandenes Kondensat wird in flüssiger Form nach außen abgegeben. Nach diesem Wärmetausch wird das Klima-Gas wieder nach außen zum Kompressor geführt, wo es nach der Kompression noch durch ein Register läuft, in dem es die bei der Kompression entstandene Wärme an die Außenluft abgibt. Danach beginnt der Kreislauf wieder von vorn.

Obwohl immer energieeffizientere Split-Klimaanlagen auf dem Markt angeboten werden, sind diese einzelnen Prozesse nach wie vor extrem energieintensiv. Die jahrzehntelange Optimierung der Split-Klimaanlage hat zwar den technologischen Luftkühlprozess hinsichtlich Platzbedarf und Kühleffizienz perfektioniert, das Resultat der Optimierung geht allerdings noch immer auf Kosten des Stromverbrauches, der hier im Verhältnis zum Ertrag der kühlen Luft sehr hoch ausfällt. Der Hauptenergiebedarf entsteht durch den Kompressor und lässt sich bei den Split-Geräten nicht umgehen. Zudem wird viel Energie zum Antrieb der mechanischen Ventilation benötigt und schlussendlich wird die Wärmeenergie ungenutzt an die Außenluft abgegeben. Hierbei werden 40 % der von der Split-Klimaanlage in Anspruch genommenen elektrischen

[11] 1 kWh entspricht 0,27 kg CO_2. Quelle: Umweltbundesamt Österreich, Berechnung von Treibhausgas (THG) verschiedener Energieträger, Datenstand Februar 2013, Online unter: http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.htm (Stand: 16.01.2014).

Energie als heiße Luft in die Umwelt ausgelüftet. Zusätzlich wurde bisher nicht berücksichtigt, dass neben der Betriebsenergie auch die Herstellungsenergie aller Gerätekomponenten und Flüssigkeiten sowie auch die Entsorgung nach dem Ende der Lebensdauer des Gerätes die Gesamtenergiebilanz einer solchen Kühlmethodik noch zusätzlich verschlechtern.

1.1.3 Aufheizung der Städte

Wie zuvor bereits erläutert, gibt die Split-Klimaanlage große Mengen an Hitze an die Außenluft ab, was zur Erwärmung des Umfeldes führt, also der Städte. Diese Aufheizung der Städte und Ballungsgebiete ist ebenfalls ein großer Nachteil der Klimaanlage: „Klimaanlagen […] kühlen zwar das eigene Heim […], doch die städtische Umgebung wird dadurch insgesamt noch heißer. In den wärmeren Regionen der Vereinigten Staaten und in Teilen Ostasiens kühlt es durch den massenhaften Einsatz von Klimaanlagen sogar nachts nicht mehr ab. Und so sitzen die Menschen dort in der selbstgemachten Hitzefalle“[12]. Im Sinne des Wärmeinseleffekts (Urban Heat Island Effect)[13] heizen die Klimaanlagen die Stadträume, die durch eine zunehmende Versiegelung von Oberflächen und die Wärmespeicher-Funktion der Baumasse ohnehin schon überhitzt sind, noch weiter auf.[14] Zudem ist der Wirkungsgrad einer Anlage, die ausschließlich mit Luftkühlung arbeitet, verglichen mit den in Europa gängigen wasserbasierten Heiz- und Kühlsystemen um zwei Drittel energieaufwendiger, da Wasser als Träger von Wärme oder Kühle wesentlich effizienter ist.[15]
Neben diesen Nachteilen der Klimaanlage – dem hohem Energieverbrauch, dem schlechten Wirkungsgrad und der Forcierung des Wärmeinseleffektes

[12] Frey, Andreas: Die reinste Sauna, in: Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 12.08.2012, S. 51.

[13] Wärmeinseleffekt: räumliche Temperaturunterschiede mit einer höheren mittleren Temperatur in der Stadt als der des umgebenden freien Landes (Übertemperatur von ca. 0,5–1,5 K), Quelle: Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauens vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, o. O. 2013.

[14] Leistenschneider, Raimund / EIKE – Europäisches Institut für Klima und Energie: Der Wärmeinseleffekt (WI) als maßgeblicher Treiber der Temperaturen, Online unter: http://www.eike-klima-energie.eu/klima-anzeige/der-waermeinseleffekt-wi-als-massgeblicher-treiber-der-temperaturen/ (Stand: 29.10.2012).

[15] Das wirft die Frage auf, weshalb in subtropischen Regionen nicht mit Wasser gekühlt wird. Eine Nutzung von Decken- und Wandelementen mit Bauteilaktivierung wie z.B. die Betonkernaktivierung zur Kühlung mit Wasser könnte hier eine wesentlich bessere Alternative sein.

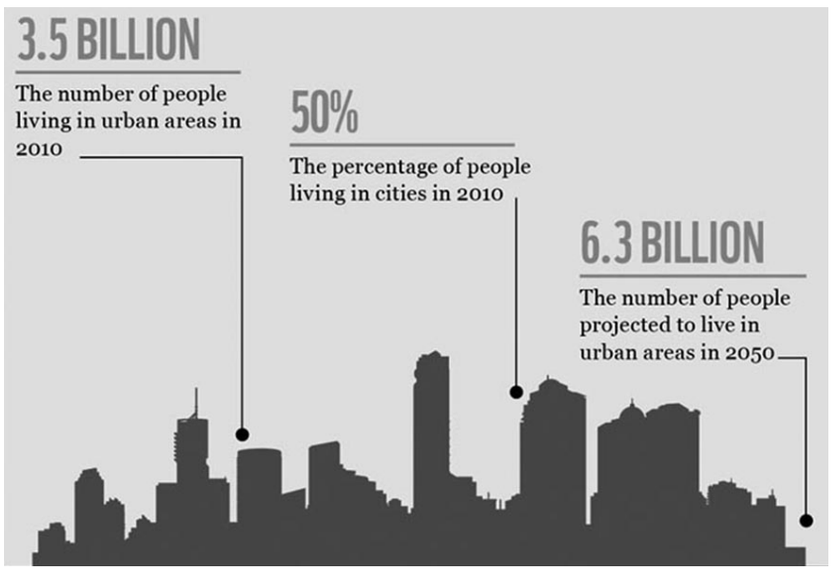
– gibt es noch weitere negative Aspekte: So wird beim Luftkühlungsprozess hier nicht nur Hitze, sondern auch Kondenswasser erzeugt. Da die wenigsten Split-Klimaanlagen diese Feuchtigkeit kontrolliert im Innern des Gebäudes ableiten, tropft dieses Wasser an der Außenseite der Fassade willkürlich nach unten; vor allem in der Nacht wird dieses Dauertropfen dann als unangenehmes Geräusch wahrgenommen. Zusätzlich zum Betriebslärm der Kompressoren und Ventilatoren steigt der Geräuschpegel damit noch weiter an.

Dadurch wird die Situation eines einzelnen Bewohners in einer Wohnanlage, der die natürliche Belüftung zur Verbesserung des Innenraumklimas nutzen möchte, verschlechtert: Da er hierfür die Fenster öffnen muss, bekommt er durch die Öffnungen nicht nur den Betriebslärm der Split-Geräte inklusive der Tropfgeräusche des Wassers zu hören, sondern die Heißluft-Abgabe der Klimaaggregate hebt auch die Lufttemperatur an, was die Chancen verringert, den Innenraum natürlich zu konditionieren. Auf diese Weise kommt eine Art Teufelskreis in Gang, indem auch den einzelnen Haushalten, die auf Klimaanlagen verzichten wollen nun das Schließen der Fenster und die Nutzung der elektronischen Kühlung förmlich aufgezwungen wird.

1.1.4 Zukunftsszenarien

In China lebt derzeit die Hälfte der Gesamtbevölkerung in Städten und die andere Hälfte auf dem Land. Dies entspricht dem Zustand in Europa vor der Industrialisierung. Gemäß statistischen Berechnungen wird sich die Stadtbevölkerung weltweit bis 2050 fast verdoppeln, indem sie von 3,5 Milliarden auf 6,3 Milliarden ansteigt. Somit würde sich auch der Energiebedarf für Kühlung bis zum Jahr 2050 beinahe verdoppeln.[16] Es ist allerdings mit einer weiteren extremen Verdichtung insbesondere in den Metropolen der subtropischen und tropischen Regionen zu rechnen und somit mit einer Vergrößerung der Problematik von erhöhtem Stromverbrauch und Verstärkung des Wärmeinseleffekts. Geht man davon aus, dass die Stadtbewohner nicht auf die Nutzung der Klimaanlage verzichten wollen, dann stellen diese Wachstumsprognosen eine große Herausforderung für Energieerzeugung und Klimabilanz dar. Die Ballungsgebiete in tropischen und subtropischen Regionen müssen sich zukünftig in zunehmendem Maße Problemen wie Überlastungen der Energieversorgung und lokalen Klimaveränderungen stellen.

[16] Vgl. Office of Dissemination / China Statistics Press, National Bureau of Statistics of China: China Statistical Yearbook 2011, Peking 2012, S. 93.



06

Das niederländische Architekturbüro OMA unter der Leitung von Rem Koolhaas hat ein Zukunftsszenario für den weltweiten Bedarf an Energieressourcen bis zum Jahr 2050 entwickelt. Diese Roadmap sieht keine Verringerung des Energieverbrauchs, sondern einen kontinuierlichen Umstieg von derzeitigen Energieerzeugern (Kohle, Kernkraft, Öl, Gas) auf alternative Energien (Solar-, Wind- und Wasserkraft, Geothermie, Biomasse). Deutschland geht hier mit gutem Beispiel voran und möchte diese Energiewende vollziehen, also auf eine nachhaltige Energieversorgung umstellen. Es hat sich allerdings herausgestellt, dass die Realisierung dieser Idee komplizierter ist, als zunächst angenommen. Deshalb können sich Architekten kaum darauf verlassen, dass wir in Zukunft genügend ökologischen Strom zur Verfügung haben werden, sondern sollten sich ihrer Verantwortung stellen und Alternativen nutzen, um Gebäude zu planen, die weniger Betriebsenergie benötigen oder selbst Energie erzeugen. In der vorliegenden Studie sollen verschiedene Wege aufzeigt werden, wie mit architektonischen Mitteln in subtropischen und tropischen Gebieten passive Kühlmethoden erfolgreich eingesetzt werden können, um die Klimaanlagennutzung zu reduzieren.

06 I Bevölkerungsentwicklung in Städten 2050. Quelle: McKinsey 2013

1.2 Fragestellungen

Die oben geschilderte Problemstellung wirft einige Fragen auf, die im Rahmen dieser Dissertation geklärt werden sollen.
Im Rahmen der Einführung soll am Beispiel Hongkong untersucht werden, welchen Einfluss die Erfindung der Klimaanlage auf die Entwicklung der dortigen staatlichen Wohnhochhaustypologien hatte und ob derartige Typologien auch ohne Klimaanlage möglich gewesen wären.

Im zweiten Teil der Arbeit werden verschiedene Begriffe definiert, so auch der der Behaglichkeit. Es wird untersucht, von welchen Parametern die Behaglichkeit abhängig ist und ob man diese überhaupt messen kann. Diese Begriffsanalyse mündet sodann in eine der zielführenden Fragen: Wie kann in den Tropen und Subtropen ein angenehmes Raumklima erreicht werden? Die Hauptfragestellung der Dissertation ist sodann, mit welchen architektonischen Mitteln eine ausreichende Qualität der Behaglichkeit hier auch ohne den Einsatz von Klimaanlagen erzielt werden kann. Mit dieser zentralen Fragestellung sind unterschiedliche Detailfragen verknüpft: Welche traditionellen und modernen architektonischen Mittel und Technologien können die Behaglichkeit im Innenraum unter Nutzung der bestehenden Witterung verbessern, ohne dass die negativen Eigenschaften des Air-Conditioning in Kauf genommen werden müssen? Wie können Architekten den Einsatz solcher Technologien und traditionellen Konzepte begünstigen oder überhaupt erst ermöglichen? Welche Faktoren sind bereits im Frühstadium der Planung eines Gebäudes zu berücksichtigen, um den Einsatz von Klimaanlagen zu minimieren? Dies soll anhand der Analyse der Fallstudien im vierten Teil der Arbeit herausgefunden werden.

Es ist bekannt, dass die spezifische architektonische Anordnung der Wände, Fassadenstrukturen und Wandöffnungen auf der Basis bauphysikalischer Grundlagen ein wesentlicher Bestandteil der Klimaverbesserung für Innenräume in feuchtheißen Regionen ist. Wandelemente erfüllen hierbei unterschiedliche Aufgaben, so z.B. die Beschattung, die Ermöglichung der Querlüftung oder die Weiterleitung von Temperatur in thermische Masse. Die Vermeidung der Überhitzung durch Sonneneinstrahlung bei gleichzeitiger Ermöglichung einer natürlichen Belüftung von Gebäuden ist eine normale Anforderung an Außenwände in feuchtheißen Regionen. Die Öffnungen in den Wänden müssen jedoch auch standortspezifisch besonders konzipiert

sein, um auf die unterschiedlichen äußeren Faktoren wie Temperatur und Luftgeschwindigkeit flexibel reagieren zu können. Gleichzeitig sollten im Wohnungsbau die Grundbedürfnisse der Bewohner wie zum Beispiel die der ausreichenden Belichtung, der Privatsphäre und außenliegender Freiräume berücksichtigt werden. Wie kann ein ganzheitliches architektonisches Konzept entwickelt werden, das diese formalen, funktionalen und energetischen Kriterien so erfüllt, dass sich ein stimmiges, aussagekräftiges Erscheinungsbild ergibt? Wie diese Parameter erreicht werden können und welche Relevanz sie für das gestalterische Erscheinungsbild der Gebäude haben, sollen ebenfalls die Analysen der vier Fallstudien in dieser Arbeit zeigen.

Hierbei wird auch deutlich, welche Faktoren bei der Ausformung der Wohnhochhaus-Typologien in den Subtropen und Tropen hinsichtlich der Wirksamkeit von passiven Kühlmethoden eine Rolle spielen. In Teil 5 soll die Untersuchung der Gebäudestrukturen mit Kennwerten verdeutlichen, welchen Einfluss Belegungsdichte, Grundfläche pro Person, Rauminhalt, Hüllflächen (A-V-Verhältnis), sowie Gebäudeporosität im Sinne von Gebäudevolumen-Ausformungen mit Kompaktheit und Faltungen auf die Innenraumbehaglichkeit in den Tropen und Subtropen haben. Anhand von Forschungsergebnissen des IAT wird sodann der Frage nachgegangen, inwieweit es Möglichkeiten gibt, bestehende Wohnhochhäuser in Hongkong zu modifizieren, um die natürliche Querlüftung und damit die Innenraumbehaglichkeit zu verbessern. Des Weiteren werden Möglichkeiten untersucht, die Lärmbelastung zu verringern, während Fassadenöffnungen für die natürliche Querlüftung geöffnet sind. In der abschließenden Betrachtung der Ergebnisse dieser Untersuchungen wird jeweils auch der wesentliche Forschungsbedarf aufgezeigt.

1.3.1 Simulationsmethoden
1.3.2 Bewertungsmethoden
1.3.3 Kennwerte
1.3.4 Fallbeispiele
1.3.5 Forschung
1.3.6 Zielsetzung

1.3 Methodik

1.3.1 Vorhandene Studien und Simulationsmethoden (Stand der Forschung)

Die Arbeit verwendet wissenschaftlich durchgeführte Studien und Simulationen von Experten. Zudem wird die klimastandortabhängige Behaglichkeit in psychrometrischen Diagrammen aufgezeigt und die Wirksamkeit der Kühlmethoden in Abhängigkeit vom Standort wird mit Hilfe des Simulationsprograms Weather Tool © Autodesk dargestellt. Die Wetterdaten der sechs Klimastandorte wurden von meteorologischen Wetterstationen[1] bezogen, in das Programm eingespielt und mit dem Programm Weather Manager © Autodesk in verschiedenen Grafiken[2] veranschaulicht.

1.3.2 Vor-Ort-Messungen zu den Fallstudien

Die bereits gebauten Fallbeispiele wurden analysiert und passive Kühlmethoden wurden durch vor Ort durchgeführte Messungen bewertet. Lufttemperatur, Oberflächentemperatur von Bauteilen, Luftfeuchtigkeit und Windgeschwindigkeiten bei natürlicher Belüftung sowie die Wirksamkeit von Speichermassenkühlung und teilweise der Geräuschpegel an den Fassaden wurden gemessen, grafisch dargestellt und ausgewertet. Der Messzeitraum an den einzelnen Wohngebäuden wurde immer zur jeweiligen heißesten Jahreszeit des Klimastandorts gewählt.

1.3.3 Kenngrößen und Kennwerte

Mit Hilfe von gängigen, ausgewählten Kennwerten werden die Wohngebäude untersucht. Hierzu wurden die Kenngrößen als Berechnungsgrundlage nach ÖNORM und DIN rechnerisch ermittelt und die Kennwerte ebenso nach ÖNORM und DIN erstellt. Einige Kennwerte zeigen den direkten Bezug zwischen der Gebäudetypologie und der Wirksamkeit von Kühlmethoden auf[3], andere Kennwerte werden für die Analyse der unterschiedlichen Wohn-

[1] Energieministerium der Vereinigten Staaten (U.S. Department of Energy): Weather data Download, 2013.

[2] Grafiken der standortbedingten Wetterkonditionen: Grundriss einer Wohneinheit der Fallstudie; Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung und Darstellung der Fallstudie; Temperatur-Jahresmaximum, -minimum und jährliche Temperaturdifferenz, relative Luftfeuchte Jahresmaximum und -minimum, Windrose mit Windrichtung, -stärke und -häufigkeit; erstellt für die 6 verschiedenen Klimastandorte.

[3] Kapitel: 5.1.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ), 5.1.5 Brutto-Rauminhaltsquotient

typologien angewendet.[4] Im Kapitel 3.2 „Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten" werden diese näher erläutert, in Teil 4 der Arbeit werden sie auf die vier Gebäude-Fallstudien angewendet und im Kapitel 5.1 „Vergleich der vier Fallstudien nach Kennwerten" werden die Kennwerte der vier Gebäude-Fallstudien miteinander verglichen und ausgewertet.

1.3.4 Fallbeispiele

Die vier ausgewählten Fallbeispiele sind Wohnbauten, die als Pilotprojekte auf die Reduktion der Klimaanlagennutzung ausgerichtet sind. Interviews mit den Architekten verdeutlichen die Hintergründe der architektonischen Konzepte. Zwei weitere Klimastandorte mit weiteren Gebäudebeispielen werden im Kapitel „Fallstudien" als Vorstudien verwendet, um für die hier untersuchte Problematik auch standortspezifische Lösungsmöglichkeiten traditioneller Architektur aufzuzeigen.

1.3.5 Forschung

Ergebnisse aus der Forschung des Instituts für Architekturtechnologie werden vorgestellt und bewertet. Die hierbei vom Autor getätigten Überprüfungen von konzeptionell modifizierten Wohnhochhäusern der Hong Kong Housing Authority wurden mit Windsimulationen (Autodesk Vasari) durchgeführt. Ein darüber hinausgehender Forschungsbedarf soll hier aufgezeigt werden.

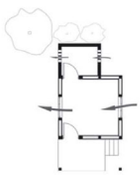
1.3.6 Zielsetzung

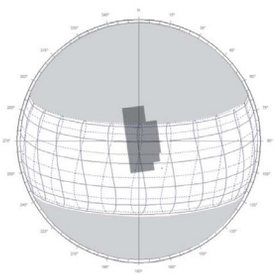
In der Arbeit wird aufgezeigt, mit welchen architektonischen Mitteln an den sechs verschiedenen Klimastandorten eine Reduzierung der Klimaanlagennutzung in großen Wohngebäuden erreicht werden kann. Die Ergebnisse der Simulationen werden mit den Ergebnissen der vor Ort durchgeführten Messungen verglichen, um neue Erkenntnisse zu gewinnen. Teile der Arbeit wurden bereits in Fachmagazinen veröffentlicht und die Inhalte wurden auf mehreren Konferenzen bereits diskutiert.

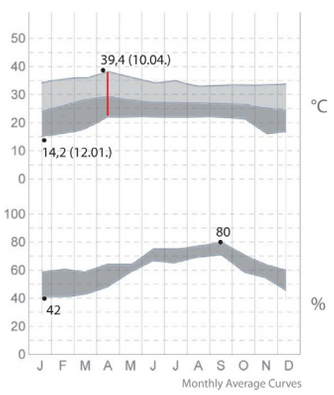
(BRIQ), 5.1.6 Luftanteilsquotient (LAQ), 5.1.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis, 5.1.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP), 5.1.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Person (GP).

[4] Kapitel: 5.1.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff), 5.1.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ), 5.1.4 Gebäudedichtequotient (GDQ), 5.1.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten, 5.1.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE), 5.1.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA).

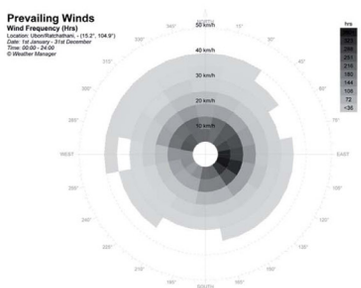
Issan
Traditional House





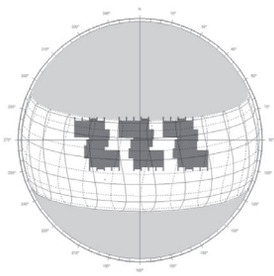


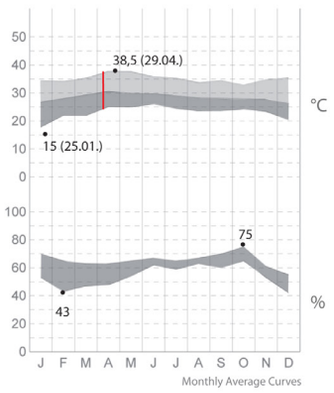
April 13th min. 24,7°C max. 35,8°C



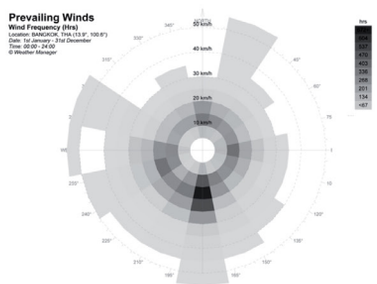
Bangkok
The Met





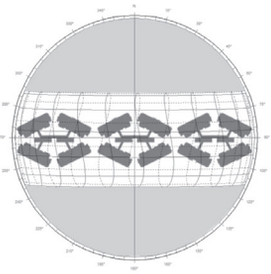


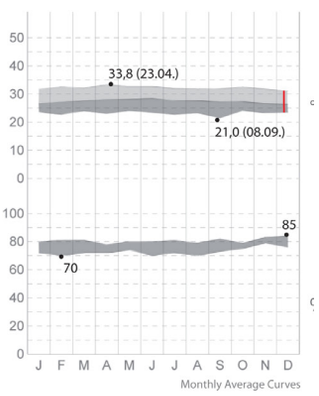
April 4th min. 28,5°C max. 37,9°C



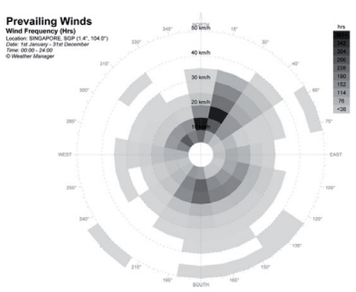
Singapore
Skyville Dawson







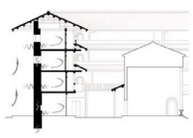
December 14th min. 24,7°C max. 31,0°C

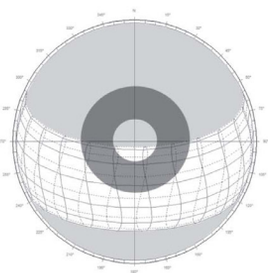


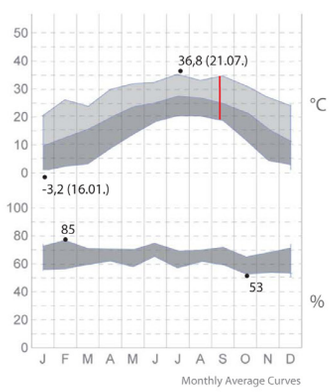
01

01 I Klimadiagramme Tropen: *Traditionelles Haus Issan*, Grundriss des Hauses, Klimastandort Ubon Ratchathani, Region Issan, nordöstliches Thailand; *The Met*, eine Wohneinheit mit Erschließungskern Klimastandort Bangkok, Thailand; Grundriss des *Skyville at Dawson* einer Wohneinheit am Klimastandort Singapur; Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung und Darstellung des The Met; Temperatur-Jahresmaximum, -minimum und jährliche Temperaturdifferenz, relative Luftfeuchte Jahresmaximum und -minimum; Windrose mit Windrichtung, -stärke und -häufigkeit;, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

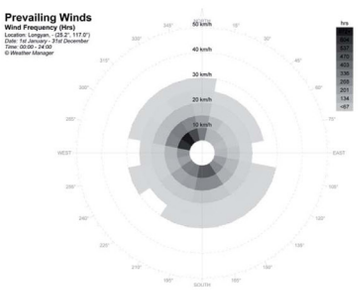
Longyan
Tulou



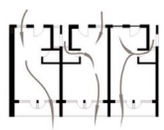


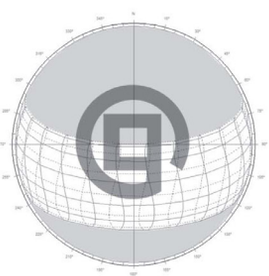


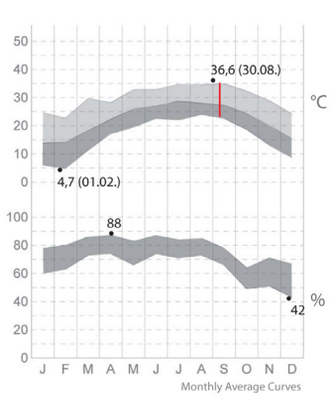
September 10th min. 14,5°C max. 23,1°C



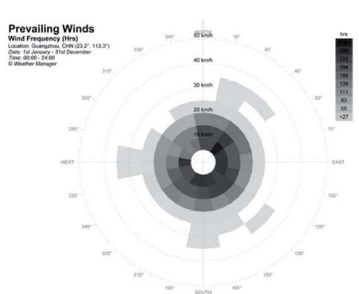
Guangzhou
Urban Tulou



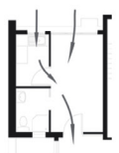




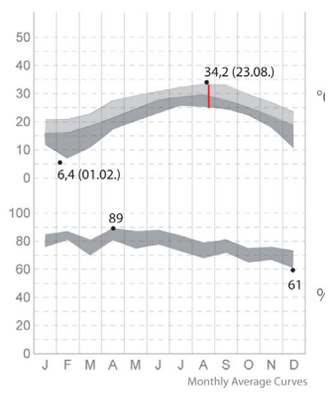
September 13th min. 24,4°C max. 33,7°C



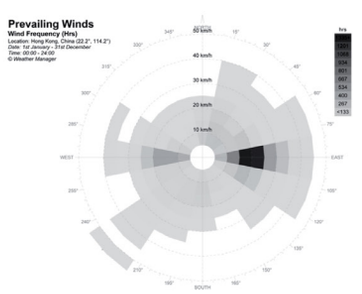
Hong Kong
Ngau Tau kok







August 24th min. 27,3°C max. 31,1°C



02

02 I Klimadiagramme Subtropen: Schnitt *Hakka-Tulou*;, am Klimastandort Longyan, China; Grundriss von drei Wohneinheiten des *Urban Tulou* Klimastandort Guangzhou, China; Grundriss *Upper Ngau Tau Kok Estate*, Wohneinheit Nr. 3202 am Klimastandort Hongkong, China; Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung und Darstellung des *The Met*; Temperatur-Jahresmaximum, -minimum und jährliche Temperaturdifferenz, relative Luftfeuchte Jahresmaximum und -minimum; Windrose mit Windrichtung, -stärke und -häufigkeit;, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/ Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

1.4.1 Bevölkerungsdichte
1.4.2 Ultra-Wohnhochhäuser weltweit
1.4.3 Geschichtlicher Hintergrund Hongkongs
1.4.4 Durchschnittliche Wohnungsgröße in HK
1.4.5 Die staatliche Förderung des Eigenheims
1.4.6 *Pencil Towers* - architektonische Besonderheit
1.4.7 Das *Bay Window*

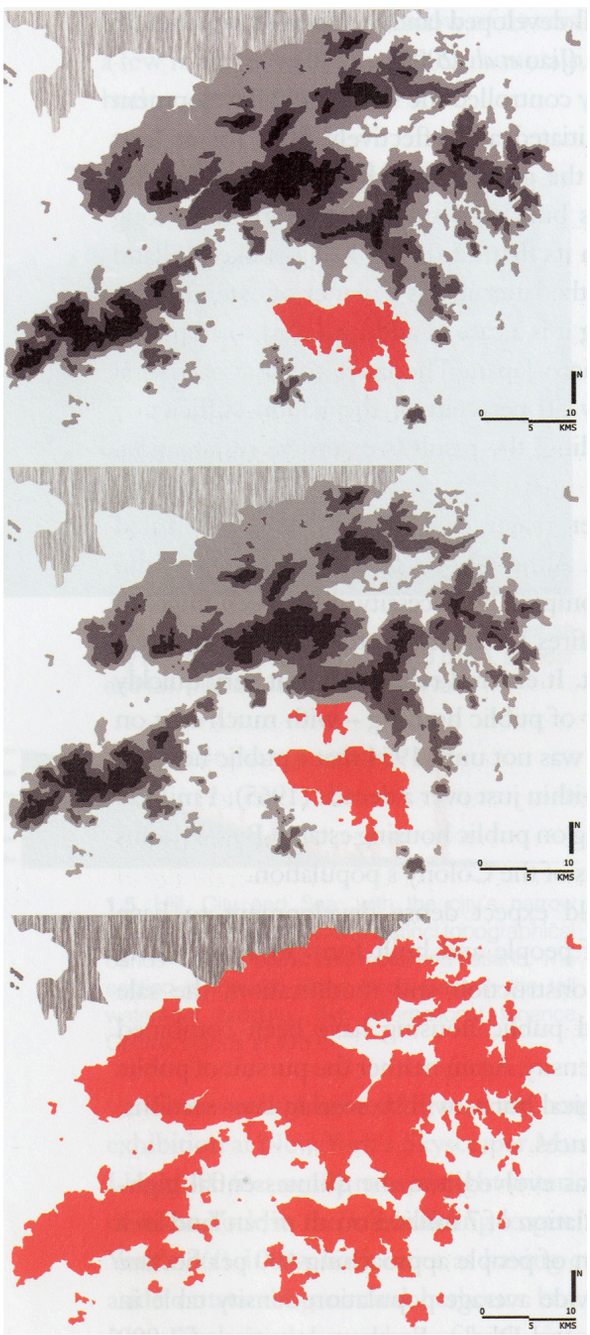


01 I Central Park Towers, Hongkong , Quelle: HK_Central Park Towers_200801_Wing, 01.01.2008

1.4 Entwicklung der Bevölkerungs- und Bebauungsdichte in Hongkong



1.4.1 Bevölkerungsdichte



02

02 I Landkarten zur Ausdehnung der Hongkong-Territorien: (Beschreibung von oben nach unten): 1841 Britische Kolonie Hongkong Island,1861 erste Ausdehnung zur Halbinsel Kowloon, 1898 Die zweite Vergrößerung beinhaltete auch die neuen Territorien; Hongkong wurde 1997 an die Volksrepublik China übergeben, Quelle: Barrie Shelton: *The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric*. Routledge, London, New York 2010, S. 3.

In diesem Kapitel soll die Entwicklung des Verdichtungsszenarios hinsichtlich der Bevölkerung und Bebauung am Beispiel Hongkong aufgezeigt werden.

1.4.1 Bevölkerungsdichte

Hongkong hat nicht die höchste Bevölkerungsdichte aber die höchste Dichte an Wohnhochhäusern weltweit. Um dies zu verstehen, muss allerdings beachtet werden, wie die Bevölkerungsdichte definiert wird.

Die Fläche von Hongkong beträgt mit den neuen Territorien 1.104 km^2.[1] Auf dieser Fläche lebten 2013 zur Jahresmitte 7.184.000 Einwohner.[2] Es ergibt sich also eine Bevölkerungsdichte von 6.507 Einwohnern pro Quadratkilometer. Nur Stadtstaaten wie Monaco, Macao oder Singapur haben eine höhere Bevölkerungsdichte. Die statistisch berechneten Bevölkerungsdichten lassen allerdings nur begrenzt Rückschlüsse auf die tatsächliche Einwohner- und Bebauungsdichte zu, da die Stadtgrenzen unterschiedlich viel unbebauten Grünraum enthalten. So sind in den drei oben genannten bevölkerungsdichtesten Städten die Stadtgrenzen sehr eng gewählt worden. Durch die kleinere Fläche erscheint die Bevölkerungsdichte dann höher. Stadtgrenzen sind jedoch oft willkürlich aus stadtgeschichtlichen Entwicklungsszenarien entstanden. Zum Beispiel hat München ebenfalls eine sehr hohe Einwohnerdichte, da auch hier die Stadtgrenzen relativ eng festgelegt wurden.

Wenn man hingegen nur das alte, damalige Hongkong (vor der Zusammenführung mit den neuen Territorien, nur die jetzigen zwei Gebiete Hongkong Island und Kowloon) mit der entsprechend kleineren Grundfläche betrachtet, hat diese mit 22.980 Bewohnern pro Quadratkilometer die höchste Einwohnerdichte weltweit.[3]Die Sequenz der drei abgebildeten Landkarten zeigen die Vergrößerung von Hongkong von 1841 bis heute. Hongkong hatte zudem einen weiteren Dichte-Rekord zu verzeichnen: Die *Kowloon Walled City* beherbergte 33.000 Bewohner auf nur 0,026 km^2 – das entspricht einer Bevölkerungsdichte von 1,3 Mio. Einwohnern pro Quadratkilometer.[4] Die *Walled City* wurde 1993 allerdings abgerissen und existiert heute nicht mehr.

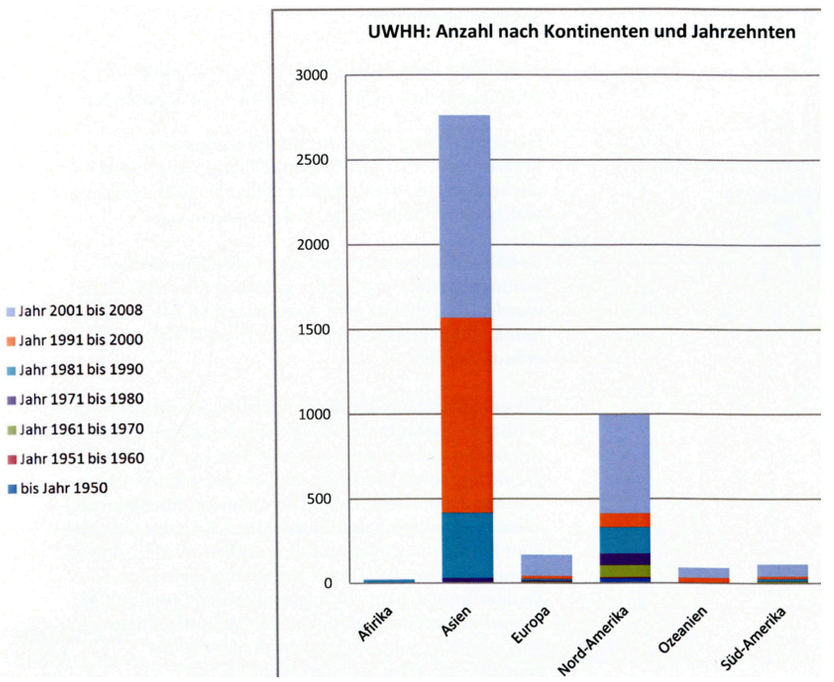
1 United Nations Statistical Commission : Demographic Yearbook - Table 3:Population by sex, rate of population increase, surface area and density, UN Stat. Retrieved 2010-01-31.3

2 Census and Statistic Department / Government oft he Hong Kong Special Administration Region, Online unter: http://www.censtatd.gov.hk/hkstat/ sub/so20.jsp (Stand: 06.10.2013).

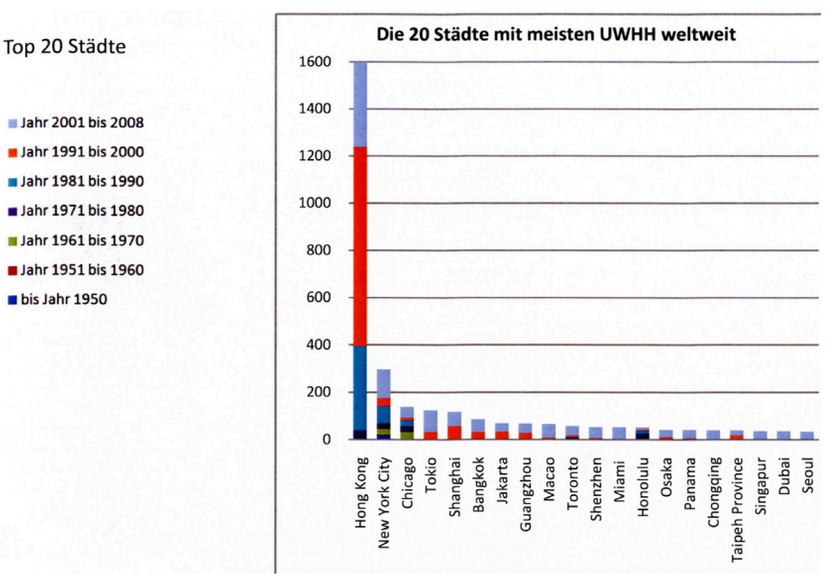
3 Berechnungsgrundlage: alte Territorien 3.493.000 Einwohner auf 152 km^2.

4 Goddard, Charles: The Clearance, in: City of Darkness: Life in Kowloon Walled City, S. 208–211.

1.4.2 Ultra-Wohnhochhäuser



03



04

03 I Anzahl der Ultra-Wohnhochhäuser nach Kontinenten und Jahren, Stand 2008, Ebda.,, S. 65, Abb. 75

04 I Die 20 Städte mit den meisten UWHH weltweit, Stand 2008, Quelle: Yi Li: Ultra-Wohnhochhaus – Standorte und Gebäudetypologie der höchsten Wohnhäuser in Shanghai, Hongkong und Taipeh, Doktorarbeit von Dipl. ing. Yi Li, Institut für Wohnen und Entwerfen der Universität Stuttgart, Prof. Thomas Jocher, 2012, S. 69, Abb. 81

1.4.2 Ultra-Wohnhochhäuser weltweit

Die meisten Einwohner Hongkongs leben auf kleiner Fläche in Wohnhochhäusern. Die große Anzahl von Wohnhochhäusern in Hongkong bietet ein beindruckendes städtebauliches Ambiente – und tatsächlich hat Hongkong auch die höchste Anzahl an Ultra-Wohnhochhäusern (UWHH) weltweit. Genaue Definitionen für Hochhaus und Ultra-Hochhaus sind in der gleichnamigen Tabelle ersichtlich. Der enorme Unterschied der Anzahl der UWHH in Hongkong im Vergleich zu anderen Städten wird durch das Diagramm und die Weltkarte besonders deutlich.

Länder	Grundlagen	Traufhöhe (m)	
		Hochhaus	Ultra-Hochhaus
China	GB 50352-2005, GB 50045-95	≧24	≧100
Deutschland	BauO, LBO	≧22	
India	building code of Hyderabad	≧15	
Japan	Japanese Architecture Glossary	≧31	≧60
Österreich	ON-Regel ONR 22000	≧25	
Die Schweiz	Vereinigung der kantonalen Gebäudeversicherungen	≧25	
USA	United States General Laws	≧21	≧150
CTBUH			≧300
UNDEA	Bethlehem, 1974	≧50	≧100

05

Die Betrachtung des Diagramms, das die Anzahl der UWHH nach Kontinenten und Jahrzehnten unterschiedet, zeigt: Fast zwei Drittel der Wohnbauten, welche die Hundertmetergrenze überschreiten, wurden in asiatischen Städten erbaut.[5] Den zweiten Platz in dieser Rangliste der Kontinente nimmt immer noch mit großem Abstand zu den übrigen Kontinenten Nordamerika mit ca. 1.000 Ultra-Wohnhochhäusern ein. Auf dem dritten Platz folgt Europa mit 168 realisierten Wohnhochhäusern, die höher als 100 Meter sind.[6] Diese Spitzenreiter-Rolle Asiens resultiert nicht nur aus der hohen Anzahl der UWHH in Hongkong: Den vierten bis neunten Platz in der Städte-Rangliste besetzen ebenfalls asiatische Städte, nämlich Tokio, Shanghai, Bangkok, Jakarta, Guangzhou und Macao. Die Hälfte dieser Bauten wurde zwischen 2001 und 2008 realisiert. Ein wesentlicher Grund für die starke Zunahme von hohen Wohngebäuden ist der

05 I Definition von Hochhaus und Ultra-Wohnhochhaus, Stand 2008, Ebda., S. 7, Abb. 3

[5] Vgl. Quelle: Li , Yi: Ultra-Wohnhochhaus – Standorte und Gebäudetypologie der höchsten Wohnhäuser in Shanghai, Hongkong und Taipeh, Diss., Institut für Wohnen und Entwerfen der Universität Stuttgart, Prof. Thomas Jocher, Stuttgart 2012, S. 65.

[6] Vgl. Ebda.

1.4.3 Geschichte HK

wirtschaftliche Aufschwung der Tigerstaaten[7]: Nicht nur sind die Stadtgrenzen hier oft eng gesetzt, wie insbesondere in Macao, sondern auch die Peripherie dieser Städte erlebt einen enormen Zuwachs an hoher Wohnbebauung. Dr. Yi Li bemerkt in ihrer Dissertation, es sei auffällig„[…] dass der überwiegende Teil der hohen Wohngebäude erst nach der Jahrtausendwende errichtet wurde."[8] Allerdings gilt dies nicht für die drei Spitzenreiterstädte Hongkong, New York und Chicago. In den beiden amerikanischen Städten New York und Chicago wurden schon ab den 1920er Jahren hohe Wohnhochhäuser gebaut. Die Beschaffenheit von Manhattan in New York – eine Halbinsel mit begrenzter Bebauungsfläche – führte zu der sehr hohen urbanen Dichte aus Wohn- und Bürohochhäusern.

1.4.3 Geschichtlicher Hintergrund Hongkongs

Wie die Ergebnisse von Dr. Yi Li zeigen, gibt es in Hongkong erst ab den 1950er Jahren sehr hohe Wohnhochhäuser. Es stellt sich daher die Frage, wie die hohe Dichte von Ultrawohnhochhäusern (UWHH) und die hohe Bebauungsdichte im Zentrum von Hongkong von 1950 bis heute zu begründen ist. Gründe für dieses Verdichtungsszenario sollen nun anhand des geschichtlichen Hintergrundes Hongkongs veranschaulicht werden.

Die Briten gründeten die Stadt„Victoria" nach dem Opiumkrieg 1843 auf dem Gebiet des heutigen„*Hong Kong Island*" bzw. auf dem des heutigen Stadtteils „Central". Auf dem Gemälde ist zu erkennen, wie kleine Kolonialhäuser in Reihen parallel zu den Bergen entstanden sind. Die Kolonialmacht wählte



06

06 I Die 20 Städte mit den meisten UWHH auf der Weltkarte, Stand 2008, Ebda., S. 69, Abb. 82

[7] Die Tigerstaaten werden definiert als Tigerstaaten der 1. Generation: Hongkong, Südkorea, Taiwan, Tigerstaaten der 2. Generation: Indonesien, Malaysia, Philippinen, Thailand sowie Tigerstaaten der 3. Generation: China und Vietnam; Quelle: Henke, Jutta: Geographie Infothek, Klett Verlag Leipzig, 2005.

[8] Ebda.

diesen Standort, weil das Wasser an dieser Stelle tief genug war, dass große Schiffe am Hafen anlegen konnten. Zudem bot das von Gebirgen umgebene Areal auch Schutz vor Hurrikans.

Der größte Anteil der Fläche Hongkongs ist bergig und schlecht besiedelbar. Trotz seiner hohen Bevölkerungsdichte ist Hongkong zugleich auch eine der grünsten Metropolen Asiens, weil die Fläche hauptsächlich aus schwer zu bebauenden bergigen Gegenden besteht, sodass nur ca. 30 % der Gesamtfläche bebaut werden konnten. Zudem erließ die Stadtregierung zahlreiche Bau-Verbote in solchen Gebieten. Dies hatte zur Folge, dass sich im Laufe der Jahrzehnte auf Hongkong Island und Kowloon eine extrem dichte Stadt entwickelte, indem extrem hohe Häuser auf kleiner Fläche errichtet wurden. Bürgerkriege, politische Instabilität und die draus resultierende Armut in Festlandchina[9] einerseits und andererseits die freie Marktwirtschaft aufgrund der Deklarierung der britischen Kronkolonie Hongkong als Freihandelszone führten zu einem enorm großen Bevölkerungszuwachs in Hongkong. Nach dem Zweiten Weltkrieg und der Besetzung durch die Japaner stieg die Einwohnerzahl Hongkongs durch die großen Migrationswellen um ca. eine Million in jedem Jahrzehnt.[10] Im ganzen Territorium siedelten sich zumeist mittelose Migranten mit einfachen Hütten aus Holz und Blech an. In diesen Hüttensiedlungen kam es häufig zu Bränden, da es kaum Sicherheitsvorkehrungen gab.



07

07 I Hongkong während der Gründungszeit durch die Briten, Quelle: Barrie Shelton: *The Making of Hong Kong*, From Vertikal to Volumetric. Routledge, London, New York 2010, S. 73.

9 Als Festlandchina wird im politisch-geografischen Sinne beinahe das gesamte heutige Staatsgebiet der Volksrepublik China bezeichnet; *Chinesisches Festland und Kontinentalchina* sind synonyme Begriffe hierfür.

10 Quelle: Heckl, Franz Xaver, Dr. / Hebold, Wiebke: Geographie Infothek, Verlag Klett, Leipzig, www.klett.de (Stand: 23.08.2012).

1.4.4 Wohnungsgröße HK



08

08 I Die Verteilung und Anzahl der Ultra-Wohnhochhäuser 2008 mit neuen und alten Territorien; Quelle: Yi Li: Ultra-Wohnhochhaus – Standorte und Gebäudetypologie der höchsten Wohnhäuser in Shanghai, Hongkong und Taipeh, Doktorarbeit von Dipl. ing. Yi Li, Institut für Wohnen und Entwerfen der Universität Stuttgart, Prof. Thomas Jocher, 2012, S. 94.

1.4.4 Durchschnittliche Wohnungsgröße in HK

Die chinesischen Einwanderer waren aus ihrem vorherigen Umfeld in China an extrem enges Wohnen gewöhnt und durch Platzmangel und Geldnot in der neuen Heimat Hongkong verbesserte sich diese Situation nicht. Die ersten staatlichen Wohnbauanlagen hatten eine Belegungsziffer von 5 bis 15 Personen auf einer Fläche von nur 36 Quadratmetern. Dies entspricht einer durchschnittlichen Fläche von 2,4 bis 7,2 Quadratmetern pro Person. Mit den *New Territories* wurden erst ab 1964 Satellitenstädte außerhalb des ursprünglichen Gebietes realisiert. Dies brachte eine gewisse Entspannung im Zentrum von Hongkong (Kowloon und HK Island) und der große Wohnungsbedarf konnte auf diesen zusätzlichen Bebauungsflächen gut kompensiert werden. Doch auch diese neuen Stadtquartiere wurden sehr dicht bebaut, da auch hier aufgrund der gebirgigen Landschaft nur wenig Bebauungsgrundfläche zur Verfügung stand. In den *New Territories* wurden folglich dieselben Wohnhochhaus-Typologien umgesetzt wie im Zentrum Hongkongs – mit der gleichen Zielsetzung, auf kleiner Grundfläche möglichst viel Wohnfläche zu ermöglichen. Die Anzahl der Ultra-Wohnhochhäuser in den alten und neuen Territorien ist aus der abgebildeten Landkarte ablesbar. Die in der Karte grau dargestellten bebaubaren Wohnflächen zeigen, wie wenig Bauland hier zur Verfügung steht.

In der abgebildeten Tabelle ist zu erkennen, dass auch heute die Wohndichte in Hongkong noch sehr hoch ist bzw. die Fläche pro Person sehr klein. Die durchschnittliche Wohnfläche pro Person betrug im Jahr 2002 in den staatlichen Wohnhäusern 11,1 m^2. Allerdings stieg sie innerhalb von 10 Jahren bis 2012 auf 12,9 m^2 an. Es gibt immer noch eine kleine Anzahl von Haushalten, in denen der durchschnittliche Lebensraum pro Person unter 5,5 m^2 liegt – im Jahr 2002 betraf dies aber nur noch 2 % der Bewohner der staatlichen Wohnanlagen und bis 2012 reduzierte sich dieser Anteil noch weiter auf 0,5 %. Eine kleinere Fläche pro Person bewirkt eine höhere Bevölkerungsdichte innerhalb

09

Living Space of HA PRH Tenants [23]

As at end March	2002	2007	2012
			sq.m.
Average Living Space per Person	11.1	12.2	12.9
			%
Proportion of Households with Living Space per Person below 5.5 sq.m.	2.0	0.7	0.5

09 I Durchschnittliche Wohnfläche pro Person in m^2 in HKHA- Wohnanlagen, Quelle: Hong Kong Housing Authority: *Housing in Figures 2012*, Fußnote: „Living Space is expressed in internal floor area: Floor Area of HA PRH flats and HOS/PSPS/MIHS flats (excludes flats put up for sale but not yet completed and flats completed but not yet put up for sale) is expressed in internal floor area and saleable area respectively. Internal floor area refers to area of a flat measured to the internal face of the flat's enclosing and/or party walls. Saleable area refers to area of a flat measured to the external face of the flat's enclosing walls and to the centre line of the flat's party walls".

1.4.5 Die staatliche Förderung

der bebauten Areale der Stadt Hongkong. Hierbei ist davon auszugehen, dass mit Erweiterung der Fläche pro Kopf die Bebauungsdichte weiter zunimmt: Selbst dann, wenn die Bevölkerungsanzahl stagnieren würde, würden bei wachsender Wohnfläche pro Kopf der Bedarf an Gesamtwohnfläche und somit auch die Bebauungsdichte höher werden.

1.4.5 Die staatliche Förderung von Eigentumswohnungen

Bis 1971 lebten ca. 50 % von Hongkongs Einwohnern in staatlichen Wohnhochhaus-Anlagen.[11] Deren Anzahl hat sich bis 2001 erhalten, seitdem gibt es aber eine Zunahme von nichtstaatlich geförderten Wohnhochhäusern. 2006 war der Anteil des staatlichen Wohnens auf 48,4 % und 2011 war er auf 46,2 % gesunken. Die staatlichen Wohnungen wurden ursprünglich hauptsächlich als Mietwohnungen angeboten. Die HKHA wollte den Anteil an Eigentumswohnungen dann aber erhöhen und führte deshalb 1978 das Eigentumswohnungsprogramm (Home Ownership Scheme) ein. Dies war deshalb möglich, weil das Einkommensniveau großer Teile der Bevölkerung stark angestiegen war. Durch Schaffung von Eigentum an ihrem Wohnraum hoffte die HKHA, den immer älter werdenden Hongkongern mehr Souveränität zu geben. Die Wohneinheiten wurden in einigen neuen Wohnanlagen also nun als Eigentumswohnungen angeboten. Zur Planung dieser Wohnanlagen wurden teilweise freie Architekten außerhalb der HKHA beauftragt. Ein Beispiel hierfür ist die *Sui Wo*-Anlage. Dieses Projekt wird im nächsten Kapitel noch genauer vorgestellt.
1998 wurden die Möglichkeiten zum Kauf einer Eigentumswohnung mit dem Programm „Tenants Purchase Scheme“ weiter unterstützt. Ziel dieses Programms war es, bis 2006 den Status der Bewohner der staatlichen Wohnbauten auf 70 % Eigentümer zu erhöhen, indem Mietwohnungen zum Verkauf

Population [1]

Thousands

	2002	2007	2012
Mid-year Population	**6 744**	**6 916**	**7 136***
Distribution of Population by Type of Housing			
			%
	2001	2006	2011
Public Permanent Housing [2]	50.1	48.4	46.2
Public Rental Housing	*31.1*	*30.3*	*29.1*
Subsidized Home Ownership Housing	*19.0*	*18.1*	*17.1*
Private Permanent Housing [3]	48.8	50.9	53.2
Temporary Housing [4]	1.0	0.7	0.6

** Provisional figure*

10

10 I Staatlich gefördertes und nichtgefördertes Wohnen in Hongkong, Quelle: Housing Authority Hong Kong, *Housing in Figures,* Hong Kong: 2012.

[11] Vgl. Manuel Christ und Christoph Gantenbein, Hong Kong Typology, An architectural research on Hong Kong building types, gta publishers, ETH Zürich 2012; Hendrik Tieben: The Orgin of Hong KongBbuilding Types, S. 41.

angeboten wurden. Die Erstellung neuer Wohnanlagen für Eigentumswohnungen durch die HKHA wurde jedoch bald eingeschränkt.
Grund war einerseits die schlechte wirtschaftliche Situation (Asienkrise 1998 und Weltwirtschaftskrise 2007) und andererseits hatten einige private Investoren gegen das Eigentumswohnungsprogram der HKHA geklagt, denn diese hatten nun Schwierigkeiten, ihre eigenen Eigentumswohnhaus-Projekte zu realisieren: Die staatliche Wohnbau-Institution war plötzlich zum Konkurrenten auf dem Markt geworden. Aus der Tabelle ist ersichtlich, wie die Anzahl der subventionierten Eigentumswohnungen des staatlichen Bauherrn kontinuierlich abnimmt: von 19 % auf 17,1 % in einem Zeitraum von 10 Jahren (ausgehend von 2001). Gegenläufig nimmt die von Investorenfirmen bereitgestellte Wohnfläche im gleichen Zeitraum von 48,8 % auf 53,2 % zu.

Staatlich gefördertes und nichtgefördertes Wohnen in Hongkong, Quelle: Housing Authority Hong Kong, *Housing in Figures*, Hong Kong: 2012.
Hat diese Verschiebung der Wohnverhältnisse eine Auswirkung auf die Bebauungsdichte Hongkongs? Wenn diejenige Bevölkerung Hongkongs, die unabhängig von staatlich subventioniertem Wohnraum ist, einen höheren Anspruch an die Wohnungsgrößen hat, kann man hiervon ausgehen. Die Bewohner von privaten Real-Estates-Wohnanlagen haben tatsächlich eine größere durchschnittliche Wohnfläche pro Kopf und wenn der Prozentsatz dieser Wohnungen ansteigt, dann steigt damit auch die Bebauungsdichte der Stadt an. Zudem hegen beide Interessengruppen, die staatliche Institution wie auch die privaten Bauherren, das Ziel, möglichst viel Wohnfläche auf möglichst kleiner Grundfläche zu erstellen: Die HKHA möchte möglichst dicht und kostengünstig bauen, um die Verwendung von Geldern aus der Staatskasse gering zu halten, und die privaten Investoren möchten auf demselben Weg eine möglichst große Rendite erzielen. Somit sind beide Parteien auch in Zukunft an einer hohen Wohnbebauungsdichte interessiert.

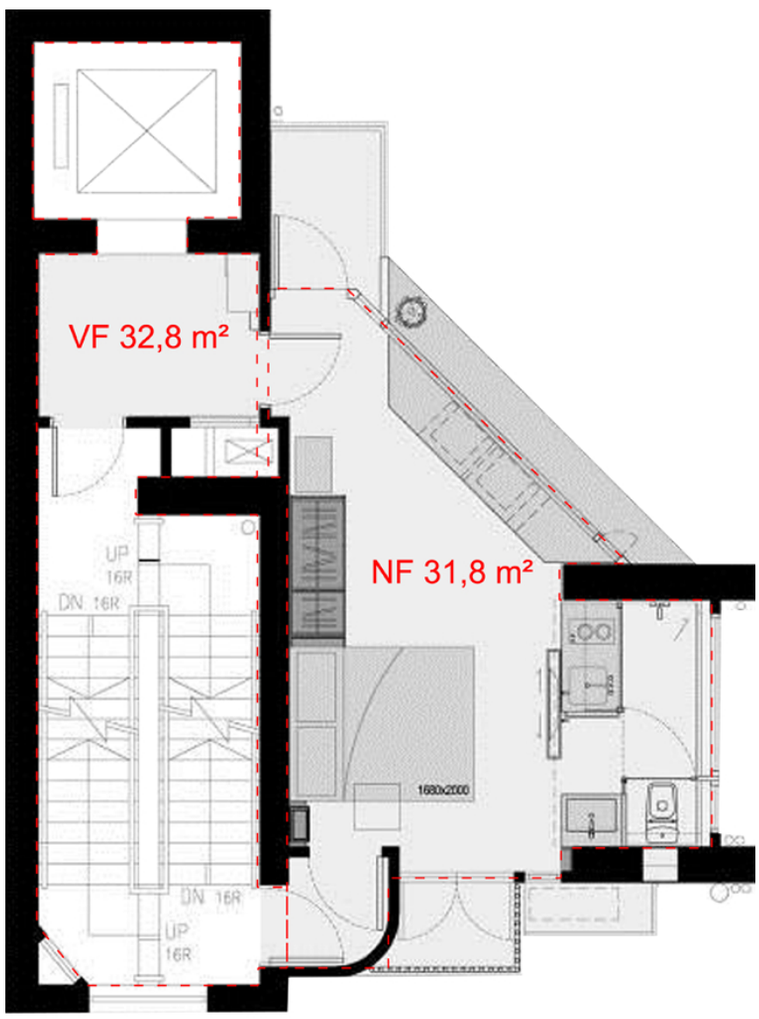
1.4.6 Pencil Towers – eine architektonische Besonderheit

Private Real-Estate-Firmen entwickelten mit freien Architekten spezielle Wohnhochhaustypologien, mit denen sie möglichst große Renditen erzielen können. Ein besonderes Beispiel hierfür sind die Pencil Towers. Als Beispiel ist hier ein Foto des von Gary Chang geplanten Pencil Towers *ACTS Rednaxela*

1.4.6 Pencil Towers



1.4.6 Pencil Towers

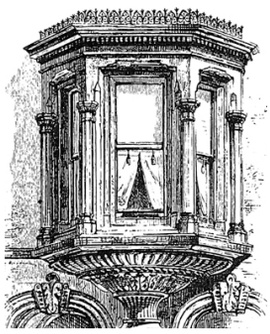


12

11 I Pencil Tower ACTS Rednaxela in Hongkong von Gary Chang, Quelle: Gary Chang: EDGE design Institut Ltd., Managing Director Gary Chang.

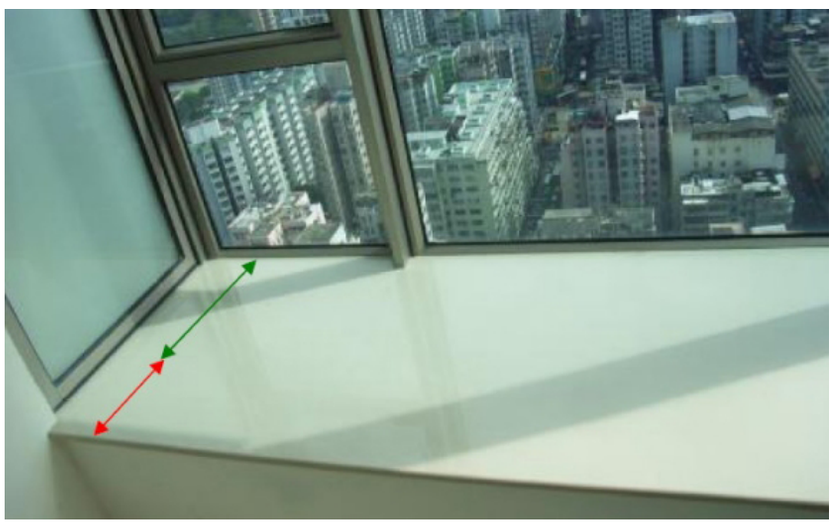
12 I Grundriss Pencil Tower ACTS Rednaxela in Hongkong von Gary Chang, Quelle: Gary Chang: EDGE design Institut Ltd., Managing Director Gary Chang.

1.4.7 Bay Window





13 14



15



16

13 I Erker in Mitteleuropa, Quelle: http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/Bay+Window

14 I Britisches „Bay Window", Quelle: http://www.mwcinc.com/gallery/Installation-Photos/Exterior_bay_window

15 I Bay Window Hongkong, Quelle: http://www.greensense.org.hk/baywindow/

16 I Bay Window Hongkong, Quelle: http://gowestproject.com/wp-content/uploads/2011/01/hk-apartments-small.jpg

in Hongkong zu sehen. Diese wie Bleistifte anmutenden schlanken Typologien verblüffen durch ihre geringe Wohngeschossfläche. Die Verkehrsfläche ist hier meist gleich groß wie die vermietbare Nutzfläche, was im abgebildeten Regelgrundriss von Gary Changs Pencil Tower gut ersichtlich ist. 1984 wurde die Übergabe der britischen Kolonie an die Volksrepublik China für 1997 beschlossen. Die Zukunftsaussichten der privaten Bauinvestoren waren dadurch ungewiss, die ökonomische Zukunft Hongkongs war unklar. Dies schürte die Motivation für neue Wohnkonzepte mit schnellen und kurzfristigen Renditen. Ab diesem Zeitpunkt wurden die sogenannten Pencil Towers entwickelt.

Hendrik Tieben, Professor an der Chinese University of Hong Kong, sieht insbesondere diese wirtschaftlichen Gründe für die Entwicklung der Pencil Towers und führt aus, „dass man nicht lange warten wollte, bis man mehrere Grundstücke zusammenlegen konnte, sondern versuchte, in kurzer Zeit noch so viel Profit wie möglich zu machen."[12] Für die Investoren haben solche Gebäude den Vorteil, dass die notwendige Bebauungsgrundfläche extrem klein sein kann. Somit mussten die Immobilienfirmen weniger Geld investieren, sie hatten weniger Eigentumsparteien innerhalb der einzelnen Hochhausobjekte, mit denen sie verhandeln mussten, und sie erreichten eine schnellere Rendite.[13] Ein weiterer Grund für die Entstehung der Pencil-Tower-Typologie sind die hohen Quadratmeter-Mietpreise, durch die der Investor trotz des schlechten Verhältnisses zwischen Verkehrs- und Nutzfläche eine gute Rendite erzielen kann. Obwohl Gebäudetypologien mit größerer Grundstücksfläche und dementsprechend einem besseren Verhältnis zwischen Nutzfläche und Verkehrsfläche wirtschaftlicher wären, entscheiden sich die Investoren in Hongkong auch heute noch dafür, Pencil-Tower Projekte zu realisieren. Solche Häuser werden also immer noch auf kleinsten Grundstücksflächen innerhalb Hongkongs gebaut – somit wird die Bebauungsdichte der Stadt weiter erhöht.

1.4.7 Das Bay Window

In Europa ist das Bay Window als nicht begehbares oder begehbares Erkerfenster bekannt, welches allerdings nicht besonders praktisch ist, denn wenn

[12] E-Mail Hendrik Tiebens (Chinese University of Hong Kong) an Ferdinand Oswald vom 06.02.2015.

[13] Vgl., Tieben ,Hendrik: The Orgin of Hong Kong Bbuilding Types, in: Christ , Manuel (Hg.) / Gantenbein, Christoph (Hg.): Hong Kong Typology. An architectural research on Hong Kong building types, gta publishers, ETH Zürich 2012, S. 41,43.

1.4.7 Bay Window

man sich in den großflächig verglasten Erkerraum hineinsetzt, sitzt man immer falsch: entweder mit dem Rücken zur Aussicht oder mit dem Rücken zum Raum. Und im von Jahreszeiten geprägten Mitteleuropa ist es zudem dann dort im Winter zu kalt und im Sommer zu heiß. Außerdem gilt der Erker als Teil des baulichen Volumens des Gebäudes, sodass er als Außenkante für die Abstandsfläche mit berücksichtigt wird.

Das Bay Window in Hongkong ist wahrscheinlich eine Adaption des neuzeitlichen britischen Erkerfensters. Auf dem Cover-Foto dieses Kapitels von den 2007 von Cheung Kong Holdings fertiggestellten Central Park Towers ist zu sehen, wie das Bay Window wesentlich zur Veränderung des Erscheinungsbildes des Wohnhochhauses beiträgt. Dieses britische Bay Window kam in den 1950er Jahren im seriellen Wohnungsbau zum Einsatz. Es ist nicht begehbar, sondern ermöglicht lediglich einen Ausblick nach rechts und links in den Außenraum. Es ist also im Sinne seines baulichen Volumens kleiner als der alte begehbare Erker.

Die Abstandsregelungen der Hongkong-Baurichtlinien zwängten die privaten wie auch die staatlichen Bauherren in ein enges Korsett. Man wollte möglichst viel vermietbare und nutzbare Wohnfläche auf einem möglich kleinen Fußabdruck des Gebäudes errichten. In das von der Abstandsregelung vorgegebene Volumen sollte also möglichst viel Wohnraum hineingegeben werden. Mit der Einführung des sogenannten „Bay Window" konnte der Innenraum visuell vergrößert werden. Bei der Adaption des Bay Windows für den Hochhausbau wurden die seitlichen Öffnungen teilweise geschlossen; es dient somit hauptsächlich als optische Erweiterung des Raumes. Diesen Effekt nutzen die Immobilienfirmen, um die Wohnräume größer erscheinen zu lassen und rechnen zudem bei Verkauf oder Vermietung die Wohnfläche des Bay Windows zur vermietbaren Fläche hinzu. Gleichzeitig werden die Ausstülpungen in der Fassade in Hongkong im Sinne der Abstandsregelung nicht als Gebäudeaußenkanten definiert, obwohl das Bay Window ungefähr zu zwei Dritteln seiner Tiefe aus der Gebäudefassade

Price of Private Permanent Residential Flats [27] (average price per sq.m. of saleable area)			HK$ / sq.m
	2002	2007	2012
Hong Kong Island	32,777	58,915	111,438
Kowloon	24,372	44,284	88,358

17

17 | Durchschnittlicher Wohnflächen-Kaufpreis pro m^2 in Wohnanlagen in Hongkong, Quelle: Hong Kong Housing Authority: Housing in Figures 2013, Fußnote: „Price of Private Permanent Residential Flats which is annual averages is supplied by the Rating and Valuation Department on the basis of transactions which took place during the reference periods and have been scrutinized by the Department for stamp duty purposes. Only residential flats with saleable area less than 70 sq.m. are included."

1.4.7 Bay Window

herauskragt, wie im Foto erkennbar ist. Die Fassaden der Gebäude können mit den Bay Windows also die Abstandsgrenze überschreiten und somit ein größeres Gebäudevolumen erzeugen, während die Grundfläche im Erdgeschoss des Gebäudes gleich bleibt. Die Gebäudedichte wird hier also in vielfacher Wiederholung verfälscht.

Eine Beispielrechnung macht deutlich, wie dieses Vorgehen die Gebäudedichte verändert: Ein durchschnittliches Wohnhochhaus hat eine Grundfläche von 1.000 m^2 und eine Bruttogrundfläche von 36.500 m^2 (ohne Bay Windows mit Berechnung nach ÖNORM und DIN). Daraus ergibt sich ein Gebäudedichtequotient (GDQ)[14] von 0,027. Auf einem Geschoss sind 20 Wohneinheiten untergebracht und das Gebäude hat 39 bewohnte Geschosse, also insgesamt 780 Wohneinheiten. Pro Wohnung gibt es zwei Bay Windows, also insgesamt 1.560 Bay-Windows. Nehmen wir nun an, ein Bay Window ist durchschnittlich 2,5 Meter breit und 60 Zentimeter tief. Zwei Drittel dieser Fläche sind zusätzliche Nutzfläche außerhalb der Bruttogrundfläche. Pro Fenster ergibt sich also 1 Quadratmeter mehr Fläche. Die Bruttogrundfläche erhöht sich demnach von 36.500 m^2 um 1.560 m^2 auf 38.060 m^2. Somit erhalten wir einen Gebäudedichtequotienten von 0,025.

Dieses Rechenbeispiel zeigt, wie erheblich sich die Flächendefinition der Bay Windows nicht nur auf die Gebäudedichte und somit auch auf die Bebauungsdichte in Hongkong auswirkt, sondern zudem auch, wie die Bauinvestoren bei Verkauf oder Vermietung die Wohnfläche de facto von den zusätzlichen Miet- oder Verkaufseinahmen profitieren. Wie in der Tabelle zu erkennen ist, betrug der Preis für einen Quadratmeter Wohnfläche auf Hongkong Island durchschnittlich 111.438,– Hongkong-Dollar im Jahr 2012. Beim derzeitigen Wechselkurs[15] entspricht dies einem Wert von 12.592, – Euro für einen Quadratmeter Wohnfläche. In dem Rechenbeispiel mit 1.560 m^2 mehr verkaufbarer Fläche durch Bay Windows würde ein um 19,6 Millionen Euro erhöhter Gewinn erzielt werden.

[14] Gebäudedichtequotient nach ÖNORM 1801-1 2009 Planungskennwerte und ÖNORM 1801-3 1999 Kennzahl-Typ; zur genaueren Erläuterung siehe im Kapitel 3.2. Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten das Unterkapitel 3.2.2.2.4 Gebäudedichtequotient (GDQ).

[15] Ein Hongkong-Dollar entspricht 0,113 Euro – Stand: 03. Februar 2015.

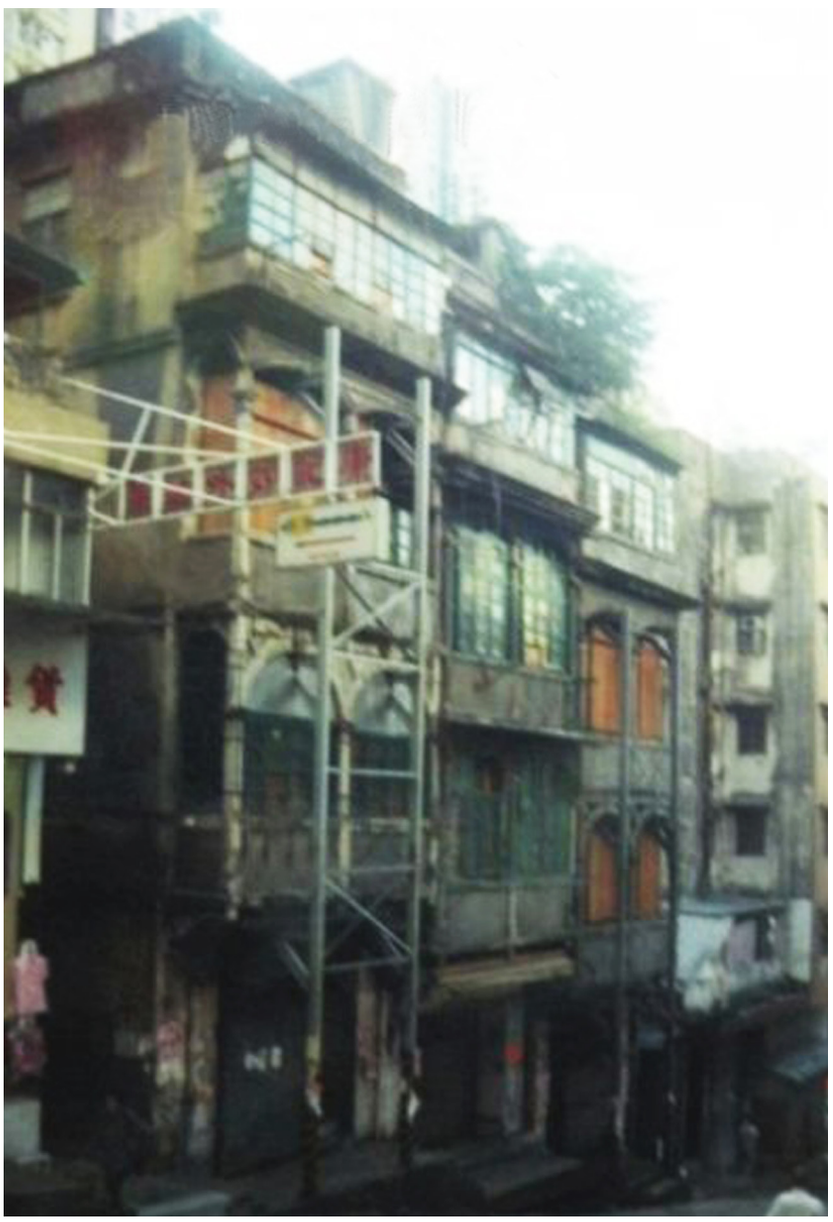
1.5.1 Kolonialzeit und Vorgaben zur Belüftung - 1900
1.5.2 Erste *Housing Authority* Wohnbauten - 1950
1.5.3 Die *Slab-Block* Wohnhochhaustypologien - 1960
1.5.4 Die Punktförmigen Wohnhochhaustypologien - 1970
1.5.5 Das Kühlaggregat in Hongkong - 1980
1.5.6 Standort unspezifisch - 1990
1.5.7 Standort spezifische Projekte - 2000
1.5.8 Ursachen des Umdenkens - Fazit

01 I New Cruciform, Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5 Der Einfluss der Klimaanlage auf die Entwicklung Wohnhaustypologien der *Hong Kong Housing Authority*



1.5.1. Kolonialzeit 1900



02

02 I Sai Ying Pun Häuser, Baujahr 1955, Foto von 2013 Quelle: Richard Wong, flickr 2013

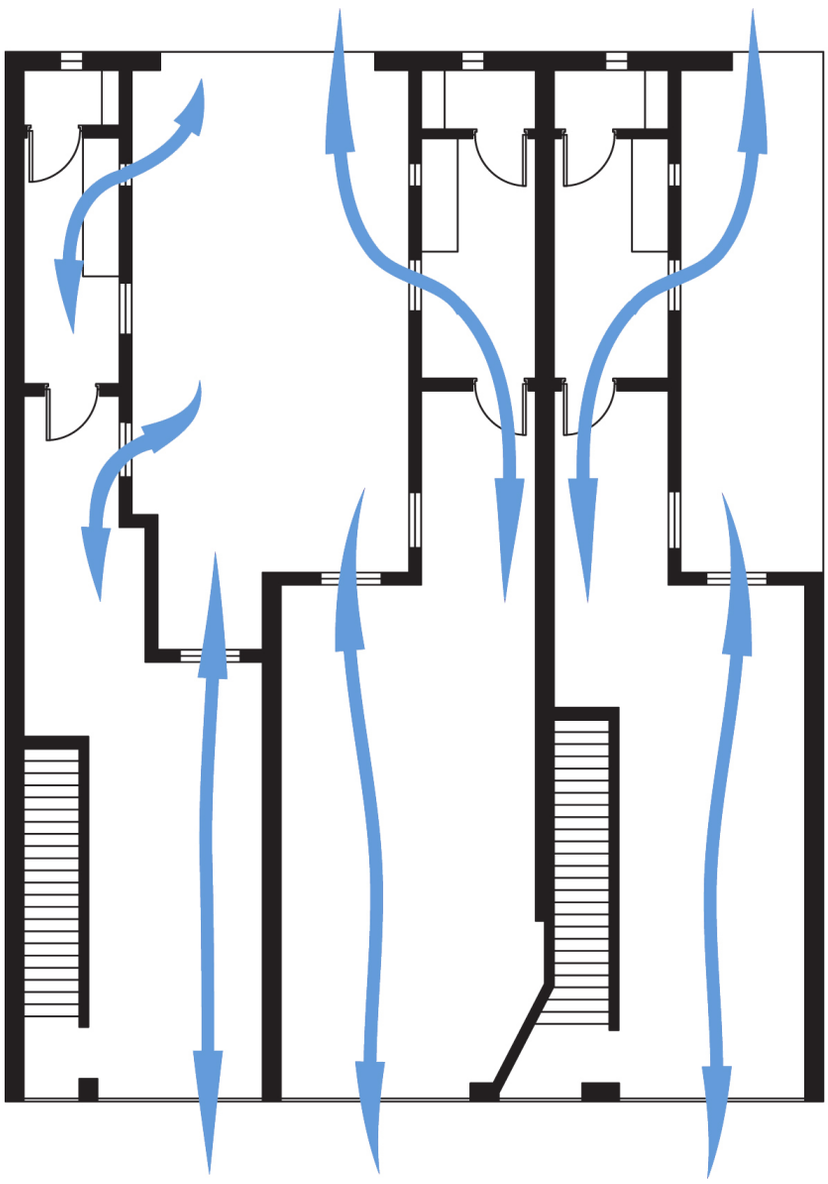
Die Klimaanlage ist zwar schon recht früh erfunden worden, sie war aber zunächst noch nicht zum Kauf erhältlich und erst recht nicht für die Bevölkerung in Hongkong erschwinglich. Der Erfinder W. H. Carrier hatte die Air-Conditioning (A/C) zunächst in Amerika salonfähig gemacht. In den 1930er Jahren wurden die ersten Klimaanlagen vereinzelt in Luxus-Wohnungen und -Hotelzimmern installiert, in den 1960er Jahren wurden in den Vereinigten Staaten bereits zentrale Klimaanlagen für Büros und Restaurants angeboten und in den 1970er Jahren hielt die Split-Klimaanlage schließlich Einzug in den gewöhnlichen Konsumartikelmarkt und wurde in den USA für Einfamilienhäuser im großen Stil vermarktet und verkauft. Für Bewohner der staatlichen Wohnhochhäuser in Hongkong waren diese Anlagen zu dieser Zeit allerdings noch immer ein Luxusgut und absolut nicht erschwinglich. Es sollte noch weitere zehn Jahre dauern, bis die Split-Klimaanlage auch in Hongkong für den Gebrauch in Wohnhochhäusern vermarktet werden konnte. Inzwischen ist die Verwendung einer Spilt-Klimaanlage für jede Wohnung eines Wohnhochhauses in subtropischen Gebieten Standard geworden.
Angesichts dieser weiten Verbreitung in Hongkong stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Nutzung der Klimaanlage auf die Entwicklung der hohen Wohnhochhaustypologien in Hongkong hatte und ob diese auch ohne Klimaanlage in ihrer typischen Art und Weise realisiert worden wären. Wenn man die Entwicklung der Wohnhochhaustypologien der Housing Authority ab den 1950er Jahren aufmerksam betrachtet, kann man den Einfluss der Klimaanlage deutlich erkennen. Und auch der Vergleich mit älteren traditionellen Wohnbautypologien im Zentrum von Hongkong aus der Kolonialzeit im 19. Jahrhundert bringt Erkenntnisse bezüglich dieser Fragestellung.

1.5.1 Kolonialzeit und Vorgaben zur Belüftung – 1900

Schon früh wurde versucht, die Lebensqualität in den Hongkonger Kolonialhäusern mit Bauvorgaben und Gebäuderichtlinien zu gewährleisten und zu verbessern. Ein früher Bericht von Chadwick[1] über die notwendigen Gebäudeaspekte für die Herbeiführung von guten hygienischen Bedingungen erschien erstmals 1882. 1903 gab das Gesundheits- und Bauordnungsamt eine Richtlinie heraus, welche die Vorschriften für die Gebäudetiefe und somit für die Raumgröße am rückseitigen Teil des Gebäudes festlegte. Hiermit sollten die natürliche Belüftung und bessere Belichtung der Räume von der Rückseite der Gebäude gewährleistet werden.

[1] Chadwick, O.: Mr Chadwick's report on the Sanitary Condition of Hong Kong: With Appendices and Plans, Colonial Office, London 1882.

1.5.1. Kolonialzeit 1900



03

03 I Grundriss Sai Ying Pun Haus mit Belüftungsstudie, Zustand 1955, Copyright: Ferdinand Oswald: Auf Grundlage von: Density Atlas Hendrik Tieben, Woo Pui Leng and Yuet Tsang Chi, " Urban Transformation of Sai Ying Pun," Department of Architecture, The Chinese University of Hong Kong, 2008

Ebenfalls wurde die Gebäudehöhe reguliert, welche nun höchstens die Breite der Straße oder auch nur die hälfte der Straßenbreite betragen durfte.[2] 1935 gab es eine weitere Entwicklung, als das Gesundheits- und Bauordnungsamt in weitere Verordnungsämter aufgeteilt wurde. Die erlaubte Gebäudetiefe wurde nun auf 10,7 Meter reduziert und die rückseitigen Patios sollten als nutzbare Räume zur Verfügung stehen. 1956 wurden Arkadengänge in der Straßenebene verboten, der Bebauungsplan in Hongkong wurde neu definiert. Der Rücksprung der Gebäudekante auf die Grundstücksfläche vergrößerte die Übersichtlichkeit des öffentlichen Raumes in der Straße; die schützende Überdachung für die Fußgänger fiel dieser Entwicklung zum Opfer.[3] Mit der Vergrößerung des Straßenraumes vergrößerte sich auch die Luftströmung und es konnte mehr Luft in die Fenster der Häuser hineinströmen. Die Abbildung „Arkadenhaus 1945 in Hongkong" zeigt ein Reihenhaus mit überkragender Arkade im Erdgeschoss.

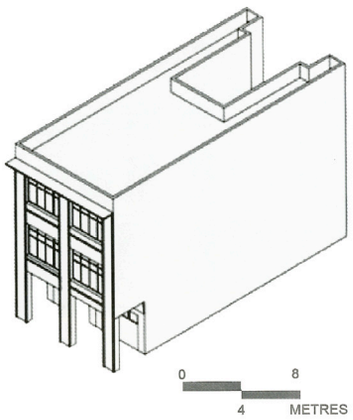
Ein weiteres Beispiel ist das private Reihenhausobjekt Sai Ying Pun in der High Street im Hongkonger Stadtteil Central von 1955.

Hier war aufgrund der Innenhöfe eine Querlüftung möglich.In jedem Raum war entweder diagonal oder gegenüberliegend eine Fensteröffnung angeordnet. Die Durchströmung mit Luft und die Nutzung derselben zu Verbesserung der Innenraum-Behaglichkeit waren hier also bereits gegeben. Mit Inkrafttreten dieser Bauverordnungen und der damit verbundenen Reduzierung der Grundfläche der Gebäude sowie der immer weiter wachsenden Bevölkerung wurde die Notwendigkeit, höher zu bauen immer größer. Allerdings hatte diese Gebäudetypologie lediglich eine Geschosshöhe von 3–4 Stockwerken inklusive Erdgeschoss. Eine intensive natürliche Belüftung ist bei höheren Gebäuden in den oberen Stockwerken noch wesentlich wirksamer. In den 1960er Jahren wurde die Typologie des Sai-Ying-Pun-Hauses in Form einer Geschäftshaustypologie mit zwei parallel nebeneinanderliegenden Gebäudeschenkeln (Two-Bay Typology) in neungeschossiger Bauweise regelrecht extrudiert. Die Arkade existiert hier nicht mehr, aber das Gebäude kragt stattdessen ab dem ersten Obergeschoss mit einem stützenlosen Gebäudekörper in den Straßenraum hinaus. Bezüglich der Bauverordnungen nutzte man jegliche Schlupflöcher, um möglichst viel Bruttogrundfläche zu erhalten. Im Beispiel des Geschäftshauses wurde eine Gebäudehöhe von neun Geschossen realisiert. Diese neun Geschosse waren die maximal

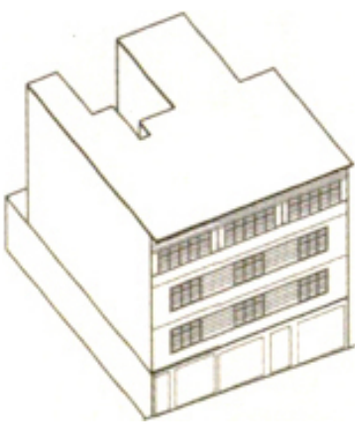
[2] Shelton, Barrie: The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Routledge London - New York 2010, S. 38.

[3] Vgl. Ebda., 38.

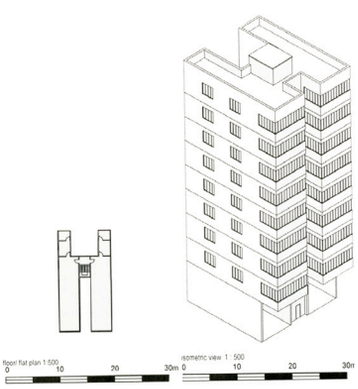
1.5.1. Kolonialzeit 1900



04



05



06

04 I Arkadenhaus 1945 in Hongkong, Quelle: The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Barrie Shelton, Routledge London New York 2010, 38

05 I Isometrie Sai Ying Pun Haus 1955, Quelle: Density Atlas Hendrik Tieben, Woo Pui Leng and Yuet Tsang Chi, „Urban Transformation of Sai Ying Pun", Department of Architecture, The Chinese University of Hong Kong, 2008.

06 I Grundriss und Isometrie Geschäftshaus 1960 , Quelle The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Barrie Shelton, Routledge London New York 2010, Seite 78)



07

07 I Zwei-schencklige extrudierte Hochhausform des Sai Ying Pun Hauses, fertiggestellt 1960 in Hongkong, Quelle: The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Barrie Shelton, Routledge London New York 2010, 78.

1.5.2 Erste HA Bauten 1950



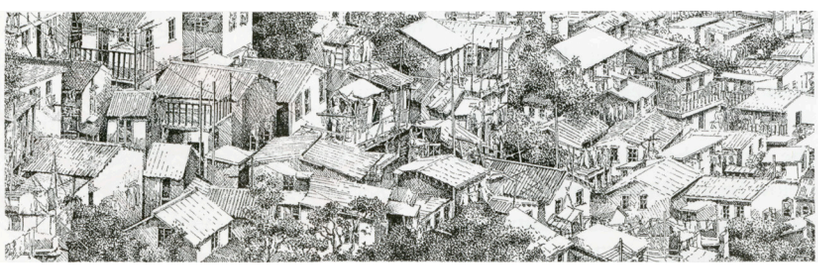
08

08 I Mark I, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

erlaubte Gebäudehöhe ohne das Vorhandensein von Fahrstühlen. Basierend auf der Verordnung von 1956 musste hier ebenfalls eine ausreichende Belichtung und Belüftung der Räume sichergestellt werden.[4] Diese kam der Innenraumbehaglichkeit zugute und die Möglichkeiten einer natürlichen Belüftung wurden durch die Gliederung in kleine Gebäudekörper möglich, wie im Grundriss und der Isometrie erkennbar ist. Das Gebäude lässt sich über die ca. 4 Meter breiten Querseiten querlüften, da es zwei Innenhöfe gibt und die seitlichen Außenfassaden frei stehen. Zudem ermöglichte die höhere Geschossanzahl eine bessere Belüftung, da die Windgeschwindigkeiten bei größerer Höhe ansteigen.

1.5.2 Erste HKHA-Wohnbauten – 1950

Die Housing Authority in Hongkong begann schon in den 1950er Jahren, erste Wohnhäuser nach eigen Typologien zu bauen. Nachdem ein Großbrand die alten Barackensiedlungen der Immigranten außerhalb des Zentrums in Shek Kip Mei zerstört hatte, waren am Weihnachtsabend 1953 auf einen Schlag 53.000 Personen obdachlos. Das Bedürfnis nach einer schnellen Herstellung von Wohnraum war entsprechend groß. Die ersten Gebäude der Shek-Kip-Mei-Anlage wurden schon im nächsten Jahr (1954) unter Leitung und Planung der HKHA fertiggestellt.
Diese Wohntypologie, *MARK I*, sah 7 Stockwerke (inklusive Erdgeschoss) vor und keinen Lift. Die Häuser bestanden aus zwei länglichen Gebäudeschenkeln, die an den beiden Stirnseiten und in der Mitte mit einem Trakt verbunden waren. An den Stirnseiten befanden sich die Treppenhäuser und im mittleren Trakt die Gemeinschaftsräume mit Duschen und Toiletten. Jedes Geschoss war in 68 Wohneinheiten (WE) untergliedert. Es gab pro Haus 476 WE und je nach Wohnbelegung wohnten in einem *MARK I*-Gebäude 2.000–



09

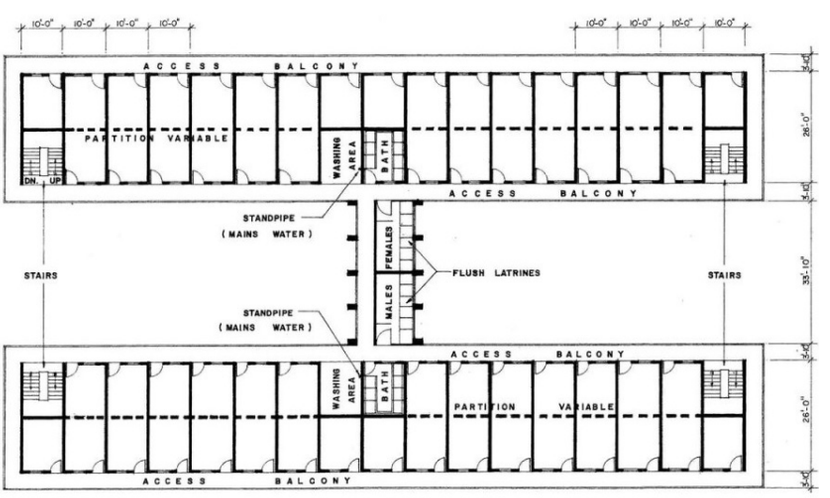
09 I Flüchtlingsbarracken in Hongkong, Quelle: The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Barrie Shelton, Routledge London New York 2010, Seite 73

[4] Vgl. Ebda., 77, New Regulations.

1.5.2 Erste HA Bauten 1950



10



TYPICAL FLOOR PLAN

11

10 I Straßenraum Mark I, Quelle: The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Barrie Shelton, Routledge London New York 2010, Seite 74

11 I Regelgrundriss Mark I, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.2 Erste HA Bauten 1950

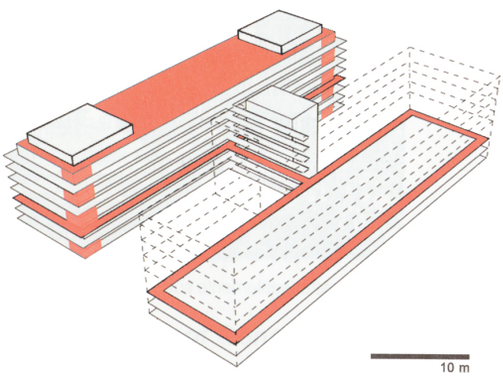
7.000 Personen. Eine Wohneinheit bestand lediglich aus einem Raum mit 36 Quadratmetern Größe; etwa 5 bis 15 Personen teilten sich zu dieser Zeit eine Wohneinheit – geschlafen wurde in zwei- oder dreistöckigen Hochbetten. Teilweise wurden von den Bewohnern in die Räume provisorische Trennwände eingezogen, um Privatsphäre und eine bessere Intimität für die Bewohner untereinander zur erreichen. Die Wohnung war nur zu einer Seite mit Eingang und Fenster geöffnet – eine natürliche Belüftung war deswegen unmöglich. Wie im Grundriss erkennbar ist, waren die inneren Trennwände flexibel und es konnten durch Herausnehmen der inneren Trennwand auch zwei gegenüberliegende Wohneinheiten zu einer mit doppelter Größe zusammengefasst werden. Dann war eine Querlüftung möglich – allerdings nur bei einer offenen Raumkonfiguration, das heißt ohne das Einstellen von zusätzlichen Trennwänden. Die umgehenden Erschließungsbereiche waren offene und natürlich belüftete Korridore, weshalb für diese Typologie auch die Bezeichnung Korridor-Typologie (*Corridor blocks*) geläufig ist.
Da die Korridore verschattet waren, eigneten sie sich als gemeinschaftliche Aufenthaltsfläche und Kochbereich. Sie wurden zusätzlich mit Markisen verschattet und hier wurde auch Wäsche zum trocknen aufgehängt. Die feuchte Wäsche eignete sich gut, um Schatten zu spenden und die Verdunstungskühle der feuchten Wäsche zur Verbesserung der Behaglichkeit zu nutzen. Da die



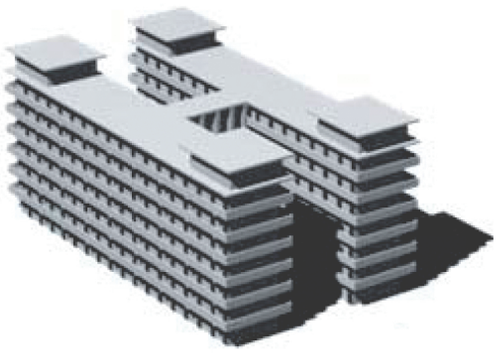
12

12 I Fassadenansicht Mark I, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

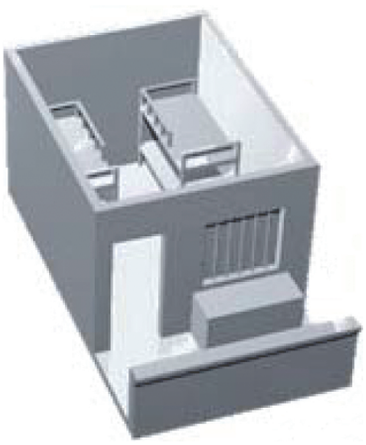
1.5.2 Erste HA Bauten 1950



13



14



15

13 I Schema Gebäudeerschließung Mark I, Hong Kong Housing Authority 1956, Quelle: The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Barrie Shelton, Routledge London New York 2010, Seite 74

14 I Gebäude Mark I, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

15 I Wohneinheit Mark I, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

hohen Temperaturen innerhalb der Wohneinheiten teilweise ohne Querlüftung schwer zu ertragen waren, schliefen viele Bewohner im Hochsommer auf provisorischen (zusammenrollbaren) Betten in den Korridoren außerhalb der Wohnungen. Das Leben spielte sich hauptsächlich auf den Korridoren und der Straße ab. Alle *MARK I*-Gebäude wurden inzwischen abgerissen und durch neue Wohnanlagen ersetzt.

1.5.3 Die Slab-Block-Wohnhochhaustypologien – 1960

In den 1960er Jahren wurden mit den *Slab-Blocks* scheibenförmige Typologien entwickelt. Zwar ist die wörtliche Übersetzung für *Slab* ins Deutsche „Platte", doch ist der Begriff nicht mit „Plattenbau"[5] zu übersetzen, denn *Slab* bezieht sich in Hongkong nicht auf das Bauverfahren in Großtafelbauweise, sondern auf die scheibenförmige Gebäudeform.

Das Choi Hung Estate wurde von den freien Architekten Palmer & Turner geplant und 1964 fertiggestellt. Ursprünglich hatten P&T lediglich den Masterplan für das Areal erstellt, sie wurden dann aber von der Housing Authority eingeladen, auch die Wohnanlagen zu realisieren. Die Anlage beinhaltete acht scheibenförmige Wohnhochhäuser mit 20 Geschossen und sieben niedrigere Wohngebäude mit sieben Geschossen. Zum ersten Mal wurde in Hongkong eine extrem hohe Gebäudebewohnerdichte[6] von 1,9 Personen pro Quadratmeter umgesetzt. Deshalb wurde das Projekt auch als Ultra-High Density Housing bezeichnet. 1965 wurde dieses Projekt hierfür beim HKIA[7] Annual Award mit der Silbermedaille ausgezeichnet. Edward Ng lobt in seiner Schrift das Projekt für seine Effizienz der Landausnutzung und die ökonomische Gebäudekonstruktion. Es handelte sich um die Realisierung eines hochdichten Wohnprojektes, das die Qualitätsansprüche der HKHA und der Bewohner erfüllte. Dennoch hatte die HKHA in dieser Zeit damit zu

[5] Plattenbauten sind vorwiegend aus Betonfertigteilen hergestellte Gebäude, das heißt sowohl Deckenplatten als auch Wandscheiben werden als fertige Elemente auf der Baustelle montiert. Die Plattenbauweise – auch Großtafelbauweise genannt – beschreibt ein weit verbreitetes Bauverfahren. In der Umgangssprache wird der Begriff „Plattenbau" häufig auf einheitlich gestaltete Wohnplattenbauten in Großwohnsiedlungen verengt. Quelle: Hannemann, Christine: Die Platte. Industrialisierter Wohnungsbau in der DDR, Scheky & Jeep, Berlin 2000.

[6] Gebäudebewohnerdichte (GBD) nach ÖNORM 1801-3 1999, Kennzahl-Typ; für eine genauere Erläuterung siehe im Kapitel 3.2. „Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten" das Unterkapitel 3.2.2.5.2 „Gebäudebewohnerdichte (GBD)".

[7] HKIA = Hong Kong Institute of Architects.

1.5.3 Slab- Block 1960



16

16 | Choi Hung Estate (Im Bild Hinten Mitte) Hong Kong Housing Authority 1964, Quelle: Fotograph Chuiben Chen, http://www.flickr.com/photos/shuibien_chen/5019829900/sizes/o/in/photostream/

1.5.3 Slab- Block 1960

kämpfen, eine Balance zwischen Qualität und Quantität zu leisten. Materialressourcen waren immer noch knapp und die Forderung der Bevölkerung nach Wohnraum mit niedrigen Mieten war zugleich noch immer sehr verbreitet.[8] Danach verkündete die Regierung ein Programm zum Bau von weiterem preiswertem Wohnraum im großen Stil, das sogenannte „Low Cost Housing Programme". Hiermit sollten der Bevölkerung von Hongkong nun 62.380 neue Wohneinheiten zur Verfügung gestellt werden.[9] Vorher wurde der Versuch unternommen die alten *MARK I-II* Häuser zu sanieren. Dies erwies sich aber als nicht effizient. Deshalb wurden die *MARK I&II*-Typologien unter dem Einfluss der Choi-Hung-Wohnanlage zu den *MARK III&IV*-Typologien weiterentwickelt. Eine wesentliche Unterscheidung der neuen von den alten Typologien war die Verlegung des Erschießungsgangs in die Mitte des Gebäudes.

Zur Gebäudeaußenseite hin wurde stattdessen jeder Wohneinheit ein eigener privater Balkon zugeordnet, auf dem sich auch die Kochstelle befand. Ein eigener Balkon stellte eine erhebliche Verbesserung der Wohnqualität dar. Die *MARK III&IV*-Typologien hatten 16 Stockwerke. Hier wurden auch die ersten Fahrstühle in HKHA-Wohnbauten realisiert, die allerdings nur das 8. und 16. Geschoss bedienen konnten. Durch die größere Höhe dieser Hochhäuser gab es auch eine bessere Luftströmung. Diese war nach wie vor aber nur über eine einseitige Belüftung über die Balkone möglich. Eine natürliche Belüftung war damit auch hier kaum möglich, da für eine Querlüftung die Distanz zu den Treppenhäusern zu weit war.



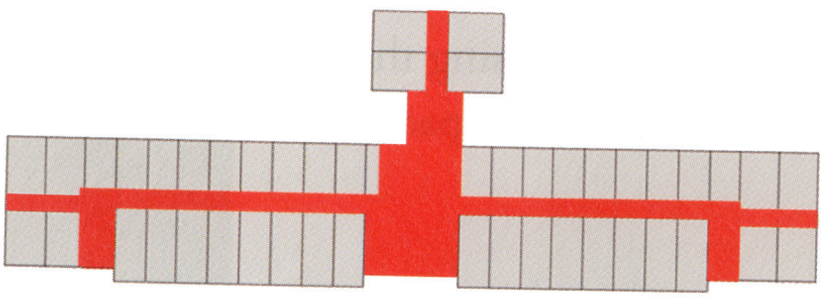
17

17 I Choi Hung Estate, Hong Kong Housing Authority 1964, Quelle: Quelle: Hong Kong Housing Authority

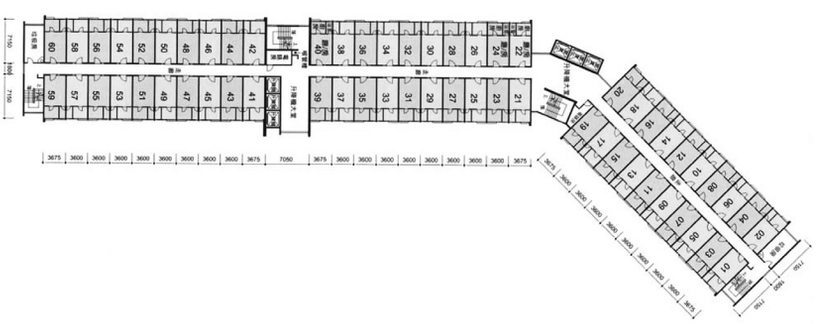
[8] Vgl. Ng, Edward / Wong, Kam-Sing: Efficiency & Livability: Towards Sustainable Habitation in Hong Kong. Paper on the Hong Kong Housing Authority Conference 2003, Department of Architecture / Chinese University of Hong Kong, S. 4, 5, 11, Online unter: http://www.housingauthority.gov.hk/hdw/ihc/pdf/ paperv1.pdf

[9] Ho, Celia / Sze, Sin: REinterpretation of Hong Kong Housing Typologies. Typology/the systematic classification of the type of something according to their common characteristics, Studio RE 2009, Hong Kong Publication on ISSUU, 2014

1.5.3 Slab- Block 1960



18



19



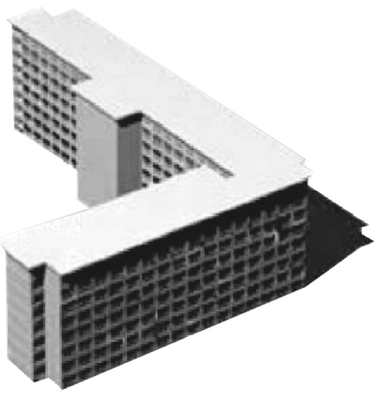
20

18 I Erschließung der Mark IV-Typologie, Quelle: The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Barrie Shelton, Routledge London New York 2010, 115

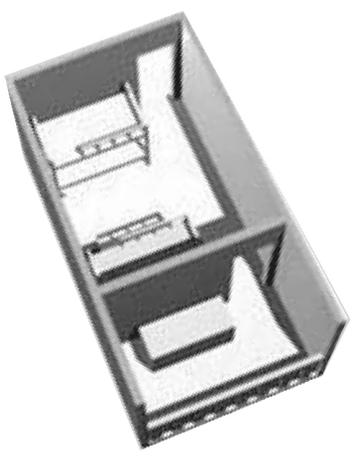
19 I Grundriss Mark III, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

20 I Innenansicht Erschließungszonen Mark III mit poröser Außenwandstruktur, Quelle: Hong Kong Housing Authority

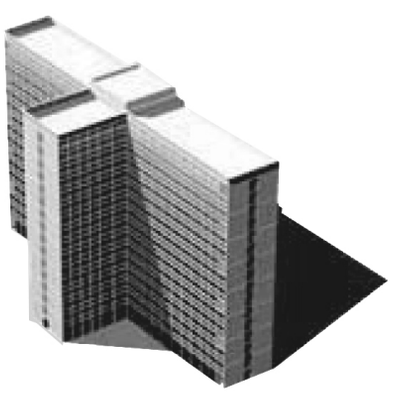
1.5.3 Slab- Block 1960



21



22



23

21 I Isometrie Mark III, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

22 I Isometrie Wohneinheit Mark III, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

23 I Isometrie Mark IV, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.3 Slab- Block 1960



24



25

24 I Mark III, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

25 I Mark IV, Hong Kong Housing Authority 1956 , Quelle: Hong Kong Housing Authority

An denjenigen Stellen, an denen der Erschließungsbereich an die Außenseite der Fassade anschließt, sind diese Seiten über die gesamte Geschosshöhe mit luft- und lichtdurchlässigen Modulformsteinen ausgemauert. Diese poröse Wand bot mit ihrer einheitlichen Erscheinung ein angenehmes Raumgefühl in den Erschließungszonen und sorgte gleichzeitig für eine gleichmäßige Ausleuchtung und für eine ausreichende Verschattung.1965 lebten bereits eine Millionen Einwohner in diesen staatlichen Wohnunterkünften.[10]

1.5.4 Die punktförmigen Wohnhochhaustypologien – 1970

In den 1970er Jahren wurden die ersten punktförmigen Wohnhochhaustypologien realisiert – die *Point-Blocks*. Sie konnten mit ihrer größeren Anzahl von Stockwerken auf wesentlich weniger Grundfläche mehr Wohneinheiten unterbringen als die *MARK* III- und die *Mark IV*-Häuser und die *Slab-Block*-Typologien und wurden in größerem Abstand zueinander aufgestellt. 2003 schrieb Prof. Edward Ng über diese Entwicklung: „In the 1970–80s, such a density shift for the new housing development in the new towns was intended to foster an attractive living environment with more landscaped space around each residential block – an environmental quality that could hardly be achieved in any urban sites with very high densities. In these new town housing estates, the notion may be close to the Corbusian dream of‚creating a city of towers set in a communal parkland'".[11]

Le Corbusier beschrieb in seinem Buch *Vers Une Architecture (Ausblick auf eine Architektur)* diese Idee folgendermaßen:„These towers, rising up at great distances from one another, will give because of their height the same accommodation that has up till now been spread out over the superficial area; they will leave enormous open spaces in which would run, well away from them, the noisy arterial roads, full of traffic which becomes increasingly rapid. At the foot of the towers would stretch the parks; trees covering the whole town. The setting out of the towers would form imposing avenues; there indeed is an architecture worthy of our time."[12] Diese Idee des großzügigen öffentlichen Freiraumes mit par-

[10] Office Census and Statistics Department: 2006 Population By-census, Hong Kong 2007.

[11] Quelle: Ng, Edward / Wong, Kam-Sing: Efficiency & Livability: Towards Sustainable Habitation in Hong Kong. Paper on the Hong Kong Housing Authority Conference 2003, Department of Architecture / Chinese University of Hong Kong, S. 4, 5, 11, Online unter: http://www.housingauthority.gov.hk/hdw/ihc/pdf/ paperv1.pdf

[12] Le Corbusier: Towards a New Architecture, (auf Deutsch publiziert mit dem Titel „Ausblick auf eine Architektur"), o. O.1927.

1.5.4 Point blocks 1970



26

26 I Twin Tower, Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.4 Point blocks 1970

kähnlicher Qualität wird bis heute von der HKHA weiterverfolgt und umgesetzt. 1972 proklamierte die Regierung in Hongkong einen 10-Jahres-Plan, der die langfristige Bereitstellung von Wohneinheiten für 1,8 Millionen Bewohner vorsah.[13] Zu dieser Zeit entwickelte man erste Wohnstädte außerhalb des Zentrums von Hongkong. Das Programm wurde später auf 15 Jahre ausgeweitet.

Die hierfür entwickelte punktförmige Wohnhochhaustypologie *Twin Tower* war ebenfalls noch höher als die *MARK III&IV*-Häuser und hatte 20–23 Stockwerke. Personenaufzüge, die in jedem Stockwerk Halt machten, sorgten für eine gute Erreichbarkeit der einzelnen Wohneinheiten. In jedem Turm gibt es hier 17, im Ganzen also 34 Wohneinheiten pro Geschoss. Insgesamt verfügt eine *Twin Tower*-Bebauung von 680 bis 782 Wohneinheiten. Der Erschließungskern befindet sich in der Schnittstelle der zwei quadratischen Grundrisstürme. Diese *Double Tube*-Typologien (Doppelrohr-Typologien) haben einen doppelten quadratischen Grundriss mit zwei ebenfalls quadratischen Innenhöfen, was eine Querlüftung der Wohneinheiten ermöglicht. Die offenen Erschließungsgänge liegen innerhalb der Patios. Luft kann vom offeneren Erdgeschoss hineinventilieren und durch den Auftrieb entsteht eine Luftbewegung nach oben zu den oberen Wohneinheiten. Durch Öffnung der Wohnungstüren kann die Luft durch die Wohneinheiten zum an der Außenfassade gelegenen Balkon durchströmen. 1973 wurden bereits die ersten *MARK I*-Typologien abgerissen und die Bewohner in die neuen *Twin Tower*-Anlagen umgesiedelt.[14]

Mitte der 1970er Jahre wurde die *H-Block*-Typologie entwickelt und auch gebaut. Es gibt sie auch in der doppelten *H-Block*-Typologie, wie hier als Grundriss abgebildet. Letztere ist der *Twin Tower*-Typologie sehr ähnlich: Es gibt auch hier die gespiegelten Wohneinheiten, in denen die Bäder und Toiletten zueinander hin orientiert sind und für jede Wohneinheit ein privater Balkon zur Verfügung steht. Und auch hier kann in einigen Wohnungen natürlich quergelüftet werden, was hier durch den offenen Freiraum zwischen den H-Schenkeln ermöglicht wird und nicht wie beim *Twin Tower* durch einen eingeschlossenen Patio. Die Wohnungs-Eingangstür musste hierfür allerdings geöffnet werden – eine zusätzliche Gittertür, die für Belüftung und gleichzeitig für Intimität sorgte, wurde erst später hierfür entwickelt und angebracht.

[13] Quelle: Hong Kong Housing Authority: Housing in Figures, Hong Kong 2008.

[14] Vgl. Ho, Celia / Sze, Sin: REinterpretation of Hong Kong Housing Typologies. Typology/the systematic classification of the type of something according to their common characteristics, Studio RE 2009, Hong Kong Publication on ISSUU, 2014

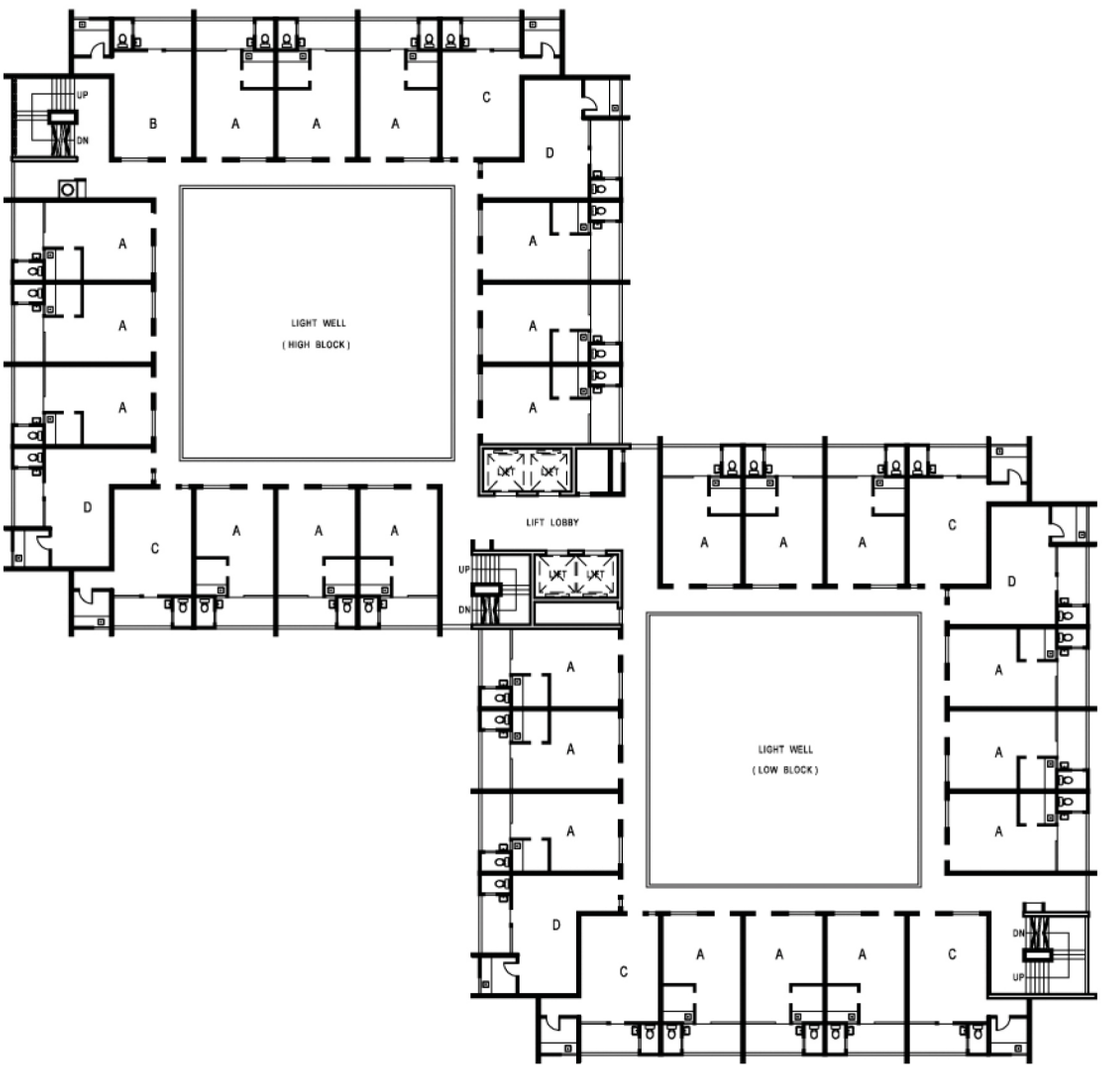
1.5.4 Point blocks 1970



27

27 I Twin Tower, Quelle: alle Hong Kong Housing Authority

1.5.4 Point blocks 1970



28

28 I Grundriss, Twin Tower, Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.4 Point blocks 1970



29



30



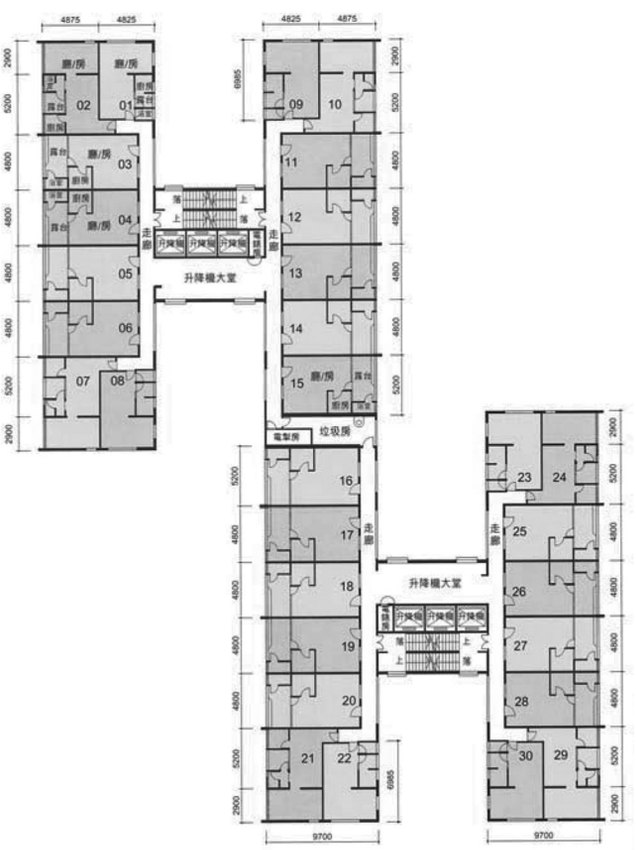
31

29 l Innenhof, Twin Tower, Quelle: Hong Kong Housing Authority

30 l Isometrie Wohneinheit, Twin Tower, Quelle: Hong Kong Housing Authority

31 l Isometrie , Twin Tower, Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.4 Point blocks 1970



32

32 I Grundriss der Double H-Block-Typologie, Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.5 Kühlaggregat 1980



33

33 | Split - Klimaanlagen an der Fassade, Wohnhochhaus Kowloon Hongkong, Foto: Ferdinand Oswald, 2011

1.5.5 Das Kühlaggregat in Hongkong – 1980

In den 1980er Jahren wurden Kühlaggregate in Form von Split-Klimaanlagen verstärkt günstig auf dem Markt angeboten. Diese dezentralen Anlagen waren nun auch für Hongkonger Bevölkerungsschichten mit geringem Einkommen erschwinglich. Die HKHA reagierte darauf mit sehr flächeneffizienten Typologien wie *TRIDENT* und *NEW CRUCIFORM*, die eine natürliche Belüftung nicht mehr vorsahen. Im Gegenteil beinhalteten die vorfabrizierten Betonfassaden kleine Plattformen oberhalb der Fenster, um eine dortige Positionierung und Installation der Split-Klimaanlage zu gewährleisten. Diese Plattform wurde am oberen Teil der Fassadeneinheit befestigt, damit die herausströmende heiße Luft nicht wieder in die Fensteröffnung der eigenen Wohneinheit hineinströmte. Derjenige Teil der Split-Anlage, der zur Erzeugung der Kälte dient, wurde an die Außenseite der Fassade montiert. Dort wurde mit Hilfe von Verdunstungskühlung die Kühlflüssigkeit abgekühlt und sodann nach innen zum zweiten Teilstück der Klimaanlage transportiert. Dieses hing im Innern der Wohnräume und kühlte die Luft, woraufhin die dadurch erwärmte Kühlflüssigkeit wieder zurück zum außen liegenden Element lief, wo sie komprimiert wurde und Wärme an die Umluft abgab. Eine Klimaanlage war nun für jeden Bewohner dringend erforderlich, weil ansonsten die heiße Luft der benachbarten Kühlaggregate in die eigene Wohnung hereinströmte und die sowieso schon hohe Lufttemperatur noch weiter erhöhte. 1981 lebten bereits 2 Millionen Einwohner in den staatlichen Wohnhochhäusern der Hong Kong Housing Authority.[15] Fast jeder dieser Haushalte hatte eine eigene Split-Klimaanlage – dementsprechend viele Split-Klimaanlagen wurden zu diesem Zeitpunkt in Hongkong betrieben.

Die Typologien *TRIDENT* und *NEW CRUCIFORM* werden wegen ihrer sternenförmigen Grundrisse auch als *Star Shape Tower* bezeichnet. Zu dieser *Star Shape*-Typologie gehören alle Kreuz- oder Y-förmigen Wohnhochhäuser mit 30–40 Geschossen. Somit sind sie in die Familie der Ultrawohnhochhäuser (UWHH) einzuordnen, denn als solche werden Wohnhäuser ab einer Gebäudehöhe von 100 Metern definiert. Beim *TRIDENT* sind die drei Gebäudeschenkel identisch. Es hat pro Schenkel 8 Wohneinheiten, also pro Geschoss 24 WE – insgesamt also pro Turm zwischen 720 und 960 WE. Ein solches Haus ist vor allem durch seine größere Gebäudehöhe dichter besiedelt als ein Gebäude der *Twin Tower*-Typologie, weil es auf einer kleineren Grundfläche mehr WE unterbringen kann.

[15] Ebda.

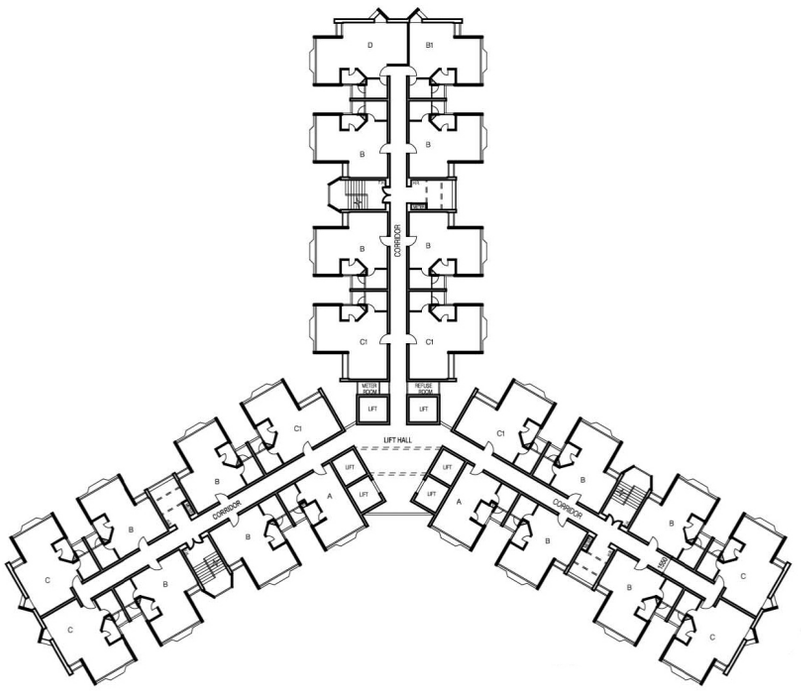
1.5.5 Kühlaggregat 1980



34

34 I Trident , Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.5 Kühlaggregat 1980



35



36

35 I Grundriss, Trident , Quelle: Hong Kong Housing Authority

36 I Isometrie, Trident , Quelle: Hong Kong Housing Authority

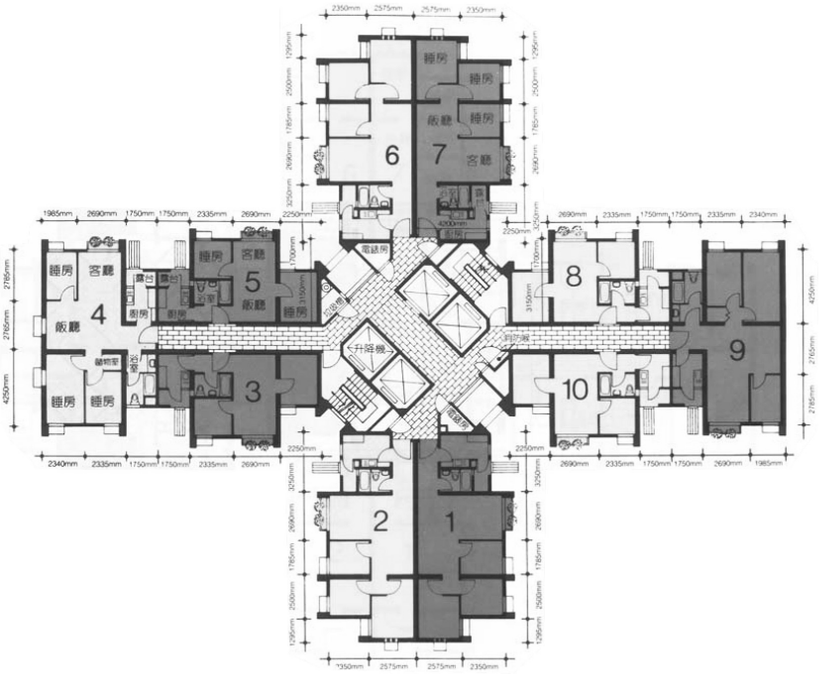
1.5.5 Kühlaggregat 1980



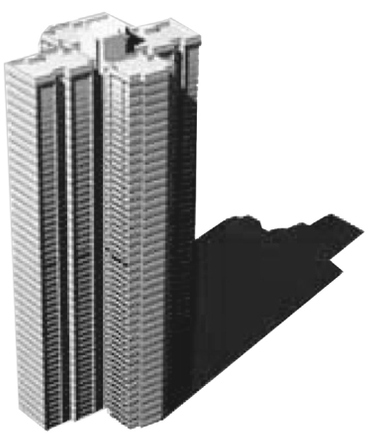
37

37 | New Cruciform, Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.5 Kühlaggregat 1980



38



39

38 | Grundriss, New Cruciform, Quelle: Hong Kong Housing Authority

39 | Isometrie, New Cruciform, Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.5 Kühlaggregat 1980

Bei diesen neuen Ultrawohnhochhäusern wurden die Sanitäranlagen vom Balkon bzw. der Loggia in den Kern des Gebäudes versetzt. Damit sie noch ausreichend natürlich belüftet werden konnten, wurden an dieser Stelle Ausschnitte vorgenommen: Die Fassade springt an dieser Stelle zurück und das Badfenster öffnet sich nach außen und kann belüftet werden. Eine solche Faltung der Fassade bewirkt einerseits eine Verschattung und Belüftung der Badöffnungen, gleichfalls vergrößern sich aber auch der Umfang des Gebäudes und die Fläche der Fassade enorm.[16] Die Gebäudeformen erinnern an die von Le Corbusier entworfene, aber nie gebaute Wohnhochhaustypologie, die im Kapitel 3.4.1 „Natürliche Belüftung" im Unterkapitel 3.4.1.2 „A/V-Verhältnis und Gebäudeform" später noch genauer beschrieben wird. Hier wirkt die Gesamterscheinung der *Ville Radieuse*-Wohnhochhaustypologie wie ein überdimensionales Kühlregister, indem die Luft hindurchzirkuliert und die einzelnen Wohneinheiten wie Kühlrippen abgekühlt werden. Gleichzeitig steigt aber auch die Angriffsfläche für solare Energiegewinne. Der Frage nach der Wirksamkeit dieser Gebäudeform wird später im Kapitel 5.1 „Vergleich der vier Fallstudien nach Kennwerten" im Unterkapitel 5.1.7 „Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis" noch nachgegangen werden.



40

40 I Sui Wu Court , Quelle: Hong Kong Housing Authority

[16] Eine genauere Analyse der Vor- und Nachteile dieser Fassadenfaltung wird in Kapitel 5.1 „Vergleich der vier Fallstudien nach Kennwerten" im Unterkapitel 5.1.7 „Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis" vorgenommen.

1.5.5 Kühlaggregat 1980

Eine herausragende Ausnahmetypologie stellt der *Sui Wo Court* dar.
Die HKHA beauftragte hier wieder die Architekten Palmer & Turner (P&T Group), eine Wohnhochhaustypologie zu planen. Diese gehörten zu einer neuen Generation von Architekten, die weder im westlichen Ausland noch in China studiert, sondern ihre Ausbildung ausschließlich in Hongkong absolviert hatten.
Eine Besonderheit dieser Typologie ist die Kombination aus *Slab-Block* (Scheibentypologie) mit Korridoren und der *Star Shape*-Typologie. Durch die offenen, einseitig angegliederten Laubengänge erscheint der Grundriss in windmühlenartiger Anordnung („pinwheel" floor plan). Eine weitere Besonderheit sind die Split-Levels: Treppen in den öffentlichen Bereichen verbinden die Wohnungen mit den jeweiligen Aufzug-Lobbys aller drei Geschosse.
Prinzipiell hat eine *Slab-Block*-Typologie mit außenliegenden Korridoren den Vorteil einer sehr guten Querlüftungs-Möglichkeit und verbesserten sozialen Interaktionsmöglichkeiten der Bewohner. Sehr viele Wohneinheiten können in einem einzigen Geschoss untergebracht werden, man benötigt hierfür aber auch viel Grundfläche. Ein solches Gebäude hat den Nachteil einer



41

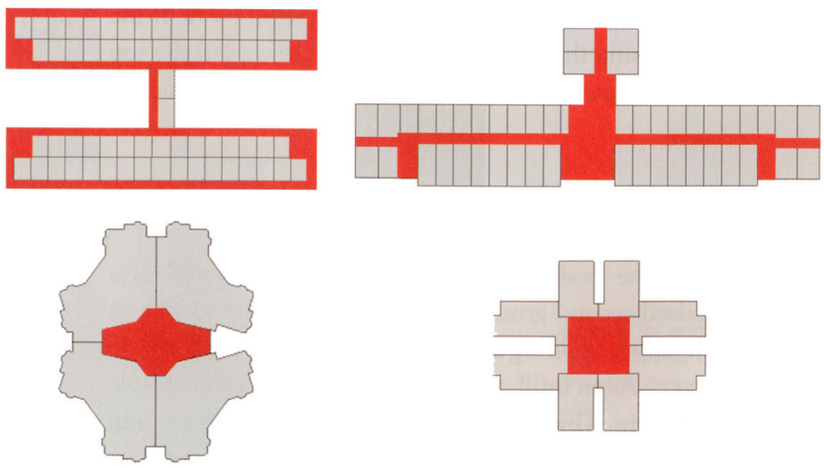
41 I Grundriss, Sui Wu Court , Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.5 Kühlaggregat 1980



42

42 I Sui Wu Court, Quelle: Hong Kong Housing Authority, 2013



43

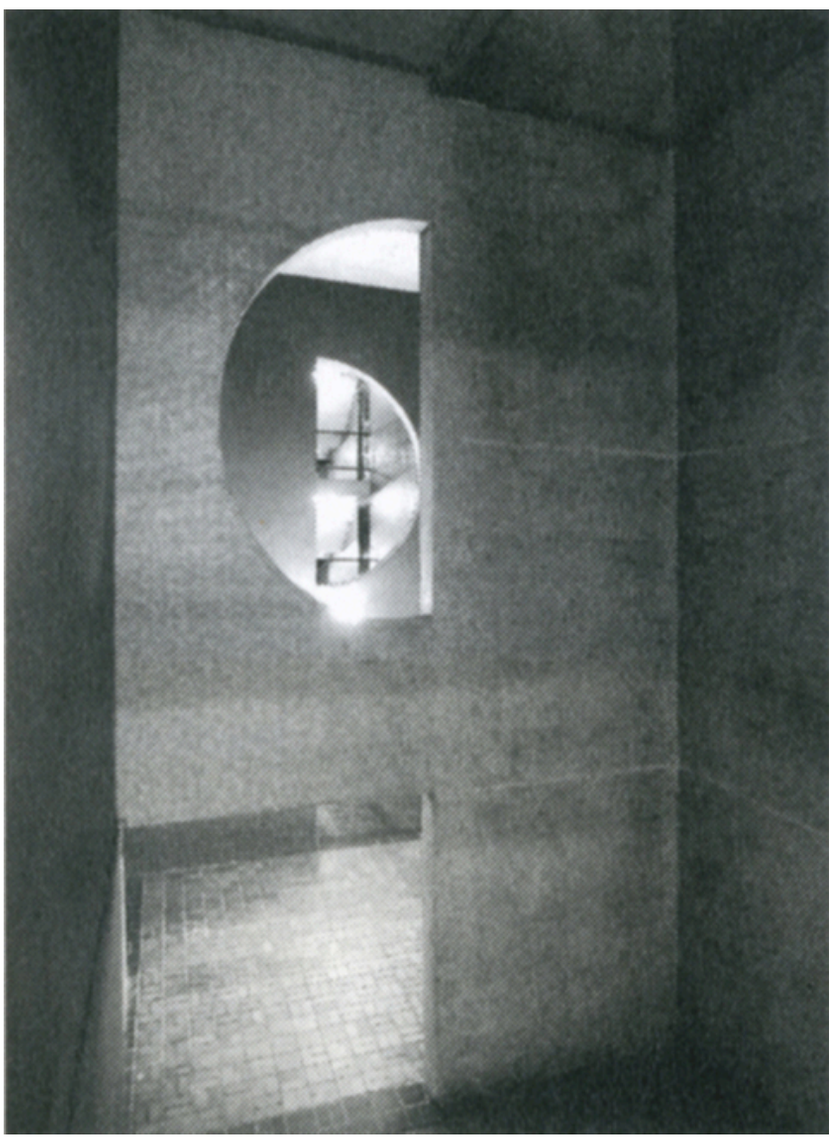
schlechteren Einsehbarkeit der Lobby-Zone, was hinsichtlich Kriminalität ein Problem werden kann. Des Weiteren schlug die Idee fehl, den Bewohnern die Verantwortung für die gemeinschaftlich genutzten Lobbyzonen zu übertragen und sie dazu zu bringen, diese pfleglich zu behandeln.

Die Architekten Palmer und Turner beschrieben ihr Projekt folgendermaßen: Ein Vorteil der kreuzförmigen *Star Shape*-Typologie ist die zentrale und sichere Übersichtlichkeit der Lobby im Erdgeschoss. Die im Kern untergebrachten Erschließungsgänge ermöglichen aber keine natürliche Belüftung. Sie sind umgeben von Wänden und haben keinen Kontakt zum Außenraum; so bieten sie auch nicht die Möglichkeit eines Ausblicks nach draußen. Ein weiterer Nachteil ist die geringe Nutzungsqualität der Erschließungszonen und Treppen für die Bewohner. Damit werden diese Zonen unsicherer und die Kriminalität könnte sich erhöhen. Die älteren *Star Shape*-Typologien haben nur 8–10 Wohneinheiten auf einem Geschoss.

Bei der *Sui Wo*-Bebauung wurden die jeweiligen Vorteile der beiden Typologien miteinander verknüpft. 12 Wohneinheiten pro Geschoss wurden in Gruppen von drei Einheiten an jeweils eine eigene Treppe angebunden und eine über drei Geschosse offene Lobby verbindet 36 Wohneinheiten miteinander. In der Lobby und zu den Wohnungen gibt es eine gute Querlüftung. Die Treppen sind mit der Lobby räumlich verbunden; nicht einsehbare Räume werden

43 I Schema der Erschließung Slab- und Tower-Typologie, Quelle: The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Barrie Shelton, Routledge London New York 2010, 115.

1.5.5 Kühlaggregat 1980



44

44 I Lobby Sui Wo Anlage Hongkong, An architectural research on Hong Kong building types, Manuel Christ und Christoph Gantenbein, gta publishers, ETH Zürich 2012; Seite 133)

vermieden. Die offen gestaltete Lobby und Erschließung lädt zu Indoor-Sportarten wie Tischtennis oder ähnlichem ein.[17]
Das 1981 fertiggestellte Hochhausensemble befindet sich auf einer Bergkuppe in Shatin und wurde in nur einer Anlage mit neun Wohnhochhäusern realisiert. Es ist schade, dass diese hervorragende Typologie in Hongkong nicht Schule machte und nur ein einziges Mal gebaut wurde. Ein Grund hierfür könnte das wenige Jahre später erfolgte Scheitern des Modells für Eigentumswohnungen (HOS = Housing Ownerschip Scheme) von der HKHA sein. Trotzdem könnte diese Typologie auch für ein Mietwohnungsmodell funktionieren. Als wesentlichen Grund hierfür sieht Prof. Edward Ng die Einführung der gesetzlichen Verordnung für die barrierefreie Erreichbarkeit aller Wohnungen Mitte der 1980er Jahre: Damit sei das Entwurfskonzept der Lobby zur essentiellen Problematik dieser Typologie geworden, da jeweils zwei von drei Geschossen über die Lift-Lobby nicht direkt zu erreichen sind, sondern über Treppen erschlossen werden und somit nicht barrierefrei sind.[18]

1.5.6 Standort-unspezifisch – 1990

Die in den 1990er Jahren entwickelten *CONCORDE*- und *HARMONY 01*-Wohnhochhäuser verfolgten das gleiche Prinzip wie die *TRIDENT* und *NEW CRUCIFORM*, das eine Konditionierung des Innenraums durch natürliche Belüftung nicht vorsah und stattdessen ein dichteres Gebäudevolumen mit weniger Grundfläche anstrebte. Diese Häuser unterscheiden sich im Wesentlichen dadurch, dass sie statt 8–10 Wohneinheiten bis zu 16 Wohneinheiten auf einem Geschoss unterbringen können. Die Infrastruktur mitsamt den für die A/C zur Verfügung gestellten Plattformen ist in der Planung und Ausführung der Gebäude ebenfalls wieder vorhanden.
Im Jahr 2013 wurde vom Institut für Architekturtechnologie der TU Graz eine Studie zur Simulation der Querlüftung innerhalb der Wohnungen in der *HARMONY 01*-Typologie durchgeführt. Ein dreidimensionales digitales Modell wurde auf die Möglichkeiten der Querlüftung geprüft. In den Abbildungen der Simulationsergebnisse und dem dargestellten Belüftungsschema lässt sich gut erkennen, dass die Luft zwar einseitig in den Wohnraum hineindringen kann, dass es sich hierbei allerdings für die Luftströmung um eine Art

[17] Vgl. *Sui Wo Court*, 1981, P&T Architects & Engineers HK.

[18] Vgl. Ng, Edward / Wong, Kam-Sing: Efficiency & Livability: Towards Sustainable Habitation in Hong Kong. Paper on the Hong Kong Housing Authority Conference 2003, Department of Architecture / Chinese University of Hong Kong, S. 4, 5, 11, Online unter: http://www.housingauthority.gov.hk/hdw/ihc/pdf/ paperv1.pdf

1.5.6 Standort Unspezifisch 1990



45

45 I Harmony, Typologie in Hongkong, Quelle: Hong Kong Housing Authority,2013

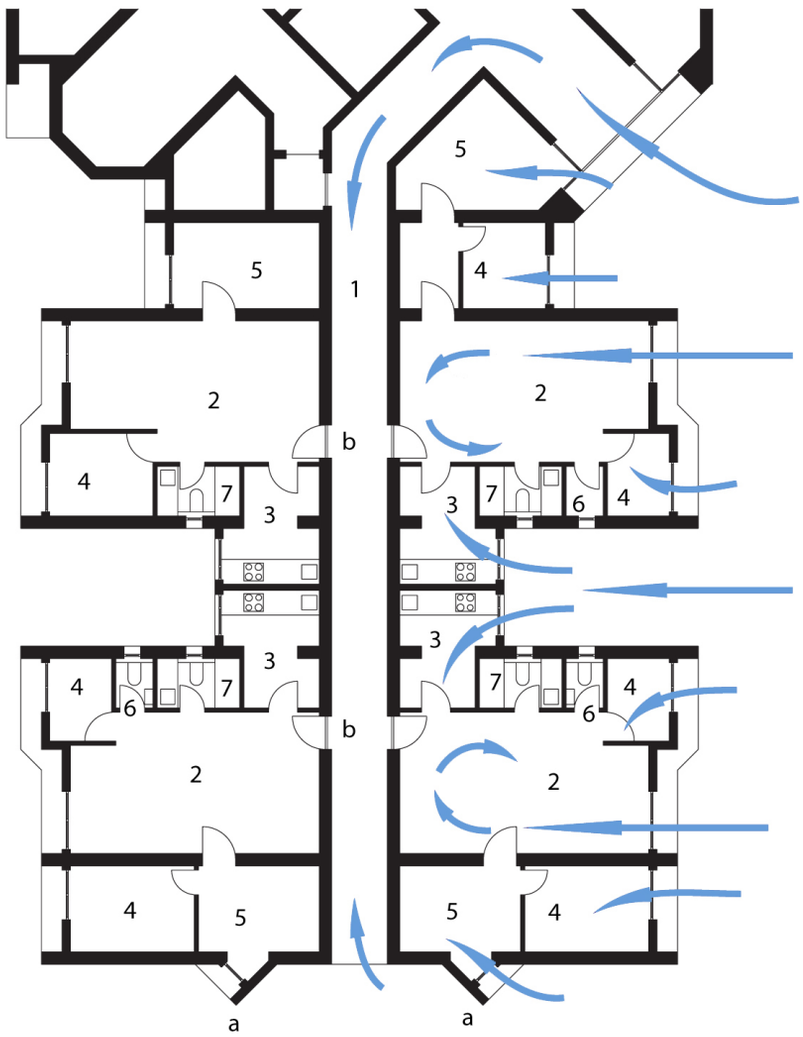
1.5.6 Standort Unspezifisch 1990

Sackgasse handelt. Zum Fließen benötigt die Windströmung eine Ein- und Ausflussmöglichkeit. Und auch die Voraussetzungen für das Funktionieren des Prinzips der einseitigen Belüftung sind hier nicht gegeben, da hierfür Öffnungen im oberen und unteren Bereich in diagonal versetzten Abständen gegeben sein sollten. Theoretisch wäre eine effiziente Querlüftung durch den Gebäudekörper innerhalb zweier Wohneinheiten bei Öffnung der Wohnungstüren bedingt möglich. Dies ist aber aus Gründen der Privatsphäre und der Schwierigkeit, dass dann alle Bewohner gleichzeitig zuhause sein und ihre Haustüren öffnen müssten, unrealistisch. Ein alternatives Konzept für die Herstellung einer Querlüftung in Form einer Grundriss-Modifikation wird in der vorliegenden Arbeit später noch vorgestellt.

Die Arbeit *REinterpretation of Hong Kong Housing Typologies* hat folgende These aufgestellt: „In the 50 years of housing development in Hong Kong various typologies such as *slab type* and *tower type* are recorded. However, from the photo […]" siehe Abbildung „Luftbild Kreuzförmige Wohnhochhaustypologien" „[…] or from our daily experience, it's difficult to distinguish variety of typologies within the region. Only one type – the cruciform tower – can be found."[19]
Die Tatsache, dass an jeder Stelle in Hongkong die gleichen punktförmigen Wohnhochhaus-Typologien auffindbar sind, wird in der oben genannten Arbeit nicht weiter begründet. Dies ist aber darauf zurückzuführen, das die Wohnhochhaus-Typologien der HKHA möglichst günstig in vorfabrizierter Stahlbeton-Elementbauweise zigfach repetiert werden. Hierbei spielen der Standort und die Umgebung des Bauplatzes absolut keine Rolle. Die kreuzförmigen *Star Shape*-Typologien, also die *CONCORDE*-, die *NEW CRUCIFORM*- und die *HARMONY*-Typologien sind an allen Orten der alten und neuen Territorien auffindbar. Orientierung und Ausrichtung sind immer unabhängig vom Standort, die Typologien sind alle gleich ungerichtet und orientierungsunfähig – es sind standortunabhängige und unspezifizierte Typologien.
Die Darstellung aus dieser Publikation gibt uns eine Übersicht darüber, wann welche Wohnhochhaustypologien der HKHA zwischen 1959 und 2000 gebaut wurden. Die Entwicklungsschritte der Wohnhochhaustypologien lassen sich hier chronologisch überblicken und es ist auch der Zeitpunkt ersichtlich, wann der Bau der jeweiligen Typen eingestellt wurde. Aus der Übersicht lässt sich ablesen, dass ab 1980 immer mehr *Slab*- und *Twin Tower*-Typologien durch die kreuzförmigen *Star Shape*- oder *Y Shape*-Wohnhochhäuser ersetzt wurden.

[19] Ho, Celia / Sze, Sin: REinterpretation of Hong Kong Housing Typologies. Typology/the systematic classification of the type of something according to their common characteristics, Studio RE 2009, Hong Kong Publication on ISSUU, 2014

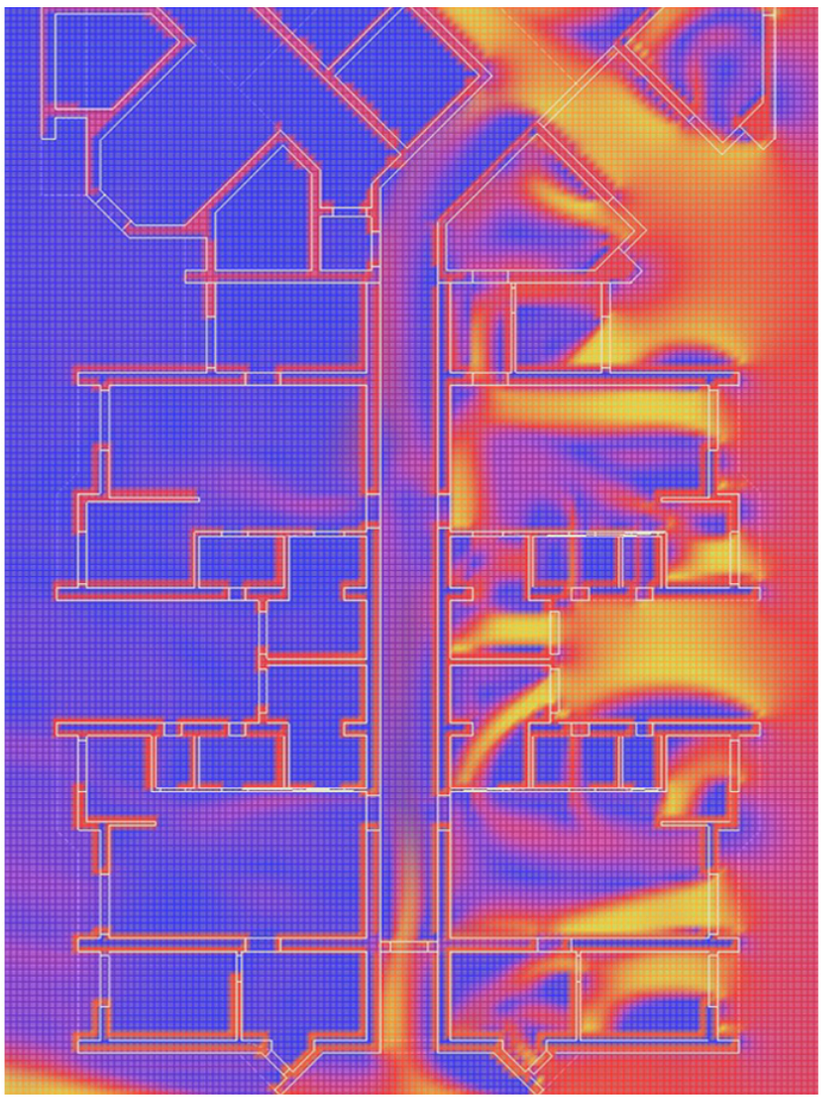
1.5.6 Standort Unspezifisch 1990



46

46 I Belüftungsstudie Harmony I, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013

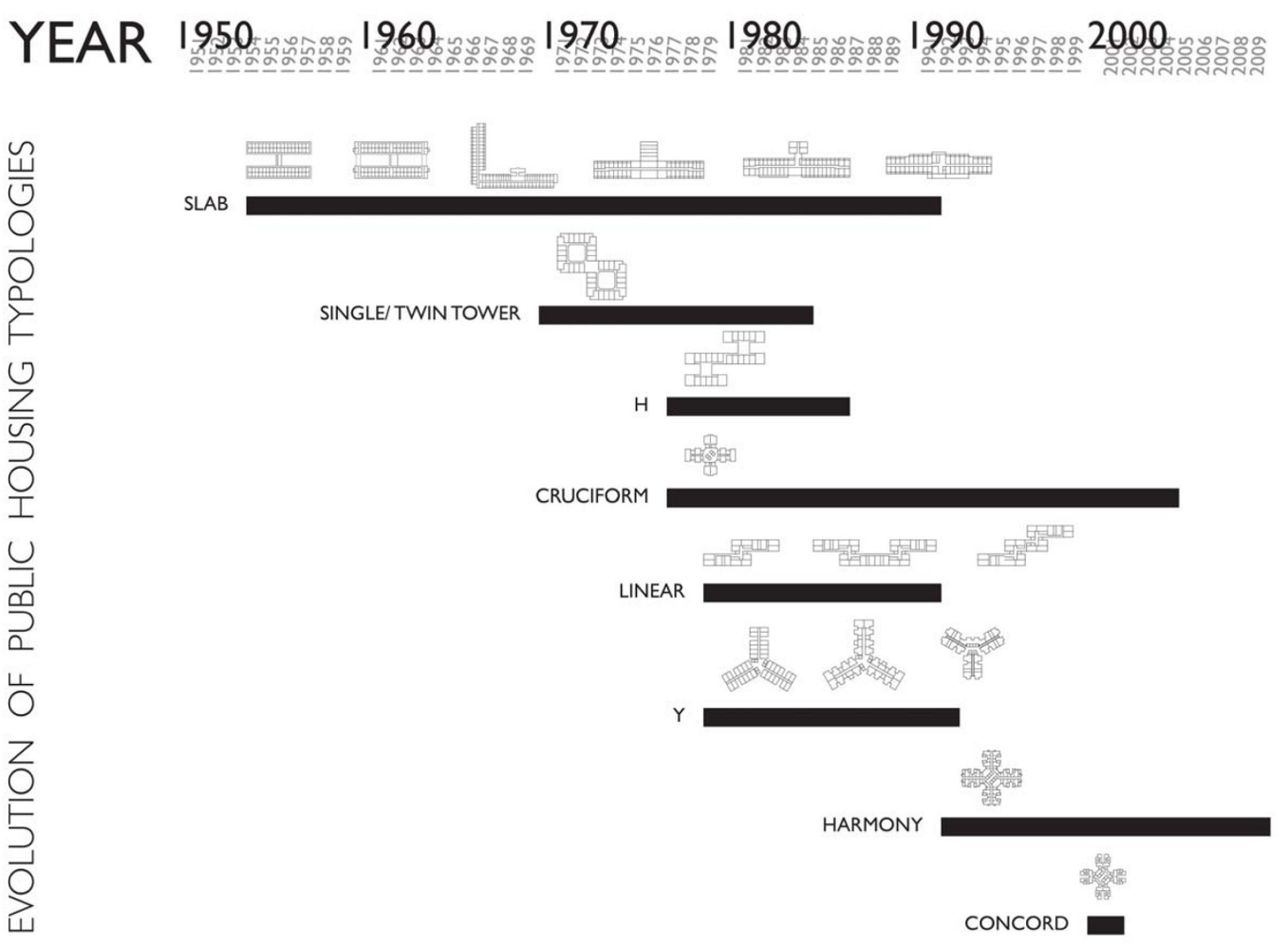
1.5.6 Standort Unspezifisch 1990



47

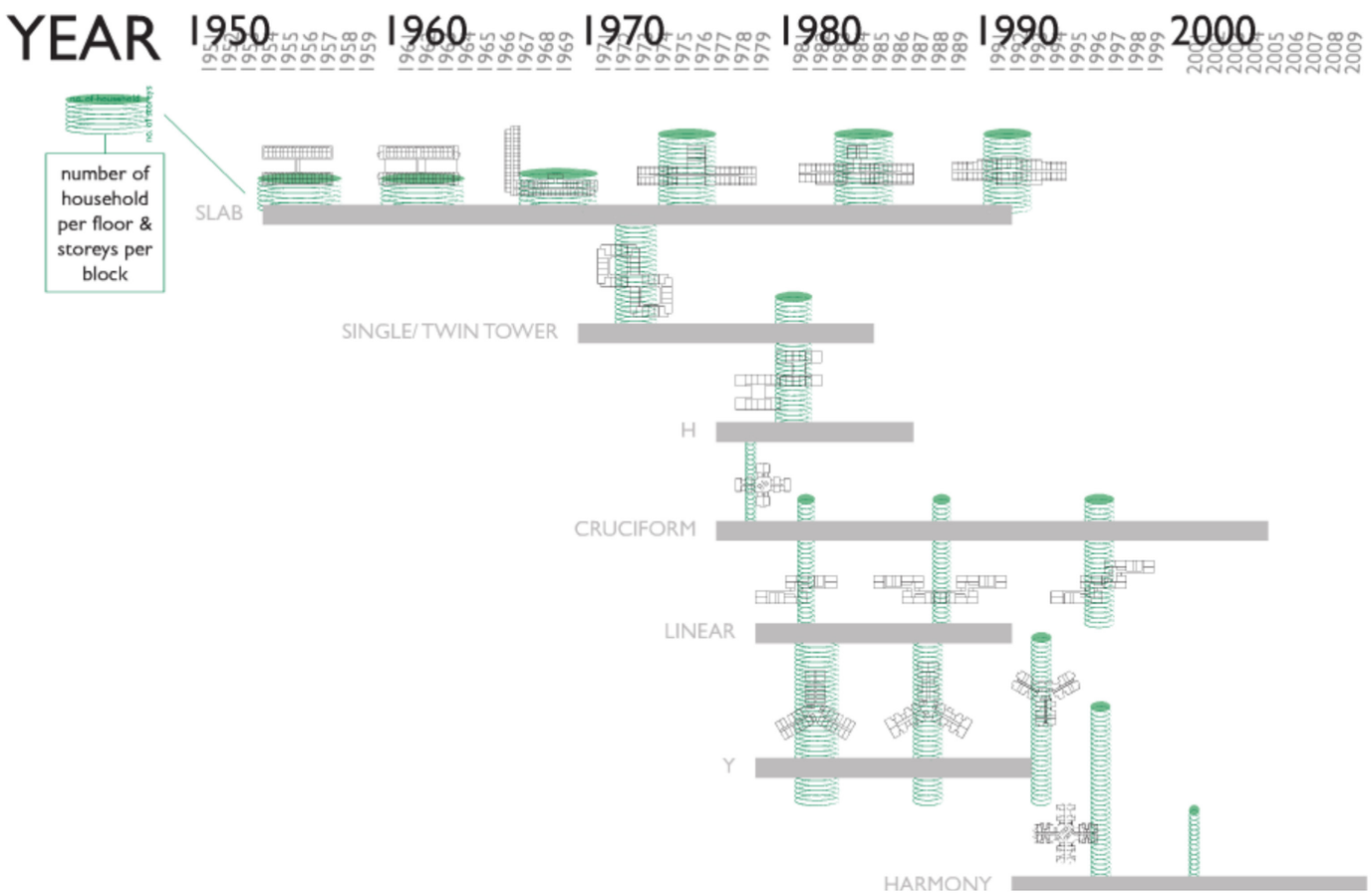
47 I Belüftungssimulation mit durchschnittlichen Windverhältnissen in Hongkong, Harmony I, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013

1.5.6 Standort Unspezifisch 1990



48 I Übersicht Wohnhochhaustypologien der HKHA, Quelle: REinterpretation of Hong Kong Housing Typologie; Typology / the systematic classification of the type of something according to their common characteristics, Studio RE 2009 Celia Ho und Sin Sze, Hong Kong Publication on ISSUU 19. Januar 2014

1.5.6 Standort Unspezifisch 1990



49

49 I Höhe und Anzahl der Wohneinheiten der Typologien, Quelle: REinterpretation of Hong Kong Housing Typologie; Typology / the systematic classification of the type of something according to their common characteristics, Studio RE 2009 Celia Ho und Sin Sze, Hong Kong Publication on ISSUU 19. Januar 2014

1.5.6 Standort Unspezifisch 1990

Eine weitere Grafik zeigt die Anzahl der Haushalte pro Geschoss und die Anzahl der Stockwerke je Wohnanlage. In der Evolution der HKHA-Wohnblöcke ist hier gut ersichtlich, wie die Grundfläche der Häuser kleiner wird und dafür die Höhe zunimmt. Die Gebäude entwickeln also eine zunehmend größere Bebauungsdichte. Durch punktförmige Wohnhochhäuser kann die HKHA mit weniger Grundfläche mehr Wohnraum schaffen. Ein Widerspruch lässt sich hieraus jedoch ebenfalls ablesen: Wie in der Grafik dargestellt, werden die Geschossflächen und die Anzahl der Haushalte immer geringer. Rein grafisch müsste diese kleinere Fläche eigentlich bessere Belichtungs- und Belüftungsmöglichkeiten bieten. Wie zuvor beschrieben, ist jedoch das Gegenteil der Fall. Die Ursache hierfür ist die Typologie der zentralen, unbelichteten Erschließungszone der Punktwohnhochhäuser der HKHA.



50

50 I Luftbild Kreuzförmige Wohnhochhaustypologien in Hongkong, Quelle: REinterpretation of Hong Kong Housing Typologie; Typology / the systematic classification of the type of something according to their common characteristics, Studio RE 2009 Celia Ho und Sin Sze, Hong Kong Publication on ISSUU 19. Januar 2014

1.5.7 Standortspezifische Projekte – 2000

Im Jahr 2000 veranstaltete die HKHA den ersten offenen Architekturwettbewerb mit dem Titel „Public Housing for the New Era – Shui Chuen O". Hierbei gab sie allen lokalen Architekten die Möglichkeit, innovative Ideen für ein dichtes staatliches Wohnen zu entwickeln.[20] Die ersten zwei Preise gingen an die freien Architekten Tom Ip und Anthony Ng. Das drittplatzierte Projekt entwickelte John Ng vom Housing Department der HKHA.
Die Flächeneffizienz[21] bleibt Edward Ng zufolge das Hauptproblem bei der Verwirklichung von alternativen Wohnhauskonzepten in Hongkong. Er sieht die Anforderung an hohe Bebauungsdichten als maßgeblichen Einflussfaktor bei der Planung der Wohnanlagen: Die Gewinnerprojekte des „Shui Chuen O"-Architekturwettbewerbes sind nach seiner Ansicht in erster Linie innovative Beispiele alternativer Gebäudeentwürfe für Nachhaltigkeit im sozialen Umfeld, wobei die Flächeneffizienzzahl hier etwas kleiner ist als von der HKHA gefordert. Daraus schließt Edward Ng, dass eine etwas geringere Flächeneffizienz von ungefähr 80 % mehr Potential hinsichtlich des nachhaltigen Planens des Gebäudes haben könnte. Dies beinhaltet zum Beispiel die vorteilhafte Ausnutzung von Aufenthaltsräumen in Wohngeschossen, um soziale Kontakte zu fördern.[22]

Mit dem Anspruch, mit sehr großer Dichte zu bauen, also mit höherer Flächeneffizienz, sinken auch die Chancen, ein Konzept mit natürlicher Belüftung zu erhalten, so scheint es. Die Verbesserung von räumlichen Qualitäten, zum Beispiel der Aufenthaltsflächen in den Wohngeschossen, geht nämlich in den hier aufgeführten Gebäudebeispielen Hand in Hand mit der Steigerung von natürlichen Belüftungsmöglichkeiten.

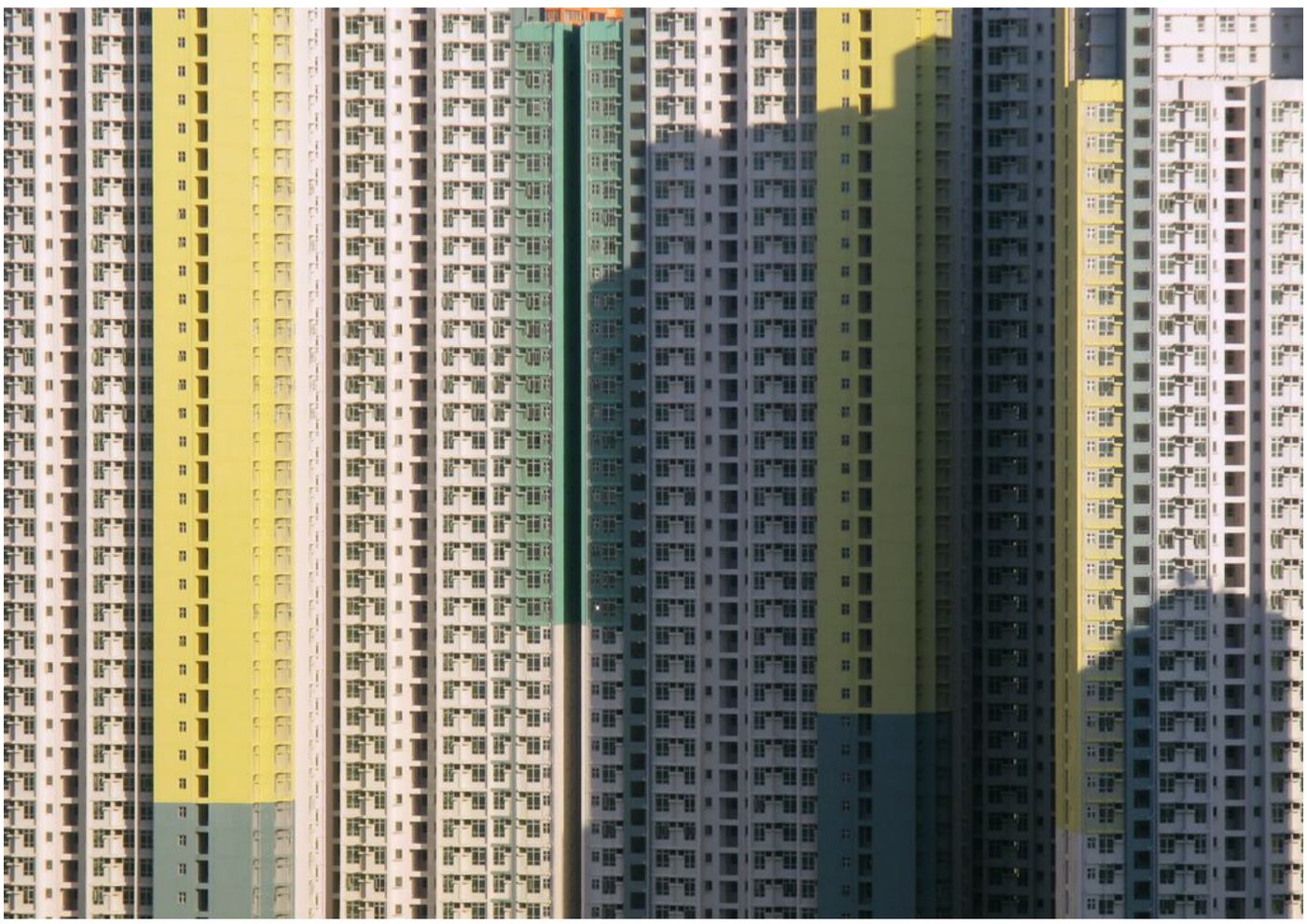
Wie oben beschrieben handelt es sich bei den meisten HKHA-Wohntypologien um standortunabhängige Typologien. Ein auf den Standort spezifiziertes Projekt (Site Specific Project) wurde um die Jahrhundertwende entwickelt und 2002 fertiggestellt.

[20] Hong Kong Housing Authority: Open Architectural Design Competition Makes Success (Press Release), Hong Kong 2001.

[21] Nettogrundfläche im Verhältnis zur Bruttogrundfläche.

[22] Vgl.: NG, Edward/WONG, Kam-Sing. „Efficiency & Livability: Towards Sustainable Habitation in Hong Kong" Paper on the Hong Kong Housing Authority Conference 2003, 4 http://www.housingauthority.gov.hk/hdw/ihc/pdf/paperv1.pdf

1.5.7 Standort Spezifische 2000



51

51 I Upper Ngau Tau Kok Hongkong, Site Specific Project, Quelle: Hong Kong Housing Authority

1.5.7 Standort Spezifische 2000

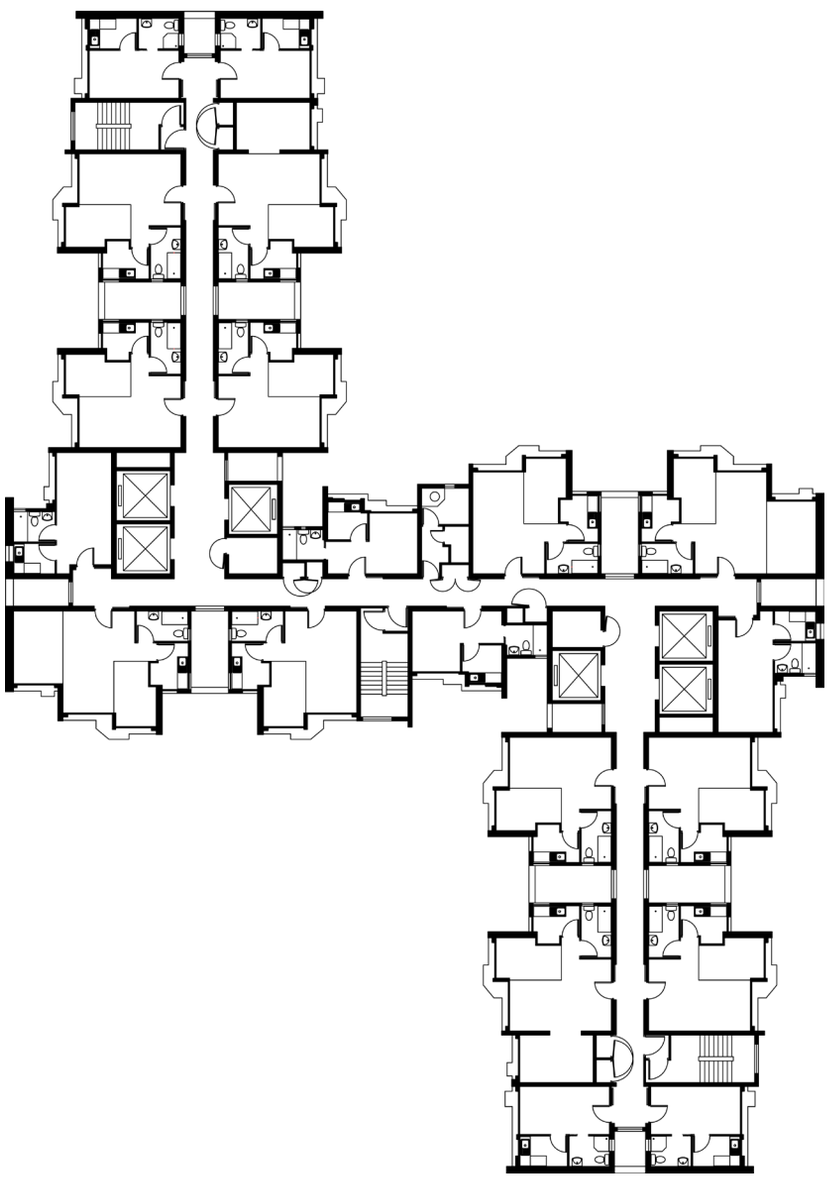
Die „Upper Ngau Tau Kok"-Anlage zeichnet sich durch eine Abkehr von der punktsymmetrischen Typologie aus und erfüllt trotzdem die Anforderungen an eine hohe Gebäudedichte. Dieses Estate ist städtebaulich so arrangiert, dass es Windrichtung und Sonnenstand berücksichtigt. Eine Aneinanderreihung von mehreren Häusern mit S-förmigen Grundrissen erzeugt ein Ensemble aus zwei schlangenförmigen Gebäudegruppe.
Die Gebäudeschenkel weisen Ähnlichkeiten mit der *HARMONY*-Typologie auf. Der Wohnblockschenkel wurde kopiert und punktsymmetrisch gespiegelt. Um die S-förmige Typologie zu erhalten, wurden zu guter Letzt die beiden identischen Gebäudeflügel mit einem Mittelteil verbunden. Ein weiterer wesentlicher Unterschied zur *HARMONY*-Typologie ist die Angliederung einer Geschossübergreifenden Aussparung zwischen den Wohneinheiten. Durch diesen freien Korridor kann Luft ungehindert in die Erschließungszone strömen und ermöglicht die Querlüftung der Wohneinheiten.
Die Wirkungsweise von passiven Kühlmethoden im Upper Ngau Tau Kok Estate werden in diesem Buch evaluiert (siehe Kapitel 4.6 „Vierte Fallstudie Ngau Tau Kok Hongkong"). Hierbei wurden Messungen hinsichtlich natürlicher Belüftung, Aufheizung durch solare Energieeinträge und Nutzung der Speichermasse unter Berücksichtigung der Hauptwindrichtung und der Windströme innerhalb des Gebäudes durchgeführt.

1.5.7 Standort Spezifische 2000



52

52 I Lageplan Ngau Tau Kok Hongkong, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013 und Hong Kong Housing Authority



53

53 | Grundriss Ngau Tau Kok Hongkong, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013 und Hong Kong Housing Authority

1.5.8 Ursachen des Umdenkens – Fazit

Es ist also durchaus davon auszugehen, dass die Typologien von Wohnhochhäusern in Hongkong sich anders entwickelt hätten, wäre die Split-Klimaanlage nie erfunden worden. Die Typologien *TRIDENT*, *NEW CRUCIFORM* und *HARMONY* würden in ihrer Bauart mangels Möglichkeiten der natürlichen Belüftung ohne Klimaanlagen den Ansprüchen an Behaglichkeit nicht gerecht werden können. Dass eine Querlüftung in diesen Wohnhochhaustypologien gar nicht und eine einseitige Belüftung nicht ausreichend funktioniert, zeigt die vom IAT durchgeführte Belüftungsstudie (siehe oben). Die Wohneinheiten sind weder innerhalb noch über die Erschließungszone querlüftbar. Auch wurde eine Orientierung zu Windrichtung und Sonnenstand zur Optimierung der Windausnutzung bzw. zur Verminderung der solaren Energieeinträge in der Gebäudetypologie nicht spezifiziert. Die Ursache hierfür ist in den punktförmigen Typologien zu finden, die sich je nach Typologie vier- oder dreifach punktspiegeln lassen. Die Typologien *TRIDENT*, *NEW CRUCIFORM* und *HARMONY* sind in ihrer Orientierung aber nach allen Himmelsrichtungen immer gleich. Man kann also sagen, dass die Architekten wegen der Möglichkeiten der A/C die natürliche Belüftung und weitere passive Kühlmethoden nicht in die Grundriss- und Fassadenplanung mit einfließen haben lassen. Die Herausforderung, bei der Planung auch Möglichkeiten zur natürlichen Belüftung durch die Bewohner zur Verfügung stellen zu müssen, wurde ihnen von der Klimaanlage quasi abgenommen.

Gebäudestrukturen der oben genannten Typologien könnten auch mit Integrierung von natürlicher Belüftung entwickelt werden. Korridore mit Anschluss an die Außenfassade sind hierfür nicht zwangsläufig notwendig. Eine Reduzierung der Nutzung der A/C in Form von alternativen Wohnhochhaustypologien wäre auch in Hongkong möglich gewesen – nur gab es aufgrund der Konditionierung des Wohnkomforts mit der Klimaanlage keinen Bedarf, natürlich belüftete Typologien zu planen. Die HKHA und andere private Bauherren sahen in der Nutzung der Klimaanlage bisher kein Problem – schließlich wurden die Anschaffung der Geräte und die Stromkosten von den Bewohnern selbst bezahlt. Inzwischen stellt die Klimaanlage aufgrund des in der Problemstellung beschriebenen „Urban Heat Island Effects" allerdings ein Problem für alle Einwohner Hongkongs dar.

Zudem gibt es noch einen weiteren Grund, der die HKHA dazu bewegt, wieder Gebäude mit natürlicher Belüftung zu planen: Das Modell der Schaffung neuen Wohnraums muss kontinuierlich fortgeführt werden, weil es auch ständigen Zuzug aus Festlandchina gibt. Daher werden die alten Bauten abgebrochen und durch neue, höhere Wohnhochhäuser ersetzt, die mehr Wohnraum auf gleicher Grundfläche schaffen können. Es stehen nur wenige neue Bebauungsflächen zur Verfügung, sodass dort neu gebaut werden muss, wo bislang alte Wohnbauten stehen. Die kontinuierliche Umsiedlung der HKHA-Bewohner von alten in neu gebaute Wohnhäuser führt aber zwangsläufig zur Erhöhung der Mietkosten dieser „Umsiedler". Vor allem für alte Menschen und Rentner stellt die Umstellung des Mietpreises auf den aktuellen Marktwert oft ein großes Problem dar. Ein immer größer werdender Personenkreis kann die höhere Miete nicht mehr finanzieren, wenn die ein Leben lang gezahlte Monatsmiete nun um ein Vielfaches erhöht wird. Damit dieses Modell der Umsiedlung funktioniert, müsste die HKHA die Mieter eigentlich finanziell subventionieren – dieses Geld hat aber weder der Staat noch die HKHA zur Verfügung. Insofern würden niedrigere Betriebskosten, die bislang hauptsächlich in Form der Stromrechnungen für die Klimaanlagen anfallen, eine wesentliche finanzielle Entlastung darstellen. Es ist also auch ein Lösungsweg für die Problematik der Umsiedlung, mit einer Reduzierung der Klimaanlagennutzung die hohen Stromrechnungen zu reduzieren, denn damit erhöht sich das zur Begleichung der Monatsmieten zur Verfügung stehende Budget der Mieter.

Projekte wie das Ngau Tau Kok zeigen, dass die Reduzierung des A/C-Einsatzes durch passive Kühlmethoden auch bei dieser hohen Wohnbebauungsdichte zumindest ansatzweise möglich ist. Hier stellen sich nun wichtige Fragen: Wie müssen Gebäudetypologien beschaffen sein, um passive Kühlmethoden wie natürliche Belüftung, Speichermasse und Verdunstungskühlung zu nutzen? Welche Behaglichkeit ist bei Nutzung der Querlüftung möglich und wie gut funktioniert diese? Wie ist ein Schutz vor solarer Aufheizung realisierbar? Welche Rolle spielt der klimatische Standort der Gebäude? Diese Fragen sollen anhand der folgenden Fallstudien detailliert beantwortet werden.

Inhaltsverzeichnis - Teil 02

Teil 02 Begriffsdefinitionen

2.1 Behaglichkeit

2.1.1 Einflussfaktoren der Behaglichkeit
2.1.2 Temperaturempfinden und Wind
2.1.3 Behaglichkeit und Umgebungstemperatur
2.1.4 Psychromatische Behaglichkeitsdarstellung
2.1.5 Klimastandortbedingte Behaglichkeitsdarstellung
2.1.6 Methoden zur Messung von Temperatur, Feuchtigkeit, Strahlung und Luftströmung

2.2 Subtropisches und tropisches Klima

2.2.1 Geographische Lage der Subtropen und Tropen
2.2.2 Jahreszeiten
2.2.3 Ausgewählte Standorte und Sonnenstand
2.2.4 Spezifizierte Quellen- und Wetterdaten
2.2.5 Luftfeuchtigkeit

2.1.1 Einflussfaktoren der Behaglichkeit
2.1.2 Temperaturempfinden und Wind
2.1.3 Behaglichkeit und Umgebungstemperatur
2.1.4 Psychromatische Behaglichkeitsdarstellung
2.1.5 Klimastandortbedingte Behaglichkeitsdarstellung
2.1.6 Methoden zur Messung von Temperatur, Feuchtigkeit, Strahlung und Luftströmung

01 I Kapitelcover, *Alila Villas* , Uluwatu, WOHA Architects, Quelle: httpwww.woha.netimages-project_images136303949666galleryalila_bali_uluwatu-05.jpg

2.1 Behaglichkeit

Wissenschaftliche Methoden und Tools zur Messung der Behaglichkeit



2.1.1 Einflussfaktoren



02

02 I Behaglichkeit in Abhängigkeit von den beiden Variablen Raumlufttemperatur (tA in °C) und Raumluftfeuchtigkeit (%) nach Leusden und Feymark, Quelle: Daniels, Klaus: Advanced Building Systems, Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser, 2003.

2.1.1 Einflussfaktoren der Behaglichkeit

Prinzipiell ist es schwierig, die Behaglichkeit für ein einzelnes menschliches Individuum zu bestimmen, denn die Parameter sind von persönlich ganz unterschiedlichen Faktoren abhängig. So ist die Behaglichkeit beispielsweise abhängig von der jeweiligen körperlichen Statur: Einem fettleibigen Menschen ist nicht so schnell kalt, weil die dickere Hautschicht vor Kälte schützt. Der menschliche Organismus versucht immer, seine Körpertemperatur von ca. 37 °C aufrechtzuhalten. Bei sehr hohen Außentemperaturen kann der Körper nicht so viel Wärme an die Umgebung abgeben, sodass er verstärkt schwitzt, um die Verdunstungskühlung zu nutzen. Umgekehrt ist eine schlanke Person nicht so gut gegen Kälte geschützt: Die Kälte kann schnell ins Körperinnere eindringen und diese Person beginnt dann früher, zu frieren. Beide Personen aus diesen Beispielen können ihre spezifischen Temperaturprobleme über dickere oder dünnere **Kleidung** mehr oder weniger gut ausgleichen. Die Kleidung spielt also ebenfalls eine erhebliche Rolle. Einige Programme zur Simulation des Behaglichkeitsbereiches berücksichtigen diesen Aspekt sogar. So werden in dem Energy Design Tool *Climate Consultant 5.4*, welches nach dem Behaglichkeitsmodell *ASHRAE Handbook of Fundamentals Comfort Model 2005* arbeitet, zwei Behaglichkeitszonen dargestellt: eine für Personen in normaler Winterkleidung, dann liegt der Komfortbereich zwischen 20 °C und 23,3 °C bei 50 % relativer Luftfeuchtigkeit und ein zweiter Komfortbereich für Personen mit leichter, weiter sommerlicher Kleidung – was in diesem Simulationsprogramm die Behaglichkeitszone dann um 2,8 °C anhebt. Allerdings ist der Parameter der Kleidung individuell sehr verschieden und nicht nur von Körperstatur, -größe und -gewicht sowie Anteil der Fett- und Muskelmasse, sondern auch von der Stoffwechselaktivität abhängig und somit schwer zu vereinheitlichen und zu messen.

Doch auch die **Aktivität** der Person hat einen Einfluss auf deren Behaglichkeit: Der menschliche Organismus verbraucht bei erhöhter körperlicher Aktivität mehr Energie. Bei gleichzeitig hoher Lufttemperatur möchte der Körper die Wärme wieder über die Verdunstungskühle auf der Haut abgeben und wir fangen an, zu schwitzen. Eine Zeitungslesende Person wird sich bei einer „normalen" Temperatur behaglich fühlen, wohingegen bei erhöhter körperlicher Aktivität, wie zum Beispiel bei ständigem

2.1.2 Umgebungstemperatur

Herumlaufen im Büro, die zum Erreichen der Behaglichkeit erforderliche Raumtemperatur sinkt. Mit dem Programm *Weather Tool*[1] kann die Bewegungsaktivität von Personen speziell eingestellt werden. Da die vorliegende Arbeit die Wohnbehaglichkeit thematisiert, wurde hier eine Bewegungsaktivität im Bereich des Sitzens und langsamen Umhergehens festgelegt.

Neben den persönlichen Einflussfaktoren auf die Behaglichkeit gibt es auch Umweltfaktoren, die auf uns einwirken. Zwei wichtige Kriterien der Behaglichkeit sind in diesem Bereich die **Lufttemperatur** und die **Luftfeuchtigkeit**. In dem abgebildeten Koordinatensystem ist die Behaglichkeit nach Leusden und Feymark in Abhängigkeit von den beiden Variablen Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchtigkeit dargestellt. Hier lässt sich sehr gut die Abhängigkeit des Wohlbefindens von Temperatur und Feuchte erkennen – der Komfortbereich ist hier rot schraffiert dargestellt. Je höher einer der beiden Werte ansteigt, desto kleiner wird der Bereich des anderen Wertes, in dem die Behaglichkeit des Menschen noch gegeben ist. Die obere schräg nach unten laufende Kante der rot schraffierten Behaglichkeitszone zeigt auf, dass wir uns bei zunehmendem Temperaturanstieg immer weniger in feuchter Luftumgebung wohlfühlen. Diese zwei wesentlichen Kriterien und zudem auch der Einfluss der Windströmungen sind maßgeblich vom Parameter des Standortes, also der Klimaregion abhängig. Diese Einflussgröße wird in den nächsten Kapiteln genauer untersucht.

2.1.2 Behaglichkeit und Umgebungstemperatur

Bei der Definition der angenehmsten Behaglichkeit im Innenraum einer Wohnung muss stets die spezifische Klimaregion des Standorts berücksichtigt werden. Doch wie kann man die Behaglichkeit an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Jahreszeit herausfinden und genau definieren? Die Parameter für Behaglichkeit lassen sich aus den physikalischen Variablen der Umgebung ableiten. Diese sind Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Strahlungstemperatur der umgebenden Oberflächen. Szokolay[2] bezeichnet den Bereich der akzeptablen Komfortbedingungen generell als Komfortbereich; die gesamte Bandbreite der Temperatur eines solchen Komfortbereiches kann im Allgemeinen als „neutrale Temperatur“

[1] Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

[2] Szokolay, S.: Introduction to Architectural Science. The Basis of Sustainable Design, o. O. 2008, S. 20.

angenommen werden. Laut Szokolay kann die neutrale Temperatur (Tn) in 90 % aller Fälle als angemessen betrachtet werden und liegt in einem Bereich bis 2,5 °C oberhalb oder unterhalb der gemessenen Außentemperatur To.

Die angenehmste Behaglichkeit im Innenraum einer Wohnung gleicht sich also an die Umgebungstemperatur der Klimaregion und des Standortes an. Auliciems[3] hat herausgefunden, dass die Behaglichkeit einer Person in einer neutralen Umgebung wesentlich von der Außentemperatur (to) beeinflusst wird. Hierfür erstellte er folgende Formel:
Tn = 17,6 + 0,31 x To
Folgende Ergebnisse lassen sich hiermit errechnen:[4]

To 35 °C = Tn 28,5 °C
To 30 °C = Tn 26,9 °C
To 25 °C = Tn 25,4 °C
To 20 °C = Tn 23,8 °C
To 15 °C = Tn 22,3 °C
To 10 °C = Tn 20,7 °C
To 5 °C = Tn 19,2 °C
To 0 °C = Tn 17,6 °C

In dieser Theorie passt sich die Temperatur der Behaglichkeit an die Umgebungstemperatur an. So variiert die Behaglichkeitstemperatur in einem Temperaturbereich zwischen 0 °C und 35 °C um 10,9 °C (zwischen Tn 28,5 °C und Tn 17,6 °C). In wärmeren Klimazonen liegt die Komforttemperatur (Tn) also unterhalb der Außentemperatur: Bei einer Außentemperatur von 30 °C ist die Temperatur der Behaglichkeit 26,9 °C, also um 3,1 °C niedriger. Im Unterschied hierzu ist in moderaten und kalten Gebieten die Behaglichkeitstemperatur meistens höher als die Außentemperatur. So ist bei einer Außentemperatur von 10 °C die Behaglichkeitstemperatur 20,7 °C, also 10,7 °C höher als die Außentemperatur. Diese Theorie bezieht allerdings die Parameter der Luftfeuchte, der Luftbewegung und der Wärmestrahlung nicht mit ein.

[3] Auliciems, A.: Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception, International Journal of Biometeorology 1981, o. O. o. J., S. 25, 109–122.

[4] Berechnungen des Autors Ferdinand Oswald.

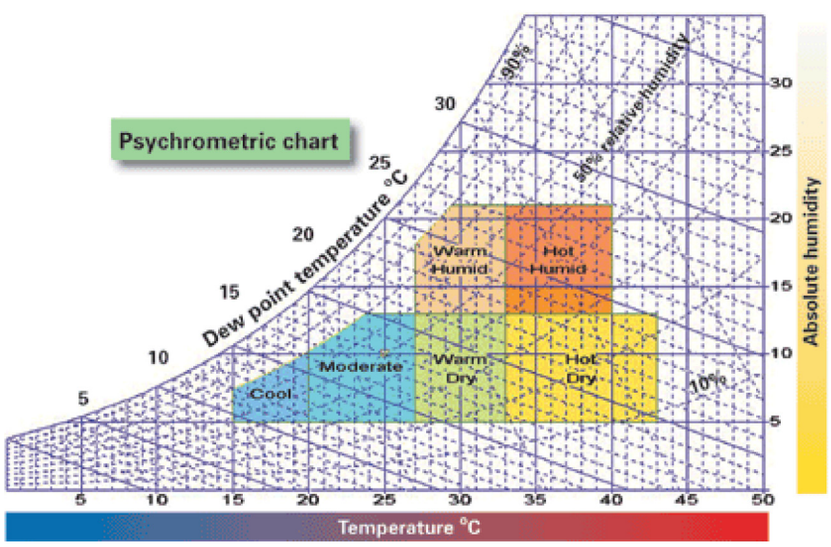
2.1.3 Temperaturempfinden und Wind

Neben der Lufttemperatur und -feuchtigkeit hat die Luftbewegung einen großen Einfluss auf die Behaglichkeit des Menschen. Alle drei Parameter kann man mit Messinstrumenten messen. Wir wissen aber auch, dass bei sehr hoher Lufttemperatur ein leichter Luftzug einen kühlenden Effekt auf unseren menschlichen Körper hat: Von unserer Haut verdunstet dann mehr Schweiß und die Behaglichkeit wächst. Dieser physikalische Prozess lässt sich jedoch mit Temperaturmessgeräten alleine nicht nachweisen – die Behaglichkeit bei hoher Temperatur und leichtem Wind lässt sich wissenschaftlich also nur schwer evaluieren. Szokolay berechnet die äquivalente Temperatur-Reduzierung (dT) ausgehend von der gemessenen Außentemperatur: Bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s beispielsweise beträgt die äquivalente Temperatur-Reduzierung (dT) nach Szolokays Berechnung 5 °C - das heißt, dass bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s die gefühlte Temperatur 5°C unterhalb der gemessenen Temperatur liegt. Mit Szokolays Werten lässt sich die Behaglichkeit nun auch in Abhängigkeit von der Luftbewegung berechnen.In der unten stehenden Tabelle ist die äquivalente Temperatur bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s zu erkennen. Folgende Definitionen gelten hier:
To (°C) = Außentemperatur, tatsächlich gemessene Temperatur
Tn (°C) = neutrale Temperatur: angenehme Komforttemperatur, Behaglichkeit
Teq (°C) = äquivalente gefühlte Temperatur, gemessen in Abhängigkeit von der Außentemperatur bei einer definierten Luftzirkulation.

To (°C)	Tn (°C)	Teq (°C)
28	26.3	23
29	26.6	24
30	26.9	25
31	27.2	26
32	27.5	27
33	27.8	28
34	28.1	29

2.1.4 Psychromatische Behaglichkeitsdarstellung

Psychrometrie ist die Thermodynamik der feuchten Luft. Das psychromatische Diagramm ist eine diesbezügliche grafische Darstellung. Es wird auch nach seinem Erfinder, Richard Mollier, Mollier-h-x-Diagramm genannt. International und im angelsächsischen Raum wird ein solches Diagramm Psychrometric Chart genannt.[5] Es ermöglicht, die Zustandsänderungen feuchter Luft durch Erwärmung, Befeuchtung, Entfeuchtung und Abkühlung zu ermitteln. Die Größen Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Enthalpie und Dichte können hier grafisch dargestellt werden. Zur Darstellung der Behaglichkeitszone sind die wichtigen Konstanten Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit vom Luftdruck zu beachten.[6] Die Funktionsweise des Psychromatischen Diagramms ist relativ leicht zu verstehen. Wie in der Abbildung „Psychrometric Chart" dargestellt, wird die Temperatur nach rechts wärmer und die relative Luftfeuchtigkeit nach oben und links höher. Unten links wird die Temperatur niedriger. Es folgt nun eine ausführliche Betrachtung der Kurven und unterschiedlicher Geraden.



03

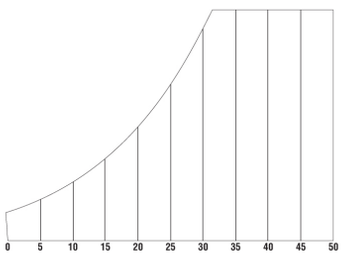
03 I Psychrometric Chart, Quelle: Port-A-Cool, LLC Corporate Office, Center, Texas, USA, http://www.kuulpads.com/charts.html (Stand: 07.02.2014).

[5] Vgl. Szokolay, S.: Introduction to Architectural Science. The Basis of Sustainable Design, o. O. 2008, S. 42.

[6] Vgl. Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 67. Aufl., R. Oldenbourg Verlag, München - Wien 1994.

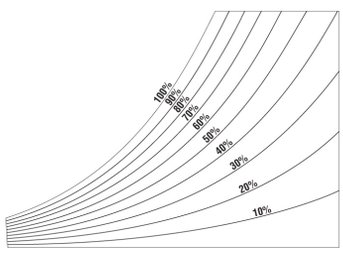
2.1.4 Psychrometrie

Die wichtigsten sieben Größen im Diagramm sind folgende:



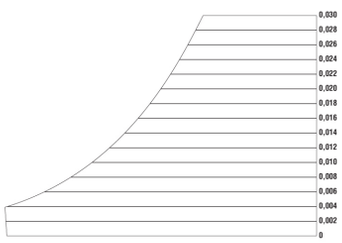
04

1. Die Trockentemperaturgeraden (dry bulb temperature, DBT) werden entlang der y-Achse (Ordinate) in Abständen von 5 °C abgebildet.



05

2. Die relative Luftfeuchte (relative humidity) ist im Diagramm durch Kurven dargestellt, die in Abständen von 10 % von links unten nach rechts oben verlaufen Die Skala beginnt unten bei 10 % und endet oben mit der Sättigungskurve (100 %).



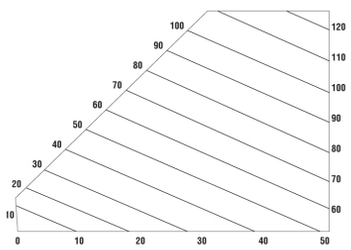
06

3. Die Feuchtigkeitsgehalte (absolute humidity, AH) werden auf der x-Achse (Ordinate) abgebildet mit trockener Luft 0 kg/kg im Nullpunkt bis hin zu Luft mit 0,03 kg/kg Feuchtigkeit.

04 I Trockentemperatur, Quelle: Devatec s.a. Ambrumesnil, France, www.... (Stand 06.02.2013)

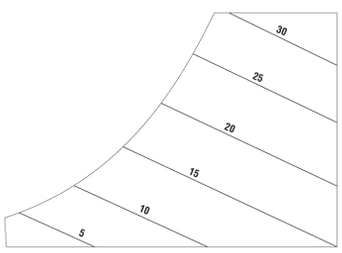
05 I relative Luftfeuchte, Quelle: Ebda.

06 I Feuchtigkeitsgehalt, Quelle: Ebda.



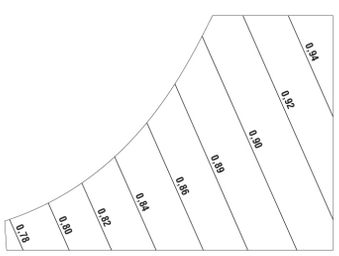
07

4. Die Enthalpie bzw. Gesamtwärmeenergie wird mit geneigten Geraden dargestellt, die in Abständen von 10 kJ/kg trockener Luft von links oben nach rechts unten verlaufen.



08

5. . Die Feuchttemperaturgeraden verlaufen nahezu parallel zu den Enthalpiegeraden und werden in Abständen von 5 °C abgebildet.



09

6. Die Volumengeraden für die Kubikmeter pro Kilogramm trockener Luft werden in Abständen von 0,02 m3 dargestellt.

07 I Enthapie, Quelle: Ebda.

08 I Feuchttemperatur, Quelle: Ebda

09 I Volumen trockene Luft, Quelle: Ebda

Der Zwei-Phasen-Bereich umfasst die Zone links oberhalb der Sättigungskurve und zeigt ein im Gleichgewicht befindliches Kondensatgemisch. Hier werden niemals Messresultate abgebildet, da der Aggregatzustand hier Wasser wäre.

Die Behaglichkeitszone kann nun im psychromatischen Diagramm definiert werden. Hierfür sind die spezifischen Klimadaten eines bestimmten Standortes notwendig, wie aus dem folgenden Kapitel hervorgeht.

2.1.5 Klimastandortbedingte Behaglichkeit

Wie oben schon beschrieben, ist die Temperatur der Behaglichkeit an verschiedenen Klimastandorten unterschiedlich. Mit dem Programm *Weather Tool* lassen sich Behaglichkeitszonen der unterschiedlichen Klimastandorte im psychromatischen Diagramm darstellen. Dies funktioniert folgendermaßen: Die Klima- und Wetterdaten können vom U.S. Department of Energy[7] abgefragt werden. Das Energieministerium der Vereinigten Staaten sammelt weltweit Klimadaten von anerkannten staatlichen Wetterstationen und stellt sie Wissenschaftlern und Institutionen für Studien und Simulationen zur Verfügung. Die Daten können in das Programm *ECOTECT/Weather Tool*[8] geladen werden. In der Abbildung ist die Bearbeitungsoberfläche des Programms sichtbar.
Die hieraus entstehenden Behaglichkeitszonen-Grafiken im psychromatischen Diagramm berücksichtigen folgende Tages-, Klima- und Wetterdaten: globale horizontale Sonneneinstrahlung, direkte normale Sonneneinstrahlung, diffuse Sonnenstrahlung jeweils im Stunden- und Tagesdurchschnitt, trockene Lufttemperatur, Verdunstungstemperatur (Sättigungspunkt), jeweils der monatliche Durchschnitt von Windrichtung, -geschwindigkeit und -häufigkeit, die Bodentemperatur sowie den Tagesdurchschnitt, die Häufigkeit und und die Menge der Regenschauer. Die Wettermessdaten des ganzen Jahres werden im Diagramm als kleine Punkte eingetragen. Ein eingetragener Punkt entspricht also den Wetterbedingungen eines Tages; insgesamt gibt es 365 Punkte pro Jahr.

[7] Energieministerium der Vereinigten Staaten (U.S. Department of Energy): Weather data Download. The compressed file (ZIP) which contains the following files for the location: EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY), Online unter: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/ weatherdata_about.cfm?CFID=685834&CFTOKEN=8a204601d3afbd4b-B8543EB6-9289-7E8DF9CCCA29E9A793C&jsessionid=3D227F78F29768C8E6240BDED16754CA.eere

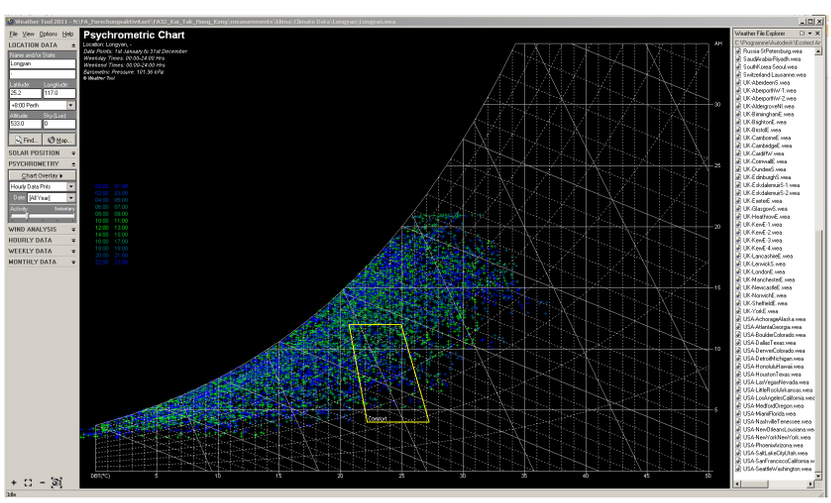
[8] Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

2.1.5 Klimastandort

Die Klima- und Wetterdaten wurden nun zu allen sechs untersuchten Standorten eingelesen und grafisch überarbeitet. Das entsprechende psychromatische Diagramm mit den Behaglichkeitszonen des jeweiligen Standorts ist dann jeder Fallstudie beigeordnet und im entsprechenden Kapitel ersichtlich.

Als Beispiele werden hier nur die beiden psychromatischen Diagramme mit den Behaglichkeitszonen von Longyan und Singapur abgebildet. Im Vergleich lässt sich visuell gut erkennen, das sich die beiden Komfortzonen in Position und Größe deutlich voneinander unterscheiden. Die Behaglichkeitszone bildet jeweils ein Trapez und ist mit einer gelben Linie eingefaßt.

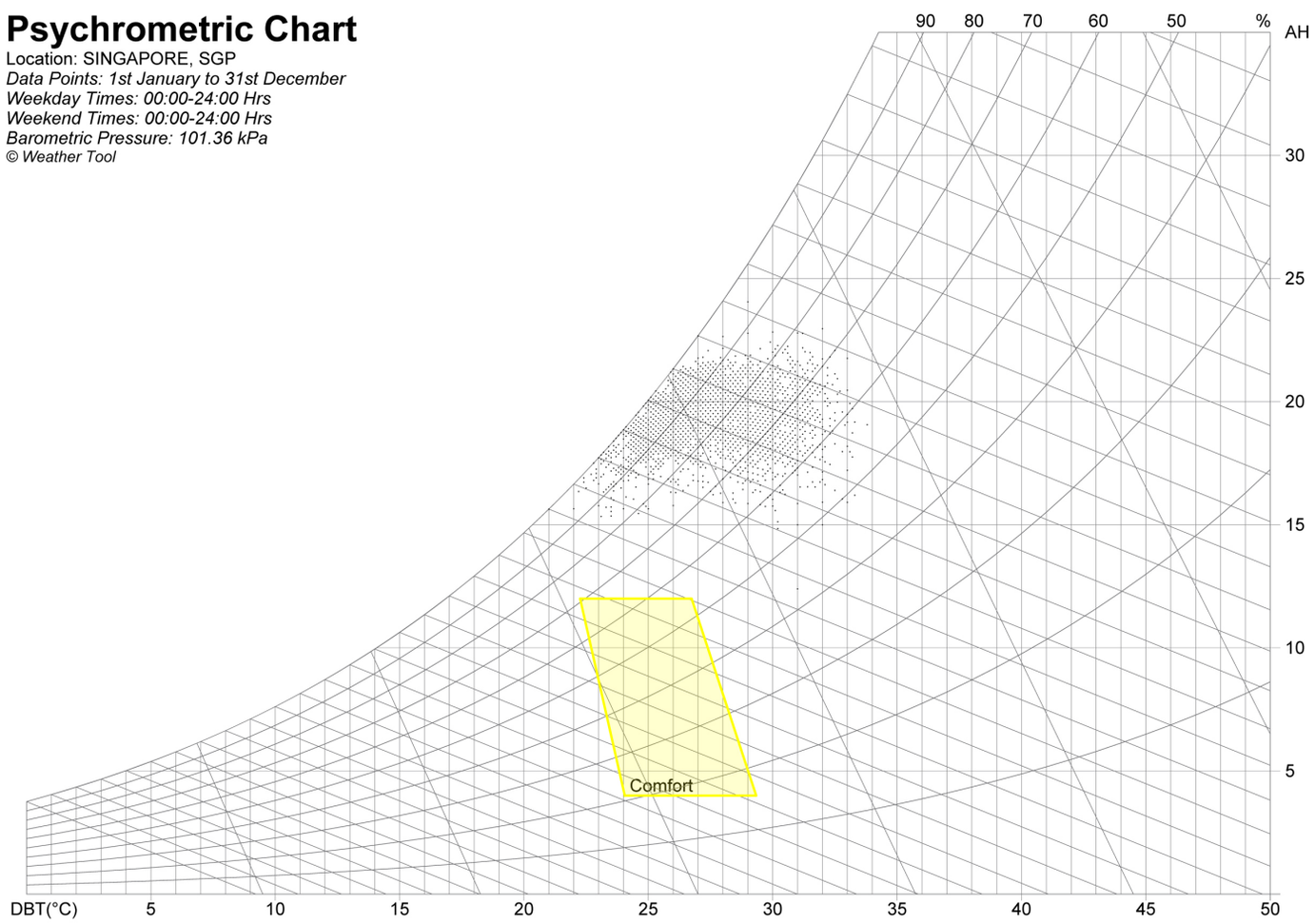
In Longyan liegt die Behaglichkeitszone aufgrund der ganzjährig kälteren Temperatur bei mindestens 19,5 bis 22,8 °C, bei einer Luftfeuchtigkeit von 85 bis 65 %. In Singapur ist die minimale Behaglichkeitstemperatur 22,2–27,4 °C bei einer Luftfeuchte von 70 bis 55 %, weil es hier ganzjährig wärmer ist. Zudem sind die beiden Behaglichkeitszonen unterschiedlich breit. Ein Vergleich der beiden maximalen Behaglichkeitstemperaturen (Longyan: max. 20,8–25,6 °C, Singapur max. 24,0–29,2 °C) zeigt, dass Singapur ein breiteres Behaglichkeitsfeld von 5,2 °C hat als Longyan, wo der Spielraum nur 4,8 °C beträgt.



10

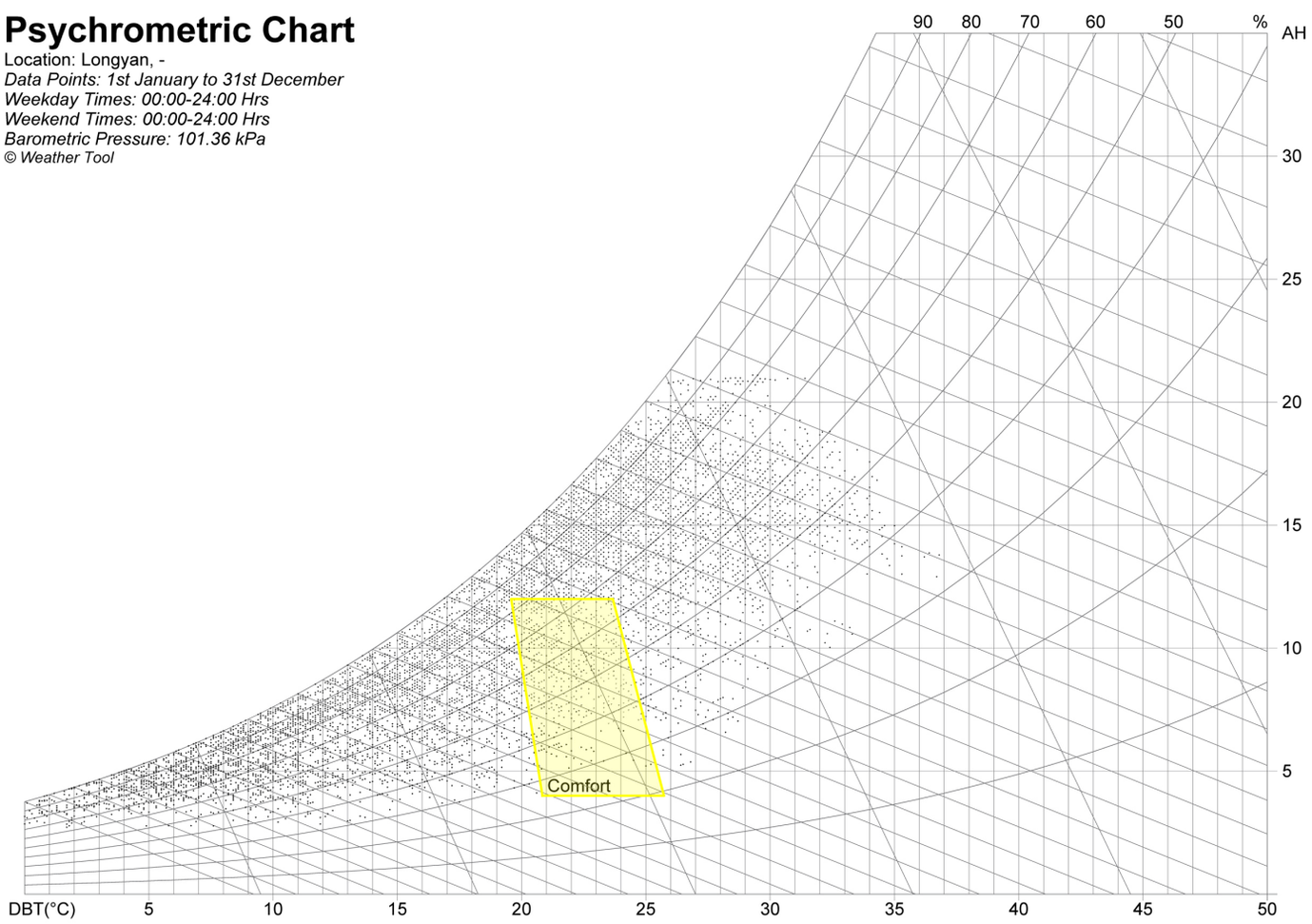
10 I Bildschirmfoto der Bearbeitungsoberfläche des Programms Weather Tool, Behaglichkeitszone im psychromatischen Diagramm: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

2.1.5 Klimastandort



11

11 I Singapur – Behaglichkeitszone im psychromatischen Diagramm, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.



12

12 | Longyan – Behaglichkeitszone im Psychromatischen Diagramm, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

2.1.6 Messungmethoden

Im Folgenden ist aufgelistet, wie sich die unterschiedlichen Behaglichkeitszonen der einzelnen Klimastandorte mit Temperatur (°C) und Luftfeuchtigkeit (%) in Abhängigkeit vom Klimastandort verändern. Die Daten wurden aus dem psychromatischen Diagramm vom Weather Tool herausgelesen.

Ubon Ratchathani:
max. 24,0–29,2 °C (22–17 %), min. 22,2–27,4 °C (72–55 %)
Bangkok:
max. 24,5–29,7 °C (20–16 %), min. 22,7–27,9 °C (70–52 %)
Singapur:
max. 24,0–29,2 °C (21–16 %), min. 22,2–27,4 °C (70–55 %)
Longyan:
max. 20,8–25,6 °C (25–19 %), min. 19,5–22,8 °C (85–65 %)
Guangzhou:
max. 22,0–27,2 °C (25–18 %), min. 20,6–25,8 °C (79–60 %)
Hongkong:
max. 22,3–27,5 °C (24–17 %), min. 21,0–25,2 °C (78–60 %)

2.1.6 Methoden zur Messung von Temperatur, Feuchtigkeit, Strahlung und Luftströmung

Neben den oben genannten Simulationsprogrammen besteht auch die Möglichkeit, mit elektronischen Messgeräten vor Ort die Klimadaten zu erfassen. Stefan Holst, Geschäftsführer von TRANSSOLAR[9], hat mir im Jahr 2012 geraten, einige Tage in den Gebäuden für die Fallstudie





13 14

13 I Windmessgerät: Anemometer AM 81, Firma PCE.r

14 I Digitales Multimeter-Messgerät: EM 886, Firma PCE.

[9] Transsolar Energietechnik GmbH – Stuttgart, München, New York und Paris.

zu verbringen und dort stündliche Messungen vorzunehmen. Auf diese Weise erhält man Vergleichswerte zu den Klima- und Wetterdaten der unterschiedlichen Wetterstationen. Des Weiteren ergibt sich hier auch die Möglichkeit, zusätzlich gebäudespezifische Kennmessdaten zu ermitteln. Innenraumtemperaturen und Oberflächentemperaturen der massiven Bauteile zur Evaluierung der Speichermasse sind Beispiele für spezifische Kenndaten, die nur an den jeweiligen Gebäuden direkt gemessen werden können. Diese Messungen können mit elektronischen Messgeräten durchgeführt werden – hier wurden sie mit einem genormten digitalen Multimeter-Messgerät[10] vorgenommen, mit dem mit Hilfe einer Temperaturmess-Sonde auch die Oberflächentemperaturen von Bauteilen erfasst werden können, indem der Detektor einfach an die Oberfläche des Gebäudeelements gedrückt wird. Weiter kann dieses Gerät die Luftfeuchtigkeit in Prozent sowie auch akustische Geräuschkulissen messen. Der Schallpegelmesser gibt die gemessenen Pegelwerte digital in Dezibel (dB) an.

Die Messungen der spezifischen Windgeschwindigkeiten an den unterschiedlichen Öffnungen der Fassade und innerhalb der Wohneinheiten und Erschließungen wurden mit einem Anemometer[11] durchgeführt. Dieses digitale Windmessgerät beinhaltet ein fünfflügeliges Windrad durch das die Windströmung hindurchfließt. Das Gerät misst anhand der Drehzahl dieses Propellers die Windgeschwindigkeit und zeigt sie digital an – wahlweise in verschieden Einheiten wie Knoten (kt), Kilometer pro Stunde (km/h), Meilen pro Stunde (mph) oder Meter pro Sekunde (m/s). Des Weiteren ist es möglich, die Windstärken in Form einer Klassifizierung auszudrücken: Eine Zahl von 1 bis 12 drückt hier die sogenannte Beaufort-Windstärke aus. Da international die Anwendung m/s (Meter pro Sekunde) sehr verbreitet ist und vor allem in Asien oft angewendet wird, wurde für die vorliegende Studie diese Einheit gewählt. 1 km/h Windgeschwindigkeit entspricht 0,278 m/s und einer Beaufort-Windstärke von 1 (leiser Zug). Eine Tabelle mit allen Einheiten, den Windstärken und den jeweiligen Umrechnungen befindet sich im Anhang(Tabelle zur Umrechnung der Windgeschwindigkeit in Beaufort, m/s, Knoten und km/h).

[10] Digitales Multimeter-Messgerät: EM 886, Firma PCE.

[11] Windmessgerät: Anemometer AM 81, Firma PCE.

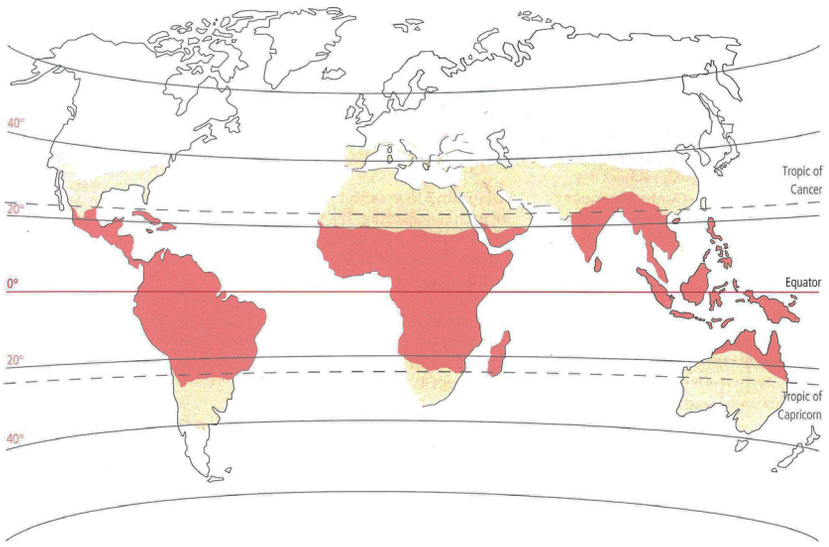
2.2.1 Geographische Lage der Subtropen und Tropen
2.2.2 Jahreszeiten
2.2.3 Ausgewählte Standorte und Sonnenstand
2.2.4 Spezifizierte Quellen- und Wetterdaten
2.2.5 Luftfeuchtigkeit
2.2.6 Temperatur
2.2.7 Temperaturdifferenz Tag/ Nacht

01 I Indian Monsoon, Quelle: http://journeys2remember.blogspot.co.at/2013/08/monsoon-in-india-sandesh-kadur.html

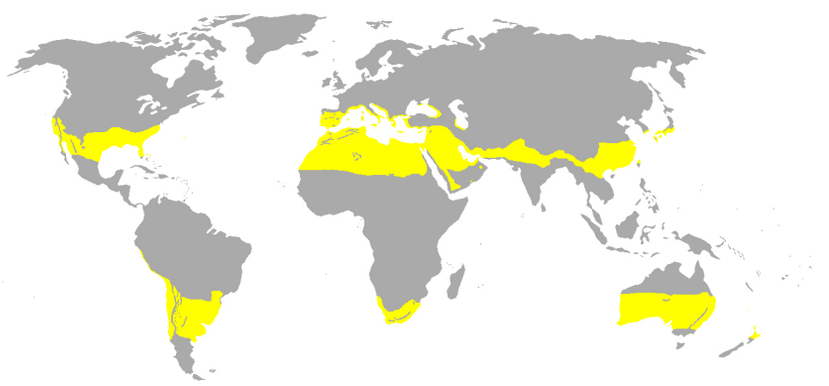
2.2 Subtropisches und Tropisches Klima



2.2.1 Geographische Lage



02



03



04

02 I Weltkarte mit Klimazonen und Breitengraden, Quelle: Dirk Hindrichs und Klaus Daniel, plus minus 20°/40°latitude, Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart / London, 2007, S.117.

03 I Weltkarte mit subtropischen Klimazonen (gelb), auf Basis von Carl Troll und Karlheinz Pfaffen, *Karte der Jahreszeitenklimate der Erde*. In: Erdkund. Arch. Wiss. Geogr. 18, 1964, 5–28.

04 I Weltkarte mit der tropischen (rot), Klimazone auf Basis von Carl Troll und Karlheinz Pfaffen, *Karte der Jahreszeitenklimate* der Erde. In: Erdkund. Arch. Wiss. Geogr. 18, 1964, 5–28.

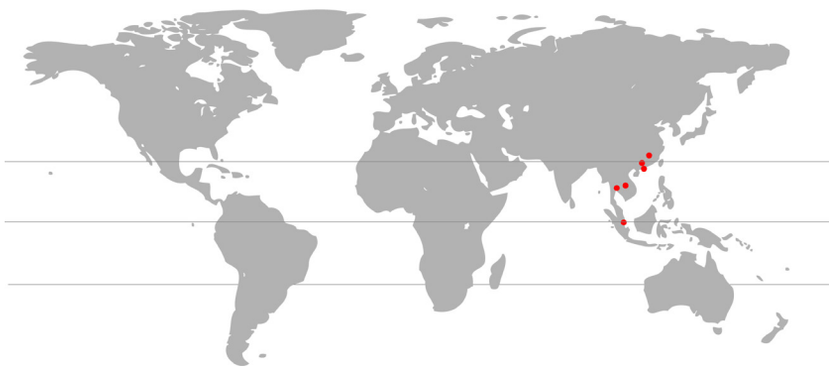
Charakteristisch für die beiden Klimagebiete Subtropen und Tropen sind die hohe Luftfeuchtigkeit und hohe Temperatur. Deswegen ist es hier im Wohnungsbau und Öffentlichen Gebäuden zum Standard geworden die Klimaanlage zum Kühlen von Wohninnenräumen zu nutzen. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit tropischen und subtropischen Gebieten in Asien, da hier eine große Problematik der Klimaanlagennutzung besteht und ebenso einige wenige innovative Wohnhäuser zur Reduzierung der Klimaanlagennutzung ausfindig gemacht wurden (siehe Teil 04 der Arbeit „Analyse der Fallstudien"). Durch die unterschiedlichen Standorte der Fallbeispiele bedingt – unterschiedliche Breitengrade und Nähe zum Äquator, verschiedene Lagen wie kontinental oder in Küstennähe sowie auch der unterschiedlich große Einfluss von Monsunwinden – gib es hier verschiedene klimatische Bedingungen. Diese sollen im Folgenden nun erläutert werden.

2.2.1 Geografische Lage der Subtropen und Tropen

Die subtropischen Regionen befinden sich grob zwischen dem 40sten nördlichen und dem 40sten südlichen Breitengrad und den jeweiligen 20sten Breitengraden. Der mittlere Bereich zwischen dem 20sten nördlichen und dem 20sten südlichen Breitengrad sind die Tropen. Auf der Weltkarte mit schemenhaft angedeuteten Klimazonen (den Subtropen in Gelb und den Tropen in Rot) und den Breitengraden lässt dies gut erkennen.
In der Mitte der tropischen Regionen befindet sich der Äquator. Am nördlichen und südlichen Wendekreis steht die Sonne zur jeweiligen Sonnenwende am Mittag im Zenit. Die Wendekreise haben vom Äquator je einen Abstand von 2.609 km und begrenzen die Zone der Tropen – im Norden der Wendekreis des Krebses (Tropic of Cancer) und im Süden der Wendekreis des Steinbocks (Tropic of Capricorn) auf jeweils 23,5° Breite.

Ausgewählte Regionen und Orte mit hier untersuchten Gebäudebeispielen sind in den Tropen die Region Isan (engl. = Issan) sowie die Städte Bangkok und Singapur; in den Subtropen sind es die chinesischen Städte Longyan, Guangzhou und Hongkong.

2.2.1 Geographische Lage



05



06

05 l Weltkarte mit sechs ausgewählten Standorten, Äquator und Wendekreisen, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

06 l Kartenausschnitt Asien mit sechs ausgewählten Standorten, Äquator und Nördlichem Wendekreis, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

2.2.2 Jahreszeiten

Prinzipiell sind die Jahreszeiten in den Tropen und Subtropen nicht so ausgeprägt wie in den moderaten und kalten Teilen der Erde. Je weiter entfernt der Standort vom Äquator ist, desto ausgeprägter sind die Jahreszeiten. So gibt es im nördlichsten Standort **Longyan** einen kalten Winter, den Herbst, den Frühling und einen sehr heißen Sommer.

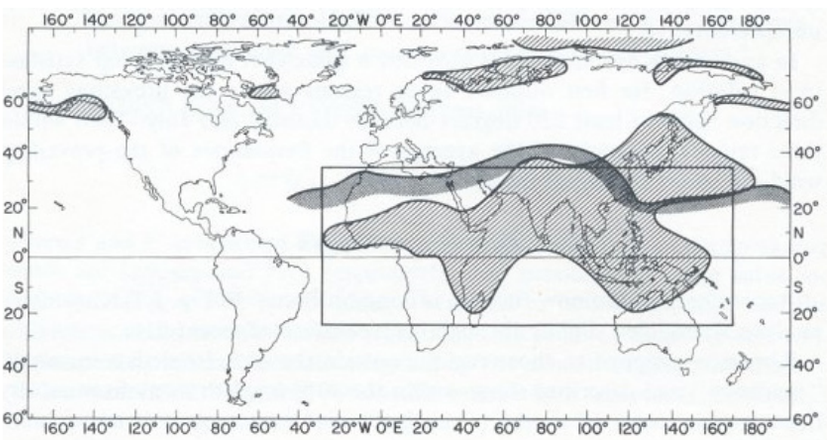
In **Hongkong** sind die vier Jahreszeiten ebenfalls stark ausgeprägt: Im Herbst kommt kühlere Monsunluft von Norden aus Zentralasien. Von Oktober bis Januar gibt es durchschnittliche Tagestemperaturen zwischen 18 und 20 °C. Im Winter ist es am kältesten: Dann kann es nachts auf minimal 6 °C abkühlen und tagsüber maximal 20 °C warm sein. Im Frühling herrscht Regenzeit: Der Monsun sorgt von März bis Mitte Mai für einen häufig bewölkten Himmel und durchschnittliche Tagestemperaturen zwischen 17 und 28 °C. Im Sommer bestimmt der Monsun aus Südwesten kommend das Wetter. Er bringt eine extrem hohe Luftfeuchtigkeit mit sich, kombiniert mit hohen Temperaturen. Die Luftfeuchte kann dann über 90 % und die Temperatur über 35 °C erreichen. Zusätzlich gibt es in dieser Jahreszeit häufig Gewitter und Taifune.

In **Bangkok**, das sich weiter südlich befindet, lässt sich das Klima in nur drei Jahreszeiten einteilen: Sommer, Winter und Regenzeit. Letztere wird durch das Monsunklima hervorgerufen. Der Winter ist die kühle Jahreszeit von Oktober bis Februar – allerdings gehen die Temperaturen hier nur bis auf 15 °C herunter. Im Januar 2014 gab es in Bangkok einen Kälterekord von 12 °C, womit ein Rekord aus dem Jahr 1983 gebrochen wurde. Die Regenzeit ist von Juni bis September und die heißeste Jahreszeit (Sommer) ist von März bis Mai. Der heißeste Monat ist der April, indem bis zu 39 °C Tagestemperatur erreicht werden können.

Lediglich in **Singapur** bleibt das Wetter im Vergleich zu den anderen fünf Klimastandorten das ganze Jahr über relativ gleich. Die Temperaturen ändern sich hier aufgrund der Nähe zum Äquator kaum und die Temperatur ist ganzjährig hoch (Durchschnittlich ca. 30 °C). Nur die Regenzeit führt hier zu Unterschieden. Es kann hier zwischen den beiden Jahreszeiten Sommer und Regenzeit unterschieden werden. Die regenintensivste Zeit ist von November

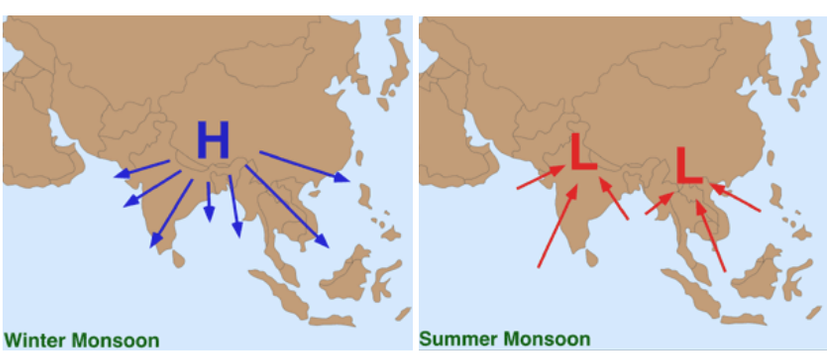
2.2.2 Jahreszeiten

bis Januar. Hier sorgt der Nordostmonsun für kräftige Regengüsse und die höchste Luftfeuchtigkeit im Jahr. Doch auch außerhalb der Regensaison ist mit häufigen Gewittern zu rechnen.



07

Der Monsun wirkt auf das tropische und subtropische Klima maßgeblich ein. Eine Weltkarte zeigt die Teile der Erde, die vom Monsunwetter stark beeinflusst werden. Die streifenförmige Fläche zeigt die Definition der Monsunregion von 1957 und die große schraffierte Fläche die von 1971, die bis heute gilt. . Der Sommer- und Wintermonsun und die jeweiligen Windströmungsrichtungen sowie Tief- und Hochdruckgebiete sind in den beiden Asienkarten ersichtlich.



08

07 I Weltkarte der Monsunregionen, Quelle: Ramage, C. S.: *Monsoon Meteorology*, Volume 15 in International Geophysics Series. Academic Press Inc., New York, London, 1971.

08 I Sommer- und Wintermonsun und die jeweiligen Windströmungsrichtungen, Quelle: Pidwirny, M.: Local and Regional Wind Systems, *Fundamentals of Physical Geography, 2nd Edition, 2006.* (Stand 04.02.2014) http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7o.html

2.2.3 Ausgewählte Standorte und Sonnenstand

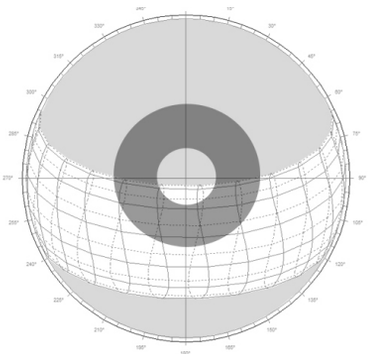
Die 6 untersuchten Standorte befinden sich alle auf der Nordhalbkugel zwischen dem Äquator und dem nördlichen Wendekreis der Sonne.[1] Die Sonne steht hier im Vergleich zu Graz (47,1°) wesentlich steiler am Himmel. Deshalb sind die solaren Energiegewinne beispielsweise in Hongkong auf horizontalen Dachflächen weitaus höher als im europäischen Raum bzw. in nördlicheren Breitengraden.[2] Es folgt eine Übersicht der sechs untersuchten Standorte und der Stadt Graz mit dem jeweiligen Breitengrad:
Breitengrad – Stadt
47,1° – Graz, Steiermark, Österreich (moderates Klimagebiet)
25,0° – Longyan, Fujian, China (Subtropen, über dem nördl. Wendekreis)
23,4° – Guangzhou, Guangdong, China (Subtropen, auf dem nördl. Wendekreis)
22,3° – Hongkong, VR China (Subtropen, knapp unterhalb des nördl. Wendekreises)
15,2° – Ubon Ratchathani, Isan, Nordöstliches Thailand (Tropen, in der Mitte zwischen Äquator und nördl. Wendekreis, im Landesinneren – kontinentales Klima)
13,8° – Bangkok, Zentralthailand (Tropen, ähnlicher Breitengrad wie Ubon, aber an der Meeresküste gelegen)
1,4° – Singapur, Republik Singapur (Tropen, auf dem Äquator)

Der jährliche Sonnenstand und -Verlauf wird in den stereografischen Abbildungen dargestellt. Wenn man beispielhaft die drei Sonnenverläufe von Longyan, Bangkok und Singapur vergleicht, kann man Folgendes erkennen: Longyan hat, weil es höher im Norden liegt, eine direkte Süd-Sonneneinstrahlung. In Bangkok hingegen erfolgt die Haupteinstrahlung der direkten Sonne hauptsächlich von Osten und Westen. In Singapur gibt es kaum direkte Nord- und Südsonneneinstrahlung, weil es direkt auf dem Äquator liegt. Die direkte Hauptsonneneinstrahlung erfolgt hier, neben der zeitlich sehr langen horizontalen Strahlung, von Westen und Osten.

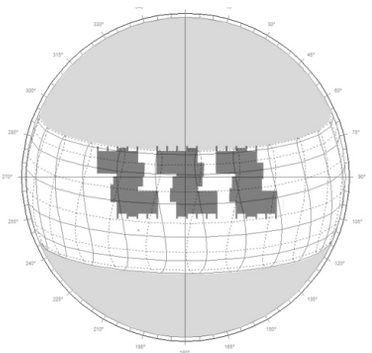
1 Die Laufbahn der Sonne ist abhängig von der Erdumlaufbahn und Rotation der Erde

2 E-Mail Dr. Richard Heimrath, (Institut für Wärmetechnik, TU Graz) an Ferdinand Oswald vom 18.10.2013.

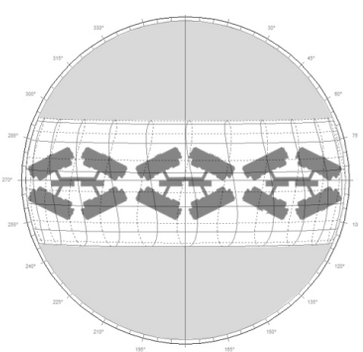
2.2.3 Standort/Sonnenstand



LONGYAN



BANGKOK



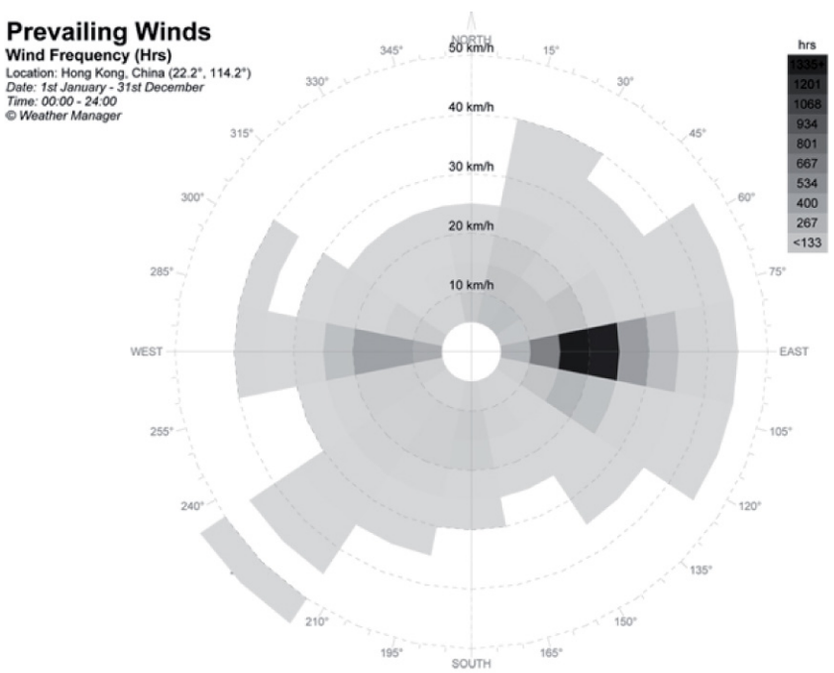
SINGAPUR

09

09 I Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung der Gebäudefallstudie für die Klimastandorte Longyan, Bangkok und Singapur, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

2.2.4 Spezifizierte Quellen- und Wetterdaten

Die Klima-Wetterdaten sind vom U.S. Department of Energy[3] abgefragt worden. Das Energieministerium der Vereinigten Staaten sammelt weltweit Klimadaten von akkreditierten staatlichen Wetterstationen und stellt sie Wissenschaftlern und Institutionen für Studien und Simulationen zur Verfügung. Die Daten der hier untersuchten 6 Klimastandorte wurden in das Programm ECOTECT/Weather Manager geladen. Hier wurden die spezifischen Daten analysiert, ausgewählt und grafisch aufbereitet. Die hieraus entwickelten Wetterdaten-Grafiken sind für jeden der sechs Standorte im jeweiligen Kapitel dargestellt. Sie beinhalten die Jahressonnenstände und die Ausrichtung des untersuchten Gebäudes. Die vorherrschenden Windkonditionen mit Windrichtung, -stärke und -häufigkeit werden als Windrosen abgebildet. Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden für ein Jahr im Monatsdurchschnitt mit Jahreshöchst- und -niedrigsten Werten in Diagrammen dargestellt. Der Messzeitpunkt der Untersuchung vor Ort ist hier rot markiert; Nachtabkühlung im Messzeitraum lassen sich hier ebenfalls ablesen.

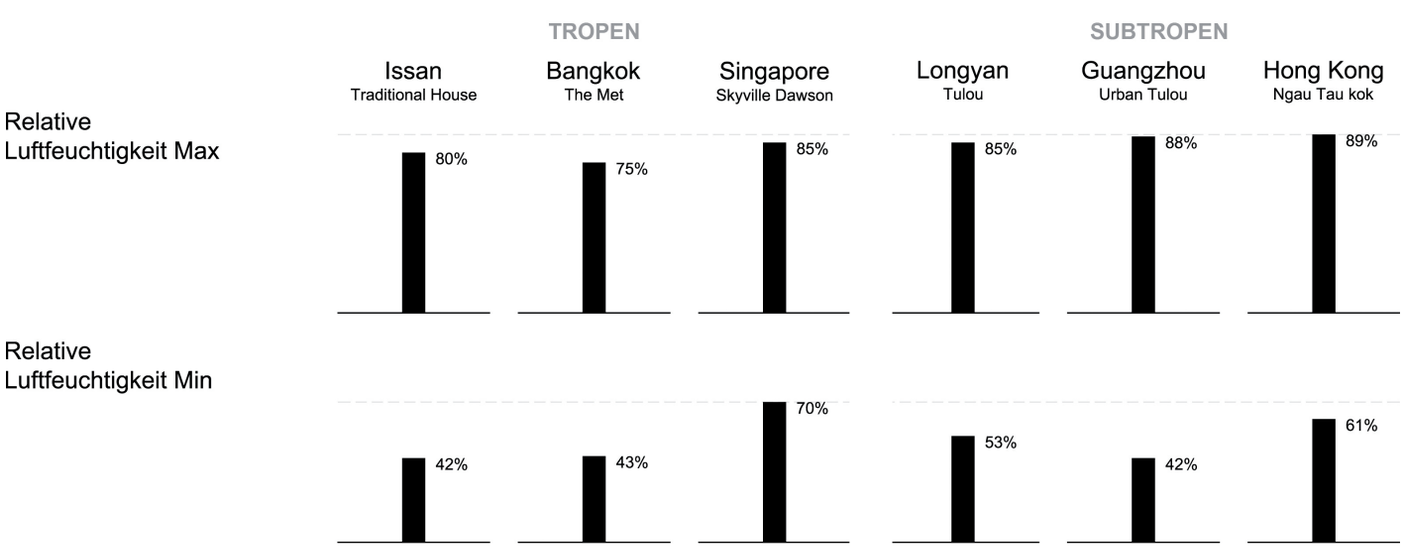


10

10 I Windrose mit Windrichtung, Windstärke und Häufigkeit, Klimastandort Hongkong,eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

[3] Weather data Download, U.S. Department of Energy, The compressed file (ZIP) which contains the following files for the location: EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY). http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm?CFID=685834&CFTOKEN=8a204601d3afbd4b-B8543EB6-9289-7E8DF9CCCA289E9A793C&jsessionid=3D227F78F29768C8E6240BDED16754CA.eere

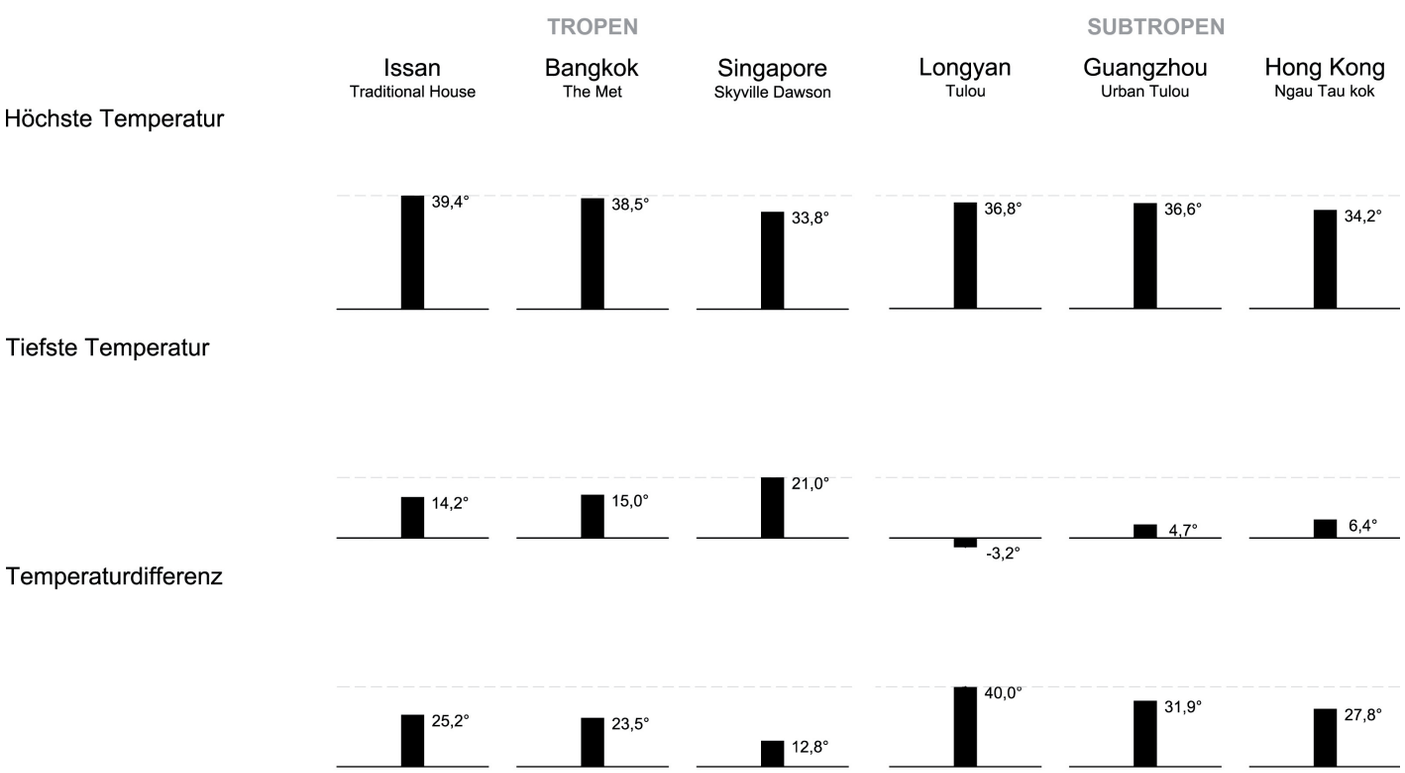
Luftfeuchtigkeit / Temperatur



11

11 | relative Luftfeuchte Jahresmaximum und –minimum, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Luftfeuchtigkeit / Temperatur



12

12 | Temperatur-Jahresmaximum, -minimum und jährliche Temperaturdifferenz, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Luftfeuchtigkeit / Temperatur

2.2.5 Luftfeuchtigkeit

Der jährliche Höchstwert der relativen Luftfeuchtigkeit ist in allen tropischen und subtropischen Regionen sehr hoch. Der Jahresminimalwert ist in Singapur mit 70 % und in Hongkong mit 61 % am höchsten. Das heißt, dass es in diesen beiden Städten über das ganze Jahr hin einen relativ konstant hohen Luftfeuchtigkeitswert gibt. Aufgrund der regelmäßigen, gleichmäßig über das ganze Jahr verteilten, Niederschläge in Singapur hat es dort die konstant höchste Luftfeuchtigkeit von allen sechs Klimastandorten. Diese hohe Luftfeuchtigkeit resultiert aus den Monsunwinden, die in den Tropen und Subtropen häufig vorkommen und feuchte Luft und Niederschläge mit sich bringen. Die Kombination aus hoher Luftfeuchtigkeit und hoher Temperatur kann das Wohlbefinden des Menschen stark beeinträchtigen.

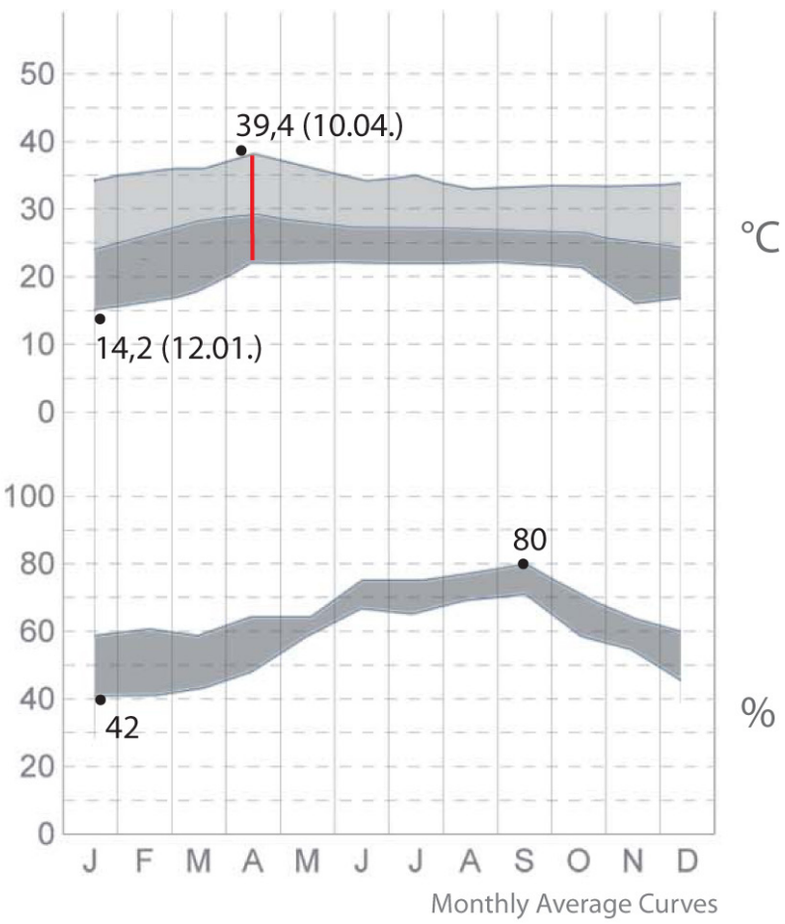
2.2.6 Temperatur

An allen sechs Standorten gibt es eine ähnliche sehr hohe jährliche Durchschnittstemperatur zwischen im Schatten gemessenen 33,8 °C und 39,4 °C. In den Subtropen fällt die Temperatur in der kalten Jahreszeit stark ab. In Hongkong und Guangzhou kann es kalt werden – die Temperatur sinkt dann auf 4,7 °C bzw. 6,4 °C ab. Im weiter nördlich gelegenen Longyan sinkt die Temperatur sogar unter die Frostgrenze ab, bis auf -3,2 °C. In Singapur beträgt die kälteste Jahrestemperatur lediglich 21 °C. Somit bleibt hier die Temperatur das ganze Jahr über sehr konstant heiß. In Ubon Ratchathani und Bangkok bleibt die Temperatur das ganze Jahr über fast immer über 15 °C. Es besteht also sogar in der kältesten Jahreszeit nicht die Notwendigkeit, zu heizen.
Die höchste durchschnittliche Jahrestemperaturdifferenz gibt es in Longyuan mit 40 °C. Dieses große Temperaturdifferential ist mit denen der moderaten Gebiete vergleichbar und erfordert energetische Maßnahmen (Heizung oder baulichen Wärmeschutz), um eine Behaglichkeit im Innenraum zu erhalten.

Mit 31,9 °C und 27,8 °C liegen Guangzhou und Hongkong in Sachen Temperaturdifferenz an zweiter und dritter Stelle.

2.2.7 Temperaturdifferenz Tag/Nacht

Bei der Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht wurden Daten des U.S. Department of Energy und zudem die Ergebnisse der vor Ort durchgeführten Messungen jeweils für den Tag der Messung herangezogen und



13 April 13th min. 24,7°C max. 35,8°C

13 I Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit für ein Jahr im Monatsdurchschnitt mit Jahreshöchst- und -niedrigstem Wert, Klimastandort Isan, Ubon Ratchathani, nordöstliches Thailand, eigene Darstellung: Oswald, Ferdinand, 2013.

Luftfeuchtigkeit / Temperatur

miteinander verglichen. Beide Datenquellen stimmen ungefähr überein. Die Nachtabkühlung kann für die passive Speichermassenkühlung genutzt werden. In der Issan-Region ist sie sehr stark ausgeprägt: Hier kann die Temperatur in der heißesten Jahreszeit von 35,8 °C am Tag auf 24,7 °C in der Nacht abkühlen.[4] Dies entspricht einem Temperaturdifferential von 11,1 °C innerhalb eines Tages. Auch in den beiden Städten Longyan und Guangzhou gibt es im heißesten Monat September eine Nachtabkühlung von fast 10 °C. Alle drei Städte haben miteinander gemeinsam, dass sie sich im Landesinneren befinden. Im Vergleich zu den Küstenstädten, wo das Meer wie ein großer Wärmepuffer wirkt, der die sehr hohen und sehr niedrigen Temperaturen durch Speicherung der Temperatur ausgleicht, gibt es an kontinentalen Standorten größere Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht.

Beim Seeklima, in Küstengebieten, ist die Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht nicht so hoch, weil sich das Wasser im Meer als ein besserer Wärmespeicher als der Erdboden darstellt.
Die Dichte von Wasser ist mit 1.000 kg/m^2 zwar niedriger als vergleichbare Materialien des Erdbodens wie Lehm (1.700 kg/m^2) oder Sand (1.900 kg/m^2).[5] Doch die spezifische Wärmekapazität von Wasser ist höher als die der Böden im Landesinneren. Deswegen stellt das Wasser im Meer einen sehr effektiven Wärmespeicher dar und gleicht die Temperaturdifferenzen des Tag-Nacht-Zyklus besser aus.
Die spezifischen Wärmekapazitäten von folgenden Materialien zeigen dies auf:
Wasser (4,19 kj/kgK)
Lehm (0,90 kj/kgK)
Sand (0,80 kj/kgK)
Stahlbeton (1,10 kj/kgK)[6]

Umgekehrt speichert der Erdboden in kontinentalen Bereichen Temperaturen schlechter. Somit nimmt die Erdmasse einen kleineren Einfluss auf die Umgebungs- bzw. Lufttemperatur. Je weiter man also ins Innere eines Kontinents kommt, desto geringer wird der ausgleichende Effekt und Einfluss des Meeres.

[4] Ergebnisse aus Messungen vor Ort am 13. April 2013 in Ubon Ratchathani, Datenabfrage vom U.S. Department für Energie für den 13. April 2013 in Ubon Ratchathani: Durchschnittstemperatur min. 26,2 °C, max. 34,1 °C Tag- Nacht Temperaturdifferenz von 9,9 °C.

[5] Kenngrößen von Dichte und Wärmekapazität aus Stoffwerttabelle für Dynamische Kenngrößen, Quelle: Keller , Bruno / Rutz, Stephan: PINPOINT – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigemBauen, vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich, Zürich 2007, S. 45.

[6] Ebda.

Luftfeuchtigkeit / Temperatur

Im Kontinentalklima sind außerdem die Wolken zum Aufsteigen gezwungen und können durch die daraus resultierende Abkühlung nicht mehr so viel Wasserdampf halten. Dadurch ist im Landesinneren die Anzahl der Wolken geringer und die Luftfeuchtigkeit ist weniger hoch. Die Windgeschwindigkeit ist im Kontinentalklima geringer und am Meer höher.
In der Küstenstadt Singapur herrscht eine relativ konstante Jahrestemperatur. Trotzdem gibt es hier im heißen Monat Dezember eine Nachtabkühlung von 6,3 °C, gemessen an der von der dortigen staatlichen Wetterstation angegebenen durchschnittlichen Minimaltemperatur von 24,7 und der durchschnittlichen Maximaltemperatur von 31,0 °C. In Bangkok ist in der heißesten Jahreszeit anscheinend eine Tag-Nacht-Temperaturdifferenz von 9,4 °C möglich.[7] Die Messungen vor Ort haben am selben Tag allerdings nur eine Temperaturdifferenz von 5,2 °C ergeben. Dies ist mit der Speicherung und Wiederabstrahlung der Hitze durch massive Gebäudeteile in der Innenstadt zu begründen: Der städtische Wärmeinseleffekt erhöht die Temperatur und verhindert eine allzu große Abkühlung in der Nacht. Detaillierte Erklärungen hierzu gibt es im Kapitel 4.2. „Erste Fallstudie – The Met, Bangkok Thailand".
Die Tag-Nacht-Temperaturdifferenzen sind also an allen Standorten außer in Singapur relativ groß. Sie lassen sich im Einzelnen für alle sechs Standorte in den jeweiligen Kapiteln aus den Temperatur-Klimadiagrammen ablesen.
Der genaue Messpunkt der Temperatur in den untersuchten Gebäuden wird im Folgenden jeweils klar definiert und eventuelle Abweichungen von den Messwerten der Wetterstationen – z.B. durch Wärmeabstrahlungen von massiven Gebäudeteilen – werden erläutert. Die Wetterdaten und die Messergebnisse aus den gebauten Beispielen werden im Laufe der Arbeit dazu verwendet, die Anwendung der Kühlmethoden in Kombination mit der jeweiligen architektonischen Ausführung an den einzelnen Klimastandorten zu evaluieren.

[7] Datenabfrage vom U.S. Department für Energie für den 13. April 2013 am Klimastandort Bangkok.

Inhaltsverzeichnis - Teil 03

Teil 03 Bewertungsmethoden und -kriterien

3.1. Betrachtungsebenen der Analyse

3.1.1 Makro-Ebene
3.1.2 Meso-Ebene
3.1.3 Mikro-Ebene
3.1.4 Metaebene

3.2. Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten

3.2.1 Kenngrößen
3.2.2 Kennwerte
3.2.3 Anwendung

3.3. Standortbedingte Kühlmethoden – Psychrometrie

3.3.1 Psychrometrisches Diagramm zum Beispiel Longyan, China
3.3.2. Die Mängel dieses Modells

3.4 . Kühlmethoden: Funktionsweisen und architektonisches Potential zur Verbesserung der Behaglichkeit

3.4.1 Natürliche Belüftung
3.4.2 Verringerung der Solaren Energieeinträge
3.4.3 Speichermassenkühlung
3.4.4 Verdunstungskühlung

3.1.1 Makro-Ebene
3.1.2 Meso-Ebene
3.1.3 Mikro-Ebene
3.1.4 Metaebene

3.1. Betrachtungsebenen der Analyse

In diesem Kapitel sollen die vier Betrachtungsebenen zur vorliegenden Analyse der Fallstudien definiert werden.

3.1.1 Makro-Ebene

Auf der Makro-Ebene werden die Fallstudien in einem sehr großen städtebaulichen Maßstab betrachtet. Auf dieser Betrachtungsebene ist der Standort des Gebäudes das wichtigste Kriterium. Hier spielen Formation, Komposition und städtebauliche Anordnung der Wohngebäude eine erhebliche Rolle hinsichtlich der Orientierung zum Sonnenstand und zur Windrichtung. Die Topografie bezüglich Vegetation im Umfeld und Nachbarbebauung kann hier ebenfalls von Bedeutung sein. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt allerdings in der Betrachtung auf Meso- Mikro- und Metaebene. Die Makroebene wird zwar ebenfalls mit betrachtet, sie wird aber nicht so detailliert behandelt wie die anderen drei Ebenen.

3.1.2 Meso-Ebene

Die Aspekte der Meso-Ebene sind die Gebäudetypologie und die Grundrissstruktur; diese können als architektonische Strukturelemente bezeichnet werden. Die funktionale Grundrissorganisation ist hinsichtlich der Belegung von Freiräumen und geschlossenen Räumen von großer Bedeutung: Eine offene Grundrisskonfiguration fördert erheblich die Windströmung durch die Räume. Hinsichtlich der Beschaffenheit des Gebäudes sind die Gebäudeform, die Kompaktheit und das A/V-Verhältnis (Außenhaut/Volumen-Verhältnis) für die natürliche Belüftung von Wichtigkeit. Aspekte wie das statische System des Gebäudes (tragende und nichttragende Gebäudestruktur) spielen hinsichtlich Porosität und auch Wärmeweiterleitung sowie Schutz vor solaren Energieeinträgen eine Rolle.

3.1.3 Mikro-Ebene

Auf der Mikroebene werden die Fassaden- und Fensteröffnungen betrachtet sowie Detaillierungen der Gebäudeprojekte in kleinstem Maßstab. Architektonische Fassadenstrukturelemente wie Wandabwicklungen, horizontale und vertikale Wandscheiben, Überhänge, Ausstülpungen, Auskragungen, Blenden, Verschattungselemente, Flügel, Tragflächen, Brise Soleil, Überstände, Überhän-

ge sowie auch tragende und selbsttragende Strukturen werden hinsichtlich ihrer funktionalen Effektivität evaluiert. Auch werden die Anforderungen an die Wandfensteröffnungen hinsichtlich natürlicher Belüftung, Verschattung und Schutz vor Witterung auf dieser Mikro-Ebene betrachtet.
Zu guter Letzt wird auf dieser Ebene auch die Detaillierung der Fassadenkomponenten berücksichtigt – also Glasanteil, Größendimensionen, Masse, Materialtyp, Oberflächen und weitere Eigenschaften der verwendeten Materialien. Inwieweit Fassade und Öffnungen die Anforderungen an Belüftung, Verschattung, Speichermasse und Verdunstungskühlung erfüllen müssen, wird später im Kapitel 3.4„Kühlmethoden-Funktionsweisen (Kriterien) und deren architektonischen Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit“ beschrieben.

3.1.4 Metaebene

Auf der Metaebene soll der Einfluss traditioneller Architekturkonzepte auf zeitgenössische betrachtet werden. Dies ist eine übergeordnete Betrachtungsebene, da sie alle drei zuvor genannten Ebenen mit einschließt. Im Kapitel „Vorstudie“ (vor der ersten Fallstudie) wird ein traditionelles thailändisches Holz-Wohnhaus mit einem konventionellen thailändischen Wohnhaus in Massivbauweise verglichen und die unterschiedlichen architektonischen Mittel werden bezüglich ihrer Vor- und Nachteile für die Innenraumbehaglichkeit unter Berücksichtigung des Klimastandortes (Tropen) evaluiert.

3.2.1 Kenngrößen

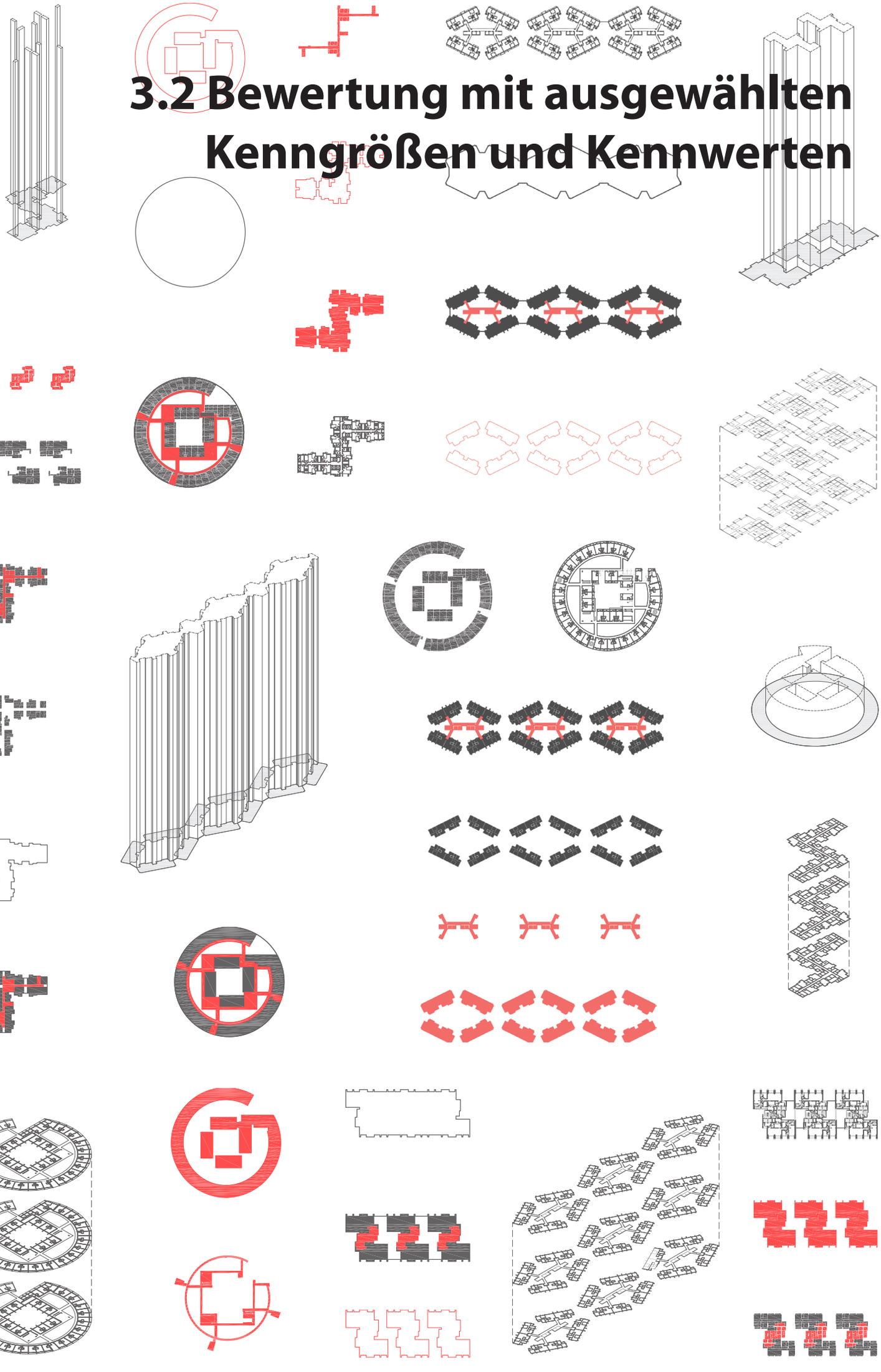
3.2.1.1 Ermittlung der Kenngrößen
3.2.1.2 Flächenkennwerte (nach ÖNORM)
3.2.1.2.1 Brutto-Grundfläche (BGF)
3.2.1.2.2 Netto-Grundfläche (NGF)
3.2.1.2.3 Konstruktions-Grundfläche (KGF)
3.2.1.2.4 Nutzfläche (NF)
3.2.1.2.5 Verkehrsfläche und Funktionsfläche (VF FF)
3.2.1.3 Raumkenngrößen (nach ÖNORM)
3.2.1.3.1 Brutto-Rauminhalt (BRI)
3.2.1.3.2 Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV)
3.2.1.3.3 Luftanteil (LA)
3.2.1.4 Hüllenkenngrößen (HÜL nach ÖNORM)
3.2.1.4.1 Umfang (U)
3.2.1.4.2 Geschoßhöhe (GH)
3.2.1.4.3 Gebäudehöhe (GBH)
3.2.1.4.4 Außenwandfläche (AF)
3.2.1.4.5 Außengrundfläche (GF)
3.2.1.4.6 Dachfläche (DF)
3.2.1.4.7 Hüllfläche (HÜL)
3.2.1.5 Nutzungseinheitenkenngrößen (NE nach ÖNORM)
3.2.1.5.1 Nutzungseinheiten Geschoß (NE)
3.2.1.5.2 Nutzungseinheiten Gesamt (NEG)
3.2.1.6 Nutzerkenngrößen (NU nach ÖNORM)
3.2.1.6.1 Nutzer Wohneinheit (NU)
3.2.1.6.2 Nutzer Geschoß (NUG)
3.2.1.6.3 Nutzer Gesamt (NUA)

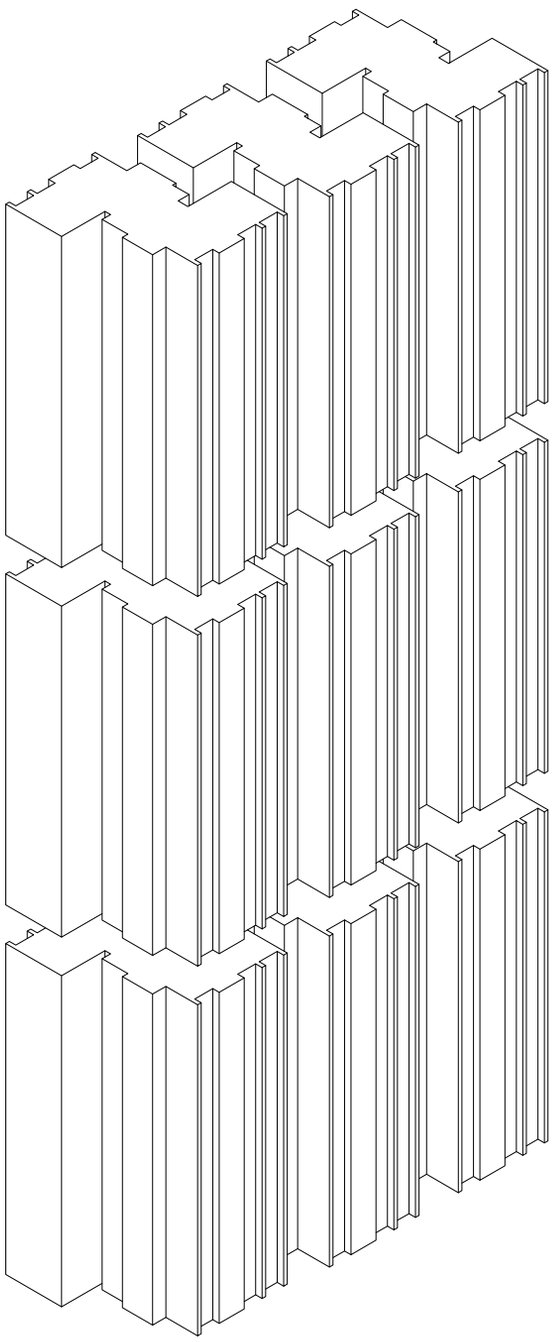
3.2.2 Kennwerte

3.2.2.1 Kennwertbildung
3.2.2.2 Flächenkennwerte (nach ÖNORM und DIN)
3.2.2.2.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)
3.2.2.2.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)
3.2.2.2.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)
3.2.2.2.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)
3.2.2.3 Raumkennwerte (nach ÖNORM und DIN)
3.2.2.3.1 Bruttoraumquotient (BRIQ)
3.2.2.3.2 Luftanteil (LA)
3.2.2.3.3 Hüllflächenquotient (HÜLQ) A/V-Verhältnis
3.2.2.4 Nutzungskennwerte (nach ÖNORM)
3.2.2.4.1 Nutzungseinheitsquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten
3.2.2.4.2 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)
3.2.2.5 Nutzerkennwerte (nach ÖNORM)
3.2.2.5.1 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP)
3.2.2.5.2 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Person (GP)

3.2.3 Anwendung

3.2 Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten





01

01 | Isometrische Volumendarstellung The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Im folgenden Kapitel werden die Kennwerte definiert, die eine Aussage und Vergleichbarkeit zur Bewertung von Wohnhochhäusern in tropischen und subtropischen Gebieten hinsichtlich ihrer Typologie ermöglichen. Die Kenngrößen sind für moderates Klima, z.B. in Mitteleuropa, und für das tropische bzw. subtropische Klima anwendbar. Allerdings unterscheiden sich die Bewertungskriterien teilweise aufgrund der Klimatischen Bedingungen und hinsichtlich der Anwendung von alternativen Kühlmethoden anstatt der Nutzung der Klimaanlage.
In diesem Kapitel werden die Kenngrößen und Kennwerte am Beispiel des *The Met*-Wohnhochhauses in Bangkok erläutert, das von WOHA-Architekten aus Singapur realisiert wurde. Das Gebäudevolumen ist in der isometrischen Darstellung gut ersichtlich.
Die Bewertung der einzelnen Größen und Werte dieses *The Met*-Wohngebäudes erfolgt dann in der ersten Fallstudie in Kapitel 4.2.
Die Kenngrößen wurden für alle vier Fallstudien ermittelt und sodann für die jeweiligen Projekte in den einzelnen Kapiteln mit den Fallstudien dargestellt und bewertet. Im Fazit werden diese Ergebnisse dann miteinander verglichen.
Die Berechnungsgrundlagen der Kenngrößen sind im Anhang für alle vier Fallstudien in tabellarischer Form dargestellt und basieren auf der ÖNORM oder der DIN. Die Kenngrößen und Kennzahlen wurden für jedes Gebäudebeispiel grafisch dargestellt.

3.2.1 Kenngrößen

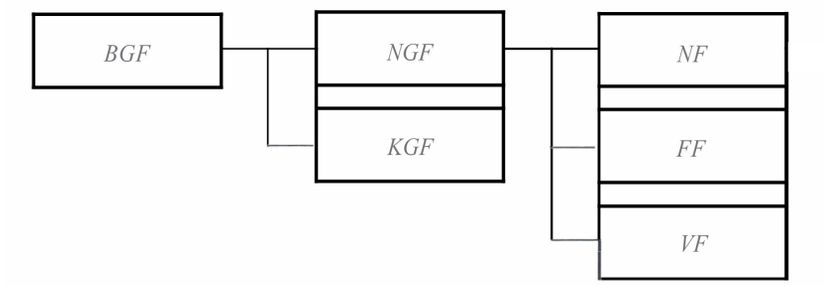
Diese Kenngrößen, auch als **Objektdaten** bezeichnet, sind in der ÖNORM festgelegt und dienen zur Bildung der Kennwerte. Es können aber auch weitere noch spezifischere Objektdaten erstellt werden: „Objektdaten dienen als Grundlage für die Bildung von Kennwerten. Für die Bildung von Planungskennwerten werden bebaute Fläche, Netto-Grundfläche und Brutto-Rauminhalt als Objektdaten verwendet. Weitere Objektdaten können nach Bedarf objektspezifisch angewendet werden.“[1]

3.2.1.1 Ermittlung der Kenngrößen

Die folgenden Kenngrößen wurden anhand der ÖNORM (B-1800) „Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken“ (Ausgabe 2002-01-01) berechnet.„Maßermittlungen und Berechnungen erfolgen nach den Regeln

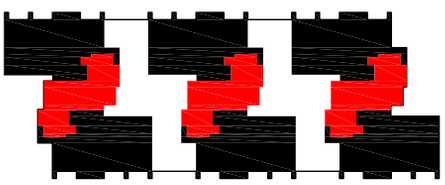
[1] ÖNORM B 1801-1:2009, Bauprojekt- und Objektmanagement, 6.2.1 Kennwertbildung, Objektdaten, S. 24.

3.2.1 Kenngrößen



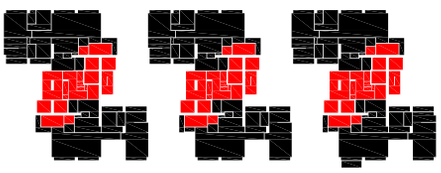
BGF .... Brutto-Grundfläche
NGF .....Netto-Grundfläche
KGF .....Konstruktions-Grundfläche
NF..... Nutzfläche
FF..... Funktionsfläche
VF..... Verkehrsfläche

02



BGF | Geschoss =1.623 m²

03



NGF | Geschoss = 1.342 m²

04

02 | Übersicht Geschossbezogene Grundflächen, Quelle: ÖNORM B-1800 Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken (Ausgabe 2002-01-01), Anhang A, S. 11.

03 | Brutto-Grundfläche pro Geschoss (BGFG), The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

04 | Netto-Grundfläche pro Geschoss (NGFG), The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

der Geometrie, wobei die lotrechte Parallelprojektion anzuwenden ist."[2] In den Berechnungen werden Zahlen bis zwei Stellen hinter dem Komma verwendet. In den Ergebnissen werden die Zahlen je nach Zahlenart nachdem Komma ab- oder aufgerundet. „Aus sachgebiets- oder zielorientierten Anlässen kann eine vereinfachte Berechnung bzw. Rundung erfolgen."[3]

3.2.1.2 Flächenkennwerte (nach ÖNORM)

Geschossbezogene Grundflächen sind die Brutto-Grundfläche, die Netto-Grundfläche und die Konstruktions-Grundfläche. Aus der Netto-Grundfläche ergeben sich Nutzfläche, Verkehrsfläche und Funktionsfläche. Eine Übersicht dieser Flächenstruktur-Gliederung ist in der Abbilddung ersichtlich.

3.2.1.2.1 Brutto-Grundfläche (BGF)

„Die Brutto-Grundfläche ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes. Die Brutto-Grundfläche ist in Netto-Grundfläche und Konstruktions-Grundfläche gegliedert."[4] In diesem Beispiel ergibt die Brutto-Grundfläche pro Geschoss (BGFG) einen Wert von 1.623 m^2. Zur Berechnung der Brutto-Grundfläche aller Geschosse wird der Wert mit der Anzahl der Wohngeschosse (GA) multipliziert (BGF = BGFG * GA = 1.623 m^2 * 56 = 90.888 m^2). In der Abbildung ist die Brutto-Grundfläche zeichnerisch für ein Geschoss dargestellt (BGFG).

3.2.1.2.2 Netto-Grundfläche (NGF)

„Die Netto-Grundfläche ist die Summe der zwischen den aufgehenden Bauteilen befindlichen Bodenflächen (Fußbodenfläche) aller Grundrissebenen eines Bauwerkes. Die Netto-Grundfläche ist in Nutzfläche, Funktionsfläche und Verkehrsfläche gegliedert."[5] In der Abbildung ist die Netto-Grundfläche pro Geschoss (NGFG) berechnet (1.342 m^2). Die NGFG wird zur Ermittlung der Netto-Grundfläche (NGF) ebenfalls mit der Anzahl der Wohngeschosse

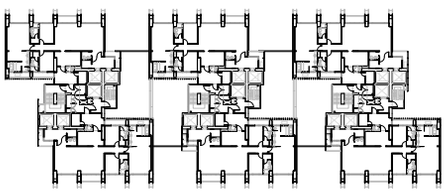
2 ÖNORM B-1800 Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken (Ausgabe 2002 -01-01), 3, S. 3.

3 Ebda.

4 ÖNORM (B-1800) Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken (Ausgabe 2002 -01-01), 4.2., S. 5.

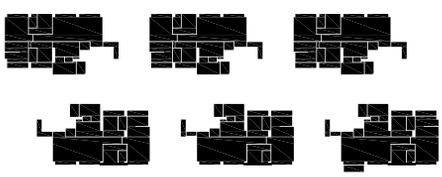
5 Ebda. 4.3., S. 5.

3.2.1 Kenngrößen



KGF | Geschoss = 281 m²

05



NF | Geschoss = 1.025 m²

06



VF | Geschoss = 317 m²

07

05 I Konstruktions-Grundfläche pro Geschoss (KGFG), The Met, eigene Darstellung: © Ferdinand Oswald

06 I Nutzfläche pro Geschoss (NFG), The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

07 I Verkehrsfläche pro Geschoss (VFG), The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

multipliziert (NGF = NGFG * GA = 1.341,92 m^2 * 56 = 75.148 m^2). Parkgaragengeschosse werden hier bei allen Kenngrößen nicht mit einbezogen; es werden nur die Wohnflächen bewertet, um die Vergleichbarkeit aller vier Fallstudien zu gewährleisten. In der Abbildung ist die Netto-Grundfläche zeichnerisch in einem Geschoss dargestellt (NGFG).

3.2.1.2.3 Konstruktions-Grundfläche (KGF)

„Die Konstruktions-Grundfläche ist die Differenz zwischen Brutto- und Netto-Grundfläche."[6] Sie beinhaltet die Fläche aller tragenden und nichttragenden Wände und Stützen innerhalb der Grundrisse und der Fassade (Außenwandfläche).
Zur Ermittlung der Konstruktions-Grundfläche (KGF) wird die Konstruktions-Grundfläche pro Geschoss (KGFG) mit der Anzahl der Wohngeschosse multipliziert (KGF = KGFG * GA = 281,36 m^2 * 56 = 15.756 m^2). In der Darstellung ist die Konstruktions-Grundfläche (KGFG) eines einzelnen Regelgeschosses ersichtlich.

3.2.1.2.4 Nutzfläche (NF)

„Die Nutzfläche dient der Nutzung des Bauwerkes aufgrund seiner Zweckbestimmung."[7] Sie ist ein Teil der Netto-Grundfläche und kann im Wohnungsbau auch als vermietbare Wohnfläche bezeichnet werden. Zur Ermittlung der Nutzfläche (NF) wird die Nutzfläche pro Geschoss (NFG) mit der Anzahl der Wohngeschosse multipliziert (NF = NFG * GA = 1.024,97 m^2 * 56 = 57.398 m^2). In der Darstellung ist die Nutzfläche für ein einzelnes Regelgeschoss dargestellt.

3.2.1.2.5 Verkehrsfläche (VF) und Funktionsfläche (FF)

„Die Verkehrsfläche dient dem Zugang und dem Verlassen von Nutz- oder Funktionsflächen oder dem Verkehr zwischen diesen Flächen. Die Flächen von Fahrtreppen und Fahrsteigen sind Verkehrsflächen."[8] „Die Funktionsfläche dient der Unterbringung von allgemein benötigten haustechnischen Einrichtungen samt der gegebenenfalls für sie allein erforderlichen Verkehrsflächen. Dazu gehören z.B. Räume für Heizungs-, Versorgungs- und Entsor-

6 Ebda. 4.4, Konstruktions-Grundfläche (KGF), S. 5.

7 Ebda. 4.3.1, S. 6.

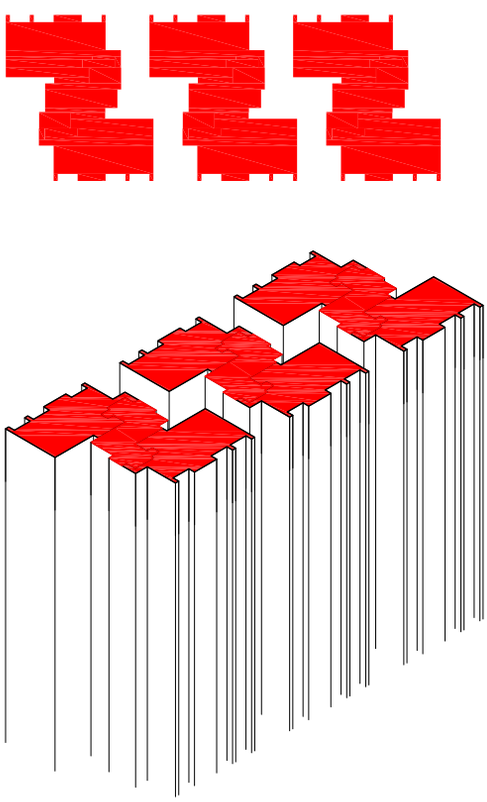
8 Ebda. 4.3.3.

3.2.1 Kenngrößen

gungseinrichtungen, begehbare Installationsnischen, -schächte und -gänge sowie Aufzugstriebwerksräume."[9] In der vorliegenden Studie wird zwischen Verkehrsfläche und Funktionsfläche nicht unterschieden. Die Funktionsfläche (FF) wurde in dieser Studie in die Verkehrsfläche mit hineingerechnet. Die Verkehrsfläche ist also hier VF + FF. Zur Ermittlung der Verkehrsfläche (VF) wird die Verkehrsfläche pro Geschoss (VFG) mit der Anzahl der Wohngeschosse multipliziert (VF = VFG * GA = 316,97 m^2 * 56 = 17.749 m^2). In der Darstellung ist die Verkehrsfläche der einzelnen Regelgeschosse (VFG) ersichtlich.

3.2.1.3 Raumkenngrößen (nach ÖNORM)

Die Raumkenngrößen spiegeln das Bauvolumen des Projektes wider. Das Ergebnis ist dementsprechend eine Volumenangabe in Kubikmetern (m^3). Für die Raumkennwerte der vorliegenden Dissertation muss der Brutto-Rauminhalt



08

08 I Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes rot dargestellt und ein Teil des Brutto-Rauminhaltes in isometrischer Darstellung, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

[9] Ebda. 4.3.2 Funktionsfläche (FF) S. 6.

nicht noch einmal untergliedert werden. Es werden jedoch noch zwei weitere Raumkenngrößen herangezogen – das Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV) und der Luftanteil (LA).

3.2.1.3.1 Brutto-Rauminhalt (BRI)

„Der Brutto-Rauminhalt ist der Rauminhalt des Bauwerkes, der von den äußeren Begrenzungsflächen und nach unten von der Unterfläche der konstruktiven Bauwerkssohle umschlossen wird."[10] „Der Brutto-Rauminhalt wird aus den Brutto-Grundflächenbereichen und den jeweils zugehörigen Höhen berechnet. […] Der Brutto-Rauminhalt kann auch ohne Unterteilung in einzelne Geschosse ermittelt werden."[11] Zur Berechnung des Brutto-Rauminhaltes (BRI) wird die Brutto-Grundfläche pro Geschoss (BGFG) mit der Gebäudehöhe aller Wohngeschosse (GBH) multipliziert (BRI = BGFG * GBH = 1.623 m^2 * 184,80 m = 299.930 m^3). In der Darstellung ist einmal die Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes rot und sodann ein Teil des Brutto-Rauminhaltes isometrisch dargestellt.

3.2.1.3.2 Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV)

Ausgehend von der Grundfläche (GF) wird ein imaginäres Volumen bis in die Höhe des jeweiligen Gebäudes extrudiert. Das Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV) beinhaltet also den Brutto-Rauminhalt (BRI) inklusive aller nicht umbauten oder nicht gebauten Lufträume und -anteile (LA) innerhalb des imaginären Gesamtvolumens. Zur Berechnung des Brutto-Raumgrundvolumens (BRGV) wird die Grundfläche (GF) aus dem Erdgeschoss mit der Gebäudehöhe aller Wohngeschosse (GBH) multipliziert (BRGV = GF * GBH = 2.199 m^2 * 184,80 m = 399.591 m^3). In der Darstellung sind die Grundfläche (GF) und der Brutto-Rauminhalte in der Aufsicht zu erkennen und sodann ein Teil des Brutto-Raumgrundvolumens (BRGV) isometrisch dargestellt .

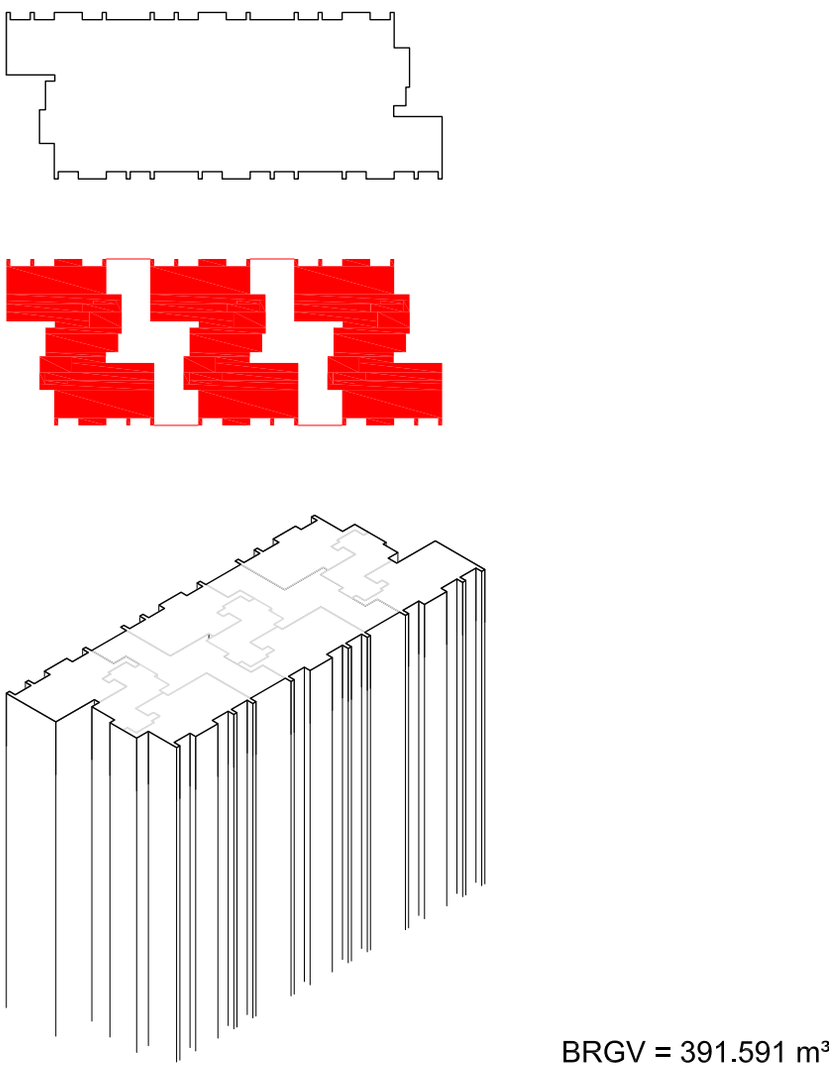
3.2.1.3.3 Luftanteil (LA)

Der Luftanteil (LA) stellt alle nicht umbauten und nicht gebauten Lufträume und -anteile innerhalb des imaginären Gesamtvolumens des Brutto-Raumgrundvolumens (BRGV) dar. Der Luftanteil wird ebenfalls in Kubikmetern

[10] Ebda. 5.2 Brutto-Rauminhalt (BRI), S. 9.

[11] Ebda. 5.5 Berechnung von Rauminhalten; 5.5.1 Brutto-Rauminhalt (BRI), S. 9.

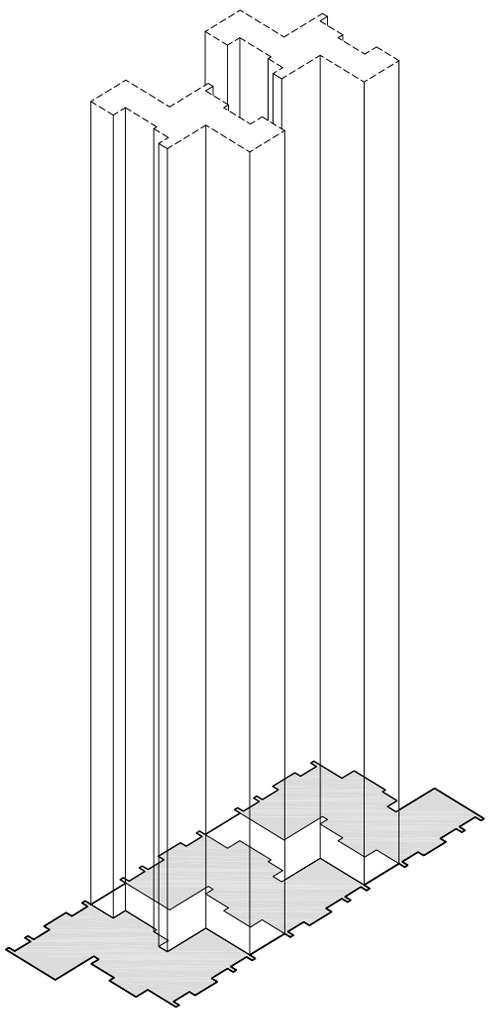
3.2.1 Kenngrößen



09

09 I Grundfläche (GF) und Brutto-Rauminhalt in der Aufsicht und Teil des Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV) in isometrischer Darstellung, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

ausgedrückt. Um den Luftanteil (LA) einer Gebäudestruktur zu berechnen wird der Brutto-Rauminhalt (BRI) vom Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV) subtrahiert (LA = BRGV - BRI = 399.591 m^3 - 299.930 m^3 = 91.661 m^3). Das Ergebnis ist der Luftraum des Wohngebäudes. Der Luftanteil des Gebäudes entspricht der realen Größe des Luftraumvolumens innerhalb des imaginären des Brutto-Raumgrundvolumens. In der Grafik ist dieser Luftanteil in einer isometrischen Darstellung zu erkennen.



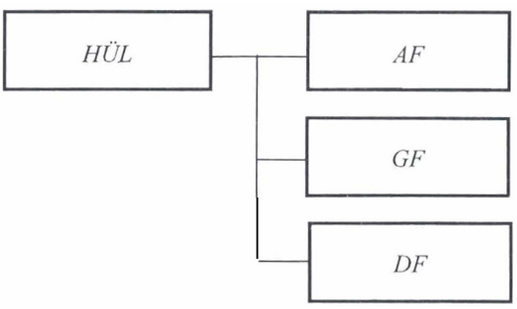
10

LA = 91.660 m^3

10 I Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

3.2.1.4 Hüllenkenngrößen (nach ÖNORM)

Wie der Name Hüllengrößen es schon bezeichnet, bezeichnen diese Zahlen die Größe der Hüllfläche, also der Außenfläche der Gebäude oder der Gebäudehülle. „Die Bauwerkshülle ist die Summe der äußeren allseitig umschlossenen Begrenzungsflächen des allseitig umschlossenen und überdeckten Bauwerkes bzw. Bauwerkteiles. Sie gliedert sich in die Außenwandfläche (AF), Außengrundfläche (GF) und die Dachfläche (DF)."[12] Diese Systematik ist im dargestellten Diagramm erkennbar. Die Ergebnisse sind entsprechend als Flächenmaß in Quadratmetern (m^2) angegeben. Zur Berechnung der Außenwandflächen (AF) müssen zuerst der Umfang (U) der Regelgeschosse, die Geschosshöhe (GH) und die Gebäudehöhe (GBH) berechnet werden.



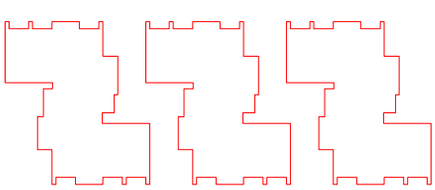
HÜL ..... Hüllfläche

A F ..... Außenwand- und Außendeckenfläche
GF ..... Außengrundfläche
DF ..... Dachfläche

11

3.2.1.4.1 Umfang (U)

Zur Ermittlung der Außenwandflächen (AF) wird der Umfang des Gebäudes benötigt. Der Umfang (U) ist die äußere Umfahrungslinie des Regelgeschosses, der hier 437,4 Meter beträgt.



U = 437,4 m

12

11 I Übersicht Bauwerkshülle (Gebäudehülle), Quelle: ÖNORM B-1800 Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken (Ausgabe 2002-01-01), Anhang A, S. 11.

12 I Umfang (U): äußere Umfahrungslinie des Regelgeschosses, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

[12] Ebda. 5.5 Berechnung von Rauminhalten, 5.5.1 Brutto-Rauminhalt (BRI), S. 9.

3.2.1.4.2 Geschosshöhe (GH)

Zur Ermittlung der Gebäudehöhe werden die Geschosshöhen benötigt. „Als zugehörige Höhen gelten die lotrechten Abstände zwischen den Oberflächen der Fußbodenkonstruktionen der jeweiligen Geschosse bzw. bei Dächern die Oberfläche der Dachhaut."[13] Die Geschosshöhe (GH) beträgt in diesem Beispiel 3,30 Meter.

3.2.1.4.3 Gebäudehöhe (GBH)

Aus der Geschosshöhe (GH) wird die Gebäudehöhe aller Wohngeschosse (GBH) berechnet, indem die Geschosshöhe (GH) mit der Anzahl der Wohngeschosse (GA) multipliziert wird (GBH = GH * GA = 3,30 m * 56 = 184,80 m^2).

3.2.1.4.4 Außenwandfläche (AF)

Die Außenwandfläche ist die Fassadenfläche des Gebäudes. „Die Außenwandfläche wird aus jenen Teilen der Bauwerkshülle, die nicht Außengrundfläche oder Dachfläche sind, gebildet."[14] Zur Berechnung der Außenwandfläche (AF) wird der Umfang der Fassade des Gebäudes (U) mit der Gebäudehöhe aller Wohngeschosse (GBH) multipliziert (AF = U * GBH = 437,4 m * 184,80 m = 80.832 m^2). In der Darstellung ist ein Teil der Außenwandfläche (AF) isometrisch dargestellt.

3.2.1.4.5 Außengrundfläche (GF)

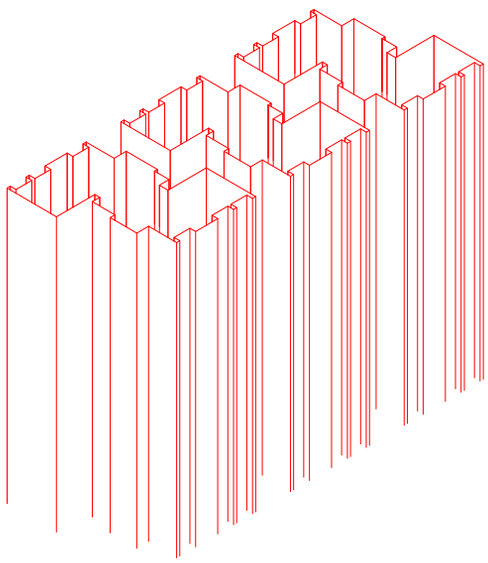
„Die Außengrundfläche (GF) wird aus den untersten Begrenzungsflächen gebildet (Bauwerkssohle)."[15] Wenn das Gebäude nicht Unterkellert ist, kann diese Kenngröße auch als *footprint* (Fußabdruck) des Gebäudes bezeichnet werden. In der Darstellung ist die Außengrundfläche (GF) des Beispielgebäudes mit einem Wert von 2.119 m^2 ersichtlich.

13 Ebda. 6 Bauwerkshülle (HÜL), S. 9.

14 Ebda. 6.1 Außenwandfläche (AF), S. 10.

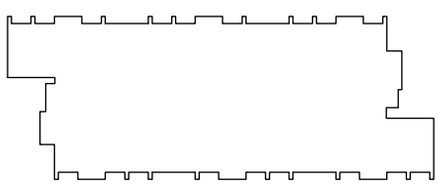
15 Ebda. 6.2 Außengrundfläche (GF), S. 10.

3.2.1 Kenngrößen



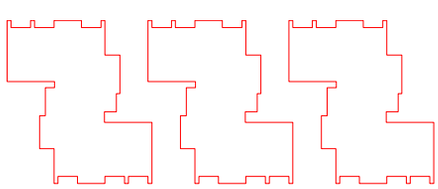
AF = 80.832 m²

13



GF = 2.119 m²

14



DF =1.623 m²

15

13 I Teil der Außenwandfläche (AF) in isometrischer Darstellung, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

14 I Außengrundfläche (GF), hier ebenfalls Fußabdruck des Gebäudes, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

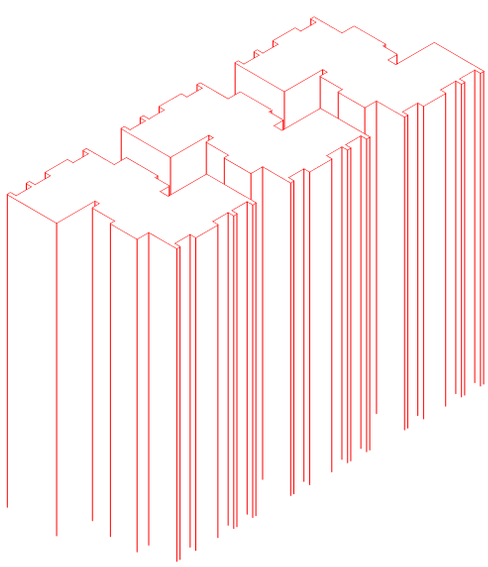
15 I Dachfläche (DF), The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

3.2.1.4.6 Dachfläche (DF)

„Die Dachfläche wird aus den obersten Begrenzungsflächen gebildet."[16] In diesem Fall und auch in allen drei anderen Fallstudien entspricht die Dachfläche ebenfalls der Brutto-Geschossfläche (BGFG). Die Dachfläche (DF) beträgt im Beispiel *The Met* dementsprechend 1.623 m^2. In der Darstellung ist diese Dachfläche (DF) des Beispielgebäudes ersichtlich.

3.2.1.4.7 Hüllfläche (HÜL)

Wie schon oben erwähnt, entspricht die Bauwerkshülle der Summe aller äußeren allseitig umschlossenen Begrenzungsflächen des allseitig umschlossenen Bauwerkes. Zur Berechnung werden also die drei Flächen Außenwandfläche (AF), Außengrundfläche (GF) und Dachfläche (DF) addiert (HÜL = AF + GF + DF = 80.832 m^2 + 2.119 m^2 + 1.623 m^2 = 84.574 m^2). In der Grafik ist ein Teil der Hüllfläche (HÜL) in isometrischer Darstellung ersichtlich.



16

16 I Hüllfläche (HÜL) in isometrischer Darstellung, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

[16] Ebda. 6.3 Dachfläche (DF), S. 10.

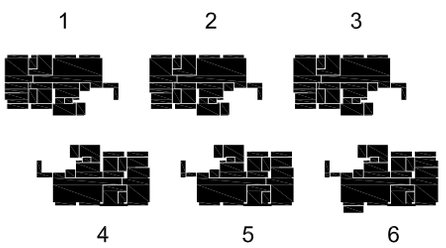
3.2.1 Kenngrößen

3.2.1.5 Nutzungseinheitenkenngrößen (nach ÖNORM)

Die Nutzungseinheitenkenngröße ist die „Angabe der Anzahl der Nutzungseinheiten, unabhängig von der Nutzungsgröße, z.B. Anzahl der Wohnungen […]“[17] Mit der Nutzungseinheitenkenngröße lässt sich die Anzahl der Wohneinheiten pro Geschoss (NE) und die Gesamtanzahl der Wohneinheiten (NEG) berechnen.

3.2.1.5.1 Nutzungseinheiten pro Geschoss (NE)

Für die Berechnung der Wohneinheiten pro Geschoss wird die Anzahl der Wohneinheiten eines Geschosses (NE) zusammenaddiert. Im Beispiel *The Met* befinden sich 6 Wohnungseinheiten auf einer Geschossebene, wie in der Darstellung zu sehen ist.



17

3.2.1.5.2 Nutzungseinheiten Gesamt (NEG)

Für die Berechnung der Gesamtanzahl der Wohneinheiten (NEG) wird die Anzahl der Wohneinheiten pro Geschoss (NE) mit der Anzahl der Wohngeschosse (GA) multipliziert (NEG = NE * GA = 6 * 56 = 336). In dem Gebäude *The Met* befinden sich also insgesamt 366 Wohneinheiten. Bei einer unterschiedlichen Konfiguration der Wohnungsgrundrisse pro Geschoss müssen die unterschiedlichen Wohnungsanzahlen der verschiedenen Geschosse addiert werden.

3.2.1.6 Nutzerkenngrößen (nach ÖNORM)

Die Nutzerkenngrößen spiegeln die Belegungsziffer wider und besagen, wie viele Nutzer – im Falle des Wohnungsbaus wie viele Bewohner – das Gebäude nutzen. Die Nutzerkenngröße ist also die „Angabe der Anzahl von

17 | Wohneinheiten pro Geschoss (NE), The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

[17] ÖNORM B 1801-3:1999, Bauprojekt- und Objektmanagement – Planungskennzahlen, 4.1.1 Objektdaten zu Kennzahl-Bereich 1 Quantität, S. 5.

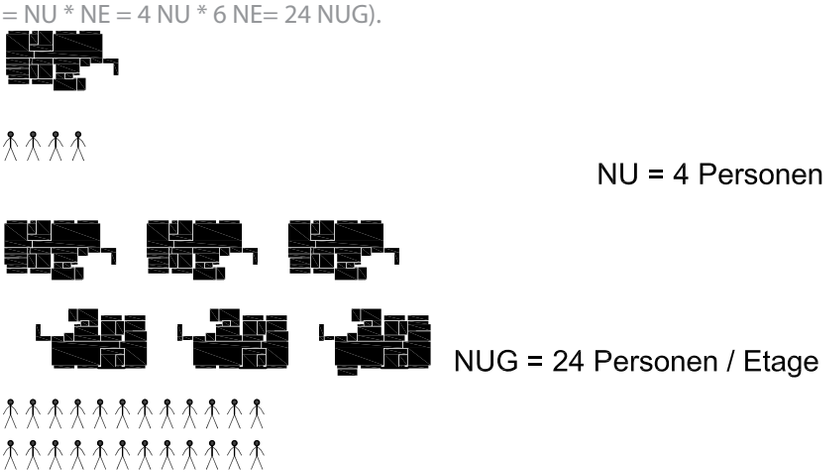
Nutzern für die Hauptnutzung, z.B. der Anzahl der Wohnungsnutzer."[18] Mit der Nutzerkenngröße lässt sich die Anzahl der Bewohner für die einzelnen Geschosse (NUG) und für das gesamte Gebäude (NUA) ermitteln. Für die Fallstudien wurden die Belegungsziffern im jeweiligen Messzeitraum mit Hilfe der Hausverwaltung evaluiert. Da nicht in allen Fällen sichere Daten erhoben werden konnten, musste teilweise auf Schätzungen zurückgegriffen werden. Diese Belegungsziffern werden später zur Ermittlung des Belegungsgrades, der Belegungsdichte und der Gebäudebewohnerdichte benötigt.

3.2.1.6.1 Nutzeranzahl Wohneinheit (NU)

Die Belegungsziffer Nutzeranzahl (NU) spiegelt die durchschnittliche Belegung der Wohneinheiten wider. Im Beispiel des Gebäudes *The Met* waren während des Messzeitraumes im April 2013 fast alle Wohneinheiten belegt. Eine temporär zu vermietende Boarding Unit und zwei weitere Wohneinheiten standen leer. Meistens wohnen in einer Einheit 4–5 Personen und eine Haushälterin, also insgesamt 6 Personen pro Wohneinheit. Etwa drei Viertel der Wohneinheiten sind von Paaren, also von nur zwei Personen bewohnt. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Belegungsziffer (NU) von vier Personen, wie in der Darstellung ersichtlich ist.

3.2.1.6.2 Nutzeranzahl pro Geschoss (NUG)

Zur Berechnung der Nutzeranzahl pro Geschoss (NUG) wird die Belegungsziffer (NU) mit der Anzahl der Wohneinheiten pro Geschoss (NE) multipliziert (NUG = NU * NE = 4 NU * 6 NE= 24 NUG).



18

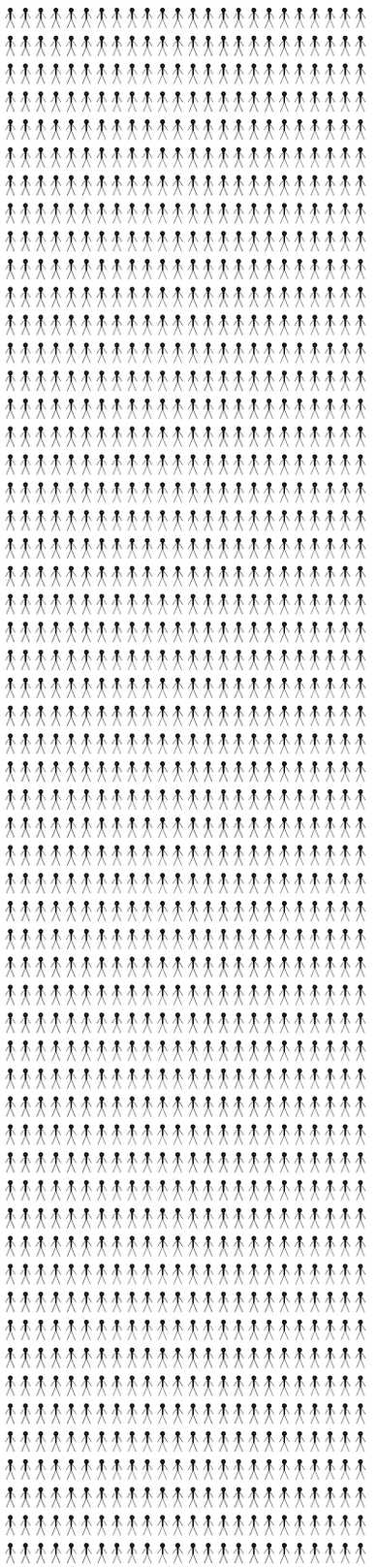
19

18 | Wohneinheit mit durchschnittlicher Belegungsziffer (NU) von 4 Personen, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

19 | Sechs Wohneinheiten pro Geschoss mit durchschnittlicher Belegungsziffer (NU) von 24 Personen, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

[18] Ebda.

3.2.1 Kenngrößen



NUA = 1344 Personen gesamt

3.2.1.6.3 Nutzeranzahl Gesamt (NUA)

Zur Berechnung der Nutzeranzahl des gesamten Wohngebäudes (NUA) wird die Nutzeranzahl pro Geschoss (NUG) mit der Anzahl der Geschosse (GA) multipliziert (NUA = NUG * GA = 24 NUG * 56 GA = 1.344 NUA). In der Grafik sind alle 1.344 Nutzer dargestellt.

3.2.2 Kennwerte

Kennzahlen, auch Kennwerte genannt, bilden meist Quotienten ohne Maßeinheiten, die Aussagen über die Quantität der Flächen und Räume des Gebäudes treffen. Die Berechnungsbasis sind die oben bereits aufgezählten Kenngrößen bzw. Objektdaten.

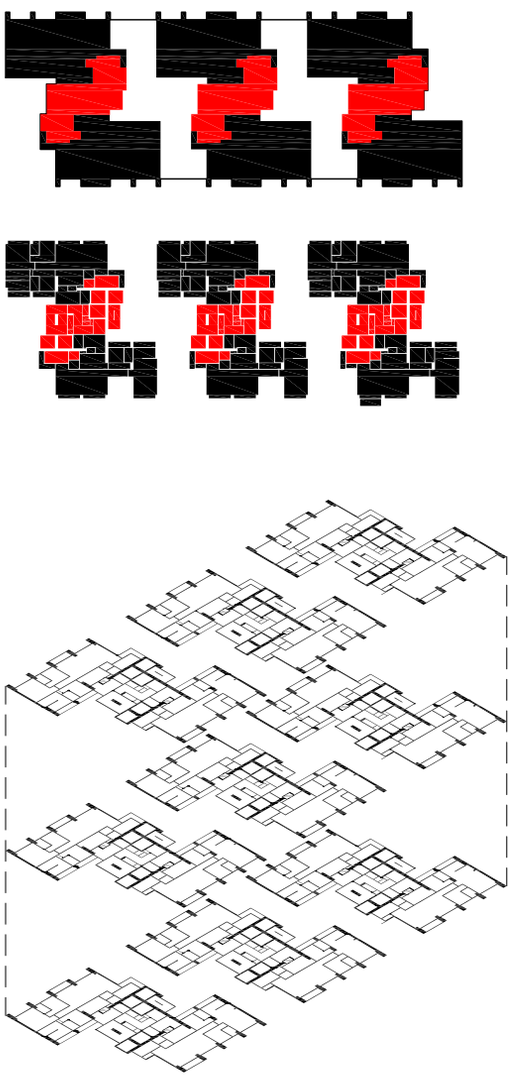
3.2.2.1 Kennwertbildung

„Quantitätskennwerte werden bezogen auf den Objektstandort und die Objektgröße. Im Einzelnen sind dies Kennwerte für die Baunutz-Flächenzahl (BNZ) und für die Quotienten für Bruttoraum und Bruttofläche."[19] Mit den beiden Letzteren sind die gleich folgenden Größen des Brutto-Raumquotienten (BRIQ) und des Netto-Grundflächenquotienten (NGFQ) gemeint. Objektstandortbezogene Kennwerte wie die Baunutz-Flächenzahl (BNZ) werden hier bewusst nicht mit betrachtet, da die Vergleichbarkeit durch kompliziert zerteilte Grundstücksgrößen in den Fallstudien nicht gegeben ist. Die Baunutz-Flächenzahl der einzelnen Fallstudien würde hierdurch verfälscht und die Ergebnisse ließen sich schlecht vergleichen. Der Schwerpunkt der Arbeit ist die Untersuchung der Typologien der Wohnhochhäuser. Statt der Baunutz-Flächenzahl (BNZ) oder ähnlichen Kennzahlen wie Bebauungsdichte und Bebauungsgrad, die alle auf Kenngrößen der Grundstücksfläche basieren, wird hier der Gebäudedichtequotient, auf Grundlage der Außengrundfläche der Gebäude und die Gebäudebewohnerdichte verwendet.
„Die Kennzahl-Bezugsgröße KBG ist mit der Hauptnutzfläche HNF als Hauptbezugsgröße festgelegt […] Mögliche andere Bezugsgrößen können erforderlich sein: Brutto-Grundfläche (BGF), Brutto-Rauminhalt (BRI), Nutzfläche (NF) und Nutzungseinheiten (NE) […]". Nach Erfordernis dürfen auch weitere Objektkenngrößen und Werte erstellt werden: „Nutzerspezifisch dürfen wei-

20 | Gesamte durchschnittliche Belegungsziffer (NUA): 1.344 Personen, The Met, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald

[19] ÖNORM B 1801-1:2009, Bauprojekt- und Objektmanagement, 6.2.2 Kennwerte für Quantität, S. 24.

3.2.2 Kennwerte



21

21 | Netto-Grundflächenquotient (NGFQ): Netto-Grundfläche (NGF)/Brutto-Grundfläche (BGF), hier in der Abbildung für ein Regelgeschoss, und abstrakte isometrische Darstellung der Konstruktionsfläche (KGF), The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

tere Untergliederungen oder Ergänzungen vorgenommen werden."[20] Zudem heißt es in der ÖNORM B 1801-1:2009: „Neben den Kennwerten für Planung und Kosten in dieser ÖNORM können projektbezogene weitere Kennwerte gebildet werden."[21] Die unterschiedlichen in der Arbeit verwendeten Kennwerte werden im Folgenden nun aufgezählt und näher beschrieben.

3.2.2.2 Flächenkennwerte (nach ÖNORM oder DIN)

Die Flächenkennwerte beinhalten alle Kennzahlen, die mit Hilfe von Flächen des Gebäudes berechnet werden können. In der vorliegenden Dissertation werden der Netto-Grundflächenquotient (NGFQ), der Flächeneffizienzkennwert (Feff) nach DIN, der Verkehrsflächenquotient (VFQ) und der Gebäudedichtequotient (GDQ) verwendet.

3.2.2.2.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)

Nach ÖNORM wird zur Berechnung des Netto-Grundflächenquotienten (NGFQ) die Netto-Grundfläche (NGF) durch die Brutto-Grundfläche (BGF) geteilt (NGFQ = NGF/BGF (m^2/m^2)[22] = 75.148 m^2/90.888 m^2 = 0,83). Es ergibt sich in diesem Beispiel also der Quotient 0,83.
Der Netto-Grundflächenquotient (NGFQ) ist ein gängiger Kennwert zu Ermittlung der Effizienz des Konstruktionsaufwandes im Verhältnis zur Netto-Grundfläche des Gebäudes. Das Ergebnis trifft eine Aussage über die Netto-Grundfläche im Verhältnis zur derjenigen Fläche, die für die Gebäudetragstruktur und die Trennwände aufgebracht werden muss. Beim Gebäude *The Met* wird also ca. 1/5 der Fläche für Konstruktionsflächen aufgebracht. Je größer der Wert ist, desto effizienter ist die Flächenausnutzung und desto größer ist die Netto- und damit die vermietbare und nutzbare Fläche des Gebäudes. Der Hauseigentümer kann mit mehr Nettogrundfläche mehr Fläche vermieten oder verkaufen und somit effizienter wirtschaften. Deshalb ist es im Interesse des Bauherrn und Architekten, einen möglichst großen Quotienten-Wert zu erreichen. Gleichzeitig definiert der Wert die für die Konstruktion des Gebäudes notwendige Fläche. Diese ist in der Regel mit

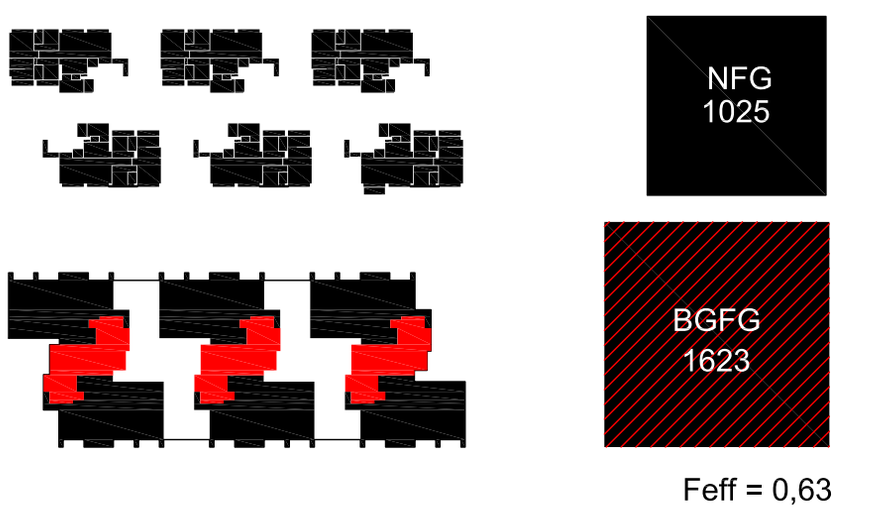
[20] ÖNORM B 1801-3:1999, Bauprojekt- und Objektmanagement - Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

[21] ÖNORM B 1801-1:2009, 6 Bauprojekt- und Objektmanagement, Kennwertbildung, S. 24.

[22] ÖNORM B 1801-1:2009, Bauprojekt- und Objektmanagement, Bild 7, Planungskennwerte, S. 24.

3.2.2 Kennwerte

Kosten verbunden, da sie die raumumschließende Gebäudehülle des Baukörpers darstellt. In moderaten mitteleuropäischen Regionen ist meist eine gedämmte Außenfassade notwendig, die in tropischen und subtropischen Gebieten meist nicht zum Einsatz kommt. Daher könnte der Quotient in heißfeuchten Gebieten etwas niedriger sein.
Der Wert ergibt keine Aussage über Qualität, Materialität und Art der Konstruktion, aber über die Quantität, nämlich über die Dicke der Wandkonstruktionen. Der Netto-Grundflächenquotient spiegelt auch hinsichtlich der Gebäudehöhe die Quantität des Konstruktionsaufwandes wider. Abhängig von der Art und Materialität der Konstruktion wird bei Ultrawohnhochhäusern in der Regel mehr Konstruktionsfläche benötigt als bei herkömmlichen Geschosswohnungsbauten.
Hinsichtlich der Verringerung der Klimaanlagennutzung könnte an diesem Wert interessant sein, ob und inwieweit die unterschiedlichen Gebäudetypologien zu einem unterschiedlichen Konstruktionsaufwand führen, also ob beispielsweise bei einer verstärkten Porosität prinzipiell mehr oder weniger Konstruktionsaufwand anfällt. Denn bei einer größeren Gebäudestruktur-Porosität ist die natürliche Querlüftung wirksamer anwendbar.
Die Netto-Grundfläche eines Geschosses (NGFG) und die Brutto-Grundfläche eines Geschosses (BGFG) des Beispiels *The Met* sind in der Darstellung ersichtlich. Des Weiteren ist eine Isometrie dargestellt, die die Konstruktionsfläche (KGF) von einzelnen Geschossen ersichtlich macht.



22

22 | Flächeneffizienzkennwert (Feff): Nutzfläche (NF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss und Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab (VFG und BGFG), The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

3.2.2.2.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)

In der vorliegenden Arbeit wird auch der Flächeneffizienzkennwert verwendet. Diese Kennzahl wurde für ein Bewertungssystem für nachhaltiges Bauen vom Bundesministerium für Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland entwickelt. „Ziel der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung ist, neben einer prinzipiellen Einschränkung der Inanspruchnahme neuer Flächen, die Steigerung der effizienten Nutzung bereits versiegelter Flächen. Innerhalb von Gebäuden ist eine wichtige Maßnahme zur Umsetzung dieses Ziels die Steigerung der Flächeneffizienz."[23] „Zur Bewertung wird der Flächeneffizienzkennwert, der aus dem Verhältnis von Nutzfläche und Brutto-Grundfläche ermittelt wird, herangezogen. […] Zur Ermittlung des Quotienten wird die NF (in m^2) durch die BGF (in m^2) geteilt:
Feff = NF [m^2]/BGF [m^2]".[24] (57.398 m^2/90.888 m^2 = 0,63). Die Objektdaten für den Flächeneffizienzkennwert sind nach DIN 277-1 und 2 gegliedert. In der Darstellung sind die jeweiligen Regelgeschosse der Nutzfläche (NF) und der Brutto-Grundfläche (BGF) des Gebäudes *The Met* abgebildet. Des Weiteren werden diese Beiden Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab grafisch nebeneinander dargestellt. .

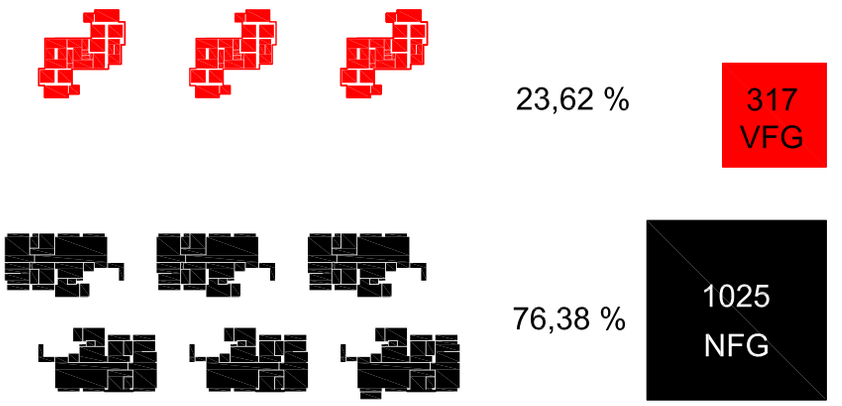
3.2.2.2.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)

Der Verkehrsflächenquotient (VFQ) gibt das Verhältnis der Verkehrsfläche zur Nutzfläche an. Zur Berechnung des Verkehrsflächenquotienten (VFQ) wird die Verkehrsfläche (VF) durch die Nutzfläche (NF) geteilt (VFG = VF/NF (m^2/m^2) = 17.749 m^2/57.398 m^2 = 0,31). In der Darstellung sind die jeweiligen Regelgeschosse des Gebäudes *The Met* mit Verkehrsfläche (VFG) und der Nutzfläche (NFG) abgebildet. Des Weiteren werden diese beiden Geschossflächen in quadratischer Form im vergleichbaren Maßstab grafisch nebeneinander dargestellt. Neben dem Kennzahl-Quotienten ist hier ebenfalls das Verhältnis von Verkehrsfläche und Nutzfläche in Prozent berechnet.

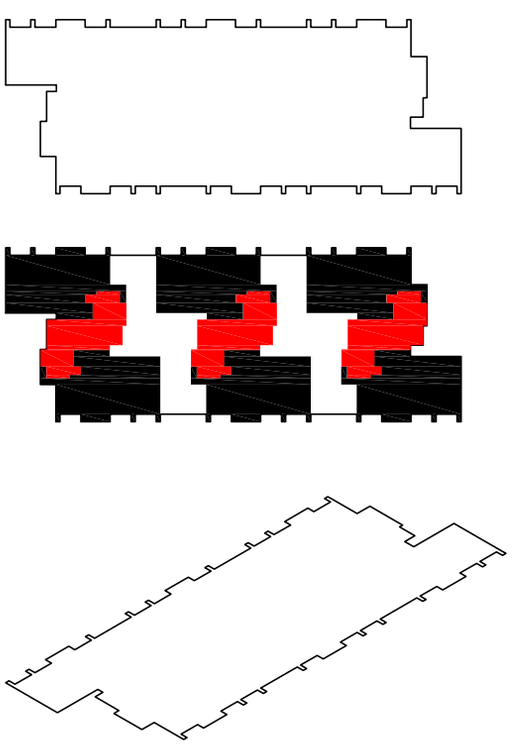
[23] Kerz, Nicolas, Dipl.-Ing.: Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2013, in: Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauens vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland (BMVBS), Veröffentlichung Informationsportal, 2013, S. 35.

[24] Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) 3.2.2 Kriterium Flächeneffizienz, in: Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauen vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland (BMVBS), Veröffentlichung Informationsportal, Version 2011_1, S. A2.

3.2.2 Kennwerte



23



24

23 | Verkehrsflächenquotient (VFQ): Verkehrsfläche (VF)/Nutzfläche (NF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss, und Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab mit Prozentangabe (VFG und NFG), The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

24 | Gebäudedichtequotient (GDQ): Grundfläche (GF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für das jeweilige Regelgeschoss, und isometrische Darstellung der Grundfläche, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

3.2.2.2.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)

Bei dem Kennwert Gebäudedichtequotient (GDQ) wird die Grundfläche im Erdgeschoss der Brutto-Grundfläche gegenübergestellt. Die Grundfläche entspricht im diesem Fall der Außengrundfläche (GF), da das Gebäude nicht unterkellert ist. Bei allen vier Fallstudien wird die Außengrundfläche (GF) als Grundfläche im Erdgeschoss, also als Fußabdruck des Gebäudes verwendet. Zur Berechnung des Gebäudedichtequotienten (GDQ) wird die Grundfläche (GF) durch die Brutto-Grundfläche (BGF) geteilt (GDQ = GF/BGF (m^2/m^2) = 2.119 m^2/90.888 m^2 = 0,023). Der Gebäudedichtequotient drückt die Brutto-Grundfläche (BGF) bezogen auf den Fußabdruck (GF) des Gebäudes aus. Prinzipiell spielt beim Gebäudedichtequotienten der Faktor der Gebäudehöhe eine erhebliche Rolle. Denn umso höher das Gebäude ist, desto mehr Wohnfläche kann auf der Grundfläche untergebracht werden und umso höher ist die Gebäudedichte. Für Investoren und Architekten ist die Baunutz-Flächenzahl eine oft verwendete Kennzahl. Hierbei wird die BGF auf die Grundstücksgröße bezogen. In der vorliegenden Dissertation ist die Betrachtung des Gebäudedichtequotienten bezogen auf die Grundfläche (GF) des Gebäudes jedoch hinsichtlich der Untersuchung der Gebäudetypologien sinnvoller. In der Darstellung sind die Grundfläche und die Brutto-Grundfläche des Regelgeschosses des Gebäudes *The Met* abgebildet. Des Weiteren wird die Grundfläche in einer isometrischen Darstellung gezeigt.

3.2.2.3 Raumkennwerte (nach ÖNORM oder DIN)

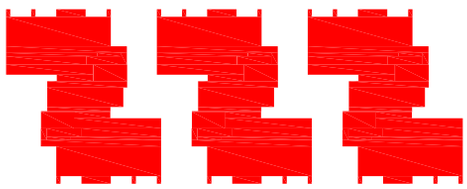
Die Raumkennwerte beinhalten alle Kennzahlen, die mit Hilfe von Rauminhalten des Gebäudes berechnet werden können. Hier sind es der Brutto-Raumquotient (BRIQ), der Luftanteilquotient (LAQ) und der Hüllwertquotient (HÜLQ = Außenhaut/Volumen-Verhältnis).

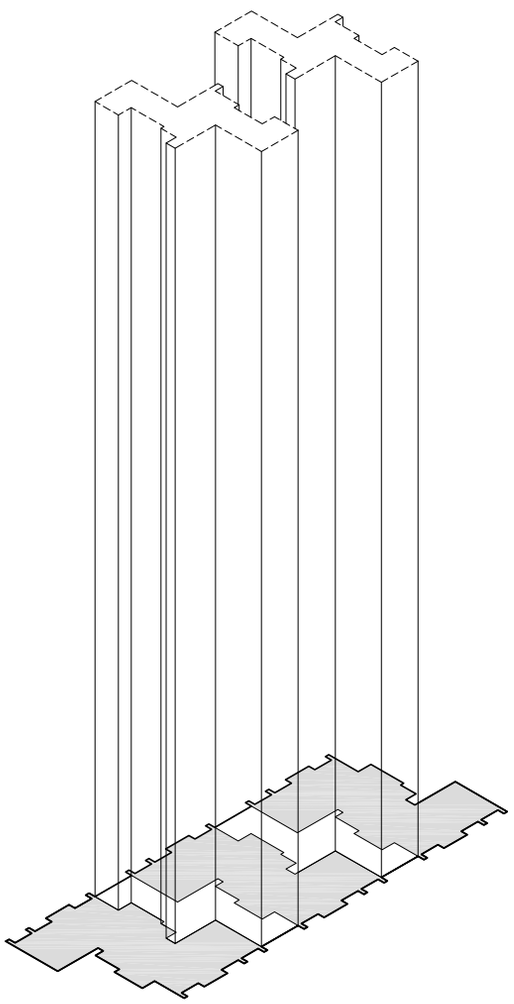
3.2.2.3.1 Bruttorauminhaltsquotient (BRIQ)

Die Kennzahl Bruttorauminhaltsquotient (BRIQ) stellt das Verhältnis des Brutto-Rauminhaltes zur Bezugsgröße KBG dar.[25] In diesem Fall ist die Bezugsgröße die Netto-Grundfläche (NGF). Nach ÖNORM wird zur Berechnung des Brutto-Raumquotienten (BRIQ) der Brutto-Rauminhalt (BRI) zur

[25] ÖNORM B 1801-3:1999, Bauprojekt- und Objektmanagement - Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

3.2.2 Kennwerte



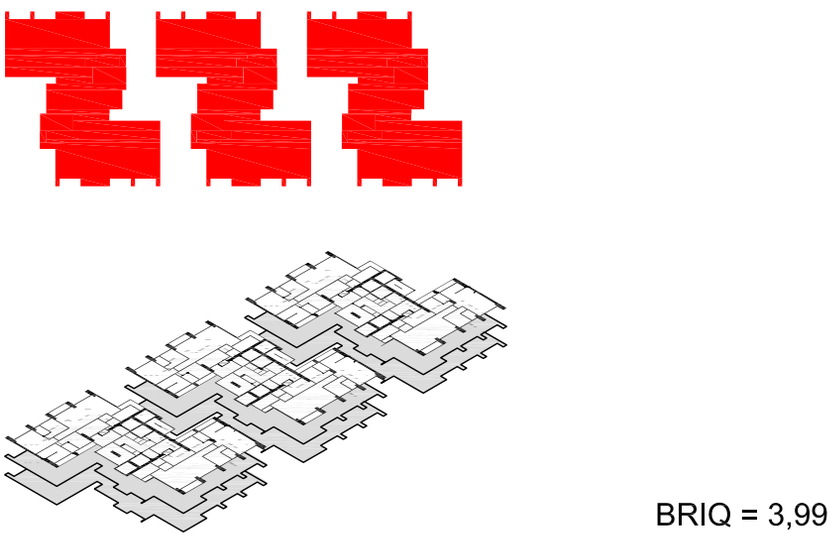


LAQ = 3,27

25

25 I Luftanteilquotient (LAQ), Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Netto-Grundfläche (NGF) ins Verhältnis gesetzt (BRIQ = BRI/NGF[26] = 299.930 m^3/75.148 m^2 = 3,99). Es ergibt sich in diesem Beispiel also der Quotient 3,99. Der Bruttorauminhaltsquotient (BRIQ) trifft eine ähnliche Aussage wie der Netto-Grundflächenquotient (NGFQ), nur dass hier die räumliche Komponente mit einbezogen ist. Die Höhe der einzelnen Geschosse hat einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis dieses Quotienten und ist mit diesem ablesbar. In der Darstellung sind die Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI, rot) und die Netto-Grundfläche (NGF) eines Regelgeschosses des Gebäudes *The Met* abgebildet.



26

3.2.2.3.2 Luftanteilquotient (LAQ)

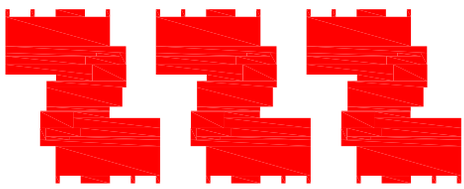
Die Kennzahl Luftanteilquotient (LAQ) stellt ebenfalls das Verhältnis des Brutto-Rauminhaltes zur Bezugsgröße KBG dar. In diesem Fall ist die Bezugsgröße als ergänzende Objektgröße der Luftanteil (LA).[27] Zur Berechnung des Luftanteilquotienten (LAQ) wird der Brutto-Rauminhalt (BRI) durch den Luftanteil (LA) geteilt (LAQ = BRI/LA = 299.930 m^3/91.660 m^2 = 3,27). Es ergibt sich in diesem Beispiel also der Quotient 3,27.
Der Luftanteilquotient (LAQ) ist ein Kennwert, der die Quantität der Gebäude-Porosität ausdrückt. Je niedriger der Luftanteilquotient (LAQ) ist, desto grö-

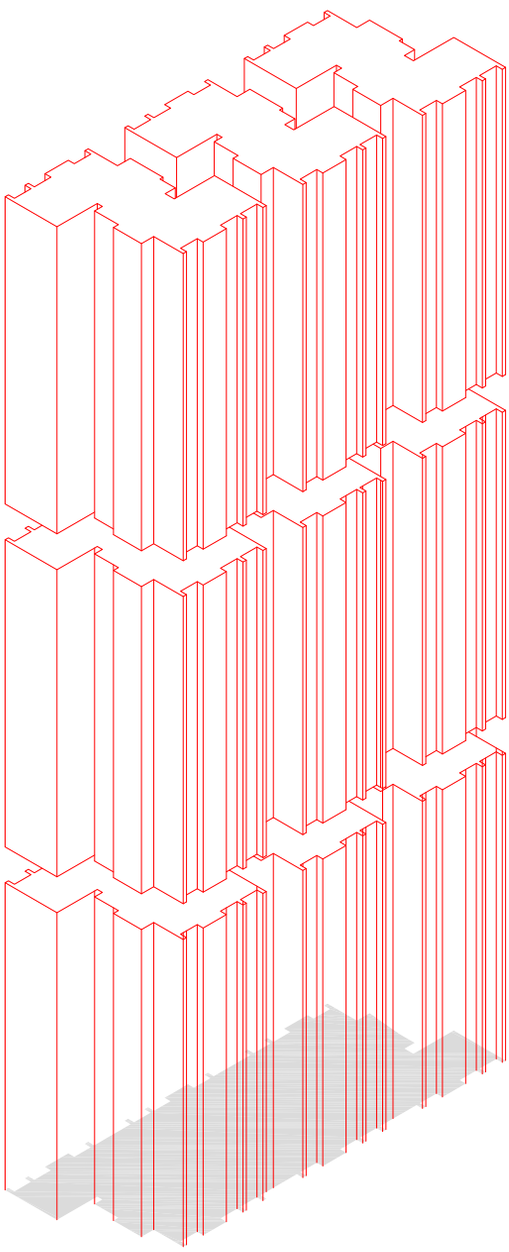
26 I Bruttorauminhaltsquotient (BRIQ): Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) und Netto-Grundfläche (NGF), hier für ein Regelgeschoss, The Met, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald

[26] ÖNORM B 1801-1:2009, Bauprojekt- und Objektmanagement, Bild 7, Planungskennwerte, S. 24.

[27] Vgl. ÖNORM B 1801-3:1999, Bauprojekt- und Objektmanagement - Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

3.2.2 Kennwerte





HÜLQ = 0,28

27

27 I Hüllflächenquotient (HÜLQ) - A/V-Verhältnis: Hüllfläche und Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

ßer ist der Luftanteil und somit die Gebäude-Porosität. In den feuchtheißen Gebieten beinhaltet ein großer Luftanteil die Chance die Wohneinheiten besser mit frischen Wind und natürlicher Belüftung zu versorgen: Hinsichtlich einer langfristigen Nutzung mit weniger Klimaanlagennutzung wird ein größerer Luftanteil als positiv bewertet. Die Wirksamkeit ist allerdings von der Art der Luftanteile und der gebäudetypologischen Porosität abhängig. Diese Thematik wird in den einzelnen Fallstudien später evaluiert. In kalten moderaten Klimaregionen ist ein größerer Luftanteil in der Gebäudestruktur nicht anzustreben, da der Wind die Gebäudehülle im Winter abkühlen kann. Um dem entgegenzuwirken, müsste die Außenwand, die diese Luftanteile tangiert, mit Dämmung ausgestattet werden. Eine große wärmeübertragende Umfassungsfläche mit einem kleinen beheizten Gebäudevolumen, also ein großes A/V-Verhältnis, ist hier zu vermeiden, wie im nächsten Unterkapitel noch näher thematisiert wird. In der Grafik ist der Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung des Gebäudes *The Met* abgebildet.

3.2.2.3.3 Hüllflächenquotient (HÜLQ) - A/V-Verhältnis

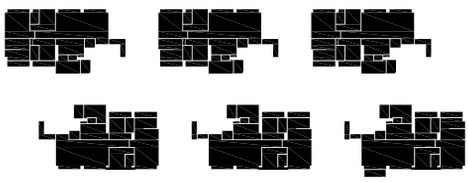
Die Kennzahl Hüllflächenquotient (HÜLQ) stellt das Verhältnis der Hüllflächen zur Bezugsgröße KBG dar. In diesem Fall ist die Bezugsgröße als ergänzende Objektgröße der Brutto-Rauminhalt (BRI).[28] Zur Berechnung des Hüllflächenquotienten (HÜLQ) wird die Hüllfläche (HÜL) durch den Brutto-Rauminhalt (BRI) geteilt (HÜLQ = HÜL/BRI = 84.574 m^2/299.930 m^3 = 0,28).
Der Hüllflächenquotient (HÜLQ) ist ein Kennwert, der die Quantität der Gebäude-Kompaktheit in einer Kennzahl ausdrücken soll: Je kleiner der Hüllflächenquotient (HÜLQ) ist, desto kleiner ist der Hüllflächenanteil im Verhältnis zum Gebäudevolumen. Eine Kugel stellt diejenige geometrische Form dar, die die kleinste Außenhaut im Verhältnis zum Volumen hat. In der Grafik ist ein Teil der Hüllfläche und deren Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung des Gebäudes *The Met* abgebildet. Der Hüllflächenquotient (HÜLQ) ist eine gängige Kennzahl und auch unter dem Begriff A/V-Verhältnis (Außenhaut Volumen-Verhältnis) in der EnEV 2007[29] und in DIN EN ISO 13789[30] definiert.

28 Vgl. ÖNORM B 1801-3:1999, Bauprojekt- und Objektmanagement - Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

29 „Das Verhältnis A/Ve in m-1 ist die errechnete wärmeübertragende Umfassungsfläche […] bezogen auf das beheizte Gebäudevolumen […]", Quelle: EnEV 2007 - Energieeinsparverordnung für Gebäude, Anlage 1 Anforderungen an Wohngebäude, 1.4.3.

30 Die wärmeübertragende Umfassungsfläche A eines Wohngebäudes in m^2 ist nach Anhang B der DIN EN ISO 13789: 1999-10, Fall „Außenabmessung", zu ermitteln. Quelle: Ebda. 1.4.1.

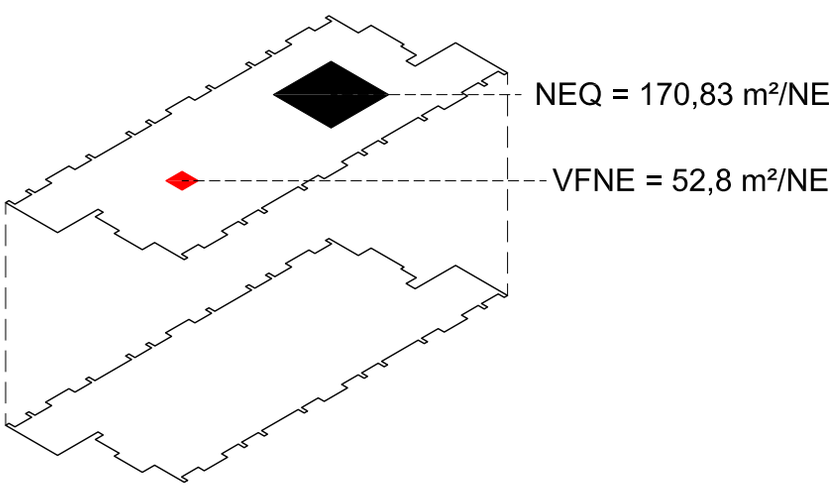
3.2.2 Kennwerte



28



29



30

28 | Nutzungseinheitenquotient (NEQ), Nutzfläche (NF) geteilt durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) in der Abbildung eines Regelgeschosses, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

29 | Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE), Verkehrsfläche (VF) geteilt durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) in der Abbildung eines Regelgeschosses, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

30 | Nutzungseinheitenquotient (NEQ) und Verkehrsflächenquotient (VFQ) in isometrischer Darstellung mit Grundfläche im gleichem Maßstab, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Hier wird dieser Quotient deshalb beschrieben, weil angestrebt wird, durch ein kleineres A/V-Verhältnis die Transmissionswärmeverluste zu verringern. Die Kompaktheit wird geometrisch mit dem Verhältnis der wärmeübertragenden Umfassungsfläche (A) zum beheizten Gebäudevolumen (V) beschrieben, kurz als A/V – Verhältnis. Kompakte Gebäude haben weniger Kontaktflächen zum unbeheizten Raum als gegliederte Gebäude.

3.2.2.4 Nutzungskennwerte (nach ÖNORM)

„Die Kennzahl stellt das Verhältnis der Bezugsgröße KBG zu einer Nutzungseinheit dar."[31] Die Nutzerkennwerte werden auf Basis der Nutzungseinheiten Gesamt (NEG) errechnet. Mit Nutzungseinheit sind hier Wohneinheiten des Wohngebäudes gemeint. Neben der durchschnittlichen Wohnungsgröße wird hier auch die durchschnittliche Verkehrsfläche pro Wohneinheit berechnet.

3.2.2.4.1 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) - Größe der Wohneinheiten

Die Nutzungseinheit meint im Wohnungsbau eine Wohnungseinheit. Der Nutzungseinheitenquotient (NEQ) gibt die durchschnittliche Wohnungsflächengröße eines Wohngebäudes in Quadratmetern an. Obwohl es sich bei dem Ergebnis um einen Quotienten handelt, wird es in Quadratmetern angegeben. Zur Berechnung des Nutzungseinheitenquotienten (NEQ) wird die Nutzfläche (NF) durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) geteilt (NEQ = NF/NEG = 57.398 m^2/336 NE = 170,83 m^2/NE).
In der Grafik sind die Nutzungseinheiten eines Regelgeschosses und ebenfalls die durchschnittliche Fläche einer Nutzungseinheit des Gebäudes *The Met* in der Grundfläche in jeweils gleichem Maßstab isometrisch abgebildet.

3.2.2.4.2 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)

Die Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) gibt die durchschnittliche Verkehrsflächengröße zu einer Nutzungseinheit eines Wohngebäudes in Quadratmetern an. Zur Berechnung der Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) wird die Verkehrsfläche (VF) durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) geteilt (VFQ = VF/NEG = 17.749 m^2/336 NE = 52,80 m^2/NE). Die durchschnittlich benötigte Erschließungsfläche für eine Wohneinheit beträgt also 52,80 m^2/NE.

[31] ÖNORM B 1801-3:1999, Bauprojekt- und Objektmanagement - Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

3.2.2 Kennwerte

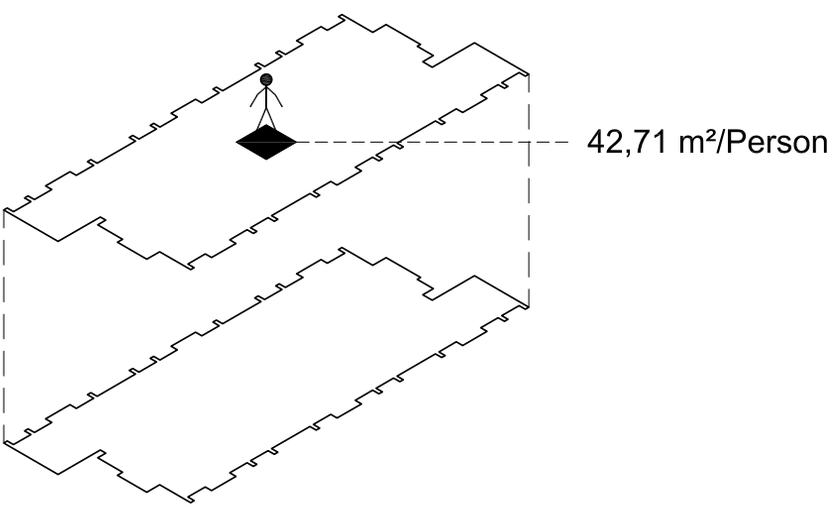
In der Grafik sind die Verkehrsflächen eines Regelgeschosses des Gebäudes *The Met* und ebenfalls die durchschnittliche Verkehrsflächengröße des Gebäudes *The Met* in der Grundfläche in jeweils gleichem Maßstab isometrisch abgebildet.

3.2.2.5 Nutzerkennwerte (nach ÖNORM)

Die Nutzerkennwerte werden auf Basis der Belegungsziffer errechnet. Neben der Belegungsdichte (BD) wird hier die Gebäudebewohnerdichte (GBD) errechnet.

3.2.2.5.1 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP)

In der ÖNORM wird empfohlen, den Nutzerquotienten zu verwenden. Diese Kennzahl soll das Verhältnis der Bezugsgröße KBG zum Nutzer (NU) darstellen, womit dann die Belegungsdichte festgestellt wird.[32] Zur Berechnung des Nutzerquotienten (NUQ) wird die Gesamtbewohneranzahl (NUA) durch die Nutzungsfläche (NF) geteilt (NUQ = NUA/NF = 1.344 Pers./57.398 m^2 = 0,02 Pers./m^2). Das Ergebnis des Nutzerquotienten (NUQ) ist die Kennzahl 0,02. Um eine Quadratmeterzahl als Ergebnis zu haben, werden hier die beiden Kenngrößen vertauscht. Dann wird die Nutzungsfläche (NF) durch die Gesamtbewohneranzahl (NUA) geteilt (NP = NF/NUA = 57.398 m^2/1.344



31

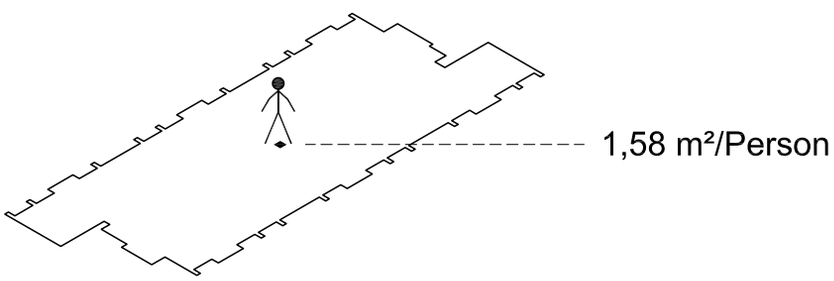
31 | Nutzfläche pro Person (NP): Nutzungsfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA) = durchschnittlich zur Verfügung stehende Quadratmeter Wohnfläche pro Person, bezogen auf die gesamte Nutzfläche, in isometrischer Darstellung, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

[32] Vgl. ÖNORM B 1801-3:1999, Bauprojekt- und Objektmanagement - Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

Pers. = 42,71 m²/Pers.). Das Ergebnis der Nutzfläche pro Person (NP) gibt nun die durchschnittlich zur Verfügung stehenden Quadratmeter Nutzfläche pro Person bezogen auf die gesamte Nutzfläche wider. Dieser Kennwert könnte auch als Wohndichte bezeichnet werden. In der Grafik ist diese Wohnfläche (42,71 m²/Pers.) in der Grundfläche des Gebäudes The Met in jeweils gleichem Maßstab in isometrischer Darstellung abgebildet.

3.2.2.5.2 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Person (GP)

Der Wert des Gebäudebewohnerquotienten (GBQ) spiegelt die Personendichte (Gebäudebewohnerdichte) auf dem Fußabdruck des Gebäudes wider. Dieser Kennwert ist mit dem der Belegungsdichte (Nutzerquotient NUQ) vergleichbar, nur dass hier nicht die Nutzfläche innerhalb des Gebäudes betrachtet wird, sondern die Grundfläche des Gebäudes. Um den Gebäudebewohnerquotienten (GBQ) zu berechnen, wird die Gesamtbewohneranzahl (NUA) durch die Grundfläche (GF) geteilt. Werden bei der Berechnung die beiden Kennwerte Gesamtbewohneranzahl (NUA) und Grundfläche (GF) vertauscht (GF/NUA), dann ist das Ergebnis die Grundfläche pro Person (GP): – beim Beispiel des *The MET* sind dies 1,58 m²/Pers. Auch hier eignen sich die letztgenannten Werte besser zur visuellen Veranschaulichung in Verbindung mit den Grundflächen der Projekte, wie in den ersten Grafiken ersichtlich ist.



32

3.2.3 Anwendung

Die Kenngrößen wurden für alle vier Fallstudien ermittelt und für die jeweiligen Projekte in den Kapiteln Fallstudien dargestellt und bewertet. Im Fazit werden diese Ergebnisse dann miteinander verglichen. Die Berechnungsgrundlagen der Kenngrößen sind im Anhang für alle vier Fallstudien dargestellt.

32 | Grundfläche pro Person (GP): Grundfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA) = durchschnittlich zur Verfügung stehende Quadratmeter Wohnfläche pro Person, bezogen auf die Grundfläche, in isometrischer Darstellung, The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

3.3.1 Psychrometrisches Diagramm zum Beispiel Longyan, China

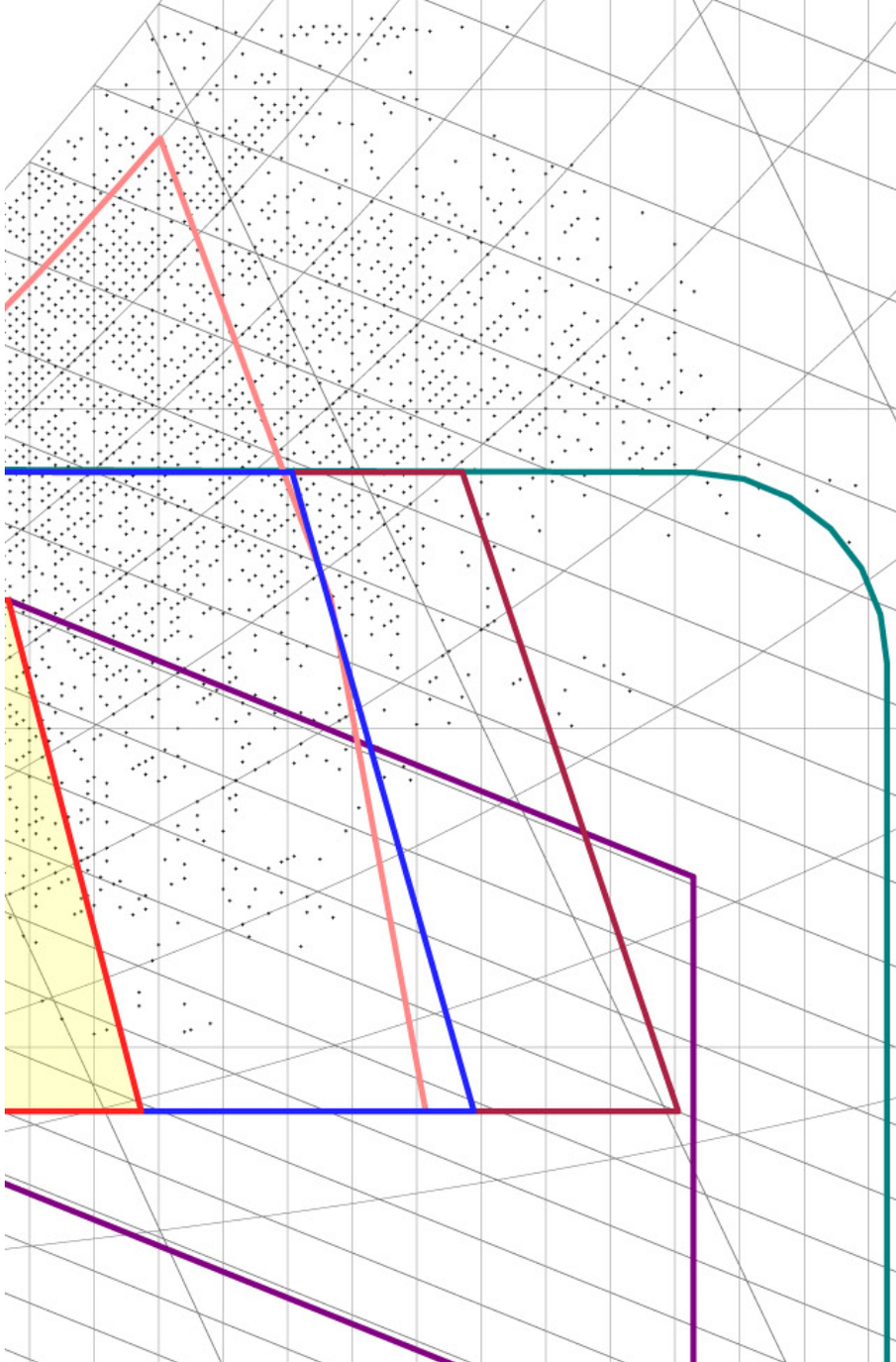
3.3.1.1 Passive solare Energiegewinne
3.3.1.2 Speichermasse
3.3.1.3 Exponierte Speichermasse und Nachtdurchlüftung
3.3.1.4 Natürliche Belüftung
3.3.1.5 Direkte Verdunstungskühlung
3.3.1.6 Indirekte Verdunstungskühlung

3.3.2. Die Mängel dieses Modells

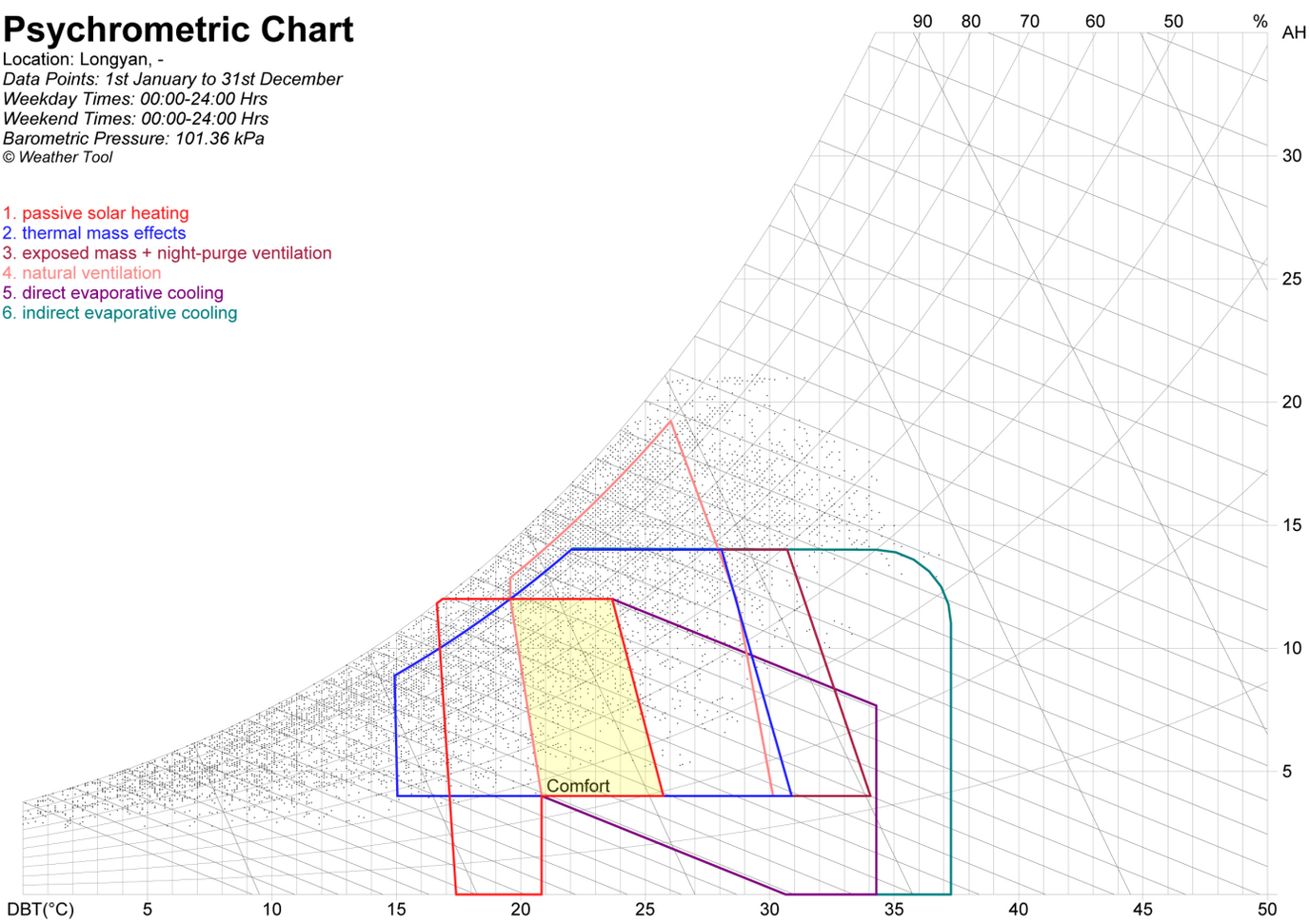


3.3 Standortbedingte Kühlmethoden - Psychrometrie

Standortbedingte theoretisch Durchführbare Kühlmethoden im psychrometrischem Diagramm



3.3.1 Diagramm



01

01 I Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone und passiven Kühl- und Heizmethoden von Longyan, Fujian Region, China, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

Wie schon beschrieben gibt es Simulationsmodelle, in denen die Behaglichkeitszone im psychrometrischen Diagramm individuell für die Klimaverhältnisse des jeweiligen Standortes abgelesen werden kann. Dieses Kapitel erläutert, inwieweit die Anwendung der verschiedenen Kühlmethoden am Klimastandort Longyan im psychrometrischen Diagramm ablesbar ist und wie die einzelnen Methoden der Temperierung an einem bestimmten Standort funtionieren.Das Programm Weather Manager bezeichnet – ebenso wie auch Climate Consultant – solche Simulationen als Entwurfsstrategien. Jedoch ist die Bezeichnung Entwurfsstrategien (Design Strategies) nach meiner Meinung hier nicht treffend, denn eine Gebäudetypologie oder Fassadenstruktur wird hier nicht explizit thematisiert und die architektonische Umsetzung derselben ist nicht weiter erläutert. Es wird vielmehr lediglich anhand der Klima-und Wetterdaten der theoretisch mögliche Einsatz von Kühlmethoden aufgeführt. Die vier ausgewählten Kühlmethoden und ihre Kriterien bzw. die Funktionsweisen sowie ihre architektonischen Potentiale zur Erzielung einer Behaglichkeit bei Reduzierung des Klimaanlagen-Betriebs werden im nächsten Kapitel 3.4 aufgezeigt. Im vorliegenden Kapitel, werden zunächst die verschiedenen theoretisch möglichen Kühlstrategien an den gewählten Klimastandorten auf Basis der Wetterdaten im psychrometrischen Diagramm erklärt. Hierfür wird das Beispiel des Klimastandorts der Stadt Longyan in der Fujian-Region in China erklärt.

3.3.1 Psychrometrisches Diagramm zum Beispiel Longyan, China

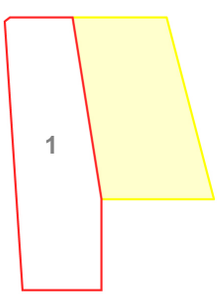
Wie oben bereits erläutert wurden die Klimawetterdaten von Longyan in das Programm *Weather Tool* eingelesen und die unterschiedlichen Wetterverhältnisse des gesamten Jahres in einzelnen Punkten im psychrometrischen Diagramm abgebildet. Jeder Punkt steht für einen Tag, 365 Punkte gibt es also für ein Jahr. Dies ist im grafisch überarbeiteten psychrometrischen Diagramm für Longyan gut erkennbar.
Die Behaglichkeitszone ist gelb eingefärbt. Die Tage die sich innerhalb der gelben Fläche befinden, sind diejenigen im Jahr, an denen die Wetterbedingungen die Behaglichkeitsanforderungen der dort lebenden Personen erfüllen. Die weiteren farbigen Linien markieren die Bereiche in denen die Behaglichkeit theoretisch mit Hilfe von passiven Kühlmethoden verbessert werden könnte. Die Punkte innerhalb der farbig markierten Bereiche stehen für Tage, an

3.3.1 Diagramm

denen man theoretisch keine zusätzliche Kühl- oder Heizenergie bräuchte. Sieben Kühl- und Heiz-Strategien sollen im Folgenden nun am Beispiel von Longyan beschrieben werden.

3.3.1.1 Passive solare Energiegewinne (passive solar heating)

Der Bereich der passiven solaren Energiegewinne ist rot markiert und befindet sich links von der Behaglichkeitszone. Hier ist er noch einmal separat ohne Diagramm nur mit der Behaglichkeitszone abgebildet. . Die passiven solaren Energiegewinne sind die einzige der hier aufgezeigten Methoden, die ausschließlich nur für die Erwärmung des Innenraums genutzt werden kann. In den subtropischen und tropischen Gebieten muss diesbezüglich aber zu den heißen Jahreszeiten darauf geachtet werden, dass die Sonneneinstrahlung den Gebäudekörper nicht noch aufheizt. Dies wird im nächsten Kapitel 3.4. „Kühlmethoden-Funktionsweisen (Kriterien) und deren architektonische Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit“ noch genauer erläutert. Da aber die Jahreszeiten in Longyan auch einen sehr kalten Winter inkludieren – womit Longyan eine Ausnahme unter den sechs gewählten Standorten bildet –, können diese passiven solaren Energiegewinne hier auch sehr gut zum Heizen des Gebäudes genutzt werden. In der Darstellung des Sonnenverlaufs im Kapitel 2.2 ist zu erkennen, dass das Gebiet von Longyan eine Südsonneneinstrahlung hat. Um die Sonnenenergie zu nutzen, könnte man die nach Süden orientierte Fassadenseite mit einem hohen Glasanteil ausführen, da Glasfenster die solare Energie sehr gut nach innen einstrahlen lassen. Allerdings müsste dann im Sommer für eine Verschattung dieser Fenster gesorgt werden, um zusätzlichen solaren Energieeintrag zu vermeiden. Die Nutzung dieser Methode ist also in extre-



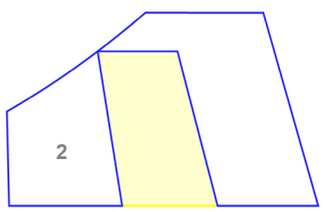
02

02 I Bereich der Passiven Solaren Energiegewinne und Behaglichkeitszone von Longyan, Fujian Region, China, Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

mem Maße abhängig von der architektonischen Ausbildung des Gebäudes.

3.3.1.2 Speichermasse (thermal mass effects)

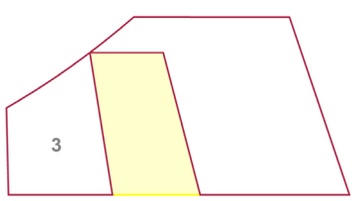
Der Bereich der Nutzung der Speichermasse ist blau markiert und befindet sich rechts und links von der Behaglichkeitszone. Die Nutzung der Speichermasse ist die einzige der hier beschriebenen Strategien, die sowohl zur Kühlung als auch zur Erwärmung der Innenräume genutzt werden kann. Hier in Longyan kann im Winter für einige Tage die Wärme aus der Speichermasse genutzt werden (siehe psychrometrisches Diagramm). Hierbei wird tagsüber die Wärme der Sonnenstrahlung in massiven Außenwänden gespeichert, die dann zeitversetzt in der Nacht an den Innenraum wieder abgegeben wird. Eine dunkle, Solarstrahlung absorbierende Außenwand-Oberfläche verbessert dieses Prinzip. Die genaue Funktionsweise der Kühlung mit Speichermasse in der heißen Jahreszeit wird im nächsten Kapitel 3.4 erläutert.



03

3.3.1.3 Exponierte Speichermasse und Nachtdurchlüftung (exposed mass + night-purge ventilation)

Der Bereich der exponierten Speichermasse + Nachtdurchlüftung ist dunkelrot dargestellt und erweitert den blauen Bereich der Speichermasse nach rechts. Das Prinzip der Speichermasse wird mit der Methode der zusätzlichen Nachtauslüftung noch optimiert. Das heißt die in der Massiven Wand gespeicherte Wärme des Tages strahlt Abends ab und wird dann durch eine Nachtventilation



04

03 I Bereich der Nutzung der Speichermasse und Behaglichkeitszone von Longyan, Fujian Region, China, Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

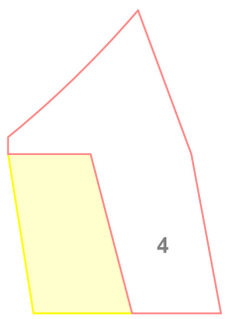
04 I Bereich der exponierten Speichermasse + Nachtdurchlüftung und Behaglichkeitszone von Longyan, Fujian Region, China, Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

3.3.1 Diagramm

fortgelüftet. Für Longyan betrifft dies allerdings nur einige wenige Tage, wie in der ersten Grafik des psychrometrischen Diagramms ersichtlich ist.

3.3.1.4 Natürliche Belüftung (natural ventilation)

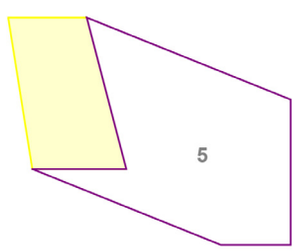
Der Bereich der natürlichen Belüftung ist rosa umrandet und befindet sich rechts und oberhalb von der Behaglichkeitszone. Im Hochsommer kann hier an fast allen Tagen die Behaglichkeit durch diese Kühlmethode verbessert werden. Dies zeigt die Wichtigkeit für Architekten auf, durch eine entsprechende architektonische Ausbildung des Gebäudes diese effektive Kühlmethode nutzen zu können.



05

3.3.1.5 Direkte Verdunstungskühlung (direct evapoarative cooling)

Der Bereich der Verdunstungskühlung befindet sich unterhalb und insbesondere rechts von der Behaglichkeitszone und ist in lila dargestellt. Die Wirkungskraft der Verdunstungskühlung hält sich nach diesem Simulationsmodell in Grenzen: Der Grafik des psychrometrischen Diagramms zufolge wird die direkte Verdunstungskühlung erst ab einer relativen Luftfeuchte unter 60 % aktiv. Da Longyan die meiste Zeit im Jahr eine höhere Luftfeuchtigkeit hat,



06

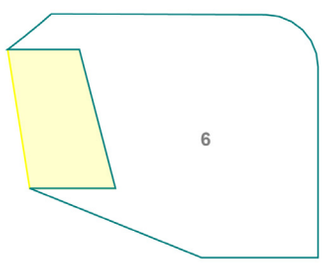
05 I Bereich der Natürlichen Belüftung und Behaglichkeitszone von Longyan, Fujian Region, China, Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

06 I Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone und passiven Kühl- und Heizmethoden von Longyan, Fujian Region, China, Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

ist die Verdunstungskühlung hier nicht so effektiv und es fallen nur einige wenige Tage in den lila markierten Bereich. Eine direkte Verdunstungskühlung reduziert die Raumtemperatur durch ein Wasserelement, welches direkt an den zu kühlenden Raum angegliedert ist. Bei der indirekten Verdunstungskühlung, auf die sogleich im folgenden Teilkapitel 3.3.1.6 noch eingegangen wird, ist ein weiteres Element als Speichermasse zwischen die Verdunstungsflüssigkeit und den zu kühlenden Raum geschaltet.

3.3.1.6 Indirekte Verdunstungskühlung (indirect evapoarative cooling)

Der Bereich der indirekten Verdunstungskühlung ist türkis dargestellt und befindet sich oberhalb und unterhalb sowie insbesondere rechts von der Behaglichkeitszone. Er erweitert den Bereich der direkten Verdunstungskühlung – vor allem im Bereich oberhalb der Behaglichkeitszone ist diese indirekte Kühlung besonders effektiv. Hier ist sie laut Simulationsmodell noch bis ca. 78 % Luftfeuchte aktiv und deckt in Longyan damit einige heiße Sommertage ab.



07

3.3.2. Die Mängel dieses Modells

Dieses Simulationsmodel verwendet zwar reale Klimadaten, es handelt sich aber dennoch um eine Methodik, die bzgl. der architektonischen Gebäudeausführung auf einem rein theoretischen Ansatz basiert: Sie zeigt lediglich die klimatischen Abhängigkeiten der passiven Kühl- und Heizmethoden. Diese Simulationsmethodik eignet sich zur Vergleichbarkeit verschiedener Standorte und zur Orientierung der Architekten in der Entwurfs- und Planungsphase von Bauprojekten. Die tatsächliche Wirksamkeit der Kühlmethoden ist aber immer stark von der architektonischen Konzeption der Gebäude abhängig. Eine 100 % exakte Feststellung der Wirksamkeit ist nur durch ganzjährige regelmäßige Messungen im Gebäude zu bekommen. In den einzelnen später aufgeführten Gebäude-Fallstudien wird eine Übersicht der möglichen Kühlmethoden mit Behaglichkeitszone im psychrometrischen Diagramm dargestellt. Weiter werden die relevanten, also am Klimastandort funktionierenden Kühlmethoden detailliert aufgezeigt.

07 I Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone und passiven Kühl- und Heizmethoden von Longyan, Fujian Region, China, Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

3.4.1 Natürliche Belüftung

3.4.1.1 Städtebauliche Positionierung und Höhe der Gebäude (Makro/Meso)
3.4.1.2 A/V-Verhältnis und Gebäudeform (Meso)
3.4.1.3 Gebäudeausrichtung und Grundriss (Meso)
3.4.1.4 Größe und Positionierung der Öffnungen für einseitige Belüftung und Querlüftung (Meso/Mikro)
3.4.1.5 Anforderungen an Fassadenöffnungen (Mikro)

3.4.2 Verringerung der Solaren Energieeinträge

3.4.2.1 Sonnenstände und deren Einflüsse auf Klimastandorte
3.4.2.2 Verschattung durch Positionierung der Gebäude (Makro)
3.4.2.3 Verschattung durch Fassadenstruktur (Fassadentektonik) (Meso/Mikro)
3.4.2.4 Traditionelle Verschattungssysteme (Meta)
3.4.2.5 Wirkungsgrad von Verschattungssystemen (Mikro)

3.4.3 Speichermassenkühlung:

3.4.3.1 Dynamische Kenngrößen und Kriterien
    3.4.3.1.1 Wärmespeicherfähigkeit
    3.4.3.1.2 Wärmetransmission
    3.4.3.1.3 Phasenverschiebung
3.4.3.2 Kriterien
    3.4.3.2.1 Bauteildicke
    3.4.3.2.2 Nachtventilation - Abkühlung mit Natürlicher Belüftung
    3.4.3.2.3 Fassade Öffnungen
3.4.3.3 Klimatische Wetterbedingungen
    3.4.3.3.1 Temperaturdifferenz Tag/Nacht
    3.4.3.3.2 Speichermassenwärme

3.4.4 Verdunstungskühlung

3.4.4.1 Architektonische Anwendungen
    3.4.4.1.1 Wasserflächen
    3.4.4.1.2 Bepflanzungen
    3.4.4.1.3 Trocknungsmittel
    3.4.4.1.4 Sprühvernebelung
3.4.4.2 Verdunstungskühlmaschinen

01 I Kapitelcover, *The Hansar*, Bangkok, WOHA Architects, Quelle: http//www.woha.netimages-project_images136609682988galleryHANSAR-010.jpg

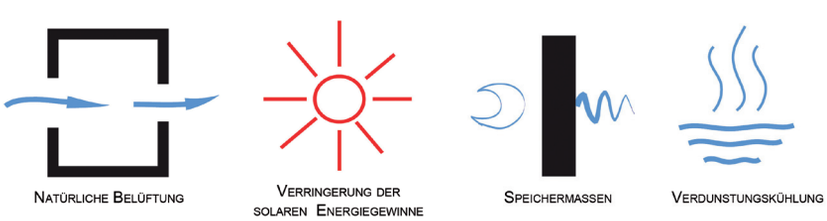
3.4. Kühlmethoden-Funktionsweisen und deren Architektonische Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit



Die Qualität des Wohnraumklimas wird mit dem Verhältnis von Temperaturniveau, Luftfeuchte und Strahlungsintensität über die Behaglichkeit definiert. Hierzu stellt sich die Frage, welches Innenraumklima ohne Klimaanlage in subtropischen Regionen erreichbar ist und welche Kriterien hierfür erfüllt werden müssen. Edward Ng sagte auf der Winterschool *Sustainable Smart Cities* an der TU Graz auf die Frage, ob es möglich sei, in subtropischen Gebieten wie Hongkong natürlich zu belüften, anstatt die Klimaanlage zu nutzen: „Um einem Temperaturanstieg entgegenzuwirken, muss man verhindern, dass Sonnenlicht in die Innenräume eindringt. […] Fenster müssen auf intelligente Weise angeordnet sein und geöffnet werden können, um Querlüftung zu ermöglichen."[1]

Ein behagliches Raumklima kann in subtropischen Regionen also durchaus auch ohne Klimaanlage erreicht werden. Durch Luftströmung (Ventilation) kann es verbessert werden, auch wenn Lufttemperatur und Luftfeuchte hierbei gleich bleiben: Die gefühlte Temperatur, d.h. das Empfinden für Luftfeuchte und Temperatur, verändert sich bei bewegter Luft je nach Luftgeschwindigkeit. Die Luftzirkulation spielt eine erhebliche Rolle für das Wohlbefinden in Wohnräumen. Die Öffnungen in den Wänden müssen bei verschiedenen Temperaturen und unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten im Sinne unterschiedlicher Öffnungsquerschnitte zum Ein- und Austritt der Luft reguliert werden.

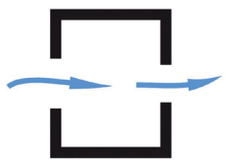
Ein weiterer wichtiger Aspekt, der zur Behaglichkeit beiträgt, ist die Strahlungsintensität: Strahlungswärme tritt im Freien z.B. durch Erhitzung von Oberflächen durch die Sonne auf. Im Innenraum geben massive Wandelemente Strahlungswärme oder -kühle ab und nehmen sie auch auf. Die Oberflächentemperaturen und die Aktivierung von Speichermasse spielen also eine wesentliche Rolle für die Behaglichkeit in Innenräumen. Das Material muss eine hohe Dichte aufweisen, um kühlere Temperaturen speichern zu können. Um die richtige Weiterleitung der Temperatur (Phasenverschiebung) zu gewährleisten, ist die Schichtdicke der Außenwand maßgeblich, damit



02

02 I Vier Kühlmethoden: natürliche Belüftung, Verringerung der solaren Energiegewinne, Speichermassen- und Verdunstungskühlung, einige Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

[1] Edward Ng in der Podiumsdiskussion im Rahmen der Konferenz Sustainable Smart Cities am 15. Februar 2011 an der Technischen Universität Graz, organisiert von Prof. Roger Riewe und Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie. Edward Ng ist Professor an der Chinese University of Hong Kong sowie Herausgeber des Standardwerks Designing High Density Cities und Experte auf dem Gebiet des ökologischen und nachhaltigen Bauens.

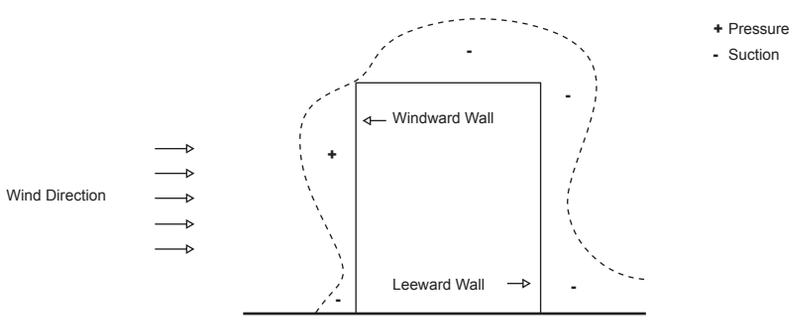


die gespeicherte Kühle innerhalb eines bestimmten Zeitzyklus raumseitig weitergeleitet werden kann.
Die einzelnen Funktionsweisen der Kühlmethoden, ihre jeweiligen Erfolgskriterien und ihre architektonischen Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit werden im Folgenden nun gegliedert nach den vier ausgewählten Kühlmethoden genauer beschrieben. Sodann werden diese auf den verschiedenen Betrachtungsebenen aufgezeigt.

3.4.1 Natürliche Belüftung

Generell verstärkt die Luftbewegung die Verdunstung und Hitzekonvektion auf der der Haut der Bewohner und verursacht dadurch ein kühleres Temperaturempfinden. Die natürliche Belüftung ist eine uralte Kühltechnik, die in allen heißen Weltregionen architektonisch auf verschiedenste Weisen umgesetzt wird und ein sehr umfassendes Thema ist. Einige der unterschiedlichen architektonischen Möglichkeiten werden in den verschieden Betrachtungsebenen untersucht und sollen hier nun auszugsweise kurz mit aufgezeigt werden.

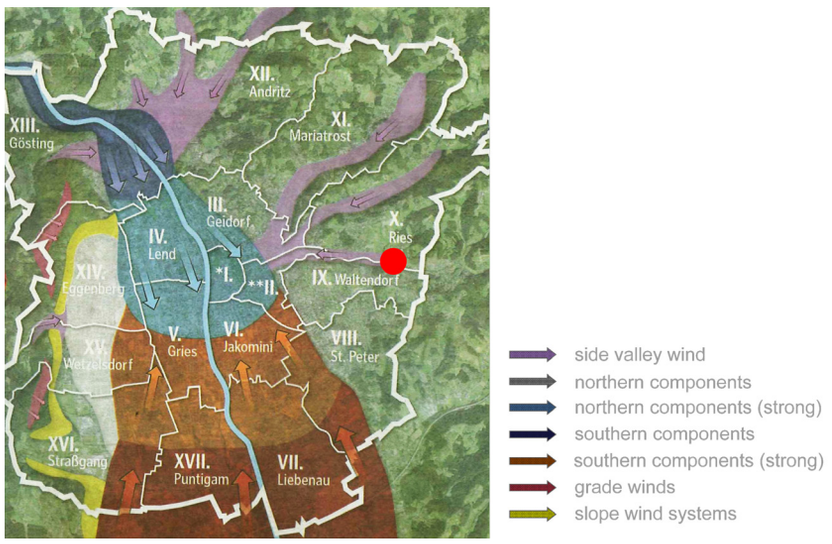
Der Einfluss von Windkräften auf Gebäude lässt sich auf verschiedenen Ebenen betrachten und übersichtlich folgendermaßen beschreiben: Auf städtebaulicher Ebene sind die Dimensionen der Windkorridore und die Anordnung der Gebäudekörper bzw. die Abstände zwischen ihnen wesentliche Kriterien zur Veränderung der Windstromeigenschaften und zur Beeinflussung der natürlichen Belüftung der Häuser. Auf der Betrachtungsebene des einzelnen Gebäudes und dessen unmittelbarer Umgebung ist insbesondere die Fassade von Interesse. Ein wichtiges Kriterium ist das Entstehen von unterschiedlichen Druckverhältnissen durch das Gebäude-



03

03 I Ansicht eines Gebäudes mit Winddruck und Windsog in Abhängigkeit zur Windrichtung, Quelle: Joo Hwa Bay and Boon Lay Ong, Tropical Sustainable Architecture: Social and Environmental Dimensions, London: Elsevier Science, Architectural Press, 2006.

3.4.1 Natürliche Belüftung



04



05

04 I Stadtbelüftung der Stadt Graz, Quelle: Kleine Zeitung Graz 2013.

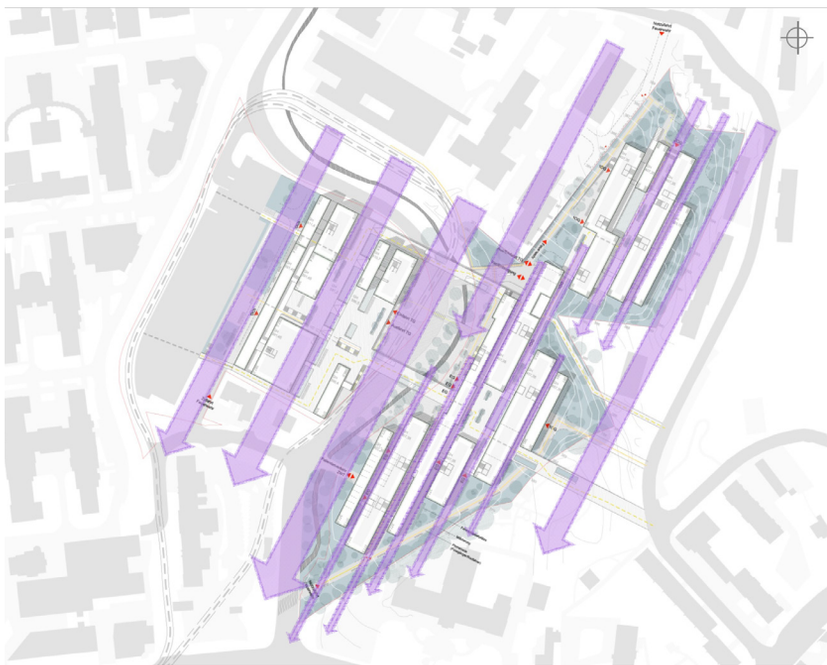
05 I Bestehende Frischluftkorridore und –arten, rote Markierung Standort Med Campus, Quelle: Riegler Riewe Architekten, Graz, Katowice, Berlin, 2013.

volumen an der windzugewandten und -abgewandten Gebäudeseite. Das Entstehen von Winddruck und -sog in Abhängigkeit von der Windrichtung ist in der Abbildung erkennbar.
Eine weitere Betrachtungsebene fokussiert die Fassade bezüglich des Lufteindringens durch die Öffnungen der Fassade. Größe und Position der Öffnungen sowie auch auskragende Wandelemente beeinflussen den Luftstrom innerhalb des Gebäudes, ermöglichen verschiedene Lüftungsarten und stellen das wesentlichste Kriterium für die natürliche Belüftung dar. Sodann sind auch die Details der Fensteröffnungen wichtig: Zur Gewährleistung einer natürlichen Belüftung müssen die einzelnen Öffnungen spezifische Anforderungen erfüllen und es gibt unterschiedliche Kriterien, die hierbei eine Rolle spielen.

3.4.1.1 Städtebauliche Positionierung und Höhe der Gebäude (Makro/Meso)

Bezüglich der wetterbedingten Windverhältnisse und der Frischluftschneisen im urbanen Kontext ist die Anordnung der Gebäude wesentlich. Ein Beispiel in Europa dafür, dass die **städtebauliche Positionierung** der Gebäude in Abhängigkeit von den örtlichen Windgegebenheiten geplant wurde, ist der Med Campus in Graz von Riegler Riewe Architekten. In moderaten Klimagebieten sind die Anforderungen an eine Versorgung der Stadtzentren mit Frischluftschneisen vergleichbar mit denen in den subtropischen und tropischen Gebieten.
Die Stadt Graz befindet sich auf einer flachen Ebene umgeben von Bergen. Für die Versorgung der Stadt mit Frischluft (Stadtbelüftung) sorgen verschiedene Winde, wie in der Abbildung **Stadtbelüftung** Graz zu erkennen ist.
Dies sind zum Beispiel die starken Süd- und Nordwinde, aber auch die Windkorridore durch die Seitentäler der Stadt (in der Abbildung Lila dargestellt). Der Neubau des Landeskrankenhauses der Stadt Graz befindet sich im Osten der Stadt und ist in der Karte mit einem roten Punkt markiert. Es ist erkennbar, dass der Standort sich in einem Windkorridor befindet. In der nächsten Abbildung ist zu erkennen, dass das Planungsgebiet des Med Campus (rot umrandet) vom Windkorridor tangiert wird. Die Architekten Florian Riegler und Roger Riewe integrierten die Notwendigkeit, diesen Frischluftstrom für die Stadt Graz nicht zu beeinträchtigen in ihren Gebäudeentwurf: Diese notwendige Windpassage wurde ein Teil des städtebaulichen Konzeptes ihres Gebäudeensembles, wie im Lageplan des Projektes zu erkennen ist.

3.4.1 Natürliche Belüftung



06



07

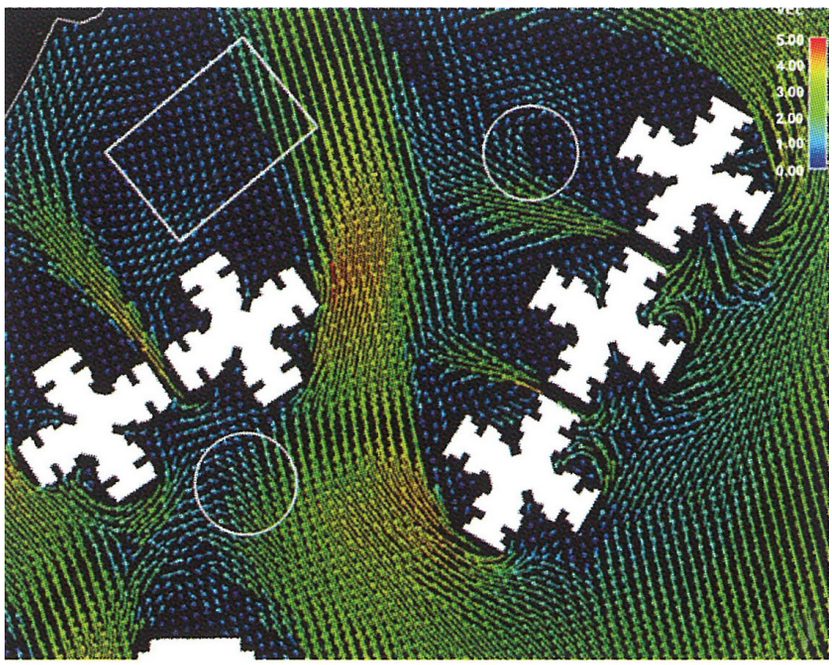
06 I Lageplan Med Campus und Windfluss-Darstellung, Quelle: Riegler Riewe Architekten, Graz, Katowice, Berlin, 2013.

07 I Model des Med Campus und Windfluss-Darstellung, Quelle: Riegler Riewe Architekten, Graz, Katowice, Berlin, 2013.

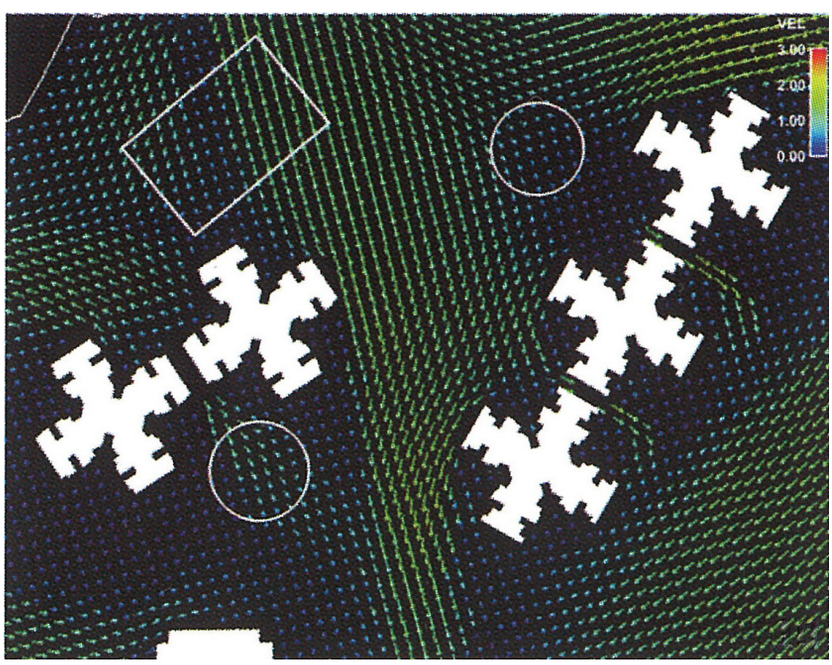
Sie entwickelten eine winddurchlässige Gebäude-Struktur, die den örtlichen Erfordernissen gerecht wird: Zur Windrichtung parallel angeordnete Gebäudescheiben lassen den Frischluftstrom für Graz durch die Gebäudegruppe hindurchfließen.
So kann der Wind aus dem bergigen Umland nach wie vor in die Plateauebene der Grazer Stadt hinunterströmen. Nachdem die Architekten mit diesem Konzept 2010 den Wettbewerb gewannen, wird dieser exzellente Neubau soeben realisiert; das erste Gebäude wurde bereits im vergangenen Jahr 2013 fertiggestellt. Der Med Campus ist ein Laborgebäude, was eine spezifische mechanische Ab- und Fortlüftung der Laborräume erforderlich macht. Deshalb ist eine intensive natürliche Belüftung hier nicht erforderlich und wurde dementsprechend auch nicht forciert. In diesem vorbildlichen Beispiel ermöglicht die städtebauliche Anordnung des Gebäudeensembles die Erhaltung der für die Stadt so dringend notwenigen Frischluft-Windkorridore und erfüllt somit das entscheidende Kriterium hervorragend.

Die Bedingungen der Windverhältnisse wie Windrichtung, -stärke und -häufigkeit müssen im **städtebaulichen Kontext** auch dann in der Planung mit berücksichtigt werden, wenn es darum geht, für die Innenräume der Häuser eine natürliche Belüftung zur Verfügung zu stellen. Zudem spielt die Nachbarbebauung hier eine große Rolle, da diese Gebäudevolumen einen erheblichen Einfluss auf den Wind und dessen Einfluss auf das zu planende Gebäude haben.
Das 2009 von der Hong Kong Housing Authority fertiggestellte Projekt Sau Mau Ping South Estate besteht aus fünf Wohnhochhäusern und befindet sich im Stadtteil Kwun Tong im Stadtbezirk Kowloon in Hongkong. Bei der städtebaulichen Anordnung (Positionierung) der in sich ungerichteten Gebäudekörper wurden die Windstärke und -richtung am Standort berücksichtigt. Die Abbildung zeigt in einer numerischen Strömungsmechanik-Simulation (computational fluid dynamic simulation) die Abhängigkeit der Durchlüftung von der Positionierung der Wohnhochhäuser zur Windströmung. Die Windgeschwindigkeiten während der Sommerzeit (und in der folgenden Abbildung während der Winterzeit) lassen sich hier ablesen. Zwischen den beiden Gebäudegruppen wird die Windlast komprimiert und es bildet sich ein eingeengter Windkorridor. In den Sommermonaten erzeugt der Windkorridor eine erhöhte Wind-Durchflussrate von 3 bis 5 m/s. Diese kann dann gut zur Abkühlung der

3.4.1 Natürliche Belüftung



08



09

08 | Darstellung der Windgeschwindigkeiten in den Sommermonaten in einer numerischen Strömungsmechanik-Simulation (computational fluid dynamic simulation) der Wohnhochhäuser im Projekt Sau Mau Ping South Estate im Stadtteil Kwun Tong in Kowloon, Hongkong, Quelle: © Nirmal Kishnani, Greening Asia, BCI Asia, Singapore 2012, 226; Development and Construction Division, Hong Kong Housing Authority, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, People's Republic of China.

09 | Darstellung der Windgeschwindigkeiten in den Wintermonaten in einer numerischen Strömungsmechanik-Simulation (computational fluid dynamic simulation) der Wohnhochhäuser im Projekt Sau Mau Ping South Estate im Stadtteil Kwun Tong in Kowloon, Hongkong, Quelle: Ebda.



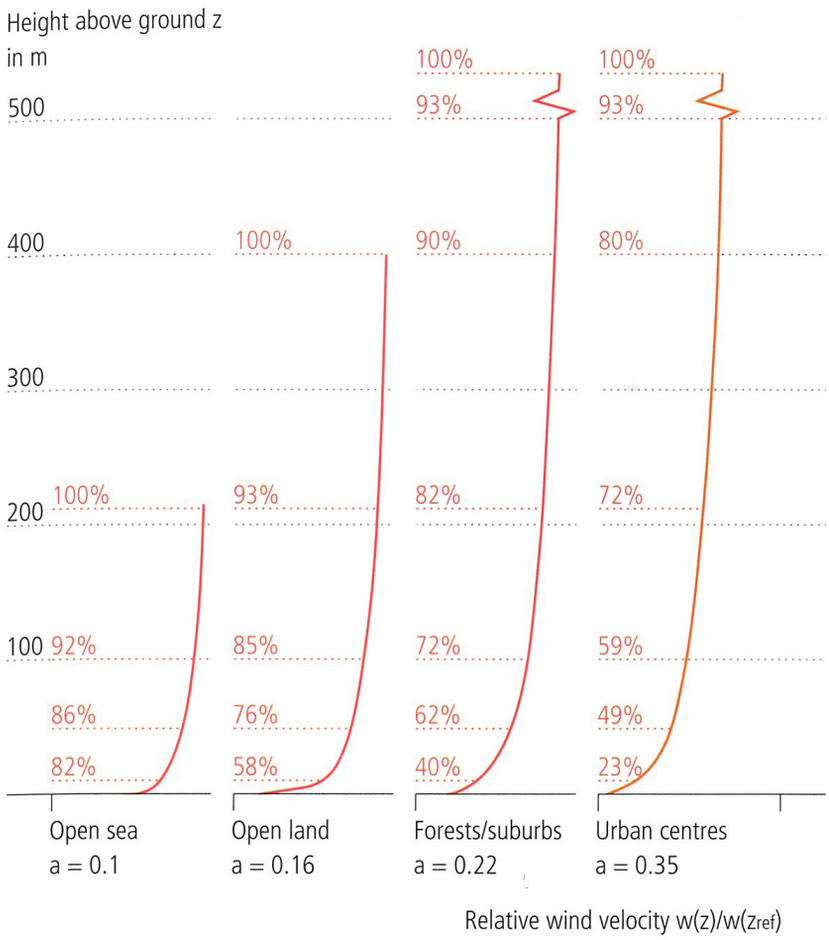
10

Gebäudekörper und teilweise auch zur Belüftung der Wohneinheiten genutzt werden. Im Winter, wenn keine Kühlung benötigt wird, wirkt der Effekt der Verengung nicht mehr so stark, da die Wetter-Windgeschwindigkeit weitaus geringer ist. Damit liegt dann die Windgeschwindigkeit zwischen den Gebäuden nur noch bei 1 bis 2 m/s. Die städtebauliche Anordnung mit exakten Abständen der einzelnen Gebäude zueinander führt zur Verbesserung der Windströmungen und ist damit ein wichtiges Kriterium für die Kühlung des Gebäudekörpers und die natürliche Belüftung.

Auch die **Gebäudehöhe** hat einen Einfluss auf die natürliche Belüftung. Je stärker die Windgeschwindigkeit ist, desto besser kann der Wind in die Gebäude eindringen, was die Luftwechselrate innerhalb derselben erhöht. Die Windgeschwindigkeit beschleunigt sich schnell mit zunehmender Höhe über ebenen Flächen wie Wasserflächen oder flachen Landschaften. Städtische Gebiete verursachen durch das bebaute urbane Umfeld Verwirbelungen und die verwirbelungsfreie Grenzschicht befindet sich weiter oben. Über Wäldern oder Vorstädten sind in 100 Metern Höhe 72 % der maximal möglichen Windgeschwindigkeit erreichbar. Über Großstädten mit höherer Bebauung

10 | Ansicht der fünf Wohnhochhäuser des Projekts Sau Mau Ping South Estate im Stadtteil Kwun Tong in Kowloon, Hongkong, Quelle:: Ebda., 220.

3.4.1 Natürliche Belüftung



$w(z) = w(z_{ref})\ (z/z_{ref})^{\alpha}$

w(z)	wind velocity
$w(z_{ref})$	gradient velocity=100 %
z_{ref}	reference height
α	profile exponent

11

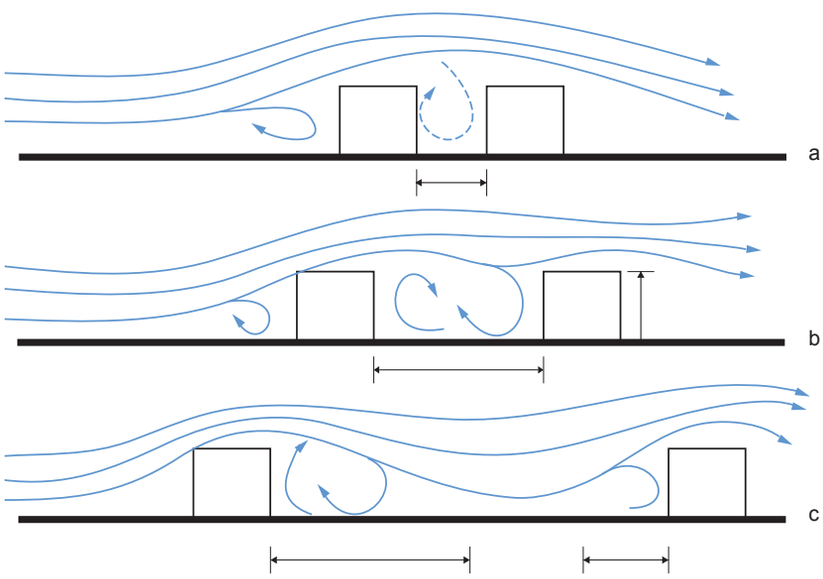
11 I Windgeschwindigkeiten im Verhältnis zur Höhe über dem Erdreich, Quelle: Daniel, Klaus: *plus minus 20°/40° latitude*, Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, 45. Ursprüngliche Quelle: Daniel, Klaus: *Low-Tech – Light-Tech – High-Tech*, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser 1998.

ist dieses Maß an Windfluss erst ab 200 Metern Höhe erreichbar, wie in der Grafik erkennbar ist.
Trotzdem steigt die Windgeschwindigkeit auch in dichter städtischer Bebauung mit zunehmender Höhe stark an: von 23 % bei 10 Metern Höhe auf mehr als das Doppelte, nämlich 49 % bei 50 Metern Gebäudehöhe.
Bei Wohnhochhäusern kann die natürliche Belüftung also aufgrund dieser steigenden Windstärke schon ab dieser Höhe wesentlich besser genutzt werden; bei Ultra-Wohnhochhäusern (ab 100 Metern) steigt die Windstärke entsprechend noch weiter an. Dies spricht für die Realisierung von Ultra-Wohnhochhäusern über 100 Metern. Die Gefahr, dass ein zu starker Windzug die Behaglichkeit der Bewohner stört ist gering, da die Bewohner ihre Fenster individuell öffnen und schließen können. Dies ist vergleichbar mit der Problematik, dass bei Niederschlägen der Regen durch die Fenster ins Innere der Wohnungen eintreten kann. Die Gefahr des eindringenden Wassers besteht bei Wohngebäuden aller Höhen, auch bei niedrigen. Diese Problematik wird über die Eigenverantwortung und Vernunft der Bewohner gelöst und führt im Allgemeinen – wie auch die oben angesprochene Windzuggefahr – zu keinen Problemen: Bei einem nahenden Gewitter schließen wir instinktiv die Fenster.

Doch neben der Höhe der Gebäude wirken sich auch die Abstände der Gebäudekörper auf den Luftaustausch und das Strömungsverhalten des Windflusses aus. Abhängig von den Gebäudeabständen zueinander können drei Strömungsverhalten zwischen einzelnen Gebäuden unterschieden werden: In diesem Beispiel wird immer davon ausgegangen, dass die Gebäude in der Reihe stehen und die Windrichtung orthogonal auf die Frontseiten der Gebäude gerichtet ist. Wenn Gebäude sehr eng zusammenstehen, gibt es einen Windfluss, der über die Gebäude hinwegströmt (a: überströmender Windfluss). Der Gebäudeabstand entspricht hier ungefähr der Gebäudehöhe. Hierbei ist der Luftaustausch mit der darüberliegenden Strömung eingeschränkt und die Druckdifferenz zwischen den verschiedenen Seiten eines Gebäudes ist gering. Deshalb ist die Möglichkeit einer ausreichenden natürlichen Belüftung hier beschränkt.
Wenn der Zwischenraum größer ist, gibt es Fall- und Aufwindwirbel, die für einen Luft-Austausch mit den darüberliegenden Strömungen sorgen. Es werden Wirbelturbulenzen herbeigeführt, die von den beiden zueinander orientierten Gebäudeseiten beeinflusst werden. Die Windwirbel überlagern

3.4.1 Natürliche Belüftung

sich und es entstehen sogenannte Interferenzströmungen (b). Wenn der Zwischenraum zwischen den Gebäuden noch größer ist, erfolgt eine Wind-Verwirbelung nach dem Muster von einzelnen Erhöhungen. Hinter dem Gebäude entstehen Fallwindwirbel und vor dem Gebäude Aufwindwirbel (c: Wind-Verwirbelung durch freistehende Erhöhungen). Diese Art der Windflussführung fördert die natürliche Belüftung der Innenräume des Gebäudes[2]. Somit optimiert sich die Möglichkeit einer effizienten natürlichen Belüftung bei zunehmendem Abstand der Gebäudekörper zueinander. „Das Optimum für eine gute Durchlüftung der Gebäudezwischenräume wird erreicht, wenn der Gebäudeabstand größer als die dreifache Gebäudehöhe ist“ [3] , gibt Hegger in seiner Publikation über äußere Rahmenbedingungen der Stadtstruktur an. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei einer zu engen Zusammenstellung der Gebäude die Gebäudezwischenräume nicht mehr ausreichend durchlüftet werden. Allerdings bezieht sich diese These auf Luftgeschwindigkeit und -Verwirbelungen durch Wetterwinde. Luftbewegungen durch Temperaturunterscheide, wie vertikale Auftriebe, sind davon ausgenommen.



12

12 I Strömungsverhalten und Luftaustausch bei verschiedenen Gebäudeabständen – a: Überströmender Windfluss, b: Interferenzströmungen, c: Wind-Verwirbelung durch freistehende Erhöhungen. Quelle: In Anlehnung an GZ Brown, Mark deKay, Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2014; Grafiken überabeitet von Ferdinand Oswald 2014.

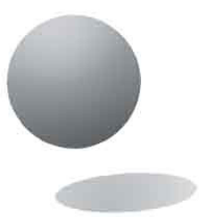
[2] Vgl. Lee, B.E. / Hussain, M. / Solliman, B.: Report No. BS50, in: A Method for the Assessment of Wind Induced Natural Ventilation Forces Acting on Low Rise Arrays, Department of Building Sciences / University of Sheffield, Großbritannien, 1980.

[3] Quelle: Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 33.

In dem Beispiel der Abbildungen werden in der Reihe stehende Gebäude verglichen. Werden die Gebäude punktuell als einzelne freistehende Körper aufgestellt, so verbessert dies ebenfalls die Windflussführung und birgt noch größere Chancen für eine gut funktionierende natürliche Belüftung. [4]

3.4.1.2 A/V-Verhältnis und Gebäudeform (Meso)

„Die Kompaktheit (das Verhältnis von Oberfläche und Volumen) eines Gebäudes hat Einfluss auf den Energiebedarf eines Gebäudes." [5] Die Außenfläche eines Gebäudes ist immer die wärmeübertragende Fläche eines Gebäudevolumens. Eine Kugel ist die geometrische Form mit der kleinsten Oberfläche im Verhältnis zu ihrem Volumen, d.h. mit dem kleinsten A/V-Verhältnis. Bei gleichem Volumeninhalt (und gleichzeitig gleicher Brutto- und Nutzfläche) können unterschiedliche Baukörper mit unterschiedlich großer Außenhaut hergestellt werden. In der folgenden Abbildung „Unterschiedliche A/V-Verhältnisse in Abhängigkeit von der Gliederung des Baukörpers" wird dies ersichtlich. „Bei einer gleich großen Nutzfläche beider Grundrisse ist die wärmeübertragende Oberfläche des stark gegliederten Gebäudes 48 % größer […]. Der Einfluss der Kompaktheit auf den Energiebedarf ist allerdings von der geografischen Lage und Nutzung des Gebäudes abhängig."[6] In moderaten kalten Regionen möchte man ein möglichst kleines A/V-Verhältnis haben und damit möglichst wenig Außenfassade, welche zudem gute Dämmeigenschaften bei kalter Umgebungstemperatur aufweisen sollte. Hegger meint hierzu: „In Klimata mit überwiegend hohen Umgebungstemperaturen und ohne kalten Winter […], ist die Kompaktheit von untergeordneter Bedeutung. Hier kann eine geringe Kompaktheit die natürliche Belüftung und Kühlung sogar begünstigen. In Mitteleuropa hingegen ist eine hohe Kompaktheit sinnvoll. Entwerferisch bedeutet ein kompakter Gebäudekörper die Vermeidung von Einschnitten (z.B. Loggien), Vorsprüngen (z.B. Erker) und spitzen Winkeln in der wärme-



13

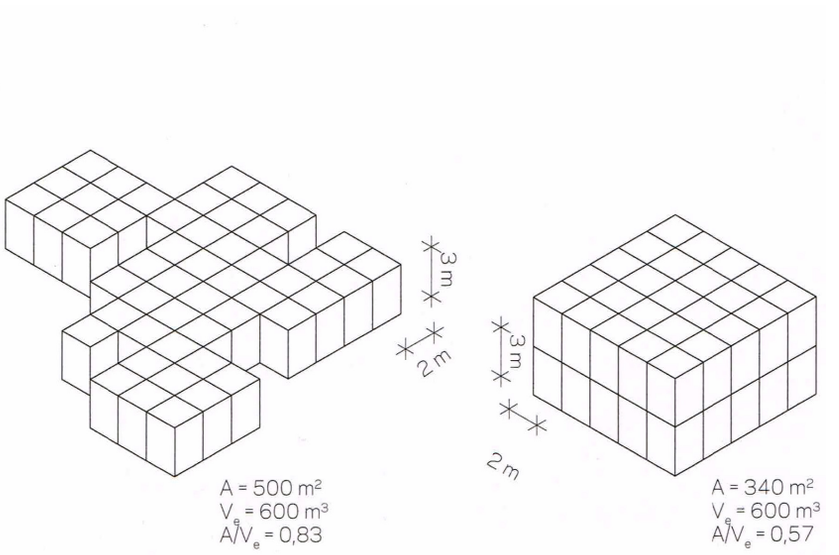
13 I Eine Kugel hat die kleinste Oberfläche im Verhältnis zum Volumen, Quelle: © Ralf Hellmann, Dresden, 2014.

[4] Vgl. Brown, G.Z. / DeKay, Mark:: Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, ohn Wiley & Sons Inc., [3]2014, S. 117.

[5] Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 68.

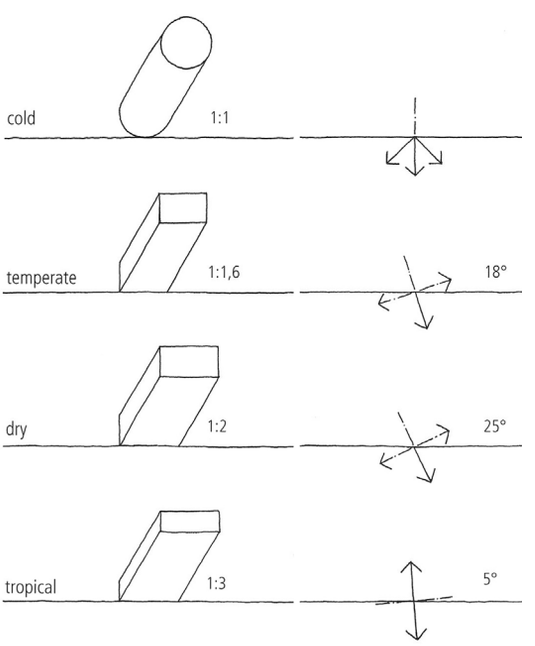
[6] Ebda.

3.4.1 Natürliche Belüftung



Beide Baukörper: Bruttofläche = 200 m², Nutzfläche ca. 160 m²

14



15

14 I Unterschiedliche A/V-Verhältnisse in Abhängigkeit von der Gliederung des Baukörpers, Quelle: Manfred Hegger, Joost Hartwig, Michael Keller, Wärmen und Kühlen, Konstruktionsreihe Scale, Herausgeber Alexander Reichel und Kerstin Schultz, Birkhäuser, Basel, 2012, S. 68.

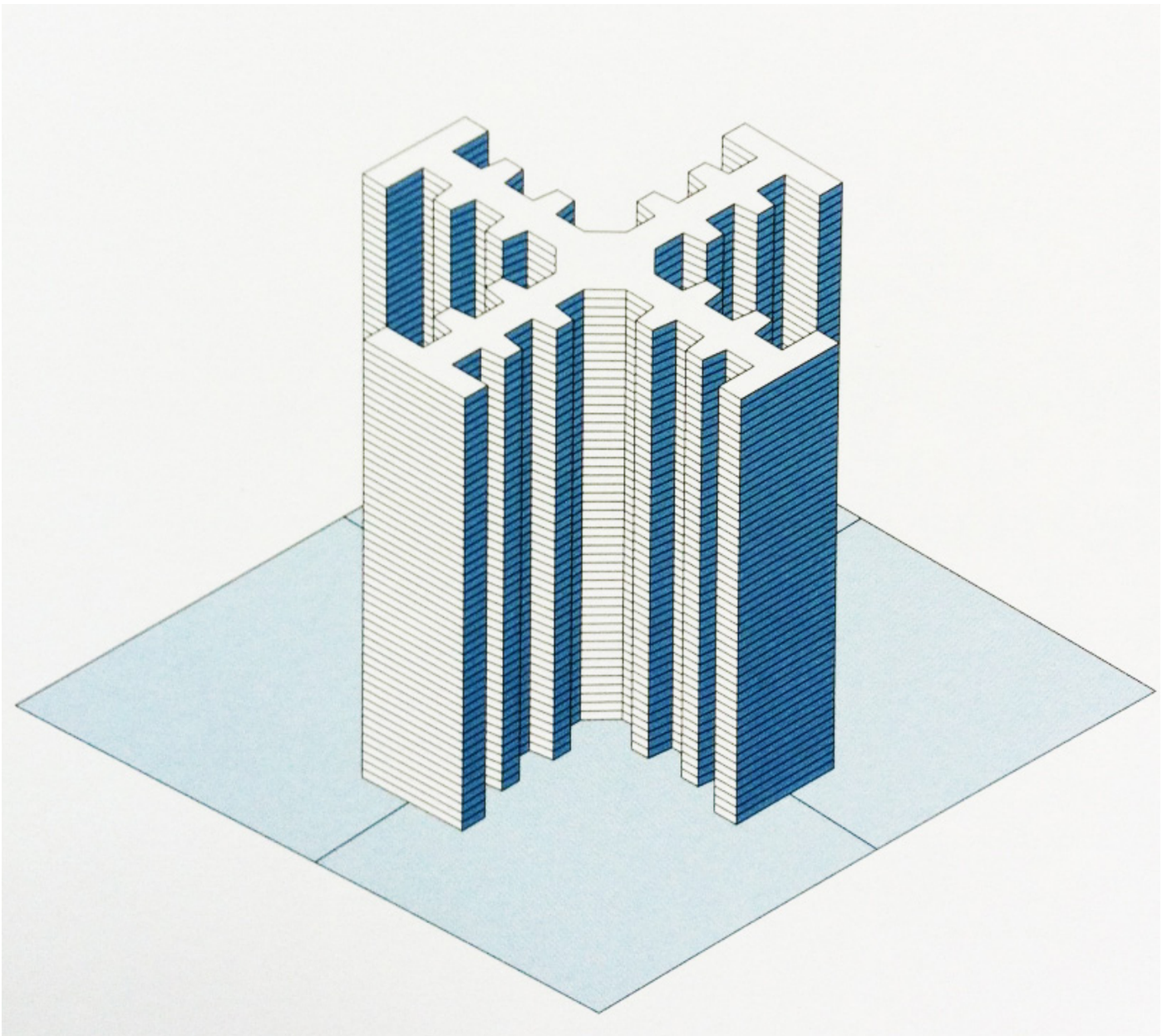
15 I Optimale Gebäudeform im Verhältnis Länge mal Breite für unterschiedliche Klimaregionen und rechts die optimale Orientierung der Gebäude, Quelle: Klaus Daniels: plus minus 20°/40° latitude, Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, 119.

übertragenden Gebäudehülle sowie kompliziert gegliederten Fassaden und Dächern."[7] Dies bestätigt, dass unterschiedliche Gebäudeformen und A/V-Verhältnisse für verschiedene Klimaregionen den Energieverbrauch zur Temperierung des Innenraums beeinflussen können. Aber welche Gebäudeform ist in welcher Klimaregion optimal?

Die folgende Abbildung „Optimale Gebäudeform im Verhältnis Länge mal Breite für unterschiedliche Klimaregionen" soll das A/V-Verhältnis zur jeweiligen Klimaregion aufzeigen. Die für kalte Klimaregionen vorgeschlagene Gebäudeform ist zylinderförmig. Dies ist mit dem kreisförmigen Grundriss analog zur Krümmung der Kugel-Oberfläche ebenfalls eine geometrische Form mit relativ kleinem A/V-Verhältnis. Doch wie sollte das A/V-Verhältnis in tropischen Gebieten sein? In derselben Abbildung wird für die tropischen Klimaregionen ein Verhältnis der Länge zur Breite von 1:3 und somit ein größeres A/V-Verhältnis vorgeschlagen. Kann es in den Tropen von Vorteil sein, eine große Fassadenfläche zu haben? In der Abbildung wird dies mit der Orientierung zum Sonnenverlauf plausibel, da sich die Schmalseiten des Gebäudes nach Osten und Westen, also nach den Himmelsrichtungen mit der stärksten Sonneneinstrahlung orientieren. Dies wird im nächsten Kapitel 3.4.2 „Verringerung der solaren Energieeinträge" noch genauer untersucht. Aber wie später noch angesprochen wird, ist auch die Gebäudeausrichtung (Kapiel 3.4.1.3) zum Wind entscheidend, nämlich für die Anwendung der natürlichen Belüftung. In den abgebildeten Gebäudeformen und -orientierungen ist die Ausrichtung nach Nord-Süd angegeben. Für das Kriterium der natürlichen Belüftung würde dies in allen Fällen eine Nord-Süd-Windrichtung voraussetzen. Ein anschauliches Beispiel für ein Projekt mit einem sehr großem A/V-Verhältnis ist die *Villa Radieuse* von Le Corbusier.
Sie ähnelt in auffallender Weise den von der Hong Kong Housing Authority gebauten Wohnhochhäusern. Die Fassade hat hier zahlreiche Vor- und Rücksprünge. Welche Vorteile wollte er mit dieser Fassadentektonik erreichen? Sicher ist, dass diese Typologie auf kleiner Bebauungsgrundfläche relativ viel Belichtung und Belüftung für die Bewohner ermöglicht. Die gefaltete Fassade erinnert auch an die Erscheinungsform eines Kühlregisters. Wenn eine Fassade gefaltet wird, vergrößert sich ihre Oberfläche. Theoretisch ist diese größere Oberfläche günstiger, um sie von vorbeiwehender Luft abkühlen zu lassen, denn je größer die Kontaktfläche zur Luft, desto größer kann der Wärmeaustausch sein. Ein solcher Wärmeaustausch zwischen warmer Gebäudeoberfläche und

[7] Ebda.

3.4.1 Natürliche Belüftung



16

16 | Ville Radieuse, Wohnhochhaustypologie von Le Corbusier, Quelle: Curtis, William, Le Corbusier – Ideas and Forms, Phaidon Press London, 2006.

kühlerer Luft ist in den Tropen sehr vorteilhaft. In den moderaten Gebieten ist dies bei kalter Außentemperatur allerdings von Nachteil, weil das Gebäude auch hier heruntergekühlt wird, ohne das man dies benötigt. Le Corbusier hat für die in einer feuchtheißen tropischen Region in Indien gelegene Stadt Chandigarh in den 1950er Jahren den Masterplan überarbeitet. Wie in der Abbildung zu erkennen ist, war diese Typologie in seiner Planung aber nicht vorgesehen.

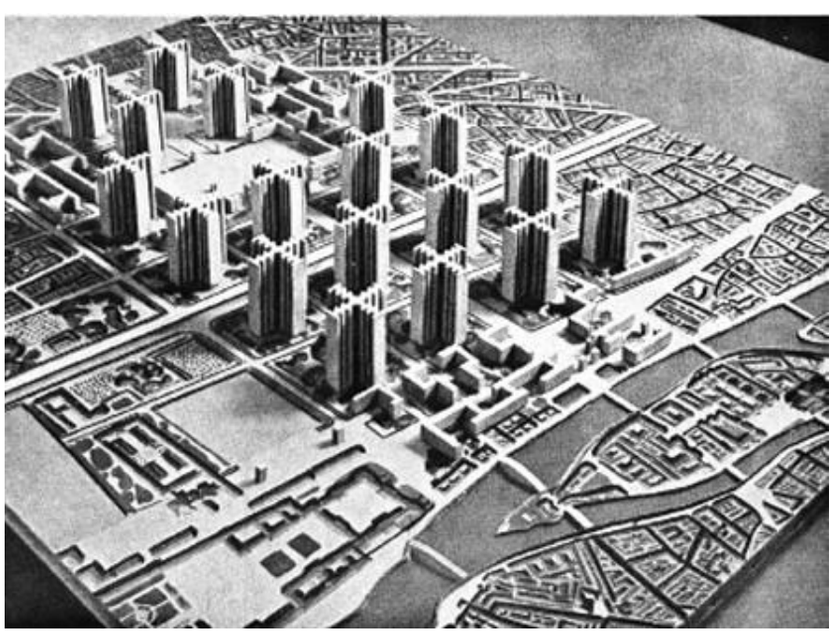
Hingegen ist die angesprochene Wohnhochhaus-Typologie in seinem 1925 erstellten Masterplan für Paris zu finden. Dieser *Plan Voisin* wurde aber nicht baulich umgesetzt. Die Gebäudestruktur ist in diesem Fall also nicht mit klimatischen standortbedingten Gegebenheiten zu erklären.

Im Allgemeinen wirken sich unterschiedliche Einschnitte, Rücksprünge und Aushöhlungen der Fassade auf eine Optimierung der natürlichen Belüftung in ihrer jeweiligen Konzeption gut aus, im Detail allerdings auch recht unterschiedlich. Diesbezüglich ist es wichtig, die Hauptluftströmung an die entsprechenden Öffnungen möglichst nahe heranzubringen und die positiven Eigenschaften der Windströmung z.B. mit Hilfe von Komprimierung bzw. Luftdruckunterschieden durch Gebäudeteile oder -Elemente zu optimieren. Ein wesentliches Kriterium für Wohnbauten ist, dass die Wohnungsgrundrisse nur so tief sein dürfen, dass eine ausreichende Belichtung gewährleistet ist. Wenn auf kleiner Grundfläche möglichst viele Wohneinheiten untergebracht werden sollen, ist deshalb eine längliche Gebäudeform vorteilhaft. Die von Le Corbusier entworfene Wohnhochhaus-Typologie erfüllt diese Anforderungen ebenfalls, allerdings schafft er dies durch eine Zergliederung der Gebäudeform, welche nicht so kompakt ist, sodass zwischen den einzelnen Gebäudeteilen mehr Luft ist. Im Kapitel „Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten“ wird das Thema des Luftanteils einer Gebäudetypologie für den subtropischen und tropischen Klimastandort noch genauer beschrieben und in den Fallbeispielen wird dieses Kriterium bezüglich der verschiedenen Gebäudetypologien jeweils einzeln untersucht.

3.4.1 Natürliche Belüftung



17



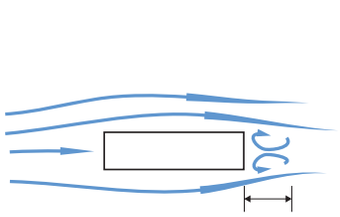
18

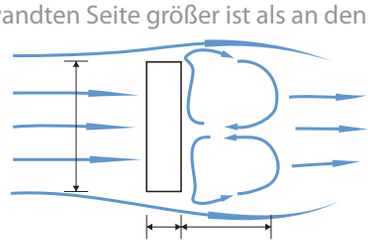
17 I Masterplan von Chandigarh, Indien von Le Corbusier 1951, Photo © C. Zeballos, 2013.

18 I Le Corbusiers *Plan Voisin* für Paris, Quelle: Siegfried Giedon: Raum, Zeit, Architektur: Die Entstehung einer neuen Tradition, Springer, Berlin,1996.

Wie soeben angesprochen ist die Ausrichtung der Gebäudekörper hinsichtlich der Windgegebenheiten für die effektive natürliche Belüftung derselben sehr wichtig. Ein Kriterium für die effektive Querlüftung bei einem länglichen Gebäudekörper ist die Ausrichtung der langen Seite orthogonal zur Windangriffsfläche.
Je nach Größe und Form der Gebäudemasse sind Winddruck und Wind-Verwirbelung auf der Rückseite des Gebäudekörpers unterschiedlich. Die Darstellungen sind Ergebnisse aus Windtunneltests von Evan aus dem Jahr 1959.[8] Beide Beispiele haben die gleiche Gebäudehöhe und -größe und unterscheiden sich nur durch die Orientierung zur Windrichtung. In diesen zwei Abbildungen ist ein Gebäude einmal quer und einmal längs zur Windrichtung orientiert. Es ist zu erkennen, dass die Verwirbelungen wesentlich intensiver sind, wenn das Gebäude quer zur Windrichtung steht und bei zunehmender Verwirbelungstiefe nimmt auch der Winddruck zu. Durch eine größere Winddruckdifferenz wird der Luftstrom mit höherer Geschwindigkeit durch das Gebäude bewegt. Die Windgeschwindigkeit wird am quer gestellten Gebäude außerdem auch deshalb zunehmen. Dies basiert auf dem Venturi-Prinzip[9], demzufolge sich die Luftgeschwindigkeit bei Verengung des Luftraumes erhöht. Ein Gebäude, das quer zur Windrichtung orientiert ist, erhöht deshalb auch die mögliche Luftgeschwindigkeit für eine Querbelüftung.

Die Ausrichtung eines länglichen Gebäudekörpers mit der langen Seite orthogonal zur Windangriffsfläche hat aber noch weitere Vorteile. So können damit auch mehr Wohneinheiten an eine Querlüftung angebunden werden, da die Fassadenfläche auf der windzugewandten Seite größer ist als an den





19 20

19 I Piktogramm zur Luft-Verwirbelung um einen länglichen Gebäudekörper quer zur Windrichtung, Quelle: In Anlehnung an GZ Brown, Mark deKay, Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2014; Grafiken überabeitet von Ferdinand Oswald, 2014 .

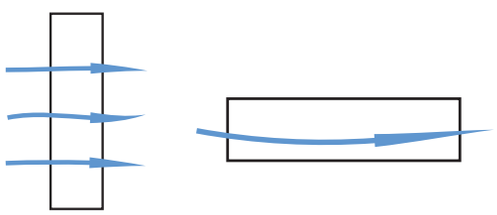
20 I Piktogramm zur Luft-Verwirbelung um einen länglichen Gebäudekörper längs zur Windrichtung, Quelle: In Anlehnung an GZ Brown, Mark deKay, Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2014; Grafiken überabeitet von Ferdinand Oswald, 2014 .

[8] Evans, Benjamin H.: Natural Air Flow Around Buildings. Research Report, Texas Engineering Experiment Station, o. O. 1959.

[9] Der italienische Physiker Giovanni Battista Venturi (*1746, +1822) entdeckte, dass sich die Fließgeschwindigkeit von durch ein Rohr strömendem Wasser oder strömender Luft zu einem veränderten Rohrquerschnitt umgekehrt proportional verhält. Das heißt, dass die Geschwindigkeit der Luft ist dort am größten, wo der Querschnitt des Rohres am kleinsten ist.

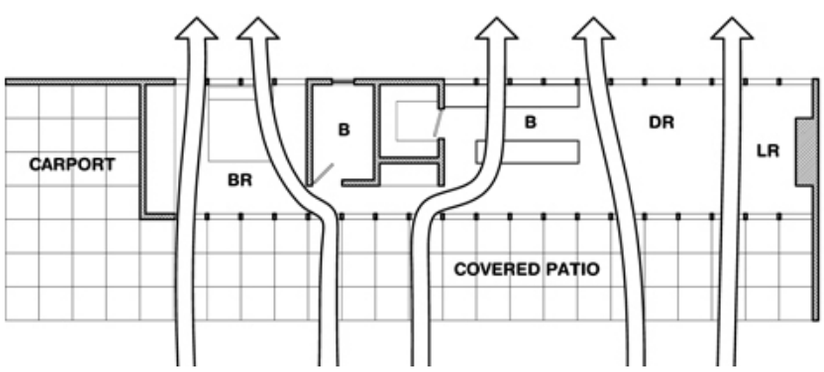
3.4.1 Natürliche Belüftung

kurzen Seiten des Gebäudes und die Distanz zu den gegenüberliegenden Öffnungen relativ klein. Mit einem kleineren Abstand zwischen Luftein- und -ausgang kann die Grundrisskonfiguration einfacher geplant werden, da raumabschließende Trennwände leichter vermieden werden können. Wenn der Gebäudekörper parallel zu Windrichtung orientiert ist, tritt die gegenteilige Wirkung ein: Weniger Wohneinheiten können belüftet werden, weil die Fassadenfläche auf der windzugewandten Seite kleiner ist und die Distanz zu den gegenüberliegenden Öffnungen größer. In den beiden Piktogrammen ist dies gut zu erkennen. Allerdings kann dieses Problem damit umgangen werden, dass der Luftstrom über Hilfsmittel wie auskragende vertikale Wandelemente von der Seite her in die Wohneinheiten hineingebracht wird. Die Wirkungsweise von solchen Fassadenelementen wird später noch genauer erklärt.



21

Die Grundrisskonfiguration mit Raumanordnung und raumabschließenden Trennwänden innerhalb der Wohnungen etc. ist ebenfalls ein wesentliches Kriterium zur Ermöglichung einer guten Querlüftung. Ein offener Grundriss eignet sich prinzipiell besser zur Querlüftung und eine längliche schmale Grundrisstypologie erleichtert die Anordnung von offenen, nicht mit Wänden eingefassten Räumen. Der dargestellte Beispielgrundriss eines einstöckigen Wohnhauses macht dies deutlich.

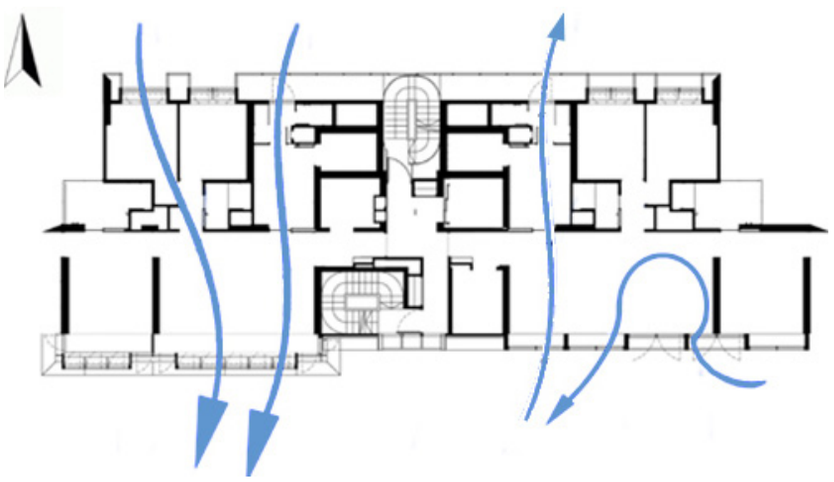


22

21 I Piktogramme zur Querlüftung eines länglichen Gebäudekörpers, Quelle: In Anlehnung an GZ Brown, Mark deKay, Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2014; Grafiken von Ferdinand Oswald, 2014.

22 I Grundrissbeispiel Wohnhaus mit Windfluss-Pfeilen für Querlüftung, Quelle: © Climate Consultant 5.4, Robin Liffett, Prof. Murray Milne, UCLA, University of California, Los Angeles, Energy Design tool Group, 2013.

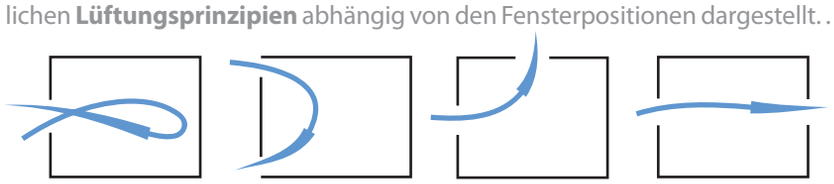
Eine derart schmale Wohnhaustypologie ist allerdings im Wohnhochhausbau nur schwer realisierbar, da die Bruttogeschossfläche im Verhältnis zur Grundstücksfläche dadurch nicht effizient wäre. Im dargestellten Geschossgrundriss des Wohnhochhauses Moulmein Rise von WOHA Architekten in Singapur ist zu sehen, dass die Grundrisstiefe aufgrund der Geschossflächenausnutzung größer ist. Einarbeitung der Windfluss-Pfeile von Matthias Moosbrugger im Zuge des Seminar Struktur & Fassade am IAT, TU Graz 2012. Anhand der Windfluss-Pfeile lässt sich erkennen, dass die Querlüftung trotz einer größeren Grundrisstiefe auch hier gut möglich ist. Allerdings setzt dies die Öffnung der Zimmertüren voraus, sodass die Querlüftung nicht jederzeit möglich ist.



23

3.4.1.4 Größe und Positionierung der Öffnungen für einseitige Belüftung und Querlüftung (Meso/Mikro)

Bei Betrachtung der unterschiedlichen Lüftungsprinzipien der Wohneinheiten stellt sich heraus, dass einseitige, Über-Eck- und Querlüftung verschiede Wirkungsgrade haben. In den vier Abbildungen in der Aufsicht sind die unterschiedlichen **Lüftungsprinzipien** abhängig von den Fensterpositionen dargestellt. .



24

23 I Geschossgrundriss des Wohnhochhauses Moulmein Rise von WOHA Architekten in Singapur mit Windfluss-Pfeilen, Quelle: WOHA Architekten, Singapur 2003, Einarbeitung der Windfluss-Pfeile von Matthias Moosbrugger im Zuge des Seminar Struktur & Fassade am IAT, TU Graz 2012.

24 I L üftungsprinzipien in Abhängigkeit von Fensterpositionen und Öffnungsquerschnitt im Grundriss, Grafiken überarbeitet von Ferdinand Oswald, in Anlehnung an G. Z. Brown, Mark de-Kay, Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2014; basierend auf Michele G. Melaragno, Wind in Architectural and Environmental Design, Reinhold van Nostrand, New York, 1982.

3.4.1 Natürliche Belüftung

In der nachfolgenden Tabelle[10] ist der theoretische Wirkungsgrad der Belüftung bei unterschiedlichen Öffnungsformen und verschiedenen Positionierungen der Öffnungen dargestellt. Die Luftgeschwindigkeit innerhalb des Raumes ist hier als prozentualer Anteil an der durchschnittlichen Luftgeschwindigkeit der Umgebung zu sehen. Hierbei ist zudem auch der Wirkungsgrad der Öffnung bei unterschiedlicher Breite und Höhe in Bezug auf die Geschosswand berücksichtigt. Der horizontale Einfallwinkel des Windes auf die Öffnung ist hier immer zwischen 90° (orthogonal) und 45° angenommen.

Öffnungshöhe im Verhältnis zur Geschosswandhöhe	1/3	1/3	1/3
Öffnungsbreite im Verhältnis zur Geschosswandbreite	1/3	2/3	3/3
einzelne Öffnung	12–14 %	13–17 %	16–23 %
zwei Öffnungen in derselben Wand	–	22 %	23 %
zwei Öffnungen über Eck	37–45 %	37–45 %	40–51 %
zwei Öffnungen gegenüberliegend	35–42 %	37–51 %	47–65 %

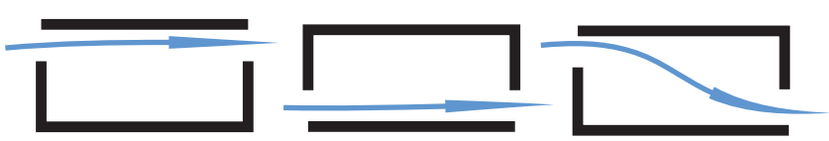
Vergleichen wir die einzelne Öffnung mit zwei Öffnungen in derselben Wand, so ist die durchschnittliche Innenraum-Luftgeschwindigkeit bei zwei Öffnungen 22 % der äußeren Luftgeschwindigkeit, weil die erste als Lufteinflussöffnung und die zweite als Luftausflussöffnung dienen kann. [11] Die einzelne Öffnung ist deshalb weit weniger effektiv für die Belüftung, weil der Luftstrom neben der Einflussöffnung immer auch eine Ausflussöffnung benötigt, um seine Geschwindigkeit beibehalten zu können.
Werden die Öffnungen in zwei unterschiedlichen Wänden positioniert, so ist die durchschnittliche Innenraum-Luftgeschwindigkeit 35–65 %, weil eine der Öffnungen immer ein höhere Luftdruckzone haben wird als die andere Öffnung. [12]

[10] Quelle: Brown, G.Z. / DeKay, Mark:: Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, John Wiley & Sons Inc., ^{3}2014, S. 242; basierend auf: Melaragno,, Michele G.: Wind in Architectural and Environmental Design, Van Nostrand – Reinhold, New York 1982.

[11] Vgl. G.Z. / DeKay, Mark:: Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, John Wiley & Sons Inc., ^{3}2014, S. 242; basierend auf Givoni, Baruch: Man, Climate, and Architecture, Applied Science, London 1976, S. 289.

[12] Vgl. G.Z. / DeKay, Mark:: Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, John Wiley & Sons Inc., ^{3}2014, S. 242.

Bezüglich der unterschiedlichen Lüftungsprinzipien kann man das Resümee ziehen, dass die Querlüftung bei einem Verhältnis von 3/3 zur kompletten Geschosswandbreite mit 47–65 % am wirksamsten ist.
Die Abbildung „Öffnungspositionen im Gebäude" kann im Schnitt und im Grundriss angewendet werden; im Folgenden beziehe ich mich auf die erstere Lesart. Die Anordnung der Öffnungen tangiert immer die Fließroute des Windstroms innerhalb des Innenraumes. Wenn die Luftstrom-Eingangs- und Ausgangsöffnung im oberen Teil des Raumes angeordnet werden, wird der Luftstrom auch nur den oberen Teil des Raumes durchfließen (A). Dasselbe gilt bei Anordnung der beiden Öffnungen im unteren Bereich (B). Die Luftströmung tangiert hier jeweils hauptsächlich nur den Fuß- oder nur den Deckenbereich. Es ist wichtig, dass die Öffnungen so positioniert werden, dass die Luftbewegung die Bewohner erreicht, um sie zu kühlen. Wenn alle Öffnungen in der nähe der Decke oder alle am Boden angeordnet sind, wird die Frischluft mit maximaler Luftgeschwindigkeit nicht die Bewohner des Raumes erreichen. Wenn die Öffnungen in mittlerer Höhe der Außenwand oder wenn einige oben und einige unten positioniert werden, wird hingegen in deutlich stärkerer Luftzug die Bewohner des Raumes erreichen.[13]
Durch die diagonal versetzte Anordnung der Luftstrom-Eingangs- und -Ausgangsöffnungen erfasst der Luftstrom den Rauminhalt besser und kann den Raum und die darin befindlichen Personen besser erreichen und kühlen (C). Das Gleiche gilt für die Betrachtungsebene der drei Darstellungen im Grundriss: Der Raum wird hier ebenfalls bei einer diagonalen Anordnung der Öffnungen besser durchlüftet.



25

Die Luftströmungen außerhalb, also um das Gebäude herum sind extrem komplex und schwierig zu evaluieren: Kleine Verwirbelungen, Aufrieb und Temperaturunterschiede haben hier großen Einfluss auf die Luftbewegungen. Dennoch gibt es Grundprinzipien des Verhaltens der Luftströmungen und des Windflusses, aus denen die wichtigsten Kriterien für eine gute Belüftung der Innenräume abgeleitet werden können. Einige wichtige Prinzipien sollen hier nun ausgeführt werden:

25 | Öffnungspositionen im Gebäude im Grundriss und Schnitt, Grafiken überarbeitet von Ferdinand Oswald, in Anlehnung an G. Z. Brown, Mark deKay: Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., 2014;, S. 243; basierend auf Michele G. Melaragno, Wind in Architectural and Environmental Design, Reinhold van Nostrand, New York, 1982, S. 326.

13 Vgl. Ebda., S. 243.

3.4.1 Natürliche Belüftung

Auskragende Wandelemente können den Windfluss erheblich beeinflussen. Solche sogenannten Windschwerter (wing walls) in vertikaler oder in horizontaler Lage beeinflussen den Winddruck und können die Luft ins Gebäudeinnere leiten. In der Abbildung Nr. 21 ist in der Aufsicht ein auskragendes Wandelement (Windschwert) an der linken Seite der Fensteröffnung (vom Gebäudeinneren aus gesehen) zu erkennen. An der vom Fenster abgewandten Seite des Windschwerts entsteht ein Unterdruck und somit an der Fensteröffnung ein Überdruck: Die Luft wird in die Öffnung hineingeleitet, wenn von einem Einfallwinkel der Windrichtung von 45–90° von der rechten Seite ausgegangen wird. Wenn sich ein vertikales herausragendes Wandelement innerhalb einer Öffnung befindet, teilt es die Öffnung in zwei Abschnitte. Bei einem Einfallwinkel der Windrichtung von 45–90° von der rechten Seite entsteht wieder ein Überdruck in Windrichtung. Den entsprechenden Unterdruck auf der Rückseite des Elementes kann die Luft nutzen, um herauszuströmen. Die Luft fließt also im Windschatten wieder hinaus, was die einseitige Belüftung optimiert. Beide Beispiele funktionieren ebenfalls bei einer Betrachtung der Grafiken als Schnittansicht, sodass die Auskragungen in Form horizontaler Windschwerter realisiert werden.

In den nächsten zwei Abbildungen sind im Grundriss unterschiedliche Beschaffenheiten von Wandöffnungen bei identischer Querschnittsgröße des Raumes dargestellt. Hier stellt sich die Frage, ob beide Öffnungstypen – die einzelne Öffnung im Vergleich zur perforierten Wand mit vielen kleinen Öffnungen – die gleichen Voraussetzungen zur Beibehaltung der Windgeschwindigkeit und des Luftvolumenwechsels schaffen. Aus einem Workshop mit Dr. Meile vom Institut für Strömungslehre und Wärmeübertragung der TU Graz ging hervor, dass es bei der Variante mit vielen kleinen Öffnungen mehr Reibungskräfte und Verwirbelungen gibt, sich aber dennoch die Geschwindigkeit des Luftstromes und die Luftvolumenwechselrate bei der zweiten Variante kaum verringern.



26 27 28

26 | Luftdruckverhältnis bei auskragendem Wandelement im Grundriss, Ferdinand Oswald, 2014.

27 | Luftdruckverhältnis bei auskragendem Wandelement in der Mitte der Wandöffnung im Grundriss, Ferdinand Oswald, 2014.

28 | Vergleich zweier unterschiedlicher Öffnungstypen bei gleicher Querschnittsgröße, im Grundriss dargestellt, Ferdinand Oswald, 2014.

3.4.1.5 Anforderungen an Fassadenöffnungen (Mikro)

Die gängigen Anforderungen an Fassadenöffnungen sind die Folgenden:
- Ausblick durch die Öffnung
- Schutz vor solaren Energieeinträgen
- Kontrollierbarkeit des Öffnungsquerschnittes
- Schutz vor Regen

Die spezifischen Anforderungen an Fassadenöffnungen bei Gebäuden in Großstädten sind:
- Lärmschutz
- Filterung von verschmutzter Luft

Ausblick durch Öffnungen
Ein Ausblick durch eine Öffnung in einem Wohnraum sollte auf irgendeine Weise gegeben sein. Die Öffnung ist nicht nur als visuelle Verbindung zum Außenraum von Bedeutung, auch zur Wahrnehmung der Wetterverhältnisse, sondern vor allen Dingen muss im Wohnungsbau den Bewohnern auch Lichteinfall garantiert werden.

Schutz vor solaren Energieeinträgen
Verschattungselemente, die einen Schutz vor solaren Energieeinträgen bieten, sind besonders in Regionen des Äquator von großer Bedeutung, da hier die Intensität der Sonneneinstrahlung größer ist. Eine Aufheizung durch solare Sonneneinstrahlung sollte der Benutzer individuell kontrollieren können. Dieses Thema wird im folgenden Kapitel 3.4.2 „Verringerung der solaren Energieeinträge“ noch genauer thematisiert.

Kontrollierbarkeit des Öffnungsquerschnittes
Eine wichtige Anforderung an eine Gebäudeöffnung ist die Möglichkeit des Nutzers, die Luftmenge nach Wunsch dosieren zu können. Deshalb ist auch die einfache manuelle Kontrollierbarkeit des Öffnungsquerschnittes ein wichtiges Kriterium für die Durchlüftung. Wichtig ist hierbei, dass sich auch bei stärkeren Winden die Öffnungen in ihrer gewünschten Position fixieren lassen. Bei stärker unterschiedlichen Luftdruckverhältnissen innerhalb und außerhalb des Gebäudes besteht ansonsten die Gefahr, dass die Öffnungen

zufallen und der Windfluss dann nicht mehr gegeben ist. Ein Einrast- oder ein stufenloses Fixiersystem des beweglichen Öffnungselementes kann hier eine Lösung sein.

Mit der Öffnung einer Außenwand für eine natürliche Belüftung müssen gleichzeitig noch weitere Anforderungen an diese Öffnungen erfüllt sein:

Schutz vor Regen

Da es in den Tropen und Subtropen in der Monsunzeit sehr viele Regenfälle gibt, ist der Schutz vor eindringendem Regenwasser hier besonders wichtig. Das Diagramm zeigt den jährlichen durchschnittlichen Niederschlag in unterschiedlichen Klimaregionen und lässt den hohen Niederschlag in den Tropen (ca. 200 cm/Jahr) erkennen. Der Schutz vor Regen ist eine jahrtausendealte Erfordernis und dementsprechend intensiv in zeitgenössischen Wohngebäuden thematisiert. Ein wichtiges Kriterium für den Regenschutz ist die gleichzeitige Beibehaltung von Lichteinfall und Luftzirkulation in die Wohnräume. Verschiedene Lösungsmöglichkeiten hierzu werden im Verlauf der vorliegenden Arbeit noch aufgezeigt werden.

Lärmschutz

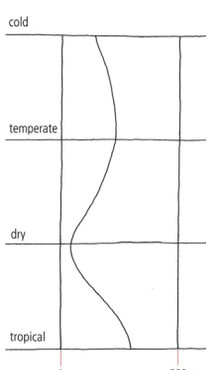
Durch die Nutzung der Split-Klimaanlagen zum Konditionieren des Innenraumklimas isolieren sich der Bewohner von den äußeren klimatischen Bedingungen und Umwelteinflüssen. Doch eine Split-Klimaanlage versorgt den Innenraum nicht mit der erforderlichen Frischluft, da nur die Kühlflüssigkeit von außen nach innen (und umgekehrt) geleitet wird. Deshalb müssen zur Lüftung dann doch wieder die Fenster geöffnet werden und Lärm und Schmutz können eindringen. Es gibt also ähnliche Anforderungen an die Fenster bei Nutzung der natürlichen Belüftung und Nutzung von Spilt-Klimaanlagen.
Gerade in den großen asiatischen Metropolen gibt es eine zunehmende Anzahl von Autofahrern und damit auch einen zunehmenden Verkehrslärm. Der Autoverkehr steigert sich hier kontinuierlich, da die Bevölkerungsschicht mit mittlerem Einkommen wächst und sich damit eigene Autos leisten kann. Bekannte Problemlösungen sind Schallschutzwände direkt an den Schallquellen, nämlich an den Straßen selbst. Dies ist aber nicht an allen innerstädtischen Straßen möglich. Schallisolierte Fenster (Doppelverglasungen) sind an den untersuchten Standorten China, Thailand und Singapur unüblich und kom-

men kaum zum Einsatz, weil solche Fenster zu kostenintensiv sind. Außerdem kann bei geschlossenem Fenster keine natürliche Belüftung vorgenommen werden, sodass es sinnlos ist, mit dem geschlossenen Öffnungselement Schallschutzisolierung vorzunehmen.
Es sollten also Öffnungen mit einem möglichen Luftdurchfluss geschaffen werden, die zugleich einen Schallschutz bieten. Die Charakteristika von Schallwellen erfordern hier spezielle Lösungsansätze wie poröse, schallabsorbierende Oberflächen oder Schallminderung durch verschachtelte Öffnungen. Die unterschiedlichen Lärmbelastungen und diesbezügliche Lösungsmöglichkeiten werden später in den einzelnen Fallstudien jeweils untersucht und aufgezeigt. Eine soeben neu entwickelte alternative Lösung der HKHA wird ebenfalls im Kapitel 5.3 „Verringerung der Lärmbelastung, Wing Cheong Estate, Hongkong" vorgestellt. Bei diesem Konzept der *Acoustic Balconies* wird der Verkehrslärm mit drei unterschiedlichen Methoden abgemildert, während zeitgleich eine natürliche Belüftung ohne ein Schließen von Öffnungen möglich ist.

Luftverschmutzung

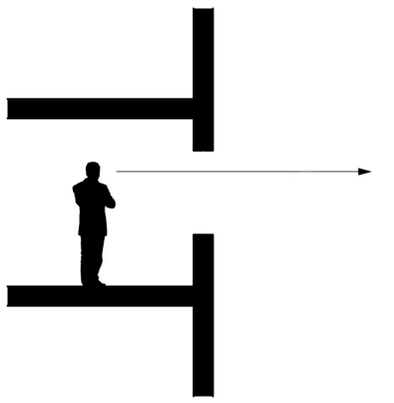
Mit dem äußeren Faktor der Luftverschmutzung verhält es sich ähnlich wie mit der soeben aufgeführten Lärmbelastung. Allerdings gibt es hier den wesentlichen Unterschied, dass zur Verhinderung des Eindringens von verschmutzter Luft ganz andere Maßnahmen erforderlich sind. Verschmutze Luft beinhaltet winzig kleine Partikel wie Feinstaub etc. Um diese kleinen Partikel am Eindringen ins Gebäudeinnere zu hindern, bedarf es sehr feinporiger Filter, welche durch ihre enge Maschenverbindung wiederum den Windfluss behindern. Die Herausforderung besteht hier also darin, ohne mechanische Hilfe die Windgeschwindigkeit beim Durchgang durch einen Filter beibehalten zu können. Die Herausforderung besteht darin, allen diesen Anforderungen an die Fassadenöffnungen gerecht zu werden und mit denselben zugleich eine natürliche Belüftung zu ermöglichen.

29

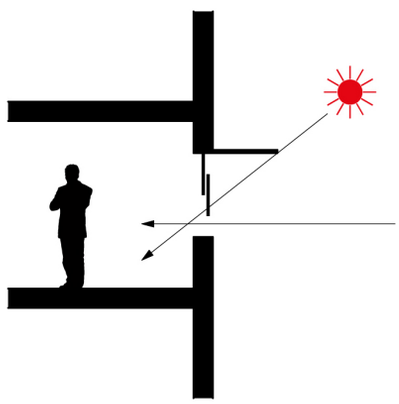


29 | Jährliche durchschnittliche Niederschläge in Klimaregionen, Quelle: Klaus Daniels: plus minus 20°/40° latitude, Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, 119.

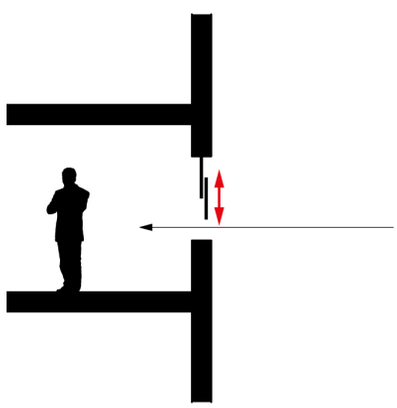
3.4.1 Natürliche Belüftung



30



31

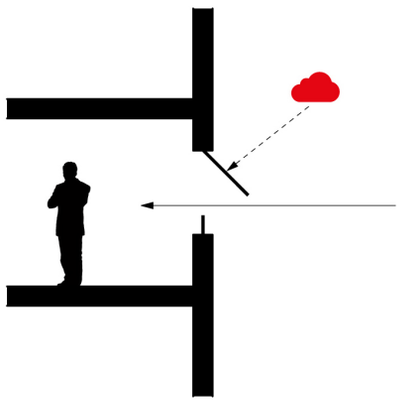


32

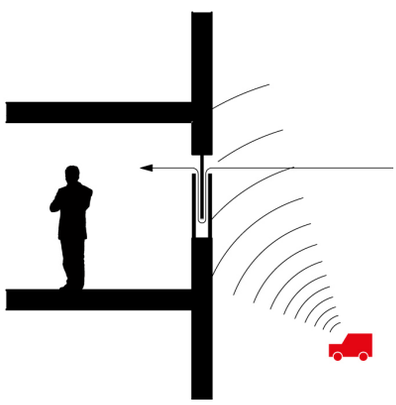
30 | Ausblick durch Öffnungen, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

31 | Schutz vor solaren Energieeinträgen, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

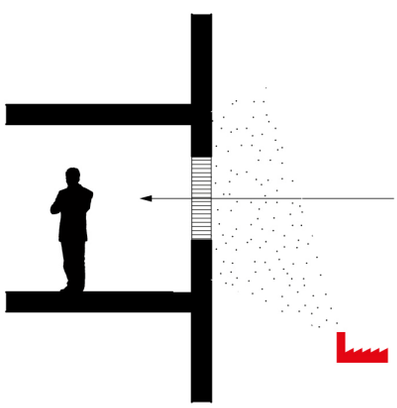
32 | Kontrollierbarkeit des Öffnungsquerschnittes, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.



33



34



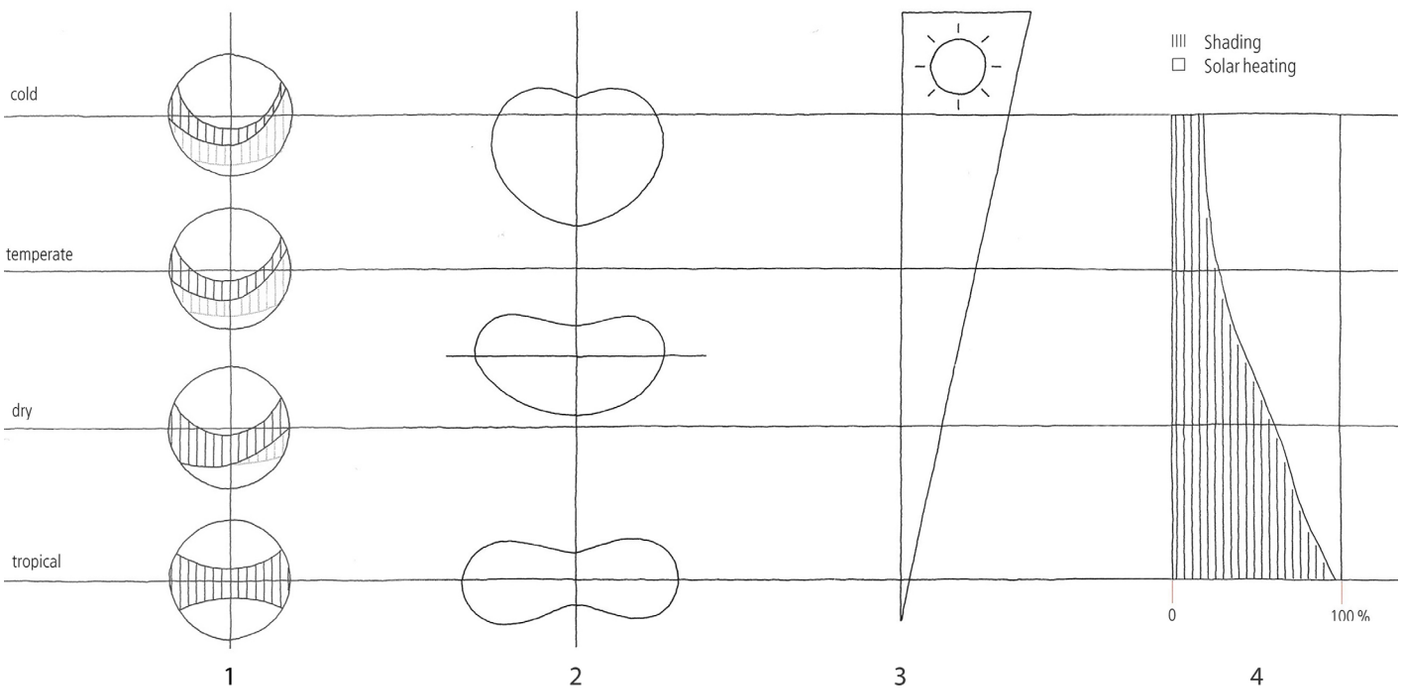
35

33 I Regenschutz, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

34 I Lärmschutz - Anforderung an Fensteröffnung, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

35 I Luftverschmutzung - Anforderung an Fensteröffnung, eigene Darstellung: Ferdinand Os-

3.4.2 Solare Energieeinträge



36

36 I Diagramme mit Charakteristika der Sonneneinstrahlung für vier Klimazonen, Quelle: Klaus Daniels: *plus minus 20°/40° latitude*, Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, 119.



3.4.2 Verringerung der solaren Energieeinträge

In den subtropischen und tropischen Regionen muss vor allem in den heißen Sommermonaten eine Überhitzung vermieden werden. Dies sollte über eine Verringerung der solaren Energieeinträge erfolgen. Wir betrachten diesbezügliche Methoden wieder auf verschieden Ebenen. Auf der Makroebene vergleichen wir zunächst die Sonnenstände und ihren Einfluss auf die verschieden Klimastandorte. Auf der städtebaulichen Ebene ist die Stadtstruktur in Form der Abstände von Wohngebäuden zu berücksichtigen: Eine Verschattung der Fassadenfläche durch in der Nähe stehende Gebäude kann sich positiv auswirken. Damit konfligieren aber mitunter auch Reglementierungen, die einen ausreichenden Lichteinfall in die Wohnräume sicherstellen sollen. Fassadenstrukturen können – beispielsweise mit auskragenden Wandelementen – ebenfalls zur besseren Verschattung beitragen. Auf der Metaebene wird aufgezeigt, welche Funktionen traditionelle Verschattungselemente in der Vergangenheit hatten. Des Weiteren betrachten wir auf der Mikroebene unterschiedliche Verschattungssysteme vor Fassadenöffnungen und vergleichen ihren Wirkungsgrad anhand des Energie-Transmissionskoeffizienten.

3.4.2.1 Sonnenstände und deren Einflüsse auf Klimastandorte

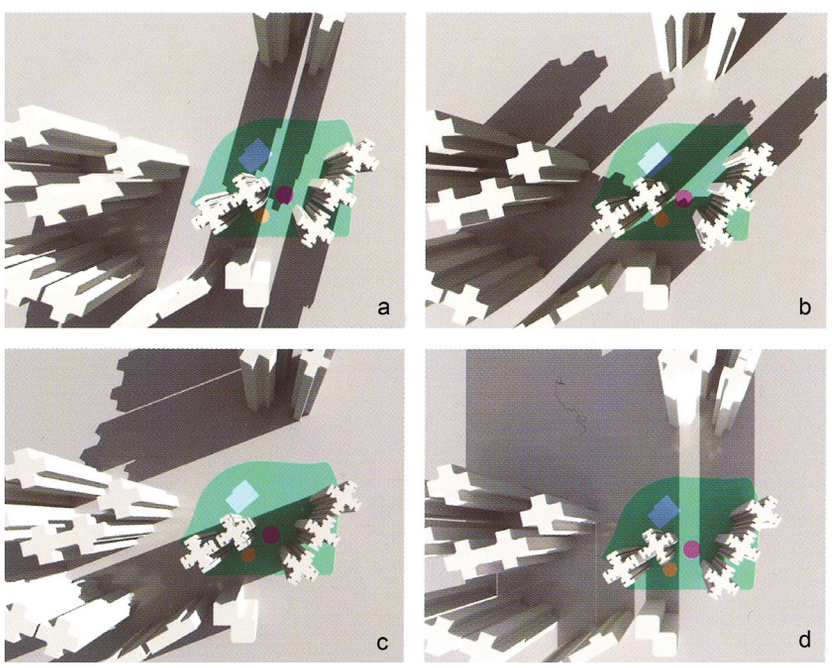
Wie schon im Kapitel „Subtropisches und tropisches Klima“ (2.2.3 Ausgewählte Standorte und Sonnenstand) angesprochen, ist der unterschiedliche Sonnenstand an den einzelnen Standorten von großer Bedeutung, denn die solaren Energiegewinne fallen dementsprechend unterschiedlich aus. In den abgebildeten Diagrammen sind die Charakteristika der Sonneneinstrahlung und deren Einflüsse für vier Klimazonen grob dargestellt. Die Darstellungen in den Diagrammen sind alle genordet, sodass sich also die südliche Seite unten befindet, die östliche rechts und die westliche links.

Die erste Reihe zeigt den unterschiedlichen Sonnenverlauf in den Klimaregionen. Die notwenige Verschattung in den Klimaregionen ist vom Sonnenverlauf und von der Jahreszeit abhängig. In den unteren Breitengraden besteht die Gefahr einer ganzjährigen Überhitzung, verursacht durch intensive solare Strahlung (dunkel schraffierter Bereich) In den höheren Breitengraden tritt eine Überhitzungsgefahr nur in den Sommermonaten auf.[1] Der hellgrau schraf-

[1] Vgl. Daniels, Klaus / Hinrichs , Dirk U. u.a. (Hg.): Plus minus 20°/40° latitude. Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart – London 2007, S. 118.

3.4.2 Solare Energieeinträge

fierte Bereich markiert in diesen Regionen den winterlichen Sonnenverlauf. Die zweite Reihe zeigt den Bereich der indirekten Sonneneinstrahlung, abhängig vom Sonnenverlauf der jeweiligen Klimaregion: Je weiter nördlich sich der Standort befindet, desto weiter nach Süden bewegt sich der Bereich der indirekten Sonneneinstrahlung. Ebenfalls verändert sich die Form des Sonneneinstrahlungsbereiches von einer Schleifenform in den Tropen nach Norden zu einer Herzform. In der Nähe des Äquators sind die Jahreszeiten nur schwach ausgeprägt und der Bedarf an solarer Aufwärmung der Gebäude ist gering (siehe Dritte Abbildung). Umgekehrt sind die Jahreszeiten in höheren Breitengraden stark ausgeprägt und die solaren Energiegewinne können gut genutzt werden. Das vierte Diagramm zeigt den jährlichen Bedarf an solarer Verschattung und solarer Erwärmung auf: Vom Äquator nach Norden zu sinkt der Bedarf an solaren Wärmegewinnen (weiße Fläche), während der Bedarf nach Verschattung (schraffierte Fläche) sich genau Gegenteilig verhält.[2]



37

37 I Darstellung der Sonnenstände in den Sommer- (a und b) und Wintermonaten (c und d) im Wohnhochhäuser-Projekt *Sau Mau Ping South Estate* im Stadtteil Kwun Tong in Kowloon, Hongkong mit einem Sonnenstandsberechnungs-Programm, Quelle: © Nirmal Kishnani, Greening Asia, BCI Asia, Singapore 2012, S. 226; Development and Construction Division, Housing Authority Hong Kong, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, People's Republic of China.

[2] Ebda.

3.4.2.2 Verschattung durch Positionierung der Gebäude (Makro)

Wie gesagt kann eine Verschattung der Fassadenfläche durch in der Nähe stehende Gebäude die solaren Energieeinträge verringern. Wir betrachten hierzu wieder das Projekt *Sau Mau Ping South Estate* von der Hong Kong Housing Authority, das aus fünf Wohnhochhäusern besteht. In den Abbildungen ist die städtebauliche Positionierung der *Sau Mau Ping South Estates* und der benachbarten Wohntürme zu erkennen. Hier wurden mit einem Computer-Sonnenstandsberechnungs-Programm die Gebäudekörper dreidimensional erstellt und es wurde die Einfallrichtung der direkten Sonneneinstrahlung zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten untersucht. In den beiden oberen Grafiken (Bild a und b) ist die Sonneneinstrahlung inklusive Schattenwurf für die Sommermonate dargestellt. Das optimale Szenario hierfür wäre eine intensive Beschattung, damit die solare Direktstrahlung in den heißen Sommermonaten so weit wie möglich vermieden werden kann. Links sind die Konditionen für 8 Uhr morgens abgebildet, wo die gegenseitige Verschattung noch relativ gering ist. In der Grafik rechts oben ist der Sonnenstand um 16 Uhr mittags dargestellt. Hier verschatten die Nachbargebäude das *Sau Mau Ping South Estate* aus südwestlicher Richtung. In den beiden unteren Bildern c und d sind für die Wintermonate die gleichen Uhrzeiten dargestellt. Hier sollte eine Verschattung möglichst vermieden werden, um in der kalten Jahreszeit solare Energiegewinne als Wärmequelle nutzen zu können. Die tiefste durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt in Hongkong immerhin 6,4 °C.[3] Links unten ist 8 Uhr morgens dargestellt und es ist zu sehen, dass die Ost-Sonne direkt auf die drei östlich gruppierten Gebäude fällt. Mittags um 16 Uhr, in der Grafik rechts unten, bekommen diese drei Gebäude ebenfalls direkte Sonneneinstrahlung von Süden. Auffallend ist, dass die beiden anderen Gebäude im Winter jedoch sowohl morgens als auch mittags verschattet sind. Obwohl in der Planung die Positionierung des *Sau Mau Ping*-Projektes unter Berücksichtigung des ganzjährigen Sonnenverlaufs und der Verschattung von Nachbarbebauungen erfolgte, wäre hier der Standort der Gebäude wohl noch zu optimieren gewesen.

Bei der Verschattung durch Nachbargebäude ist zu berücksichtigen, dass es verschiedene Richtlinien gibt, die die ausreichende Belichtung der Wohnräu-

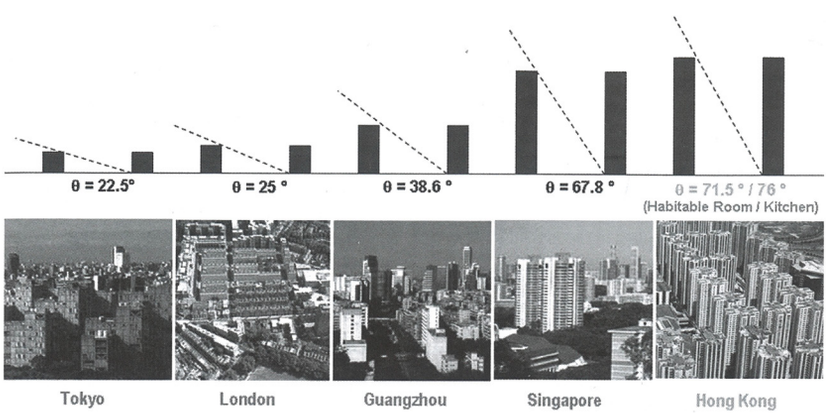
[3] Weather data Download, U.S. Department of Energy, The compressed file (ZIP) which contains the following files for the location: EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY). http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm?CFID=685834&CFTOKEN=8a204601d3afbd4b-B8543EB6-9289-7E8DF9CCCA289E9A793C&jsessionid=3D227F78F29768C8E6240BDED16754CA.eere

3.4.2 Solare Energieeinträge

me sicherstellen sollen. Diese Vorgaben sind in den Städten unterschiedlich definiert. In Hongkong gibt es eine spezifische Gebäudeverordnung für die Regelungen des Tageslichts der Innenräume.
Diese Verordnung, welche 1956 formuliert wurde und immer noch in Gebrauch ist, wurde nach dem Muster des Systems des Britischen Königreichs (UK) entwickelt. Für bewohnbare Räume müssen folgende Richtlinien eingehalten werden:

- mindestens 10 % Fensterfläche im Verhältnis zur Nettonutzfläche
- maximale Raumtiefe von 9 Metern
- minimale Fensteröffnungshöhe von 2 Metern
- ein bestimmter unbebauter städtischer Freibereich, definiert durch die rechtwinklige horizontale Ebene (rectangular horizontal plane – RHP) vor dem Fenster.[4]

Der letztere Punkt soll hier kurz erklärt werden: Im Wesentlichen reguliert die rechtwinklige horizontale Ebene (RHP) den zulässigen Abstand zwischen der Fensteröffnung eines bewohnten Raumes und einer Verbauung direkt vor ihr. In Hongkong ist es erforderlich, dass das bewohnbare Zimmer mit einem Fenster ausgestattet ist sowie mit einer rechtwinkligen horizontalen Ebene (RHP) direkt vor dem Fenster mit einer Größe von nicht weniger als 2,30 Metern. Dieser Wert mit einem Drittel der Gebäudehöhe über dem Fenster multipliziert ergibt dann den vertikalen Winkel mit unverstellter Sicht (vertical unobstructed angle) des Fensters. Mit diesem vertikalen Verdeckungswinkel wird die Tageslicht-Zuführung in Hongkong kontrolliert und geregelt. Die Benutzung des Verdeckungswinkels, um den Abstand der



38

38 | Vertikaler Verdeckungswinkel – Richtlinie zur Garantierung des Tageslichteinfalls in Wohnräume, Vorgaben in unterschiedlichen Städten, Quelle: Edward Ng (Hrsg.), *Designing High-Density Cities,* For Social & Environmental Suatainability, 2010, S. 187

[4] Vgl. Ng , Edward (Hg.): Designing High-Density Cities: For social & Environmental Suatainability, Earthscan, London 2010, S. 186.

Gebäude zueinander zu kontrollieren, stammt noch aus der Zeit von Vitruvius. Dies war der einfachste und effektivste Weg für Behörden, dieses Detail der Bebauung zu kontrollieren und ebenfalls für die Planer, dieser Anforderung gerecht zu werden.[5]
In der Abbildung sind die unterschiedlichen einzuhaltenden Verdeckungswinkel dargestellt.
Dieser Winkel definiert den Abstand der Gebäude zueinander in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe: Je höher die Gebäude sind, desto größere Abstände müssen sie einhalten. In der dargestellten Grafik sind die Abstände der Gebäude immer gleich – dafür ändert sich entsprechend der Vorgabe des Winkels die Gebäudehöhe. Diese bauliche Vorgabe kann mit der Abstandsflächenregelung in Deutschland verglichen werden – allerdings wird hier nicht mit einem Winkelmaß gearbeitet, sondern die Höhe des Gebäudes wird auf die Grundstücksfläche projiziert.

Neben der guten Tageslicht-Versorgung für eine Fassadenöffnung ist es ebenfalls wichtig, zu gewährleisten, dass der Blick zum Himmel aus dem Fenster nicht verstellt wird. Ein einfacher Weg, dies zu garantieren ist es, den Winkel auf ca. 25° zu limitieren, wie es in London und Tokio durchgeführt wurde. Wenn ein Verdeckungswinkel von 25° verordnet ist, liegt der maximal mögliche sichtbare Himmelslichtanteil (sky component, SC) bei ungefähr 20 %. Angenommen, die Lichtintensität bei bedecktem Himmel ist 5.000 Lux, so würde eine (vertikale) Fensteröffnung in diesem Fall 1.000 Lux Tageslicht ins Innere des Raumes eintreten lassen. Wenn der Verdeckungswinkel auf 40° angehoben werden würde, so würde der sichtbare Himmelsanteil auf ungefähr 12 % schrumpfen und bei weiterer Anhebung des Verdeckungswinkels auf 70° läge der maximal sichtbare Himmelsanteil nur noch bei einem Prozent.[6]
Man kann hier deutlich erkennen, dass in Hongkong mit einem Winkel von 71,5° bis 76° die Regulierung mit großen Unterschieden zu Tokio und London am wenigsten strikt ist. Der Abstand der Gebäude kann also im Vergleich zu den anderen hier aufgezeigten Städten am kleinsten sein. Ähnliche bauliche Beschränkungen gibt es in Singapur mit einem Winkel von 67,8°. Erstaunlich ist die striktere Beschränkung in Guangzhou – diese ist vielleicht damit zu begründen, dass Guangzhou in seiner bebaubaren Stadtfläche nicht so sehr eingegrenzt ist wie Hongkong und Singapur. Der Winkel von 38,6° entspricht hier fast der Hälfte des in Hongkong erlaubten Winkels. Einander ähnliche

[5] Vgl. ebda.

[6] Vgl. ebda., S. 187.

3.4.2 Solare Energieeinträge



39

39 | Foto: Fassade *Sau Mau Ping South Estate* im Stadtteil Kwun Tong in Kowloon, Hongkong, Quelle: Ebda., 227.

Verordnungen haben auch die beiden Städte Tokio und London: Mit 22,5° und 25° ist die bauliche Einschränkung etwa dreimal so groß wie von Hongkong, sodass dort quasi nur freistehende Hochhäuser erlaubt sind. Doch wie ist eine so große Diskrepanz zwischen den Verordnungen zu begründen?
Edward Ng beantwortet diese Frage mit der menschlichen Anpassungsfähigkeit an verschiedene Umgebungen, Lebensbedingungen und Umwelteinflüsse. So ist beispielsweise bekannt, dass in heißeren Klimazonen bevorzugen die Menschen eine abgedunkelte Innenwohnraum-Atmosphäre, weil dies psychologisch mit einem kühleren Raum gleichgestellt wird.[7] Die Bebauungstruktur mit kleinen Abständen und gleichzeitig ein geringerer Lichteintritt in Hongkong wäre hiermit zu begründen.
Die Bestimmungen des Himmelslichtanteils und des Verdeckungswinkels dienen hauptsächlich der Sicherstellung von ausreichend Licht für die Bewohner. Die Wohnbauten in Hongkong profitieren von Regelungen, die es ermöglichen, dass weniger Licht ins Innere oder an massive Fassadenteile, den damit wird die Möglichkeit einer Aufheizung durch solare Strahlung verringert. Die Regulierung ermöglicht also eine Verringerung der solaren Energiegewinne der Wohnhochhäuser.

3.4.2.3 Verschattung durch Fassadenstruktur (Meso/Mikro)

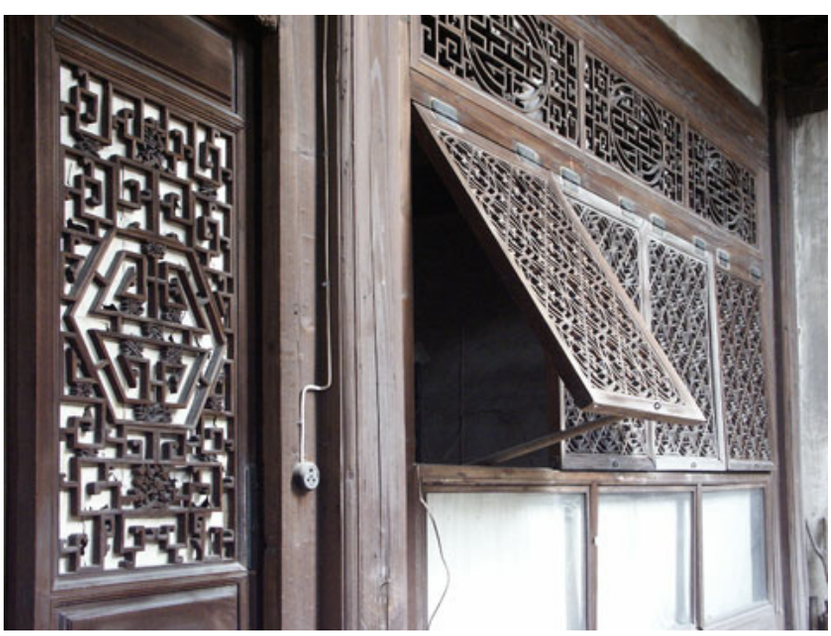
Die Fassadenstruktur kann zum Beispiel mit auskragenden Wandelementen ebenfalls die Verschattung der Fassadenfläche optimieren. Im Foto ist ein Fassadenausschnitt des *Sau Mau Ping*-Projektes dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass horizontal und vertikal auskragende Wandelemente einen größeren Schutz vor solaren Energiegewinnen bewirken. Die Tiefe dieser Wandscheiben sollte allerdings nach dem Sonneneinfallwinkel ausgerichtet und jeweils für die Himmelsrichtungen optimiert sein, um ihre Wirksamkeit zu verbessern. Hier sind die Oberflächen dieser Elemente weiß gestrichen, um die Absorption der solaren Gewinne zu reduzieren und gleichzeitig die Tageslichtreflexion in die Innenräume hinein zu verstärken. Ebenfalls gut auf dem Foto zu erkennen sind die von der HKHA zur Verfügung gestellten kleinen auskragenden Plattformen, um die Split-Klimaanlagen dort aufstellen zu können. Die horizontalen Auskragungen bieten also auch den Vorteil, dass sie bei der Montage der Split-Klimaanlagen als begehbare Flächen für die Monteure genutzt werden können. In diesem Gebäudebeispiel sind die Wandelemente zusätzliche Komponenten, die nicht zwingend mit der Trag-

[7] Ng , Edward (Hg.): Designing High-Density Cities: For social & Environmental Suatainability, Earthscan, London 2010, S. 186.

3.4.2 Solare Energieeinträge



40



41

40 I Foto Innenansicht Mashrabiyya-Gitterelement, Fotos von Johanna Binder, 2012.

41 I Foto *Zhizhai*-Öffnung in China, Quelle: Traditional Chinese Lattice-Window, PAN Jialai, Yingzaofayuan, YAO Chengzu, http://define.cnki.net/WebForms/WebDefault.aspx, 2013.

struktur des Gebäudes oder der Fassade zu tun haben. Ein Beispiel, bei dem die Fassadenstruktur gleichzeitig die tragende Gebäudestruktur darstellt, ist das *the Met*-Wohnhochhaus von WOHA Architekten. Es wird als Fallstudie in der vorliegenden Arbeit später noch vorgestellt werden.

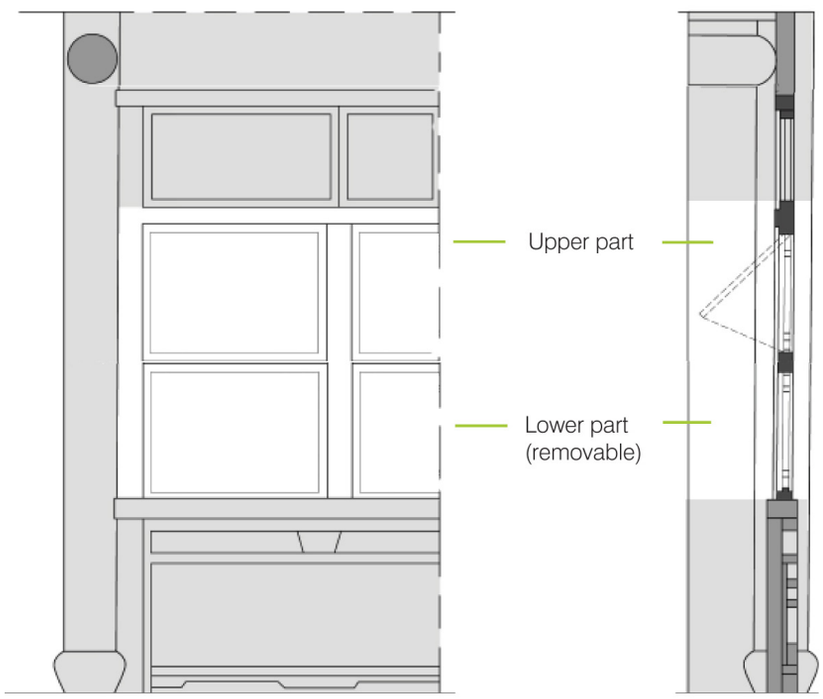
3.4.2.4 Traditionelle Verschattungssysteme (Meta)

Die nächste Betrachtungsebene zoomt noch weiter ins Detail hinein, nämlich zu den Verschattungselementen von Fassadenöffnungen. Hier schauen wir uns zunächst traditionelle Verschattungstypen an. Diese sind in Form von porösen Wandelementen vor den Gebäudeöffnungen ausgebildet, die sogenannten Gitterfenster. Es darf allerdings nicht vergessen werden, dass bei der traditionellen Architektur neben diesen Verschattungselementen auch große Dachüberstande und die gebäudetypologischen Formationen der Gebäudevolumen zur Verschattung der Innenräume beitragen.
Ein Beispiel für eine solche Verschattung ist das Mashrabiyya-Gitterelement. Der Name stammt aus der arabischen Sprache und meint „Trinken", im Original „ein Ort zum Trinken". Dieses Element ist aus Holz- oder Steinornamentik gefertigt und gehört zur traditionellen landesspezifischen Bauweise im Mittleren Osten. Dieses poröse Element erfüllt folgende Funktionen: Verschattung, Öffnungen für den Windfluss, visuelle Transparenz (Durchblickmöglichkeit), Lichtdurchgang und Privatsphäre. Diese Art von Gitterelement (*Lattice-Window*) kommt in dieser Form im Mittleren Osten, in Nordafrika und auch in Indien vor, wo es Jali-Fenster genannt wird.
Dieses *Lattice-Window* ist in ähnlicher Weise auch in China vorzufinden, dort gibt es mehrere Arten dieser aus Holz gefertigten Gitterfenster. Die Entwicklung des alten, traditionellen chinesischen *Zhizhai-Lattice-Window* hat nicht nur funktionale Bedeutung, sondern die Ornamentik der Gitterstruktur basiert auch auf kulturellen Hintergründen und dient zur Dekoration. Dieses Gitterfenster wurde häufig in traditionellen Wohnbauten verwendet. Es besteht aus zwei Teilen: Der obere Teil ist das „Zhi"[8] -Element, das aufgeklappt und mit einer Stange fixiert werden kann. Der untere Teil ist das „Zhai"-Element, das herausgenommen werden kann, wie in der Zeichnung a dargestellt. Dadurch kann dann auch durch den unteren Teil Luft zirkulieren. Der obere Teil („Zhi") funktioniert im geschlossenen Zustand wie das zuvor beschriebene „arabische" Gitterelement. Allerdings wird das Zhi in der Neuzeit auch komplett luftundurchlässig ausgeführt, wie in der Zeichnung d erkennbar ist. Dies wird mit dem Einfügen

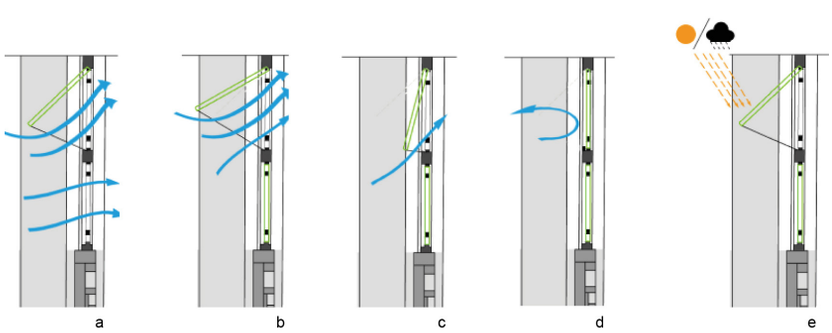
[8] „Zhi" ist das chinesische Wort; die wörtliche Übersetzung ist „Stange".

3.4.2 Solare Energieeinträge

einer Glasscheibe hinter dem Gitterfenster erreicht. Wenn das obere Element herausgeklappt wird, verstärkt dies den Windfluss und schützt gleichzeitig vor Sonneneinstrahlung und Niederschlägen (Zeichnung e). Dies kann in mehreren Öffnungsstufen mit verschiedenen Öffnungsquerschnitten geschehen, wie in den Zeichnungen b und c erkennbar ist.
Weitere Gitteröffnungstypen und deren funktionelle Vor- und Nachteile werden im Kapitel 4.1 in der Vorstudie zu den Fallstudien anhand der traditionellen Tulou-Wohnbauten in China vorgestellt.



42



43

42 I Schnitt *Zhizhai*-Öffnung, Zeichnungen von Renji Wu, Student im Seminar „Structure & Facade" von Ferdinand Oswald, IAT, TU Graz im Sommersemester 2013.

43 I Schnitte *Zhizhai*-Öffnung, Zeichnungen von Renji Wu, Student im Seminar „Structure & Facade" von Ferdinand Oswald, IAT, TU Graz im Sommersemester 2013.

3.4.2.5 Wirkungsgrad von Verschattungssystemen (Mikro)

Im Folgenden werden unterschiedliche Verschattungssysteme an zwei verschieden Klimastandorten miteinander verglichen. Das Vergleichskriterium ist hierbei die Effektivität derselben, bewertet nach dem Fc-Wert. Der Fc-Wert wird in den letzten Jahren als gemeinsamer Nenner verwendet, um die Wirksamkeit von Verschattungssystemen vergleichen zu können. Er beschreibt das Verhältnis des Energie-Transmissionskoeffizienten zu einer Öffnung mit oder ohne solare Verschattung.[9] „Die Wirkung des Sonnenschutzes wird über den Abminderungsfaktor Fc auf den Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) der Verglasung abgebildet."[10] Je besser die Wirksamkeit des Verschattungssystems ist, desto niedriger ist sein Fc-Wert. Bei keinerlei Verschattungsmaßnahmen ist der Fc-Wert = 1,00.[11] Bei einer einfachen Verglasung (a) ergibt sich eine Energie-Transmissionsreduzierung von 0,15 und damit ein Fc-Wert von 0,85, da eine Glasscheibe ebenfalls Energie-Transmissionsreduzierung bewirkt. Ein Vergleich der beiden unterschiedlichen Klimastandorte in der Tabelle zeigt, dass die Südeinstrahlung in der feuchtwarm gemischten Klimaregion (mixed warm-humid) eine stärkere Intensität hat als in der feuchtheißen Klimaregion. So ist bei einem Mashrabiyya-artigen Gitterelement (b) der Fc-Wert im Süden am gemischten Klimastandort mit 0,16 höher als in derselben Himmelsrichtung am feuchtheißen Klimastandort, wo er nur 0,12 beträgt. Der Fc-Wert ist in der gemischten Klimaregion deshalb höher, weil diese Region weiter im Norden liegt und hier die solare Einstrahlung im Sommer aus Süden stärker ist. Demgegenüber beträgt der Fc-Wert nach Westen im moderateren Klima 0,24 und im tropischen Klima 0,26. Er ist im tropischen Klima auch deshalb höher weil die West- und Ost-Einstrahlung in Richtung des Äquators intensiver sind.
Ein horizontal über der Öffnung herausragendes Wandelement (Cantilever c) steigert die Effektivität analog zur Vergrößerung des Grades der Auskragung zur Fensteröffnung. Der Fc-Wert reduziert sich bei einer länge-

[9] Vgl. Sun Shading Systems, Quelle: Daniels, Klaus / Hinrichs , Dirk U. u.a. (Hg.): Plus minus 20°/40° latitude. Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart – London 2007, S. 262.

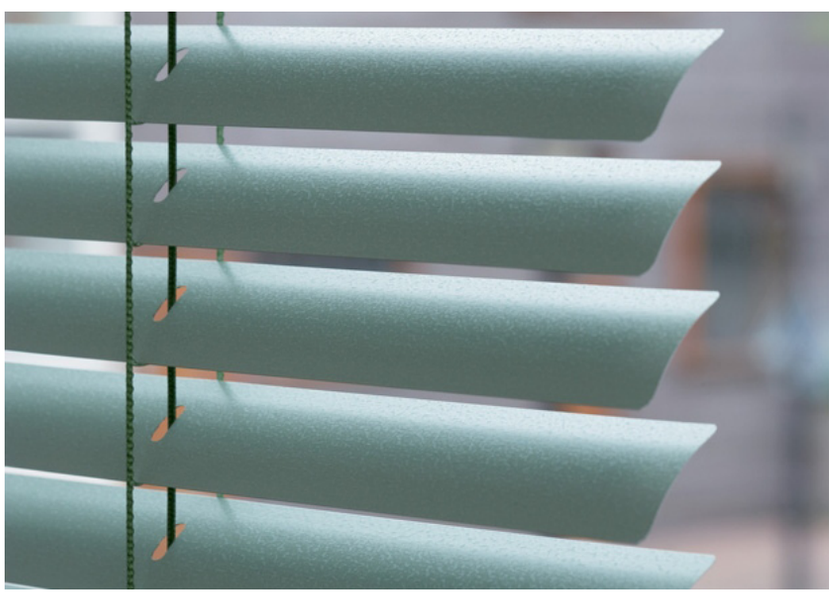
[10] Verschattung und Sonnenschutz, Sonneneintragskennwert, Quelle: Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 84.

[11] Vgl. Sun Shading Systems, Quelle: Daniels, Klaus / Hinrichs , Dirk U. u.a. (Hg.): Plus minus 20°/40° latitude. Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart – London 2007, S. 262, Tabelle 9.3.

3.4.2 Solare Energieeinträge

		Mixed warm-humid		Hot-humid	
		West/east	South	West/east	South
	Fixed solar shading system	F_c-value			
a	Without	0.85	0.85	0.85	0.85
b	Mashrabeya	0.24	0.16	0.26	0.12
c	Cantilever 20°	0.73	0.19	0.79	0.19
	Cantilever 30°	0.58	0.17	0.68	0.17
d	Cantilever + wingwall 20°	0.64	0.09	0.56	0.19
	Cantilever + wingwall 30°	0.47	0.06	0.37	0.18
	Operable solar shading system				
e	Venetian blinds RAL 9010	0.20	0.20	0.20	0.20
	Venetian blinds RAL 9006	0.16	0.16	0.16	0.16

44



45

44 I Effektivität verschiedener Sonnenschutzsysteme anhand der Reduzierung des Energie-Transmissionskoeffizienten an zwei verschiedenen Klimastandorten, Quelle: Klaus Daniels: plus minus 20°/40° latitude, Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, 265. Klaus Daniels: Advanced Building Systems, Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser, 2003. *Der in der Tabelle dargestellte Fc-Wert ist nach ASHRAE berechnet in der Zeit der maximalen solaren Einstrahlungsintensität. Die Sonneneinstrahlung auf die westliche Fassade wurde am 21. Juli um 17 Uhr gemessen, die auf die südliche Fassade am 21. Juli um 12 Uhr.*

45 I Foto: Detail Raffstore, Quelle: http://www.stadlmayr.com .html, Stand: Februar 2014.

ren Auskragung von 20° auf 30° in südlicher Himmelsrichtung von 0,19 auf 0,17. Dies entspricht einer Fc-Wert-Reduzierung von 0,02. Auf der westlichen und östlichen Fassadenseite ist die Reduzierung des Fc-Wertes hier noch wesentlich deutlicher: Er sinkt um 0,11 (von 0,79 auf 0,68). Bei einer zusätzlichen vertikalen auskragenden Wand (cantilever + wingwall d) verbessert sich der Fc-Wert bei gleicher Auskragungstiefe von 30° am tropischen Standort auf 0,37 in westlicher und östlicher Richtung. Damit wurde der Fc-Wert von zuvor 0,68 nochmals um 0,31 reduziert. Neben der guten Wirksamkeit im Sinne der Verschattung kann sich diese vertikale Wandscheibe zusätzlich auch positiv auf den Windfluss zur natürlichen Belüftung auswirken. Im nächsten Beispiel ist eine Jalousie (Venetian Blinds e) aufgeführt. Außenliegende Jalousien sind horizontal angehängte Lamellen. Eine Unterkategorie der Jalousie sind die Raffstores. Dies sind schlanke, meist aus Blech gefertigte und an Schnüren aufgehängte oder in Schienen geführte Lamellen, die sich hochfahren lassen. Leider sind diese außenliegenden beweglichen Blechlamellen je nach Art der Ausführung oft anfällig für starke Winde und können durch die Windkräfte leicht geknickt und zerstört werden. Bei Wind muss der Benutzer daher die Jalousie schnell zusammenraffen oder ein sogenannter Windwächter fährt sie elektronisch automatisch hoch. Der wesentliche Vorteil dieser Raffstores ist jedoch, dass der Winkel ihrer Lamellen zur Sonne frei einstellbar ist. Das heißt, dass der Nutzer den Verschattungsgrad bzw. den Lichteinfall und somit seinen Sonnenschutz individuell kontrollieren kann.

Zudem spielen die Farben der Oberflächen von Verschattungen eine erhebliche Rolle. Prinzipiell absorbieren dunkle Farben die Energieeintrage der Sonneneinstrahlung und die Energie wird dann in Form von Wärme in das Bauteil abgegeben. Im Gegensatz dazu reflektieren helle Farben die solaren Einstrahlungen, sodass hier nicht so viel Wärmeenergie an das Bauteil abgegeben wird. In der Tabelle wird bei der außenliegenden Jalousie (Venetian blinds e) zwischen zwei Weißtönen unterschieden: RAL 9010 – Reinweiß und RAL 9006 – Weißaluminium. Obwohl die Farben in ihrer Helligkeit und Intensität ähnlich sind, hat das Aluminiumweiß stärkere Reflexionseigenschaften und somit einen besseren Fc-Wert (0,16) als das Reinweiß (0,20). Das heißt also, dass die in Aluminiumweiß eingefärbte Jalousie weniger Wärmeenergie durch Sonneneinstrahlung aufnimmt und sich diese Farbe deshalb besser zur Reduzierung der Energie-Transmission eignet.



3.4.3 Speichermassenkühlung

Kühle Luft kann in der Nacht an die Außenwände der Fassade gelangen, durch Öffnungen in das Gebäude eindringen und somit den Innenraum kühlen. Um diese Kühle auch während des heißen Tages nutzen zu können, kann die Kühle in Fassaden- und Innenbauteilen gespeichert werden. Ein großes Speichervermögen vergrößert den nutzbaren Anteil der Nachtkühle und verbessert an heißen Tagen ohne technische Hilfsmittel den thermischen Komfort. Wenn die Außenwände keine wärmedämmenden Eigenschaften besitzen, wie es in den Tropen und Subtropen meist der Fall ist, dann können auch diese sehr wirksam zur Kühlung der Innenräume genutzt werden. Diese Strahlungskühlung funktioniert an der Außenfassade des Gebäudes, indem Wärme während der kälteren Nacht in langwelliger Strahlung an die Außenluft abgebeben wird. Die so gekühlten massiven Fassadenwände können dann während des Tages Teile der Wärmeeinträge absorbieren[1] und zugleich die Kühle der Nacht durch die Phasenverschiebung an die Innenräume weiterleiten. Das Material muss eine entsprechende Dichte aufweisen, um kühlere Temperaturen speichern zu können. Für die richtige Weiterleitung der Temperatur (Phasenverschiebung) ist die Schichtdicke der Außenwand maßgeblich, damit die gespeicherte Kühle innerhalb eines bestimmten Zeitzyklus raumseitig weitergeleitet werden kann.

Drei physikalische Prinzipien sind hier wichtig:
1. Wärmespeicherfähigkeit
2. Wärmetransmission
3. Phasenverschiebung

Zudem sind hier vier Kriterien für das gute Funktionieren der Speichermasse innerhalb von massiven Wänden maßgeblich:
1. Bauteildicke
2. Nachtventilation – Abkühlung mit natürlicher Belüftung
3. Fassade und Öffnungen
4. Temperaturdifferenz Tag/Nacht

[1] Vgl. Norford , Leslie: Low-Energy Building Design, Radiative Cooling, in: Glicksmann , Leon / Lin, Juintow (Hg.): Sustainable Urban Housing in China, Springer, Dordrecht 2006, S. 78.

3.4.3.1 Dynamische Kenngrößen und Kriterien

Die Oberflächentemperaturen und die Aktivierung von Speichermasse spielen eine wesentliche Rolle für die Behaglichkeit und passive Temperierung von Innenräumen.
Folgende spezifische Kenngrößen sind wichtig und in der Stoffwerttabelle mit dynamischen Kennwerten der verschiedenen Materialien ersichtlich.

p: spezifische Dichte [kg/m^3]
c: spezifische Wärmekapazität [kJ/kgK]
s: spezifische Wärmespeicherfähigkeit (c*p [kJ/m^{3}K]
λ: spezifische Wärmeleitfähigkeit [W/mK]
a: Temperaturleitfähigkeit [m^2/s]
b: Wärmeeindringzahl [W/m^{2}K]

Material	ρ [kg/m^3]	c [kJ/kgK]	$c \cdot \rho$ [kJ/m^{3}K]	λ [W/mK]	$a = \lambda / c \cdot \rho$ [10^{-4}m^2/s]	$\sqrt{a} = \sqrt{\lambda / c \cdot \rho}$ [10^{-4}m/s$^{1/2}$]	$b = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$ [kJ/m^2·K·s$^{1/2}$]
Lehm massiv	1'700	0.90	1'530	0.90	59	7.67	1.17
Sand/Kies	1'900	0.80	1'520	0.70	46	6.79	1.03
Backstein	1'100	0.90	990	0.44	44	6.67	0.66
Optitherm	1'100	0.90	990	0.20	20	4.49	0.44
Kalksandstein	1'800	0.90	1'620	1.00	62	7.86	1.27
Gasbeton	500	1.00	500	0.13	26	5.10	0.25
Stahlbeton	2'400	1.10	2'640	1.80	68	8.26	2.18
Holz (Fichte)	480	2.10	1'008	0.14	14	3.73	0.38
Pavatherm	ca. 215	2.70	580	0.06	10.34	3.22	0.19
Polystyrol exp.	17	1.40	24	0.04	167	12.91	0.03
Steinwolle	ca. 80	0.60	48	0.04	83	9.11	1.38
Aluminium	2'700	0.90	2'430	200	8230	90.72	22.05
Kupfer	8'900	0.39	3'471	380	10'948	104.63	36.31
rostfreier Stahl	7'900	0.47	3'713	17	458	21.40	7.94
Glas	2'500	0.80	2'000	0.81	41	6.36	1.27
Hartgummi	1'200	1.42	1'704	0.16	9	3.06	0.52
Eis (< 0°C)	860	2.05	1'763	2.23	126	11.25	1.98
Wasser (10°C)	1'000	4.19	4'190	0.58	14	3.72	1.56
Luft (ruhend)	1.2	1.00	1.2	0.03	2500	50.00	0.01

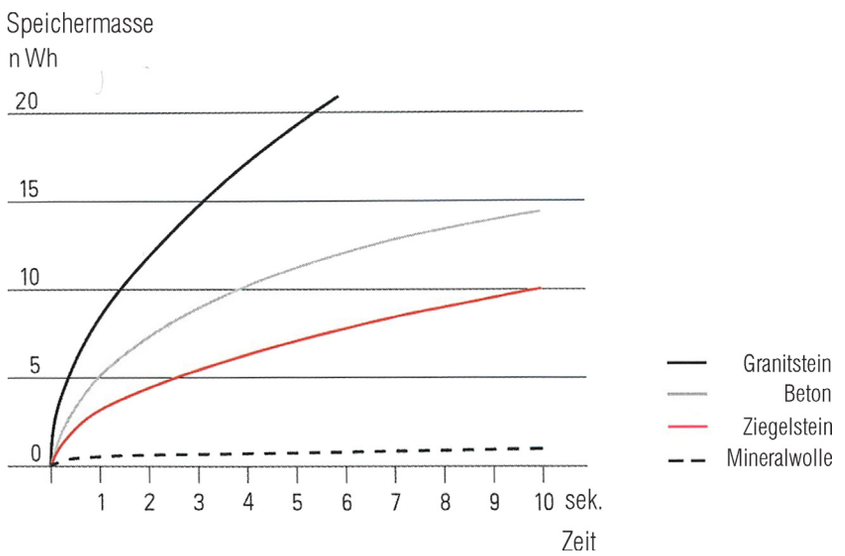
46

46 I Stoffwerttabelle für dynamische Kenngrößen, Quelle: Bruno Keller, Stephan Rutz: PIN-POINT – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich 2007, S. 45.

3.4.3 Speichermasse

3.4.3.1.1 Wärmespeicherfähigkeit

Die Wärmespeicherfähigkeit oder die Speicherwirkung eines Baustoffes ist abhängig von dessen spezifischer Dichte (p: [kg/m^3]) und der spezifischen Wärmekapazität (c: [kJ/kgK]). Aus diesen lässt sich die volumenbezogene spezifische Wärmespeicherfähigkeit (λ: [W/mK]) berechnen. Diese drückt aus, wie viel Wärme in einem Kubikmeter des Bauteils gespeichert werden kann. Beim Vergleich der beiden Materialien Stahlbeton und expandiertes Polystyrol können wir erkennen, dass der Wert der Dichte für Stahlbeton (2.400 kg/m^3) wesentlich höher ist als der für expandiertes Polystyrol (17 kg/m^3), womit Stahlbeton wesentlich dichter ist. Die Werte sprechen dafür, dass sich Stahlbeton wesentlich besser für Speichermassenkühlung eignet als expandiertes Polystyrol. Wenn wir die Wärmekapazität (c [kJ/kgK]) mit der Dichte (p: [kg/m^3]) multiplizieren, so erhalten wir die Wärmespeicherfähigkeit in kJ/m^{3}K des Materials. Sie wird auch als Wärmespeicherzahl (s) bezeichnet.[2]
Stahlbeton: c*p = 1,10 kJ/kgK * 2.400 kg/m^3) = 2.640 kJ/m^{3}K
expandiertes Polystyrol: c*p = 1,40 kJ/kgK * 17 kg/m^3) = 24 kJ/m^{3}K
Beiden Werte machen die höhere Wärmespeicherfähigkeit von Stahlbeton gegenüber dem expandierten Polystyrol ersichtlich.
Die Geschwindigkeit der Wärmeaufnahme macht die Eignung eines Baustoffs, Schwankungen der Raumlufttemperatur auszugleichen, ersichtlich:



47

47 I Wärmespeicherfähigkeit von verschiedenen Baumaterialien, Quelle: Klaus Daniels, Dirk. U. Hinrichs: *plus minus 20°/40° latitude*, Sustainable building design in tropical and subtropical regions. Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, S. 233.

[2] „Die Wärmespeicherzahl (s) bezeichnet in Wh/m^3 die Wärmemenge, die notwendig ist, um einen Kubikmeter eines Stoffes um 1K zu erwärmen, sie ist also volumenbezogen. Sie wird berechnet aus spezifischer Wärmekapazität (c) multipliziert mit der Rohdichte eines Stoffes (d).“, Quelle: Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 74.

Das Wärmeeindringvermögen eines Baustoffes ist hier der maßgebliche Wert. Hegger beschreibt dies folgendermaßen: „Die thermische Wirkung eines Baustoffs auf die Raumlufttemperatur kann dann als Wärmeeindringzahl (b), die Wurzel aus dem Produkt aus Dichte, Wärmespeicherzahl und Wärmeleitfähigkeit, in W/m^2K ausgedrückt werden."[3] Die Wärmeeindringzahl von Stahlbeton ist 2,18 W/m^2K gegenüber der des expandierten Polystyrols mit 0,03 W/m^2K. Somit eignet sich der Stahlbeton deutlich besser, um Temperaturen in die Materialstärke eindringen zu lassen.
Ein Vergleich der Wärmespeicherfähigkeit verschiedener Baumaterialien ist auch im gleichnamigen Diagramm ablesbar.[4] Der Granitstein hat eine höhere Wärmespeicherzahl und Dichte und kann deswegen die Außentemperatur schneller annehmen. Die Mineralwolle hingegen nimmt auch nach längerer Zeit kaum die Außentemperatur ihrer Umgebung an.

3.4.3.1.2 Wärmetransmission

Je größer der Temperaturunterschied zwischen dem Gebäudeinneren und der Außenluft ist, desto mehr Energie wird durch die Gebäudehülle per Transmission übertragen. Hegger schreibt hierzu: „In Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit λ (gesprochen: Lambda) der eingesetzten Baustoffe geht dabei unterschiedlich viel Energie über ein Bauteil verloren." Der Wert der Wärmeleitfähigkeit (λ) ist für gut dämmende Materialien niedrig. Temperasturunterschiede können also mit Polystyrol nicht weitergeleitet werden. Die Wärmeleitfähigkeit von Stahlbeton ist mit 1,8 λ [W/mK] deutlich höher als die von expandiertem Polystyrol mit 0,04 λ [W/mK]. Somit kann der Stahlbeton die Nachtkühle besser aufnehmen und zeitversetzt wieder abgeben.

3.4.3.1.3 Phasenverschiebung

Zu den meisten Jahreszeiten ist in subtropischen Regionen die Gebäudehülle im Tages- und Nachtverlauf stark schwankenden Außentemperaturen ausgesetzt. Das thermische Verhalten der Bauteile und die Innenraumtemperatur werden durch eine Erwärmung und Abkühlung in einem 24-Stunden-Rhythmus

[3] Ebda.

[4] Im Diagramm wird für die Oberfläche der Materialien Folgendes angenommen: 1 m^3, DeltaT = 10 Kelvin.

beeinflusst. Die Temperaturschwankungen werden an den Innenraum weitergegeben, allerdings gedämpft und verzögert.[5]
Weiter beschreiben Hegger et al. die Phasenverschiebung folgendermaßen: „Die verzögerte Übergabe wird als Phasenverschiebung in Stunden angegeben. Das Temperaturamplitudenverhältnis zeigt das Verhältnis der maximalen Temperaturschwankung an der Bauteilaußenfläche zur maximalen Schwankung an der Innenfläche und kennzeichnet die dämpfende Wirkung eines Bauteils. Je kleiner das Temperaturamplitudenverhältnis, desto besser ist die die Dämpfung durch das Bauteil und desto größer die Phasenverschiebung. Für den sommerlichen Wärmeschutz ist ein niedriges Temperaturamplitudenverhältnis erwünscht, eine ideale Phasenverschiebung beträgt ca. 12 Stunden. Die Wärme eines heißen Sommertages wird mit 12 Stunden Verzögerung an den Innenraum abgegeben und kann z.B. mittels kühler Nachtluft fortgelüftet werden. Das Temperaturamplitudenverhältnis ist abhängig von der Wärmespeicherzahl (s), der Wärmeleitfähigkeit (λ) und der Bauteildicke (cm). Eine hohe Wärmespeicherzahl, eine geringe Wärmeleitfähigkeit und eine große Bauteildicke wirken sich positiv auf das Temperaturamplitudenverhältnis aus."[6]

3.4.3.2 Kriterien

Um die Kühlung mit Speichermasse optimal umsetzen zu können, müssen einige bauliche Kriterien erfüllt sein: Eine spezifische Bauteildicke ist vonnöten und damit die Nachtventilation gut funktioniert, muss auch die natürliche Belüftung bestens funktionieren. Diese ist wiederum abhängig von der Ausführung der Öffnungen innerhalb der Fassade. Ebenfalls sollten die massiven Fassadenelemente vor solaren Energiegewinnen geschützt sein.

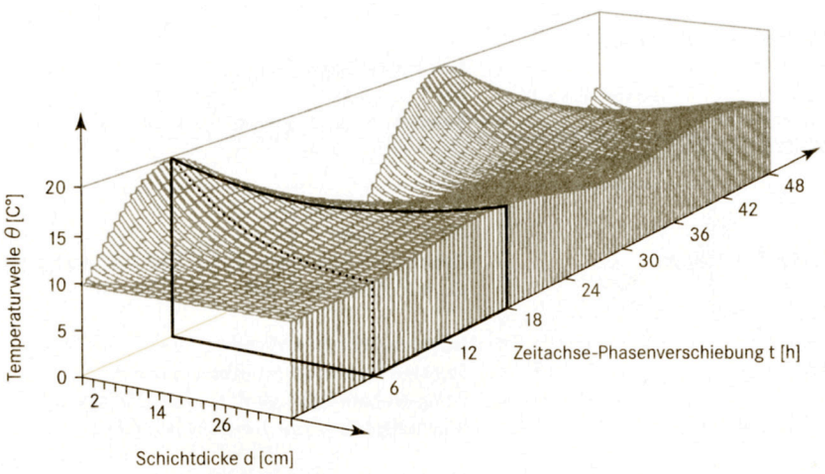
3.4.3.2.1 Bauteildicke

In der Darstellung Phasenverschiebung und periodische Anregung (Temperaturwelle) wird ersichtlich, wie wichtig die Schichtdicke des massiven Speicherkörpers ist. Die Schichtdicke d (in cm) ist in der X-Achse, die Temperatur (in °C) ist auf der Y-Achse und die Zeit in t(h) ist auf der Z-Achse abgebildet. In diesem Beispiel ist die Temperaturschwankung an einer Betonwand als Temperaturwelle ins Material hinein dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei

[5] Vgl. Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 74.

[6] Ebda.

zunehmender Dicke der Betonwand die Temperaturanregung stark abnimmt. Bei einer ca. 30 cm starken Betonwand reduziert sich die Temperatur um 5 °C auf ca. 15 °C. Die Amplitude der Welle nimmt also mit zunehmender Materialdicke ab. Ebenfalls findet ein zunehmend zeitlich verzögertes Eindringen der Temperaturschwankung mit zunehmender Materialdicke statt. In der Darstellung ist die Dauer einer periodischen Anregung hervorgehoben. Die Außentemperatur ist in Stunde 6 mit 20 °C am höchsten und nach 12 Stunden, in Stunde 18, tritt dieser Temperatur-Zenit an der Innenseite der Betonwand wieder aus.



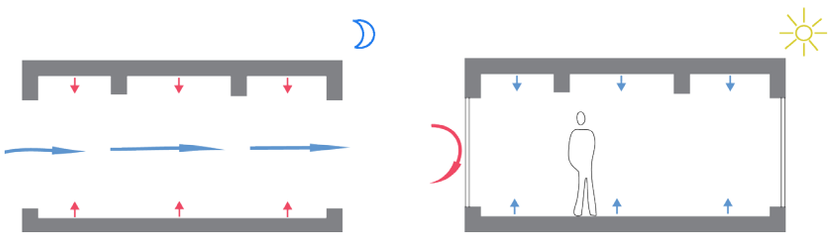
48

3.4.3.2.2 Nachtventilation – Abkühlung mit natürlicher Belüftung

Um die tagsüber gespeicherte Wärmeenergie im massiven Bauteil abzubauen, sollte die Nutzung der thermischen Masse mit nächtlicher Windkühlung kombiniert werden. Das Prinzip hierzu ist in der Abbildung dargestellt. Die Fassadenöffnungen werden demnach also in der Nacht geöffnet, um die Wärme entweichen zu lassen und tagsüber geschlossen, um zu verhindern, dass die Wärme ins Innere des Gebäudes eindringt. In dieser Zeit geben die massiven Bauteile die gespeicherte Kühle an den Innenraum ab.
Das Diagramm zeigt, wie sich die innere Raumtemperatur während des Tages durch die gespeicherte Kühle in den massiven Bauteilen herunterkühlen lässt. In diesem Beispiel beträgt die Außentemperatur tagsüber 30

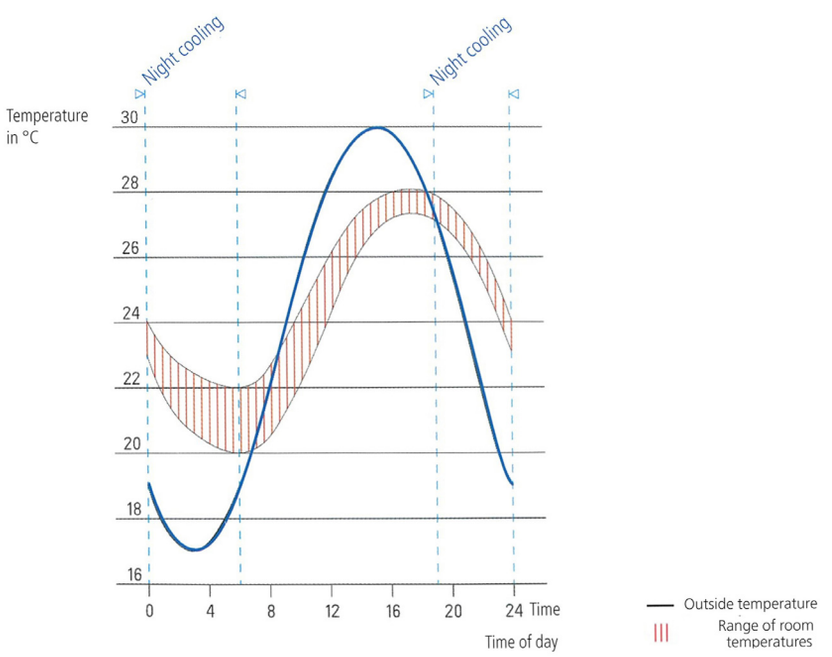
48 | Phasenverschiebung und periodische Anregung (Temperaturwelle) am Beispiel Beton, Quelle: *Bruno Keller, Stephan Rutz: PINPOINT – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen.* vdf Hochschulverlag AG an der ETH, Zürich 2007, S. 47.

3.4.3 Speichermasse



49

°C und der Innenraum kann durch Speichermassenkühlung eine niedrigere Temperatur annehmen. Die Nachtabkühlung (night cooling) durch Öffnung von Fenstern und natürliche Belüftung mit kälterer Luft wird hier von 19.00 bis 6.00 Uhr morgens vorgenommen. Gleichfalls wird in der Nacht die in den massiven Bauteilen gespeicherte Wärme an den Innenraum abgegeben und erhöht somit die Innenraumtemperatur im Verhältnis zur Außentemperatur. Das Diagramm stellt ebenfalls dar, dass dieses Prinzip stark von der Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht abhängig ist: Je größer der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht ist, desto wirksamer können die massiven Bauteile die Innenraumtemperatur ausgleichen.



50

49 | Speichermassenkühlung mit natürlicher Belüftung der Innenräume, Abbildung links Nacht , rechts Tag, Quelle: Leon Glicksmann, Juintow Lin (Hrsg.): Sustainable Urban Housing in China, Springer, Dordrecht, 2006, dort übernommen von Carrilho da Graca et al. 2002, S. 78, überarbeitet von Ferdinand Oswald, 2014.

50 | Temperaturdiagramm zur Regulierung der Innenraumtemperatur durch Speichermasse und natürliche Belüftung, Quelle: Klaus Daniels: *plus minus 20°/40° latitude*, Sustainable building design in tropical and subtropical regions. Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, S. 233.

Eine Beispielstudie von Klaus Daniels zeigt auf, inwieweit die Masse der Bauteile und die natürliche Nachtlüftung den Wirkungsgrad einer Innenraumabkühlung beeinflussen. Hierfür wurden zwei unterschiedlich ausgeführte Gebäuderäumlichkeiten am selben Standort projiziert. Bei beiden Räumlichkeiten sind folgende Optionen identisch: Die Öffnungen sind nach Süden orientiert und zwei Personen befinden sich in einem 21 m^2 großen Raum mit einer lichten Deckenhöhe von 2,90 m bei einer künstlichen Beleuchtung mit 158 Watt. Die Brüstungen sind 70 cm hoch und es liegt die gleiche Verglasung mit einem U-Wert von 2,0 W/m^2K vor. Auch der Bodenaufbau ist bei beiden Konfigurationen gleich mit einem Teppichbodenbelag von 0,5 cm, 15,0 cm Hohlkörperboden und einer Stahlbetondecke von 25,0 cm. Die Außenwand ist bei beiden mit einem Außenputz von 8 cm Dämmung auf Stahlbeton 12 cm inklusive Innenputz gleich ausgeführt. Die Unterschiede der baukonstruktiven Ausführung sind im Wesentlichen eine niedrige bis mittelmäßige Speichermasse bei Option 01: Hier sind der Deckenaufbau mit einer abgehängten Decke und die Trennwände als Trockenbauwände mit Dämmung ausgeführt. Diese Aufbauten sind nicht so massiv wie bei Option 02. Die baukonstruktive Umsetzung ist dort mit hoher Speichermassenkapazität angenommen: Es gibt massive Trennwände und keine abgehängte Decke, sodass die massive Decke direkten Kontakt zur Innenraumluft hat.

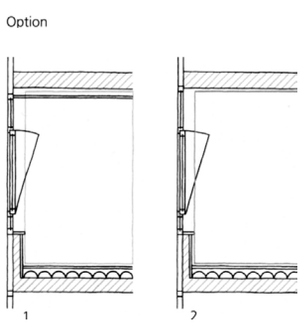
Das Diagramm „Raumtemperaturen bei Nutzung der Speichermassenkühlung" zeigt die Raumtemperatur bei wolkenfreiem Wetter im Sommer. Hier werden die beiden Raumkonfigurationen Option 01 und Option 02 mit und ohne Nachtventilation miteinander verglichen.[7] In Regionen, in denen die Tag- und Nachttemperaturen signifikant unterschiedlich sind, kann die Kühlung der Innenräume mit Speichermasse besonders gut mit der Nachtventilation genutzt werden. Das Resultat der Studie zeigt mit seinen Kurven

Option 01

niedrige bis mittelmäßige Speichermasse
Deckenaufbau Abgehängte Decke 15,0 cm, Stahlbetondecke 25,0 cm
Trennwände Trockenbauwand je 1,5 cm und 7,0 cm Dämmung
Bodenaufbau Teppichbodenbelag 0,5 cm, Hohlkörperboden 15,0 cm, Stahlbetondecke 25,0 cm

Option 02

hohe Speichermasse
Deckenaufbau Keine Abgehängte Decke, Stahlbetondecke 25,0 cm nur Verputzt und Verspachtelt
Trennwände 11,5 cm Mauerwerk verputz und verspachtelt
Bodenaufbau Teppichbodenbelag 0,5 cm, Hohlkörperboden 15,0 cm, Stahlbetondecke 25,0 cm



51

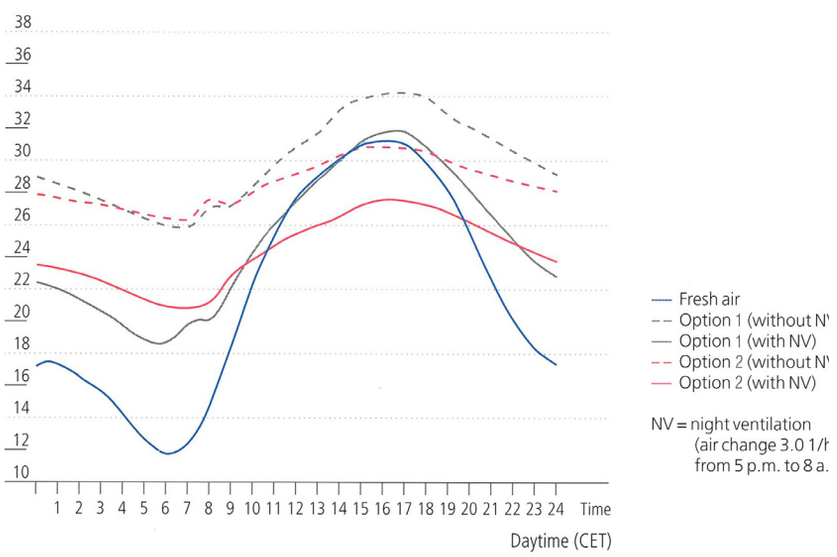
51 I Vergleich verschiedener baukonstruktiver Ausführungen. Option 01: niedrige bis mittelmäßige Speichermasse, Option 02: hohe Speichermasse, Quelle: Klaus Daniels, Dirk. U. Hinrichs: *plus minus 20°/40° latitude,* Sustainable building design in tropical and subtropical regions. Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, S. 230.

[7] Wetterdaten nach Test Reference Year (TRY), Region 8.

3.4.3 Speichermasse

und vergleichbaren Werten auf, dass die natürliche Nachtbelüftung für dieses Konzept ebenso wichtig ist wie die ausreichende Speichermasse für die Kühlung des Gebäudes.[8]

Die Außentemperatur (fresh air) ist als blaue Linie dargestellt. Die Kurven ohne Nachtlüftung sind in gestrichelter Linie, bei Option 1 in grauer und bei Option 2 roter Linienfarbe dargestellt. Der Vergleich dieser beiden Räume mit niedriger und hoher Speichermasse zeigt, dass die Innentemperatur nachts erheblich über der Außentemperatur liegt. Weiter erhöht sich die Temperatur durch solare Energieeinträge tagsüber beim Raum mit niedriger Speichermasse über die maximale Außenlufttemperatur. Die Kurven mit natürlicher Nachtlüftung sind in durchgehender Linie, Option 1 wieder in grauer und Option 2 wieder roter Linienfarbe dargestellt. Für die Nachtventilation ist hier ein Luftwechsel von 3,0m^3/Stunde im Zeitraum von 17.00 Uhr nachmittags bis 8.00 Uhr morgens angenommen. Man erkennt, dass sich die Innenraumtemperatur mit niedriger Speichermasse (Option 1) zwar in der Nacht absenkt, während des Tages steigt sie allerdings auf gleicher Höhe mit der Außenlufttemperatur wieder an. Die geringe Speichermasse vermag also den Innenraum tagsüber nicht abzukühlen. Bei Option 2 mit hoher Speichermasse senkt sich die Innenraumtemperatur tagsüber auf 3–4 °C unter der maximalen Außentemperatur ab, weil eben die massiven Bauteile der Decke



52

52 | Raumtemperaturen bei Nutzung der Speichermassenkühlung mit und ohne Nachtventilation, Quelle: Klaus Daniels, Dirk. U. Hinrichs: *plus minus 20°/40° latitude*, Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, S. 232.

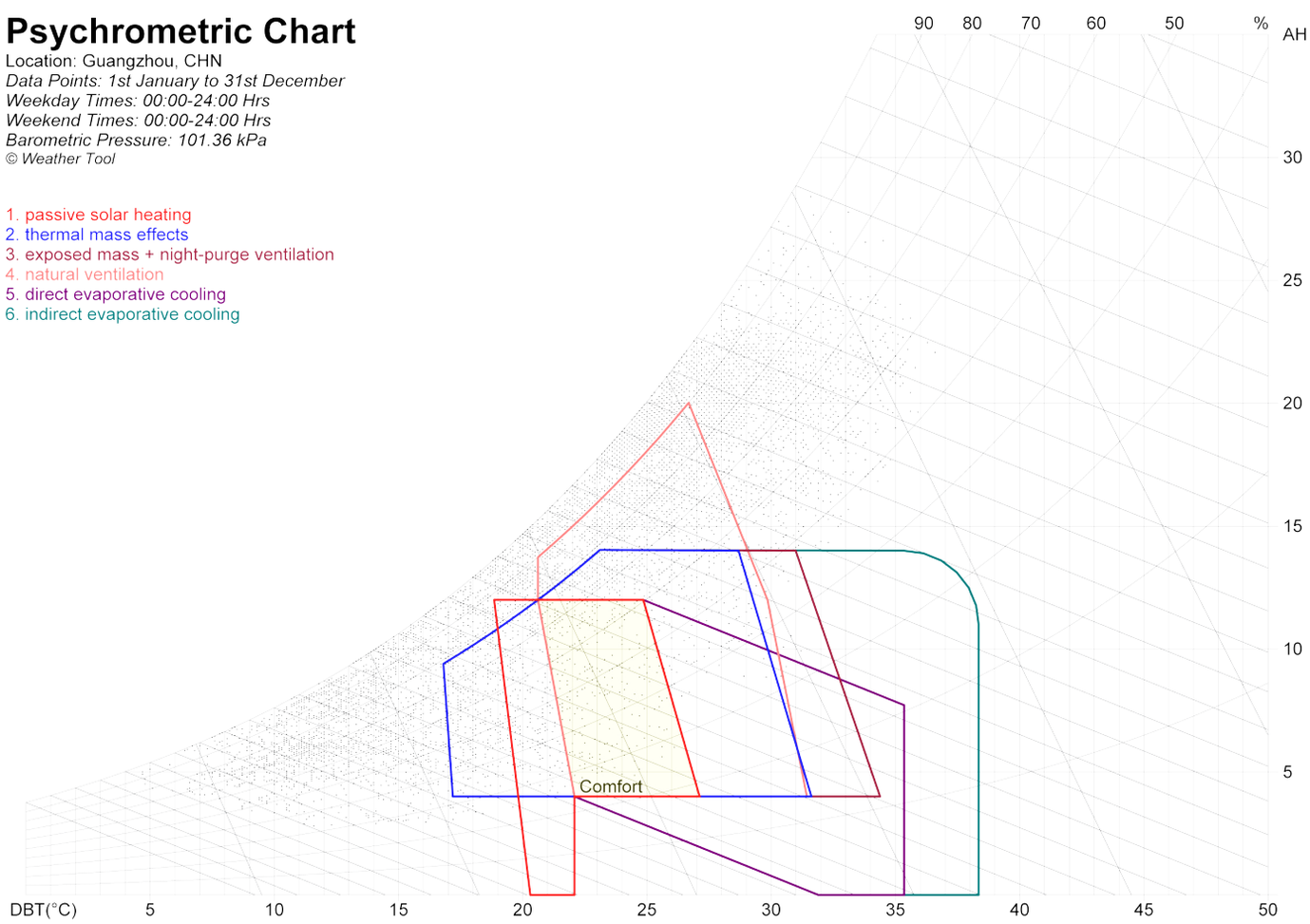
[8] Vgl. Night Ventilation, Quelle: Daniels, Klaus / Hinrichs , Dirk U. u.a. (Hg.): Plus minus 20°/40° latitude. Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart – London 2007, S. 232.

und Seitenwände die gespeicherte Nachtkühle jetzt wieder abstrahlen. Nachts ist dann die Innenraumtemperatur des Raumes mit höherer Speichermasse leicht über der des Raumes mit niedriger Speichermasse, weil die Masse in diesem Zeitraum die gespeicherte Wärme des Tages wieder abstrahlt. Diese kann dann wirksam mit einer Querlüftung hinausventiliert werden.

3.4.3.2.3 Fassade und Öffnungen

Maßgeblich für das Funktionieren der Nachtabkühlung mit natürlicher Belüftung ist die Höhe der Luftwechselrate: Je umfangreicher der Luftwechsel und je größer die Luftgeschwindigkeit innerhalb der Wohneinheit, desto besser kann die kühle Luft den Innenraum und die Speichermasse herunterkühlen. Einen wesentlichen Einfluss hierauf haben die Größe der Öffnungsquerschnitte und die Kontrollierbarkeit des Luftstroms. Wie schon im Kapitel „Verringerung der solaren Energiegewinne" beschrieben, sollte eine Überhitzung des Innenraumes durch falsch ausgerichtete oder zu große Glasflächen vermieden werden. Wichtig ist, dass das außenliegende Speichermassen-Bauteil vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt wird. Bei hoher Sonnenlichtintensität und langer Einstrahlungsdauer können sich massive Fassadenelemente stark aufheizen. Diese Hitze gibt das Bauteil entsprechend dem Wärmekriechverhalten an den Innenraum ab und heizt ihn somit auf. Das massive Fassadenelement soll mit der kühlen Nachtluft in Berührung kommen, damit die Wärmeenergie des Tages abgeführt werden kann. Die Abdeckung der massiven Fassadenteile, zum Beispiel mit einer vorgehängten Plattenkonstruktion, ist nur dann sinnvoll, wenn diese mit einem ausreichend großen Luftspalt mit intensiver Luftzirkulation angebracht ist, damit auch hier ein Wärmeaustausch stattfinden kann. Die konzeptionelle Integration von Verschattungselementen bzw. Bauteilen, die Verschattung hervorrufen – vor allem an den west- und ostorientierten Fassaden in tropischen Standorten – kann die solaren Energiegewinne verringern. Bei der Erstellung eines Sonnenschutzkonzeptes für die Fassade sind ebenfalls der Standort des Gebäudes in Bezug auf Sonnenstand und Strahlungsintensität sowie die Orientierung des Gebäudes wichtige zu integrierende Faktoren.

3.4.3 Speichermasse



53

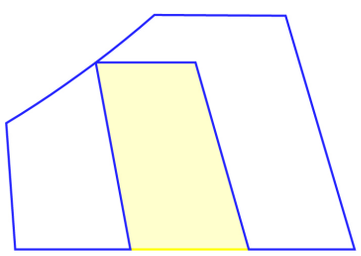
53 | Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone sowie der passiven Kühl- und Heizmethoden von Guangzhou, China, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

3.4.3.3 Klimatische Wetterbedingungen

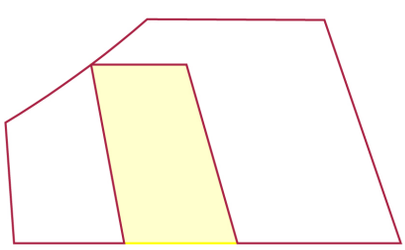
Damit die Prinzipien der Speichermassenkühlung funktionieren können, muss der wesentliche Faktor der spezifischen klimatischen Wetterbedingungen berücksichtigt werden. Die Speichermassenkühlung ist maßgeblich von diesem äußeren Umwelteinfluss abhängig. Die Tag/Nacht-Temperaturdifferenz ist hierbei ein wesentliches Kriterium.

3.4.3.3.1 Temperaturdifferenz Tag/Nacht

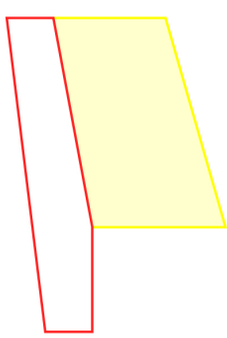
Im psychrometrischen Diagramm von Guangzhou ist ersichtlich, wie mit Hilfe der Speichermasse die Behaglichkeit im Innenraum verbessert werden kann. Diejenigen Tage im Jahr, die sich innerhalb des blau definierten Bereichs des Speichermassen-Effekts (thermal mass effect) rechts und rechts oben von der Komfortzone befinden, können hierbei zur verbesserten Behaglichkeit gekühlt werden. Des Weiteren ist in einem zweiten Bereich erkennbar, wie sich auch die innenliegende Speichermasse (Trennwände, Decken etc.) durch Kühlung mit Nachtventilation optimieren lässt. Der lila umrandete Bereich der Speichermassenkühlung mit Nachtventilation (exposed mass + night-purge ventilation) vergrößert sich hierbei nach rechts.
Doch das entscheidende Kriterium ist die Lufttemperaturschwankung innerhalb eines 24-Stunden-Zyklus: Ist der Temperaturunterschied zwischen Tag



54



55



56

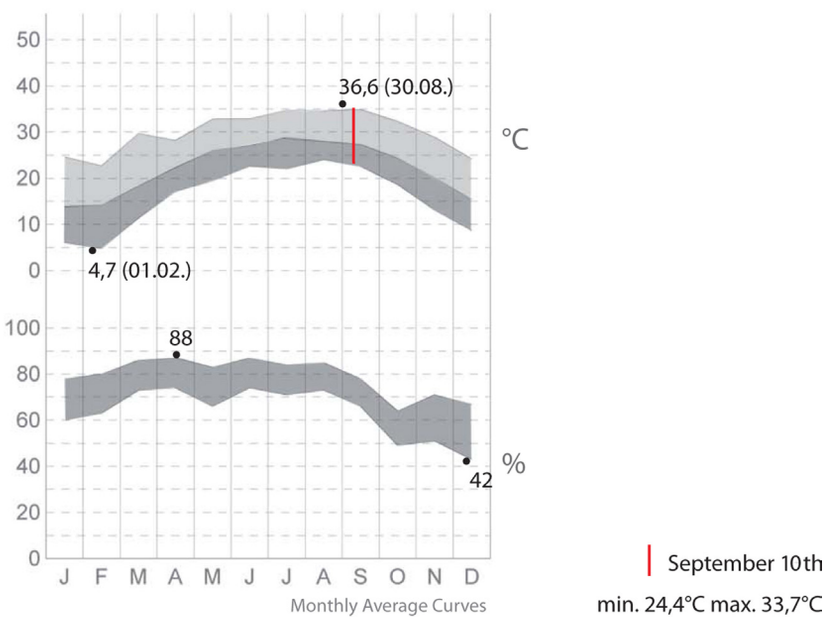
54 | Bereich der Nutzung der Speichermasse und Behaglichkeitszone von Guangzhou, China, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

55 | Bereich der Nutzung der exponierten Speichermasse und Nachtventilation zur Erweiterung der Behaglichkeitszone von Gunagzhou, China, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

56 | Bereich der passiven solaren Energiegewinne und Behaglichkeitszone von Longyan, Fujian-Region, China, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

3.4.3 Speichermasse

und Nacht nicht groß genug, so ist die Speichermassenkühlung nicht wirksam. Je höher die Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht ist, desto besser können die massiven Bauteile Wärmespeicherfähigkeit, Wärmetransmission und Phasenverschiebung vollführen und desto besser funktioniert die Kühlung des Innenraums. Die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht sind im Klimadiagramm von Guangzhou ablesbar.
Laut den Wetterdaten des U.S.-Departments[9] beträgt die Tag/Nacht-Abkühlung 9,3 °C (24,4–33,7 °C) am 10. Sept. 2012, dem Tag der Messdurchführung. Im Gebäudekomplex des Fallbeispiels *Urban Tulou* in Guangzhou wurde im Zuge der Temperaturmessungen am gleichen Tag die Temperaturdifferenz von 7 °C (26,0–31,0 °C) gemessen. Dieser Temperaturunterschied von nur 7 °C ist immer noch ausreichend, um die Speichermassenkühlung zur Abkühlung des Innenraums nutzen zu können. Dies wird im Kapitel „Fallstudie Urban Tulou, Guangzhou" noch detailliert erläutert. Je näher man sich am Äquator befindet, desto kleiner werden die Tag/Nacht-Temperaturunterschiede. In Singapur beträgt die Temperaturdifferenz am 14. Dez. 2012 nur 6,3 °C (24,7–31,0 °C)[10]. Hier ist die Nutzung der Speichermassenkühle dann nur noch begrenzt wirksam.



57

57 I Klimadiagramm mit Tag/Nacht-Temperaturdifferenz und Temperatur sowie relativer Luftfeuchtigkeit für ein Jahr im Monatsdurchschnitt mit Jahreshöchst- und -tiefstwert, Klimastandort, Guangzhou, China, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Manager 2001, © Autodesk, Inc. 2010, Weather data Download, U.S. Department of Energy, EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY).

[9] Quelle: U.S. Department of Energy : Wetterdaten Guangzhou, Weather data Download. EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY).

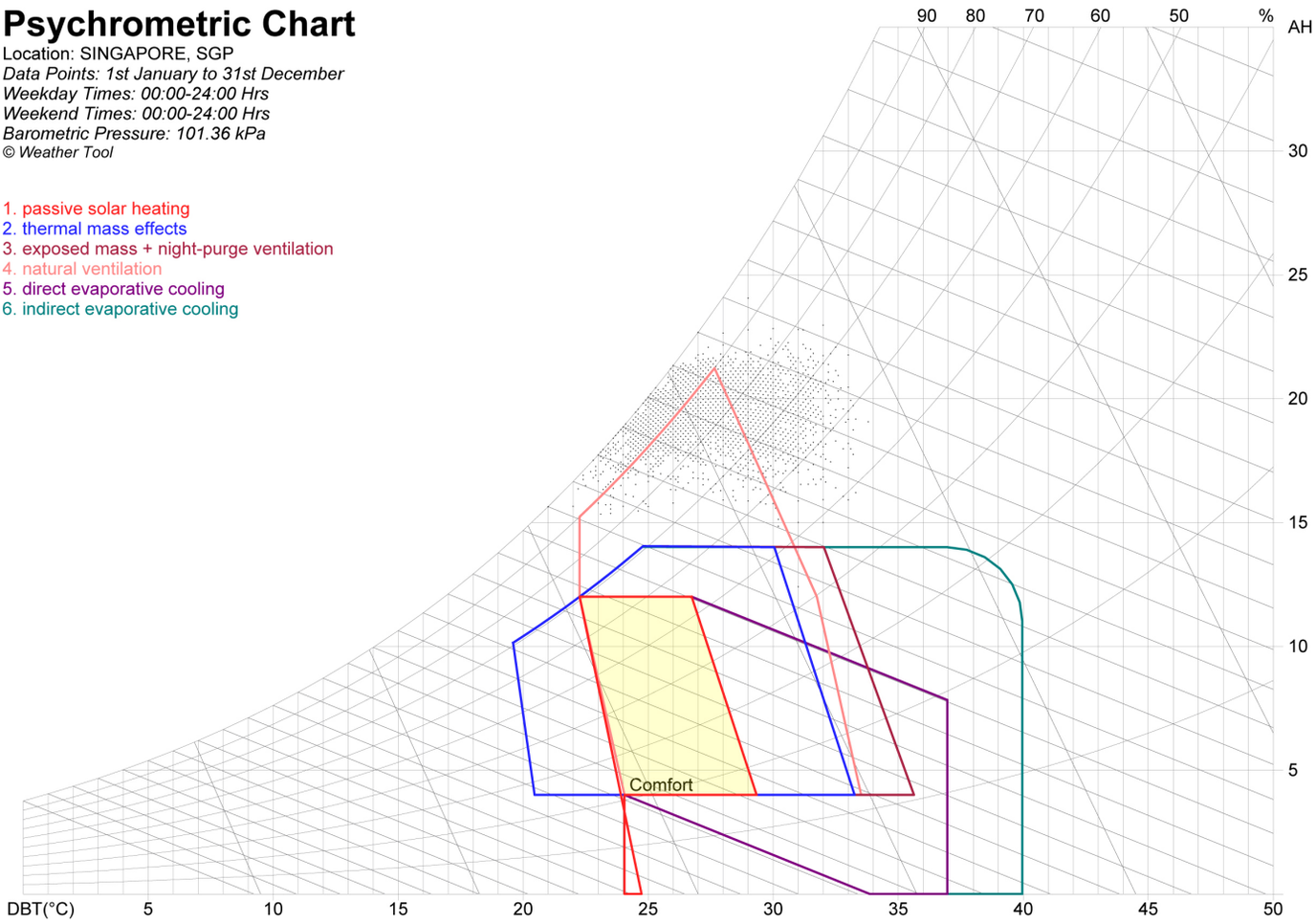
[10] Wetterdaten Singapur, ebda.

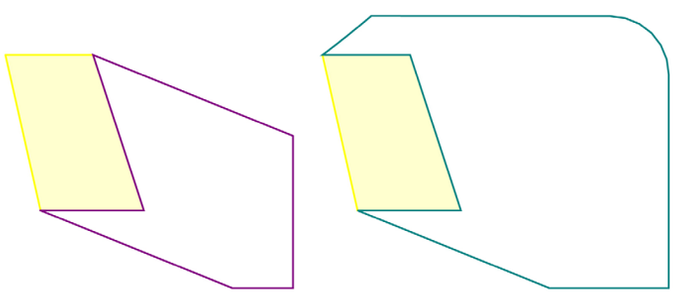
Ebenfalls spielt der Standort des Gebäudes eine wichtige Rolle. So haben Großstädte durch den Wärmeinseleffekt eine kleinere Temperaturdifferenz. Gebäude, die sich im Landesinnern befinden können dagegen von einem größeren Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht profitieren. Das Kontinentalklima speichert die Temperaturen nicht so effektiv – somit sind dort auch die Tag/Nacht-Temperaturunterschiede größer. An Küstenstädten hingegen ist dieser Temperaturunterschied nicht so groß, weil das Wasser die Temperatur gut speichern kann und als Temperaturpuffer wirkt.

3.4.3.3.2 Speichermassenwärme

Die Speichermasse eines Gebäudes kann gleichfalls zum Erwärmen des Innenraums in kalten Jahreszeiten genutzt werden. Dies ist ebenfalls in dem zuvor gezeigten psychrometrischen Diagramm von Guangzhou ersichtlich: Diejenigen Tage im Jahr, die sich innerhalb des blau dargestellten Bereichs des Speichermassen-Effekts (thermal mass effect) links von der Komfortzone befinden, können hierdurch in ihrer Behaglichkeit verbessert und erwärmt werden. Die Erwärmung des Innenraums geschieht hier allerdings hauptsächlich über Temperaturweiterleitung der Speichermasse der Außenwände der Fassade und nicht über eine natürliche Belüftung der Innenräume, da sich die Lufttemperatur in der kalten Jahreszeit tagsüber selten stark genug erwärmt. Deshalb verändert und vergrößert sich der Bereich der Speichermassenkühlung mit Nachtventilation (exposed mass + night-purge ventilation) nach links (Erwärmung) nicht. Auch können Öffnungen in der Fassade genutzt werden, um solare Energiegewinne zur Erwärmung der Innenräume in kalten Jahreszeiten zu nutzen. Verglasungen lassen einen großen Teil der solaren Strahlung ins Innere des Gebäudes gelangen. Die passive solare Aufheizung und die Wirksamkeit hinsichtlich der Verbesserung der Behaglichkeit ist in der Abbildung als roter Bereich (passive solar heating) markiert. Der Bereich befindet sich links von der Komfortzone, da hier die Innenraumtemperatur erhöht ist.

3.4.4 Verdunstung





58

58 | Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone sowie der passiven Kühl- und Heizmethoden von Singapur, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

3.4.4 Verdunstungskühlung



Die Verdunstungskühlung wird auch adiabate Kühlung genannt. Manfred Hegger beschreibt den Prozess der direkten Verdunstungskühlung folgendermaßen: „Der Übergang von Wasser aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand bindet Wärme. Diese wird der Umgebung entzogen. Bei der direkten adiabaten Kühlung wird die Raumluft mit Feuchtigkeit angereichert."[1] Dieses Prinzip nutzt zum Beispiel auch unser menschlicher Organismus: Er steuert mit diesem Prinzip die Körpertemperatur durch Verdunstung auf der Haut. Wenn wir zum Beispiel beim Sport schwitzen, hilft die Verdunstung des Schweißes auf der Hautoberfläche, die Körpertemperatur zu reduzieren. Je mehr Feuchtigkeit dabei direkt mit der Luft in Berührung tritt, desto besser funktioniert der Verdunstungsprozess. Beim Vorgang der Verdunstungskühlung erhöht sich allerdings auch die Luftfeuchtigkeit im Raum. „Dies wird als Anstieg der gefühlten Raumtemperatur wahrgenommen und ist kontraproduktiv. Zudem versagt der Effekt bei schwülwarmer Außenluft im Sommer, da die Luft bereits gesättigt ist."[2]

Wieviel Wasser die Luft aufnehmen kann hängt von der Lufttemperatur ab. Ist die Luft gesättigt, wie es in feuchtem Klima der Fall ist, dann ist der Kühleffekt begrenzt. Das heißt, dass die Anwendung der Verdunstungskühlung nur in Jahreszeiten mit nicht allzu hoher Luftfeuchtigkeit bzw. mit sehr hohen Temperaturen sinnvoll ist. Die Klimatischen Bedingungen in manchen tropischen Gebieten erlauben sogar ganzjährig keine Kühlung durch Verdunstungskühlung. Bei der Betrachtung des psychrometrischen Diagramms des Klimastandorts Singapur können wir dies gut erkennen. In der Darstellung sind die Behaglichkeitszone sowie die direkte Verdunstungskühlung (5. direct evaporative cooling) aufgezeigt. Der Bereich der Verdunstungskühlung befindet sich unterhalb und insbesondere rechts von der Behaglichkeitszone und ist in Lila dargestellt. Die Wirkungskraft der Verdunstungskühlung beträgt nach diesem Simulationsmodell 0 %. Der Grafik des psychrometrischen Diagramms zufolge sind die Jahresmesswerte von Singapur alle außerhalb des Bereiches zum Funktionieren der direkten Verdunstungskühlung: Da Singapur die ganze Zeit im Jahr eine höhere Luftfeuchtigkeit hat, kann die Verdunstungskühlung hier nicht wirksam sein.

[1] Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 112.

[2] Ebda.

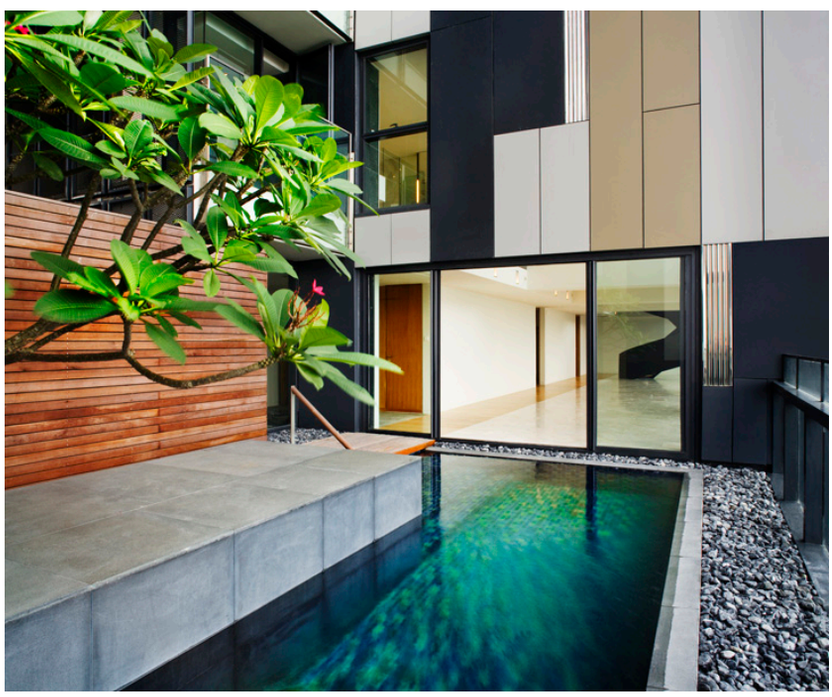
3.4.4 Verdunstung

3.4.4.1 Architektonische Anwendungen

Die Verdunstungskühlung kann über offene Wasserflächen, Wasserwände, Springbrunnen, Sprühvernebelung oder auch über Bepflanzungen erreicht werden. Diese verschiedenen Prinzipien sollen in den folgenden Unterkapiteln beschrieben werden. Gleichfalls wird erläutert, wie diese Prinzipien der Verdunstungskühlung an Gebäuden ihre architektonische Anwendung finden können.

3.4.4.1.1 Wasserflächen

Wasserflächen können außerhalb oder innerhalb der Wohneinheit angegliedert werden. Wichtig ist in beiden Fällen, dass der durch die Verdunstung des Wassers gekühlte Luftzug ins Innere der Wohnung hineinströmt und sich dort gut verteilen kann. Die Verdunstungskühlung durch Wasserbecken in Kombination mit einer Querlüftung ist hier also besonders gut wirksam. Ein Wasserbecken, das sich außerhalb der Wohnung im Freien befindet und sich



59

59 I Wasserfläche für Verdunstungskühlung außerhalb der Wohneinheit als Schwimmbecken, Wohnhochaus The Met in Bangkok von den WOHA-Architekten, © WOHA Architects

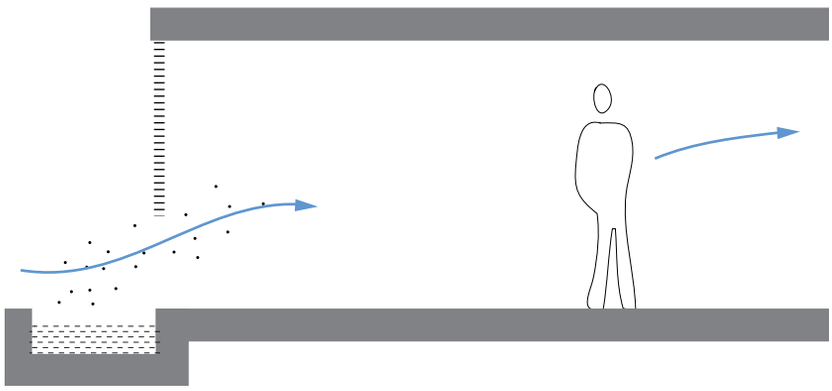
bis ins Innere der Wohnung erstreckt ist für die Verdunstungskühlung wirksamer, denn je größer der Kontakt der Wasseroberfläche zur zirkulierenden Luft ist, desto mehr Verdunstungskühlung kann stattfinden.

Ein gutes Beispiel für eine Wasserfläche außerhalb der Wohneinheit ist im Wohnhochaus *The Met* der WOHA-Architekten zu sehen. Hier ist die primäre Funktion der Wasserfläche als privater Bade-Pool räumlich an die Wohnung angegliedert. Auf diese und andere architektonische Anwendungen der Verdunstungskühlung mit Hilfe von Wasserflächen wird in der Fallstudienbeschreibung *The Met* später im entsprechenden Kapitel noch näher eingegangen werden. Je gezielter die durch Verdunstung gekühlte Luft an das Gebäude oder ins Gebäudeinnere geführt wird, desto wirksamer ist diese Kühlung. Eine Studie wurde hier von Klaus Daniels durchgeführt. Hier wurde die Reduzierung der Temperatur durch Verdunstungskühlung an zwei Gebäuden gemessen. In beiden Fallstudien wurde jeweils eine Lufttemperatur von 32 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 40 % angenommen. Wenn nun die Luft über eine Wasserfläche in Richtung des Gebäudes strömt, ergibt sich eine Verdunstung mit Luftbefeuchtung, was zu einer Abkühlung der Luft um 1 bis 2 Kelvin führt. Die Abkühlung ist abhängig von der Länge des Wasserbeckens vor dem Gebäude. In der zweiten Fallstudie wird durch eine gezielte Luftleitung durch eine doppelschichtige Fassade der Kühleffekt verbessert. Je nach Windgeschwindigkeit kann hier die Abkühlung der Luft bis zu 5 Kelvin betragen.[3] Wenn der Luftstrom gezielt ins Innere oder an das Gebäude geführt wird, kann die Wirkung der Verdunstungskühle verstärkt werden.

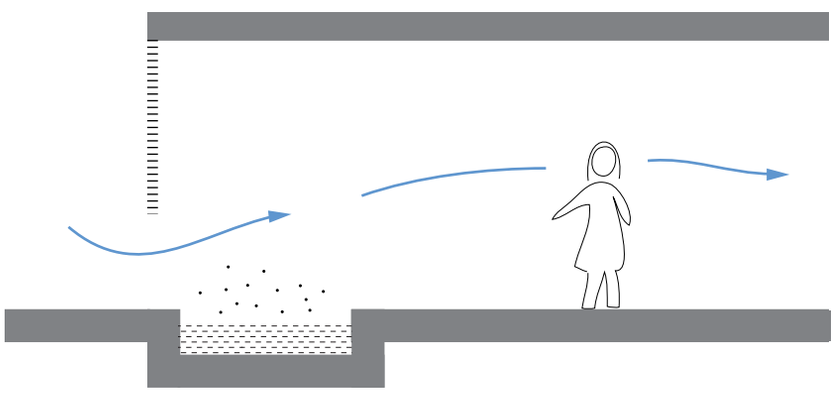
Wenn die Luft sich durch das Wasser hindurchbewegt, ist der Effekt der Verdunstungskühlung noch wirksamer – so zum Beispiel bei Wasserwandflächen. Hier fließt eine Wasserfläche vertikal eine Wand hinunter. Dieses Verfahren wird im Inneren und auch außerhalb von Gebäuden häufig angewendet. Noch wirksamer ist der Verdunstungs- und Kühlungseffekt, wenn das Wasser ohne Wand im freien Fall hinunterfällt, da die Luft hierbei durch einen „Wasservorhang" hindurchströmen kann. Dieses Prinzip hat eine Studentin in einem Entwurf für eine Gebäudefassade umgesetzt. Die äußere Erscheinung dieses „Water Mesh Facade System" ist in der Perspektive ersichtlich.
Es entsteht eine dynamische Fassadenerscheinung, die einen transluzenten Charakter hat. Somit kann Licht durch den „Wasservorhang" ins Innere des

[3] Vgl. Precipitation, Quelle: Daniels, Klaus / Hinrichs , Dirk U. u.a. (Hg.): Plus minus 20°/40° latitude. Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart – London 2007, S. 54.

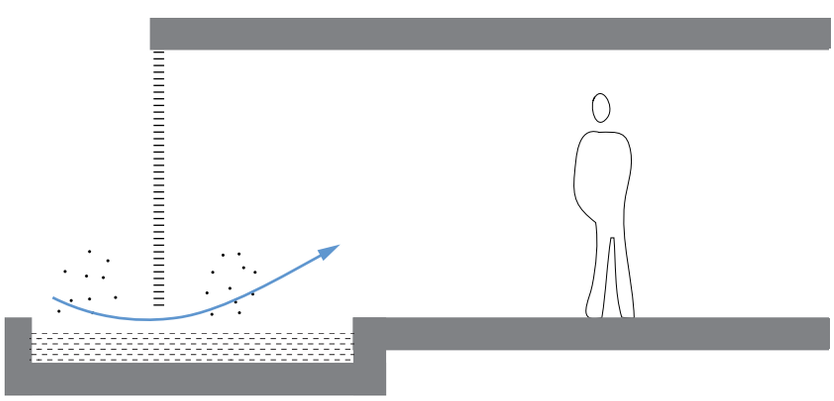
3.4.4 Verdunstung



60



61

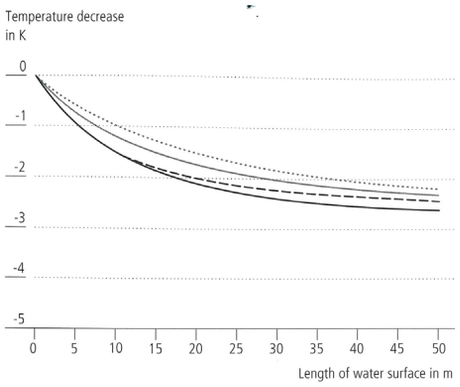


62

60 | Wasserfläche für Verdunstungskühlung außerhalb der Wohneinheit, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2014.

61 | Wasserfläche für Verdunstungskühlung innerhalb der Wohneinheit, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2014.

62 | Kombination von Wasserfläche für Verdunstungskühlung innerhalb und außerhalb der Wohneinheit, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2014.



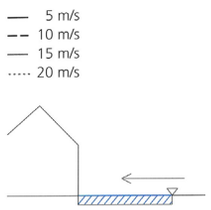
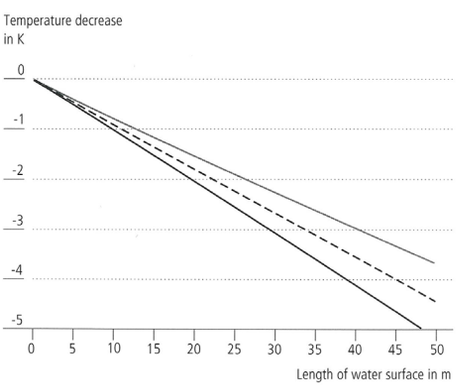


Figure 3.28.1
Temperature decrease through humid air: single-layer façade. Adding moisture to the air by locating a horizontal water surface in front of a single-laye façade
Outside air:
Temperature 32 °C
Relative humidity 40 %
Wind 3 m/s

63



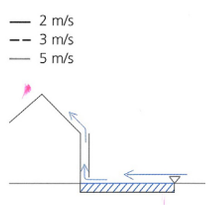


Figure 3.28.2
Temperature decrease through humid air: double-layer façade Adding moisture to the air by locating a horizontal water sur in front of a double-layer façac
Outside air:
Temperature 32 °C
Relative humidity 40 %

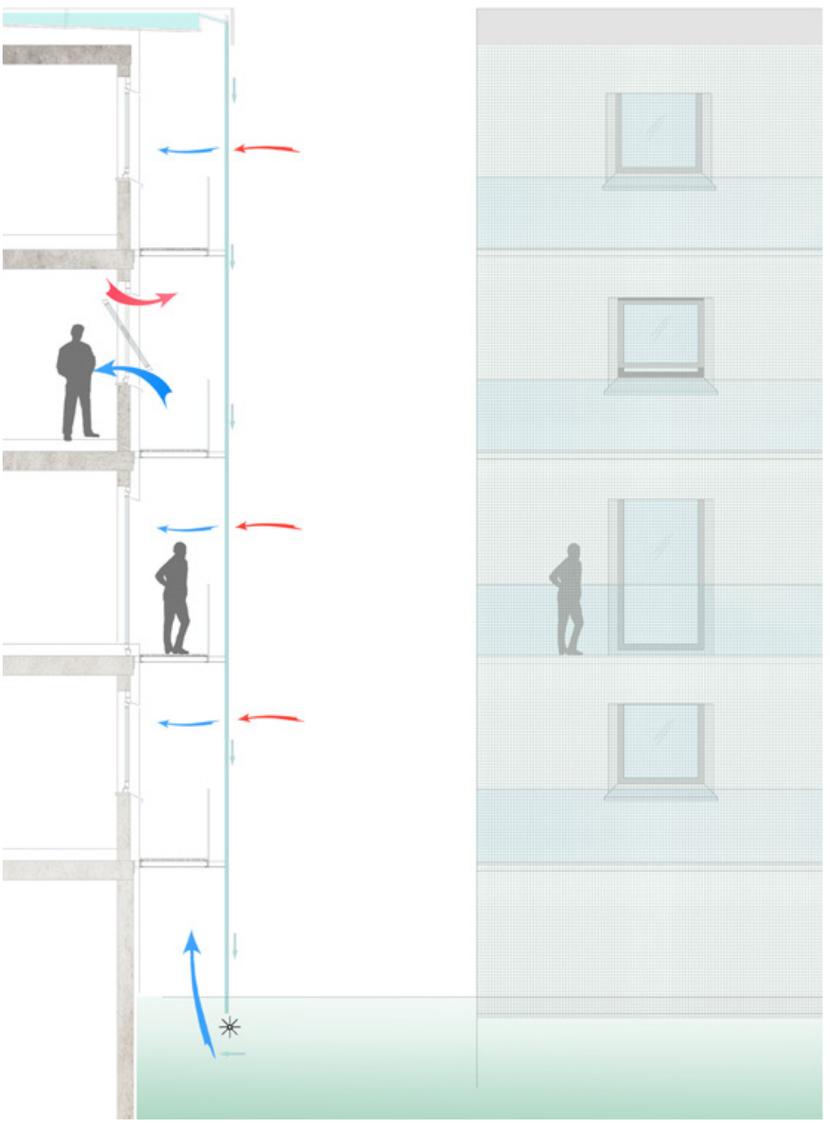
64

Gebäudes eintreten und gleichzeitig bietet er einen Sichtschutz von außen. Allerdings fließt Wasser bei freien Fall ungleichmäßig herunter. Deswegen wird ein Wasserführendes Element eingesetzt, welches gleichzeitig Luftdurchlässig ist. Nämlich ein Metallgittergewebe. Im Schnitt ist die Luftströmung durch die Wasserfassade und der Kühlungsprozess der Luft ersichtlich.
Die Fensteröffnungsflügel der Fassadenöffnungen sind Horizontal herausdrehbar. Dies soll verhindern, dass Wasser bei stärkeren Winden ins Innere des Gebäudes eindringt. Wenn das Fenster geöffnet ist, läuft das Wasser über die Schräge des Fensterflügels wieder nach Außen. Über der Fensteröffnung ver-

63 | Wirksamkeit der Verdunstungskühlung mit Wasserfläche um bis zu 2 Kelvin, Quelle: Klaus Daniels: plus minus 20°/40° latitude, Sustainable building design in tropical and subtropical regions. Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, S. 54.

64 | Verbesserung der Wirksamkeit der Verdunstungskühlung mit Wasserfläche um bis zu 5 Kelvin durch gezielte Umleitung der Windströmung in eine mehrschichtige Fassade, Quelle: Klaus Daniels: plus minus 20°/40° latitude, Sustainable building design in tropical and subtropical regions. Edition Axel Menges, Stuttgart/London 2007, S. 54.

3.4.4 Verdunstung



65 66

65 I Schnitt Water Mesh Facade System, Zeichnung von Johanna Grill, Seminar Structure & Facade, Openings for Natural Ventilation, Durchgeführt von Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz 2013.

66 I Ansicht Water Mesh Facade System, Zeichnung von Johanna Grill, Seminar Structure & Facade, Openings for Natural Ventilation, Durchgeführt von Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013.

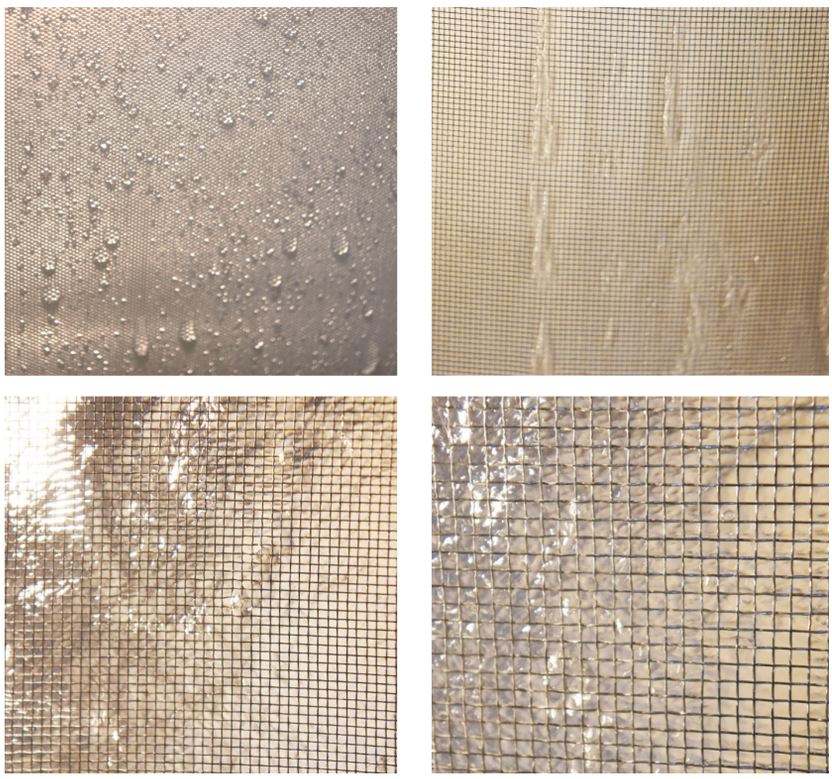
läuft die Laibung nach schräg unten, damit ebenfalls das Wasser nicht ins Innere läuft sondern an der Laibungskante Außen abtropft. Die Anderen 3 Fensterlaibungsteile verjüngen sich konisch nach Innen, an der Unterseite und den Beiden Seiten. Dies soll den Luftstrom durch die Öffnung erhöhen (Venturi-Effekt). Verschiedene Metallgittergewebe wurden hinsichtlich ihrer Tauglichkeit ihrer Adhäsionseigenschaften mit Wasser getestet. In den vier Fotos sind die verschiedenen getesteten Gittergewebe-Materialproben ersichtlich.



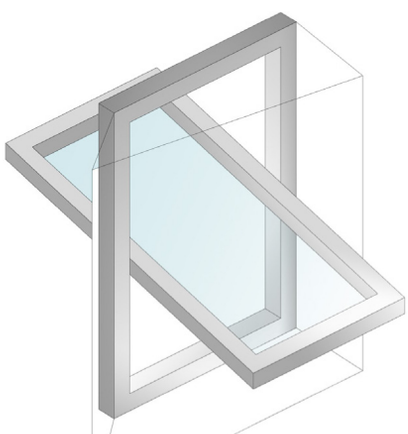
67

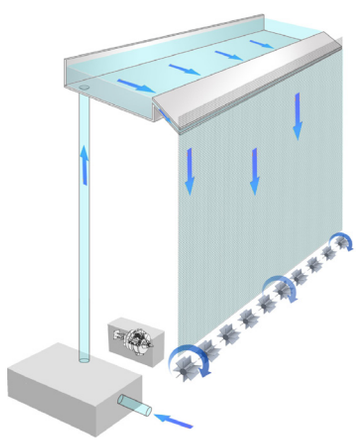
67 I Perspektive Water Mesh Facade System, von Johanna Grill, Seminar Structure & Facade, Openings for Natural Ventilation, durchgeführt von Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz 2013.

3.4.4 Verdunstung



68





69 70

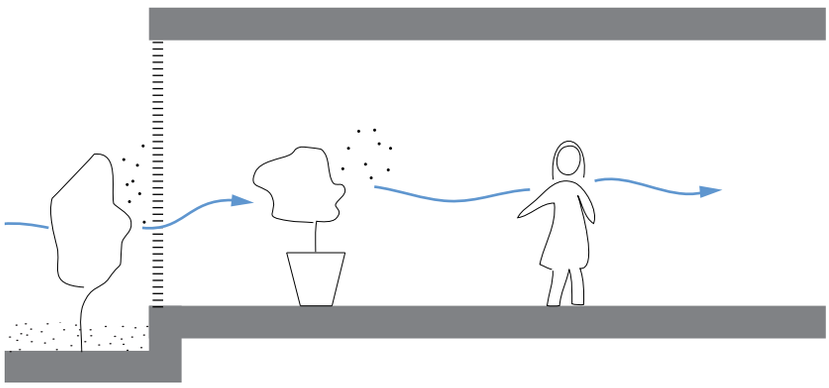
68 | Gittergewebe-Materialproben Water Mesh Facade System, von Johanna Grill, Seminar Structure & Facade, Openings for Natural Ventilation, Durchgeführt von Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz 2013.

69 | Fassadenöffnung Water Mesh Facade System, von Johanna Grill, Seminar Structure & Facade, Openings for Natural Ventilation, Durchgeführt von Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz 2013.

70 | System Water Mesh Facade, von Johanna Grill, Seminar Structure & Facade, Openings for Natural Ventilation, Durchgeführt von Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz 2013.

Während der Probedurchläufe stellte sich heraus, dass die ersten zwei sehr dünnmaschigen Gewebe (2,5 x 1,35 mm und 2,0 x 2,0 mm) sich nicht gut aus Wasserführende Schicht eignen, da das Wasser an ihnen Tropenförmig hinunterläuft. Das Raster des Gewebes ist hier also zu klein um das Wasser haftete zu wenig am Metallnetz. Stattdessen läuft es ähnlich wie bei Freien Fall in großen Schwallen herunter. Die Beiden Gittergewebe mit größerer Maschengröße (3,0 x 3,0 mm und 5,0 x 5,0 mm) konnten das Wasser halten und es floss gleichmäßig an ihnen herunter. Das Wasser verteilt sich hier besser gleichmäßig auf die Gesamte länge des Metallgewebes. In der Dreidimensionalen Darstellung ist die Technische Realisierbarkeit des Wasserfassadensystems dargestellt.
Das Wasser wird mit einem elektrisch betriebenen Motor nach oben auf das Dachgeschoss gepumpt. Dort wird es über ein Wasserbassin an der Attika des Gebäudes gleichmäßig über die gesamte Fassadenbreite an das Gittergewebe abgegeben. Unterhalb des Gewebeelementes, über dem Auffangbecken, sind Wasserräder angebracht. Diese werden durch den Wasserfluss angetrieben und sollen elektrische Energie für den Pumpmotor produzieren. Gleichzeitig könnte die Wasserfassade auch verschmutzte Luft filtern; Die Verschmutzungspartikel werden vom Wasser erfasst mit dem Wasser nach unten in das Auffangbecken abtransportiert.

3.4.4 Verdunstung



71





72

71 I Bepflanzungen zur Kühlung außerhalb und innenhalb der Wohneinheit, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2014.

72 I Frangipani-Bäume vor den Wohneinheiten des Wohnhochauses The Met, Bangkok, Thailand, Quelle: WOHA-Architekten, Singapur 2003.

„Jede Pflanze, jeder Baum transpiriert und stellt eine natürliche Klimaanlage dar. Aloys Bernatzky, Altmeister der deutschen Baumkunde, hat 1978 in seinem Buch‚Baumchirurgie und Baumpflege' den Funktionswert einer 100-jährigen freistehenden Buche bei besten ökologischen Voraussetzungen beschrieben. Dieser 25 m hohe Baum mit einer Kronenbreite von 14 m, einem Kronenvolumen von 2.700 m^3 und einer innerzellularen Blattfläche von 160.000 m^2 nimmt stündlich 2.352 g CO^2 und 960 g Wasser auf."[4] Das aufgenommene Wasser wird in Form von Verdunstung wieder abgegeben und kühlt dabei die vorbeiströmende Luft ab.

In Stadtzentren jedoch, wo die Solarstrahlung nicht zur Verdunstung von Wasser führt, wird deren Energie in langwellige Wärmestrahlung umgewandelt. „Gebäude in Städten sind von diesem urbanen Hitzeinseleffekt betroffen; innere Wärmelasten werden in den Sommermonaten nicht ausreichend abgeführt", beklagt Marco Schmidt. Er ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Architektur der Technischen Universität Berlin und stellt weiter fest: „Die Lösung ist in der Regel eine Klimaanlage, bei der die Kälte meist technisch über Strom erzeugt wird. In der Gesamtbilanz entsteht hierbei allerdings nicht Kälte im eigentlichen Sinne, sondern es findet eine Verschiebung von Energie statt. Wärme wird über eine Wärmepumpe einer Seite entzogen und auf ein anderes Medium übertragen. Da hierbei Strom verbraucht wird, wird bei Einbeziehen der gesamten Energieumwandlung mehr Wärme erzeugt als Kälte. Gebäude über Strom zu kühlen verschärft also das Problem der urbanen Hitzeinsel."[5]

Je größer die Blattfläche einer Pflanze, desto besser ist der Wirkungsgrad des Verdunstungsprozesses und umso wirkungsvoller wird die vorbeiströmende Luft gekühlt. In der Darstellung ist ein Schema mit Pflanzen außerhalb und innenhalb des Wohnraumes dargestellt. Auch bei außerhalb und innerhalb stehenden Pflanzen ist wieder wichtig, dass der durch die Pflanzen gekühlte Luftzug ins Innere der Wohnung hineinströmt und sich dort gut verteilen kann. Auch die Verdunstungskühlung durch Pflanzen ist in Kombination mit einer Querlüftung besonders gut wirksam. Im Wohnhochhaus *The Met* in Bangkok befinden sich vor vielen Wohneinheiten auf den Terrassen und Balkonen Frangipani-Bäume. Die Laubblätter dieser Pflanzengattung, der Enzianartigen, sind besonders derb und gestielt

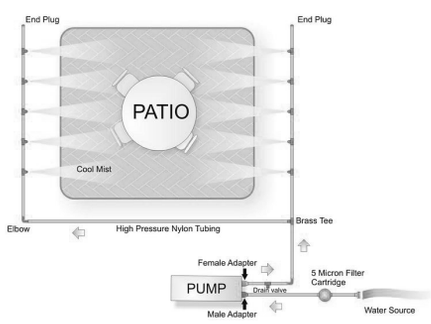
[4] Grimm, Rudi: Verdunstungskühlung durch Pflanzen, in: bi-GaLaBau - Fachzeitschrift für den Garten- und Landschaftsbau,Bd. 1,2, 2011.

[5] Ebda.

3.4.4 Verdunstung



73





74 75

73 | Sprühventilatoren in subtropischen städtischen Gebieten im Außenbereich, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

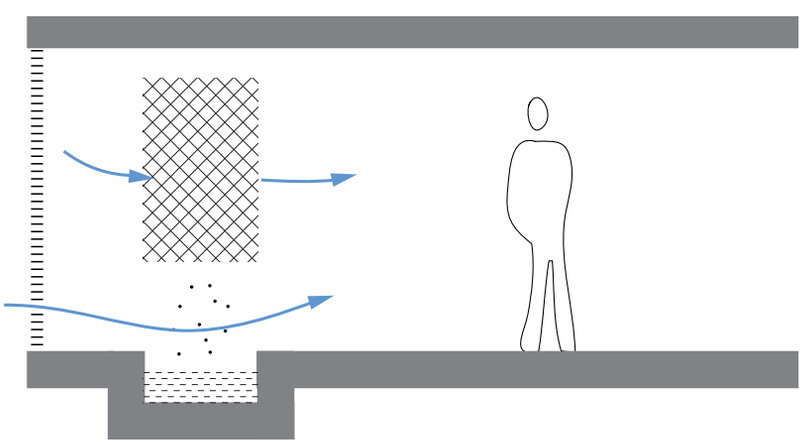
74 | Sprühnebel-System-Schema, Quelle: Firma MicroCool®, CA 92276-2618 US, 2010 (http://www.microcool.com/outdoor-cooling/contact-microcool.html, Stand: 28.03.2014).Sprühnebel-System in einer Wohnanlage in Thousand Palms, USA, Quelle: Firma MicroCool®, CA 92276-2618 US, 2010 (http://www.microcool.com/outdoor-cooling/contact-microcool.htm, (Stand: 28.03.2014).

75 | Sprühkopf zur Erzeugung von Wassernebel, Quelle: http://www.bete-duesen.de, (Stand: 28.03.2014).

ausgebildet. Dies hat den Vorteil, dass diese Pflanzen gegenüber starken Windkräften resident sind. Die außerordentliche Höhe des *The Met* (228 m) kann hohe Windgeschwindigkeiten bedingen. Im Fallbeispiel *The Met* wird auf die Bepflanzungen im Hochhausbau noch weiter eingegangen werden.

3.4.4.1.3 Trocknungsmittel

Mit Hilfe von Wasser absorbierenden Materialien wie zum Beispiel Trocknungsmitteln kann die Feuchtigkeit aus der Luft herausgenommen und trockene Luft erzeugt werden. Dieser Kondensationsprozess ist das Gegenteil des Verdunstungsprinzips. Obwohl dies kein Verdunstungsprozess ist, kann hier dennoch aus zwei Gründen die Behaglichkeit im Innenraum verbessert werden: Erstens können Trocknungsmittel die Feuchtigkeit absorbieren und mit der Reduzierung der Luftfeuchtigkeit wird das Hitze-Empfinden verbessert: Trockene heiße Luft empfinden wir als angenehmer als feuchte heiße Luft. Zweitens muss sich das Trocknungsmittel regenerieren, damit es wieder Feuchtigkeit aufnehmen kann. Hierbei wird das kondensierte Wasser durch die Schwerkraft zum Abtropfen gebracht. Das heruntertropfende Wasser kann in einem Becken gesammelt werden und von dort aus wiederum durch Verdunstungskühlung den Innenraum herunterkühlen. In der Grafik ist das Abtropfprinzip durch eine Masse mit Trocknungsmittel mit den jeweiligen Luftströmen innerhalb einer Wohneinheit dargestellt. Die Platzierung kann auch an der Fassadenaußenseite liegen. Wichtig ist hierbei die Positionierung



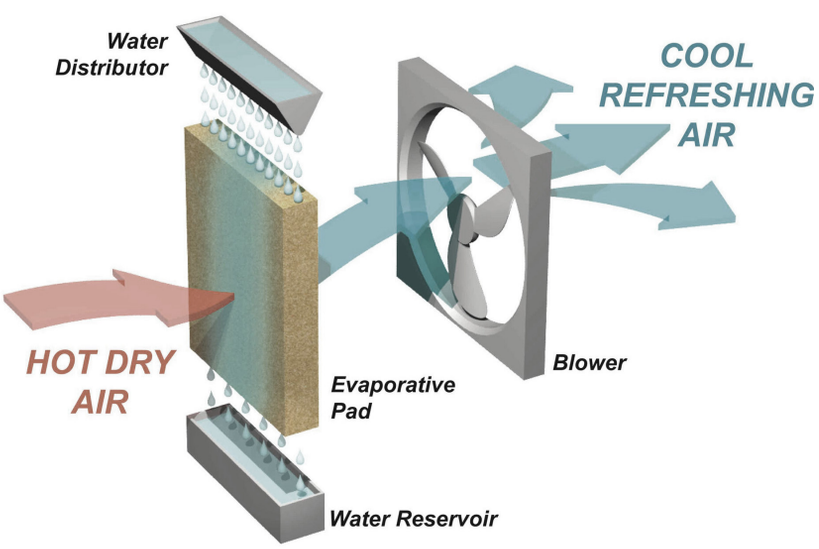
76

76 I Masse mit Trocknungsmittel und Abtropfprinzip mit den jeweiligen Luftströmen zur Entfeuchtung und Kühlung innenhalb der Wohneinheit, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2014.

3.4.4 Verdunstung



77



78

77 l Sprühnebel-System einer Wohnanlage in Thousand Palms, USA, Quelle: Firma MicroCool®, CA 92276-2618 US, 2010, http://www.microcool.com/outdoor-cooling/contact-microcool.htm, (Stand : 08.03. 2014).

78 l Prinzip der Single-Verdunstungskühlungsmaschine, Quelle: Rich Müller, Müller Design Lab,http://muellerdesignlab.wordpress.com/2012/04/20/diy-evaporative-cooler-design, (Stand : 08.03. 2014).

der Absorptionsmasse in einer Windströmung, um einen ausreichenden Luftwechsel zu ermöglichen.

3.4.4.1.4 Sprühvernebelung

Bei der Sprühvernebelung wird Wasser als feiner Wassernebel an die Luft abgeben und kühlt damit die Lufttemperatur herunter. Eine häufige Anwendung finden die Sprühventilatoren in subtropischen städtischen Gebieten im Außenbereich. Mit verschiedenen Sprühnebel-Systemen lässt sich mittels Hochdruckanlage ein feiner Wassernebel mit einer durchschnittlichen Tropfengröße von 50 bis 120 µm erzeugen. Diese kleine Tropfengröße wird durch die Sprühköpfe erzeugt. Allerdings ist zur Nutzung ein strombetriebenes technisches Equipment zur Versprühung von Frischwasser in einem Leitungssystem erforderlich. Ein solches Sprühnebel-System hat in der Regel mehrere Düsenöffnungen und eine elektronisch betriebene Wasserpumpe, wie in der Abbildung erkennbar ist.
Der Aufwand für die Installation und den Betrieb eines solchen Systems ist also groß. Eine Sprühvernebelung ist auch bei Wasserfontänen oder Springbrunnen möglich. Allerdings wird hierbei eine weniger kleine Tropfengröße wie mit einem Sprühkopf erzeugt, daher ist die Sprühvernebelung hier nicht so wirksam. Bei Springbrunnen wird Wasser mit weniger hohem Wasserdruck als beim Sprühnebel durch Leitungen ins Freie gepumpt. Ein Vorteil dieser öfter angewendeten Methode ist die angenehme akustische Ästhetik des Wassergeräusches: Das Geräusch des „Wasserplätscherns“ soll eine entspannende Wirkung auf Menschen haben.

3.4.4.2. Verdunstungskühlmaschinen

Der Prozess der Verdunstungskühlung kann auch durch maschinelle Verfahren erfolgen. Auch hier funktioniert die Kühlung nach dem Prinzip des physikalischen Verdunstungsprozesses: Beim Passieren von feuchten Filtern wird die Luft durch Verdunstung gekühlt. Auch hierfür sollte die Luft möglichst trocken und heiß sein, denn auch hier ist die Kühlleistung immer abhängig von der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit. Bis auf den Transport von Luft und Wasser wird zur Kälteerzeugung hier keinerlei mechanische, elektrische oder thermische Energie benötigt. Deshalb beträgt der Energieaufwand einer Single-Verdunstungskühlungsmaschine 10 % des Energieaufwandes einer Split-Klimaanlage, die mit Kühlflüssigkeit funktioniert.

Inhaltsverzeichnis - Teil 04

Teil 04 Analyse der Fallstudien

A Tropen

4.1 Vorstudie – tropisches Holz-Wohnhaus, Issan-Region, Thailand

4.1.1 Vergleich traditionelles Holz-Wohnhaus mit zeitgenössischem (konventionellem) massivem Wohnhaus
4.1.2 Issan – Wohnkomfortmessungen

4.2 Erste Fallstudie - *The Met*, Bangkok, Thailand

4.2.1 Projektbeschreibung
4.2.2 Natürliche Belüftung
4.2.3 Verringerung der Solaren Energieeinträge
4.2.4 Speichermasse
4.2.5 Verdunstungskühlung
4.2.6 Bewertung *The Met* nach Kennwerten
4.2.7 Verbesserungspotential/ Fazit

4.3 Zweite Fallstudie - *Skyville* at Dawson, Singapur

4.3.1 Projektbeschreibung
4.3.2 Natürliche Belüftung
4.3.3 Verringerung der Solaren Energieeinträge
4.3.4 Speichermasse
4.3.5 Verdunstungskühlung
4.3.6 Bewertung *Skyville* nach Kennwerten
4.3.7 Verbesserungspotential/ Fazit

B Subtropen

4.4 Vorstudie - traditionelles *Hakka-Tulou*, Longyan, China

4.4.1 Projektbeschreibung
4.4.2 Natürliche Belüftung
4.4.3 Verringerung der Solaren Energieeinträge
4.4.4 Speichermasse
4.4.5 Verdunstungskühlung
4.4.6 Fazit

4.5 Dritte Fallstudie - *Urban Tulou*, Guangzhou, China

4.5.1 Projektbeschreibung
4.5.2 Natürliche Belüftung, Speichermasse und solare Energieeinträge
4.5.3 Psychrometrisches Diagramm
4.5.4 Bewertung des *Urban Tulou* nach Kennwerten
4.5.5 Verbesserungspotential/Fazit

4.6 Vierte Fallstudie - *Ngau Tau Kok*, Hongkong

4.6.1 Projektbeschreibung
4.6.2 Natürliche Belüftung
4.6.3 Verringerung der solaren Energieeinträge
4.6.4 Speichermasse
4.6.5 Psychrometrisches Diagramm
4.6.6 Bewertung des *Ngau Tau Kok* nach Kennwerten
4.6.7 Verbesserungspotential/Fazit

4.1.1 Vergleich traditionelles Holz-Wohnhaus mit zeitgenössischem (konventionellem) massivem Wohnhaus

4.1.1.1 Typisches zeitgenössisches massives Einfamilien-Wohnhaus in Thailand
4.1.1.2 Typisches traditionelles Holz-Wohnhaus in Thailand
4.1.1.3 Kontinentales Klima in der Region Issan (Nordost-Thailand)
4.1.1.4 Seeklima in Bangkok (Zentral-Thailand)
4.1.1.5 Vergleichsstudie
4.1.1.6 Fazit

4.1.2 Issan – Wohnkomfortmessungen

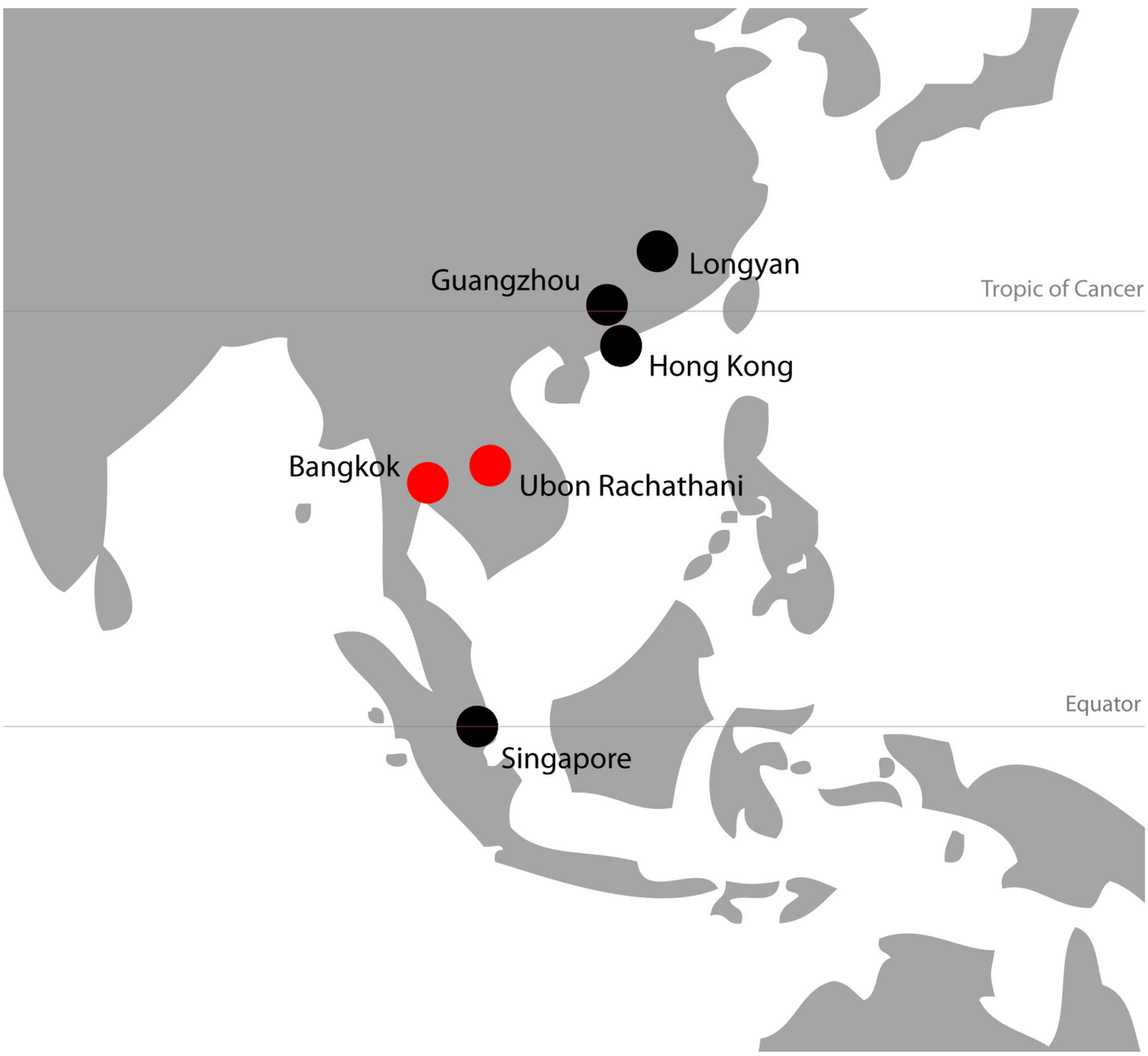
4.1.2.1 Projektbeschreibung
4.1.2.2 Messmethodik
4.1.2.3 Natürliche Belüftung
4.1.2.4 Verringerung der solaren Energieeinträge
4.1.2.5 Speichermasse
4.1.2.6 Ergebnis

01 | Phibun Mangsahan Mishom Garden, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.1 Vorstudie - tropisches Holzhaus Issan Thailand



4.1.1 Vergleich



02

02 I Standort Bangkok und Ubon Ratchathani (rote Punkte), Kartenausschnitt Asiens mit den sechs ausgewählten Standorten, Äquator und nördlichem Wendekreis, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013

In diesem Kapitel werden einerseits zwei Gebäudetypologien an jeweils zwei Klimastandorten (Bangkok und Issan) verglichen (4.1.1) und andererseits ein konkretes Wohngebäude im Issan untersucht (4.1.2). Der erste Teil basiert auf einer durchgeführten Studie auf theoretischer Basis mit Simulationsprogrammen, der zweite Teil auf eigenen Messergebnissen vor Ort.

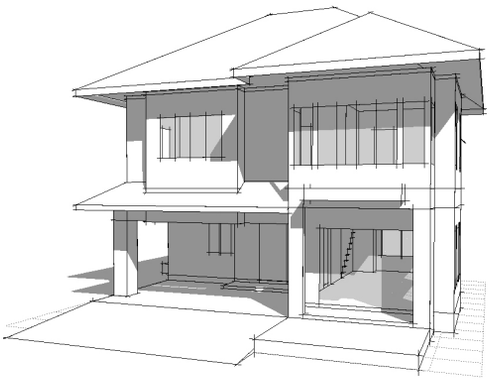
4.1.1 Vergleich traditionelles Holz-Wohnhaus mit zeitgenössischem (konventionellem) massivem Wohnhaus

In diesem Kapitel werden zwei Wohngebäudetypologien miteinander verglichen: ein traditionelles Holz-Wohnhaus und ein zeitgenössisches (konventionelles) massives Wohnhaus. Gleichzeitig wird der Aspekt der äußeren Umwelteinflüsse an zwei unterschiedliche Klimastandorten untersucht, nämlich in Bangkok (Zentral-Thailand) und in der Region Issan (Nordost-Thailand). Die beiden Standorte sind auf dem Kartenausschnitt von Asien mit zwei roten Punkten markiert.

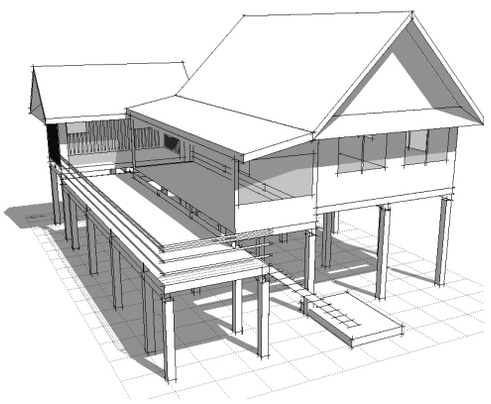
Es werden hier also insgesamt vier Fallanalysen dargestellt und miteinander verglichen. Hierzu wird eine 2006 durchgeführte Studie eines Wissenschaftsteams der *School of Architecture, University of Portsmouth, UK*[1] herangezogen. Da in der Vergangenheit in den tropischen Regionen keine Wohnhochhäuser existierten, werden jeweils Einfamilienhäuser miteinander verglichen. Mit der Betrachtung der unterschiedlichen Wohntypologien und der verschiedenen Klimastandorte in der tropischen Region soll evaluiert werden, welche der beiden Typologien mit welchen architektonischen Ausbildungen einen besseren Wohnkomfort bietet. Hierbei werden Charakteristika wie konstruktiver Aufbau, Material und Fensteröffnungen untersucht und Eigenschaften wie Speichermasse, Verschattung und natürliche Lüftung bewertet. Ortsbezogene klimatische Wetterbedingungen wie Sonnenintensität, Temperatur und Luftfeuchtigkeit werden hier ebenfalls mit einbezogen. Mögliche positive Aspekte von architektonischen Entwurfsmitteln im Sinne von baulichen Maßnahmen, welche zur Verbesserung des Innenraumkomforts und zur Energieeinsparung beitragen können, sollen explizit hervorgehoben und erläutert werden. Im Folgenden werden zunächst die beiden Gebäudewohntypologien und die beiden unterschiedlichen Klimastandorte definiert und beschrieben.

[1] Antarikananda , Paruj / Douvlou, Elena / McCartney, Kevin: Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand, in: PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6–8 September 2006, School of Architecture, University of Portsmouth, UK 2006.

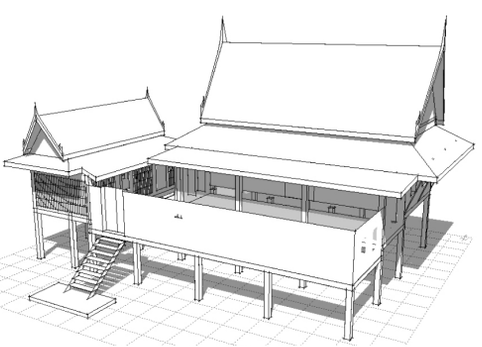
4.1.1 Vergleich



03



04



05

03 I Typisches zeitgenössisches Einfamilienhaus in Thailand, Quelle: Paruj Antarikananda, Elena Douvlou, Kevin McCartney: „Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand", in: PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6–8 September 2006, School of Architecture, University of Portsmouth, Großbritannien , 2006, S. 2.

04 I Traditionelles Wohnhaus in der Zentralregion von Thailand, Quelle: Ebda, S. 3.

05 I Traditionelles Wohnhaus in der Zentralregion von Thailand, Quelle: Ebda.

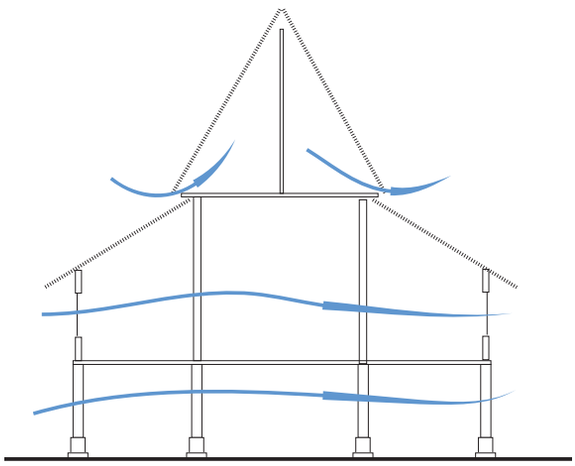
4.1.1.1 Typisches zeitgenössisches (konventionelles) massives Einfamilienhaus in Thailand

Das typische konventionelle Einfamilienhaus, wie es in vielen Regionen Thailands derzeit gebaut wird, ist in Massivbauweise erstellt. Die Tragstruktur und die Böden sind aus Stahlbeton, die Wände sind meist mit Ziegelsteinen ausgefacht. Die Innenwände sind entweder ebenfalls massiv oder in leichter Konstruktion erstellt. In leichter Bauweise sind sie meist mit Gipskartonplatten bekleidet. Das Dach ist oft als Zelt- oder Walmdach ausgeführt und zumeist aus Betonfertigteilen erstellt oder mit Dachziegeln eingedeckt. Die Fenster sind mit Einscheibenverglasungen ausgestattet. In der Darstellung des konventionellen Einfamilienhauses ist ersichtlich, dass die Gebäudeöffnungen im Vergleich zum traditionellen Wohngebäude größer sind. Damit soll mehr Licht ins Innere der Wohnung kommen, da der Anspruch an einen helleren Wohninnenraum gestiegen ist. Heutzutage ist die Tageslicht-Intensität ein wesentlicher Faktor der Wohnqualität. Um in einem typischen Einfamilien-Wohnhaus in Thailand das gewünschte Innenraumklima zu gewährleisten, werden hier Split-Klimaaggregate betrieben. Es wird also ein künstliches Mikroklima in jedem dieser Wohnhäuser hergestellt, um Behaglichkeit und somit gute Wohnbedingungen zu schaffen. Die Einfamilienhäuser werden meist in Vororten und angrenzenden Stadt-Peripherien erstellt und stehen in einigem Abstand zueinander, sodass Bepflanzungen und Bäume zur natürlichen Verschattung der Häuser beitragen können. Aber auch in Stadtzentren werden Wohnhäuser dieses Typs gebaut, vor allem in Bangkok, mit zunehmend engerem Abstand zueinander. Somit reduziert sich die Möglichkeit, das Mikroklima mit Bepflanzungen positiv zu beeinflussen.

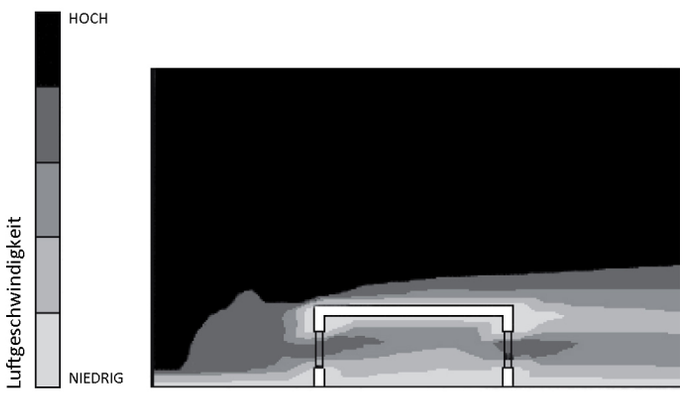
4.1.1.2 Typisches traditionelles Holz-Wohnhaus in Thailand

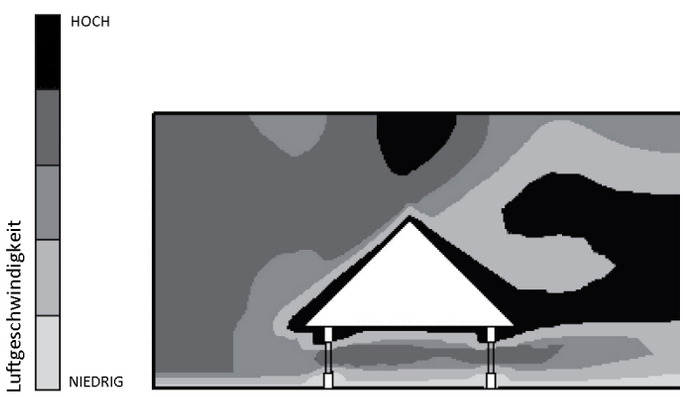
Das traditionelle Wohnhaus in der Zentralregion von Thailand ist, wie in der Darstellung zu sehen, in Holz-und Bambus Leichtbauweise erstellt. Das Haus ist um 1–2 Meter aufgeständert, um vor Hochwasser, durch häufigen Regen verursachte Springfluten, Insekten und Reptilien zu schützen. Durch die großen überkragenden Dächer und Schiebeelemente wird der Innenraum vor eindringendem Regen geschützt. Die Terrassen sind ebenfalls aus Holz und durchlässig konstruiert, damit das Regenwasser hindurchfließen kann. Weit

4.1.1 Vergleich



06





07

06 I Luftströmungen beim traditionellen Holz-Wohnhaus, Quelle: G. Hardiman: Untersuchung natürlicher Lüftungssysteme zur Verbesserung des Raumklimas von kostengünstigen Wohnhäusern auf Java/Indonesien, Doktorarbeit, Universität Stuttgart 1992, überarbeitet von Ferdinand Oswald 2013.

07 I Wirkung von Flachdach und Giebeldach auf die Windgeschwindigkeit, Quelle: J. Kindangen, G. Krauss and P. Depecker, „Effects of roofs shape on wind-induced air motion inside buildings", Building and Environment (1997), Vol. 32, No. 1, S. 1–11.

auskragende Vordächer schützen vor Sonne und Regen. Die Dachvorsprünge sind oft vorhanden, um den Grad der Verschattung zu erhöhen. Hierbei werden Teile der Außenfassade und teilweise auch Terrassenbereiche vor Sonneneinstrahlung geschützt. Öffnungen im Dachbereich sind nur an der vertikalen Giebelseite des Gebäudes angeordnet. Die Traufseite des Daches ist hier geschlossen ausgeführt. Die Dachabdeckung ist meist aus Stroh oder Holzschindeln. Die Fassadenöffnungen sind nicht verglast, um möglichst viel Luft ins Innere zu bekommen. Die Typologie des traditionellen Wohnhauses der nordöstlichen Region von Thailand ist sehr ähnlich wie die der Zentralregion. In der Darstellung ist zu erkennen, dass Öffnungen im Dachbereich an der Giebelseite und Traufseite des Gebäudes angeordnet sind. In diesen Öffnungen zwischen den unterschiedlichen Dachschrägen kann Frischluft eindringen. Das Walmdach, bei dem nur der untere Giebelteil abgeschrägt ist, wird im Allgemeinen als Fußwalmdach bezeichnet. Weitere Informationen zu den unterschiedlichen traditionellen regionalen Wohnhaustypen in Thailand können in der Architektur-Datenbank„Asian Historic Architecture“[2] nachgelesen werden.

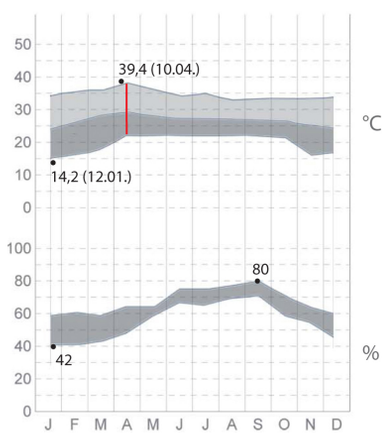
Das Giebeldach ist sehr spitz zulaufend, um einen guten Regen-Abfluss zu gewährleisten und die natürliche Belüftung zu fördern. Wie oben bereits erwähnt, gibt es an der Giebelseite und oft am Dachfirst Öffnungen zur natürlichen Belüftung. Somit gibt es drei Frischluftströmungen im Haus, die in der folgenden Grafik dargestellt sind:
Der erste Windstrom fließt unter dem Haus durch den aufgeständerten Bereich hindurch. Die zweite Luftströmung durchquert die Wohnräume durch die Gebäudeöffnungen und trägt somit am wirksamsten zur Kühlung der Bewohner bei, da sie direkt mit dem Luftstrom in Kontakt kommen. Der dritte Luftstrom durchströmt durch die Dachöffnungen das Dach. Hier kann auch durch die Erwärmung nach oben gestiegene Luft herauszirkuliert werden. Dadurch wird die Strömungsgeschwindigkeit des mittleren Luftstroms beschleunigt und funktioniert auch bei schwachen Windstärken. Bei sehr geringer Luftgeschwindigkeit im Freien funktioniert die vertikale Luftbewegung innerhalb des Gebäudes.[3] Diese Luftbewegung wird durch Auftrieb der warmen Luft bei Temperaturunterschieden verursacht.

[2] Knierim , T: Asian Historic Architecture, Online unter: http://www.orientalarchitecture.com/thaicountryside/thaihousesbindex.htm, (Stand: 11. 2004).

[3] Vgl. Prianto, E. / Bonneaud, F. / Depecker, P. / Peneau, J. P.: Tropical Humid Architecture in Natural Ventilation Efficient Point of View. A Reference of Traditional Architecture in Indonesia, in: CERMA Laboratory / Ecole d'Architecture de Nantes, France: International Journal on Architectural Science Nr. 2 (2000) , Bd. 1, S. 87.

4.1.1 Vergleich

In einer Studie des französischen CERMA-Instituts wurden die unterschiedlichen Wirkungen eines Flachdaches und einer Giebeldachform auf die Windgeschwindigkeit simuliert. In den beiden Abbildungen ist zu erkennen, wie die Giebeldachform in der eingeschossigen Bauweise die Windgeschwindigkeit innerhalb des Wohnraumes erhöht. Die geringen Windgeschwindigkeiten sind hier hell und die hohen Luftgeschwindigkeiten sind dunkel dargestellt. „In Architektur in tropisch-feuchten Regionen, reduziert ein Giebeldach die Luftgeschwindigkeit außerhalb des Gebäudes. Aber innerhalb des Gebäudes passt sich die Luftgeschwindigkeit dem Staudruckes des Öffnungsquerschnittes an."[4] Durch die Verkleinerung des Windkorridors (Venturi-Effekt), hier verursacht durch die Erhöhung des Giebeldaches, wird also die Luftgeschwindigkeit durch die Wohnräume erhöht. Ein Steildach kann klimatische Probleme wie Regenschauer besser lösen und bietet zudem eine bessere Verschattung und Erhöhung der Luftgeschwindigkeiten), wenn der Winkel des Daches mindestens 45° beträgt.[5] Interessant wäre es, eine solche Windsimulation mit einem höheren zweigeschossigen Gebäude mit Flachdach durchzuführen. Es ist anzunehmen, dass die Windgeschwindigkeiten innerhalb des Gebäudes bei gleichen Öffnungsquerschnitten dann noch höher sind als bei den beiden vorherigen Gebäudetypologien.
Damit die Bewohner im traditionellen Holz-Wohnhaus jeweils den angenehmsten Komfort erhalten, halten sie sich während eines 24-Stunden-Zyklus an verschiedenen Orten innerhalb des Hauses auf. So sucht man tagsüber, während der starken Sonnenstunden, den Schatten auf und abends und morgens, bei schwächerer Sonneneinstrahlung, hält man sich auf der offenen Terrasse auf.



08

08 I Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit für ein Jahr im Monatsdurchschnitt mit Jahreshöchst- und -niedrigstem Wert für den Klimastandort Ubon Ratchathani, Region Issan, nordöstliches Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald; Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

[4] Kindangen, J. / Krauss , G. / Depecker, P.: Effects of roofs shape on windinduced air motion inside buildings, in: Building and Environment Nr.1 (1997), Bd. 32, S. 1–11.

[5] Vgl. Ebda.

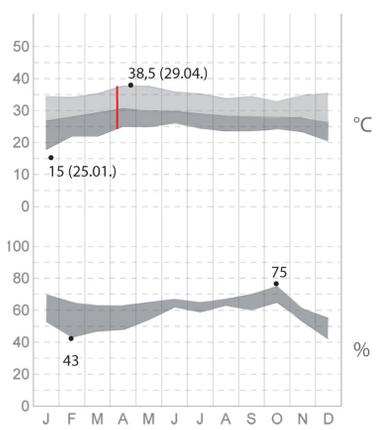
Um in einem traditionellen Holz-Wohnhaus in Thailand das gewünschte Innenraumklima zu gewährleisten, wird die passive Methodik der natürlichen Belüftung intensiv angewendet. Dieser Gebäudetyp nutzt also die bestehende Witterung bestmöglich. Diese traditionelle Bauweise wird heutzutage noch häufig in ländlichen Gebieten verwendet. Hier sind die Häuser meist in größeren Abständen zueinander aufgestellt, sodass Bepflanzungen und Bäume zur natürlichen Verschattung des Hauses beitragen können, indem sie ebenfalls das Mikroklima um das Haus herum verbessern. Die Pflanzen können Temperatur und Luftfeuchtigkeit vermindern.

4.1.1.3 Kontinentales Klima in der Region Issan (Nordost-Thailand)

Für die exakte Definition des Klimas in Nordost-Thailand, auch als Issan-Region bezeichnet, wurden die spezifischen Wetterdaten von Ubon Ratchathani herangezogen. Die Verwaltungszone Ubon Ratchathani liegt an der Grenze zu Laos im Osten und an der zu Kambodscha im Süden. Das Gebiet liegt in einer Hochebene 115 Meter über dem Meeresspiegel. Aufgrund der Lage im Landesinneren herrscht hier generell ein kontinentales Klima – siehe hierzu das vorherige Kapitel „2.2 subtropisches und tropisches Klima". Dort wurde bereits erläutert, dass die Temperaturschwankungen (Winter/Sommer und Tag/Nacht) in der kontinentalen Klimazone stärker ausgeprägt sind. Im Temperaturdiagramm für Ubon Ratchathani ist erkennbar, dass die Temperaturen für ein Jahr im Monatsdurchschnitt im Jahreshöchst- (39,4 °C) und -niedrigsten Wert (14,2, °C) sehr stark auseinandergehen. Dies ist auch erkennbar am breiteren Temperaturstreifen im Temperaturdiagramm, im Vergleich zum schmaleren Temperaturstreifen für Bangkok (siehe Temperaturdiagramm Bangkok unten). Die durchschnittliche Jahrestemperatur ist in Ubon Ratchathani niedriger als in Bangkok – dies lässt sich an der Linie in der Mitte des Temperaturstreifens des jeweiligen Temperaturdiagramms ablesen. Die Luftfeuchtigkeit ist im Nordosten Thailands im Jahreshöchstwert zwar kurzzeitig höher (80 %) als das Zentralklima von Bangkok (75 %), doch im Jahresdurchschnitt ist der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in Ubon Ratchathani niedriger als in Bangkok.
Beides ist jeweils im Diagramm für relative Luftfeuchtigkeit ersichtlich.

4.1.1.4 Seeklima in Bangkok (Zentral-Thailand)

Für die exakte Definition des Zentralklimas in Thailand wurden die spezifischen Wetterdaten von Bangkok herangezogen. Die Hauptstadt Bangkok liegt an der Meeresküste im Golf von Thailand und auf der Höhe des Meeresspiegels. Aufgrund der Lage am Meer herrscht hier ein Seekima, welches die Temperaturdifferenzen des Winters/Sommers und des Tag-Nacht-Zyklus ausgleicht, weil das Wasser im Meer als Wärmespeicher wirkt. Im Klimadiagramm für Bangkok ist erkennbar, dass die Temperaturdifferenzen für ein Jahr im Monatsdurchschnitt im Jahreshöchst- (38,5 °C) und -niedrigstem Wert (15,2 °C), nicht so stark ausgeprägt sind wie die im kontinentalen Nordosten Thailands. Die durchschnittliche Jahrestemperatur ist in Bangkok jedoch höher als in Ubon Ratchathani. Die höhere Temperatur ist auch damit zu begründen, dass Bangkok als Großstadt viele versiegelte Oberflächen und massive Baukörper aufweist. Der Hitzeinsel-Effekt dieser betonierten Metropole lässt die Temperaturen, die aufgrund der geografischen Lage ohnehin hoch sind, noch weiter ansteigen. Dies lässt sich an der mittleren Linie im Temperaturstreifen des Temperaturdiagramms ablesen: Diese liegt höher als im Temperaturdiagramm für Ubon Ratchathani. Die Luftfeuchtigkeit ist in Bangkok im Jahreshöchstwert zwar niedriger als in Ubon Ratchathani, doch im Jahresdurchschnitt ist der Feuchtigkeitsgehalt der Luft in Bangkok höher als der in Ubon Ratchathani. Beides ist ebenfalls in den Diagrammen ersichtlich.



09

09 I Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit für ein Jahr im Monatsdurchschnitt mit Jahreshöchst- und -niedrigstem Wert für den Klimastandort Bangkok, Region Zentralthailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald; Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013

4.1.1.5 Vergleichsstudie

Die Ergebnisse der Vergleichsstudie eines Forschungsteams der Universität Portsmouth„Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand“,[6] sollen hier nun wiedergeben werden:

Simulationsmethodik

Die Autoren verwendeten zur Simulation der Gebäudeklimastudie das Programm Ecotect und Square One. Hierbei wurden zwei Gebäudetypologien als dreidimensionale Modelle hinsichtlich der Einflüsse von Temperaturen, Sonnenständen und solaren Energieeinträgen an den beiden Klimastandorten überprüft. Die Wetterdaten hierzu wurden vom thailändischen Meteorologischen Institut[7] bezogen. Drei wesentliche Indikatoren wurden definiert und angewendet:

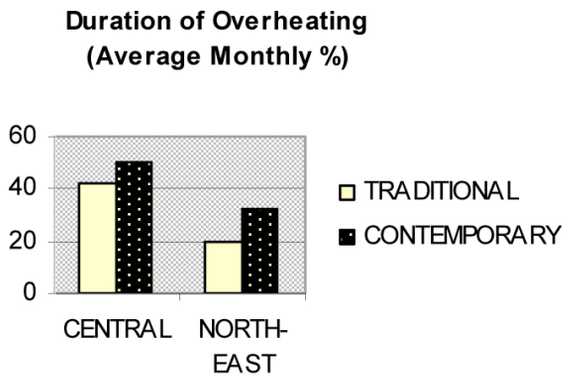
1. Die durchschnittliche monatliche Dauer in % der Überhitzung der Innenräume von traditionellem und modernem Wohnhaus in zentraler (Bangkok) und nordöstlicher Klimaregion (Ubon Ratchathani) in Thailand – die Zeitspanne der Überhitzung (Duration of Overheating) gibt Auskunft über die Dauer von heißen Perioden innerhalb der Wohnhäuser.

2. Die Intensität der Überhitzung (Intensity of Overheating) gibt die Hitzeintensität innerhalb der jeweiligen Wohngebäude in den einzelnen Klimaregionen gemessen in Stunden pro Jahr an. Dieser Faktor gibt Auskunft über Anzahl der Stunden mit Kühlbedarf pro Jahr – also derjenigen Stunden, in der eine Kühlung der Innenräume notwendig wäre – im Diagramm als Cooling Degree-Hours/Year angegeben.

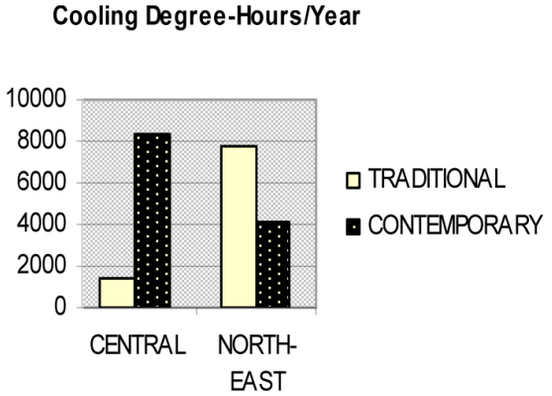
3. Die Kühlleistung (cooling load) bezeichnet die Kühlenergie, die theoretisch mit einer Klimaanlage aufgewendet werden müsste, um den Innenraum komfortabel zu temperieren und wird in kWh/Jahr/m^2 ausgedrückt.

[6] Antarikananda , Paruj / Douvlou, Elena / McCartney, Kevin: Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand, in: PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6–8 September 2006, School of Architecture, University of Portsmouth, UK 2006.

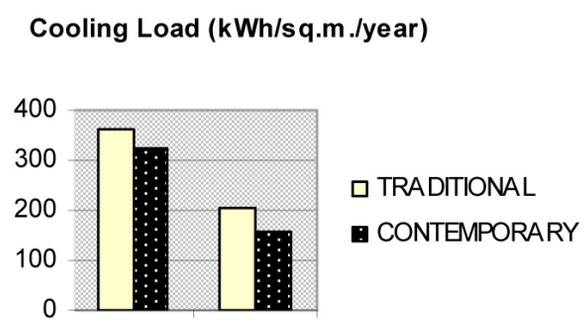
[7] Thai Meteorological Department, n.d.: Climate of Thailand, Online unter: http:// www.tmd.go.th/climate/climate_01.html. (Stand: 15.11.2004)



10



11



12

10 | Durchschnittliche monatliche Dauer der Überhitzung in % (Duration of Overheating) im traditionellen und modernen Wohnhaus in zentraler (Bangkok) und nordöstlicher Klimaregion (Ubon Ratchathani) in Thailand, Quelle: Paruj Antarikananda, Elena Douvlou, Kevin McCartney: „Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand", in: PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6–8 September 2006, School of Architecture, University of Portsmouth, Großbritannien, 2006.

11 | Intensität der Überhitzung (Intensity of overheating), angegeben in Anzahl der Stunden mit Kühlbedarf pro Jahr (Cooling Degree-Hours/Year) des traditionellen und des modernen Wohnhauses in zentraler (Bangkok) und nordöstlicher Klimaregion (Ubon Ratchathani) in Thailand, Quelle: Ebda.

12 | Kühlleistung (cooling load – kWh/Jahr/m^2) für angenehmen Komfort im Innenraum des traditionellen und modernen Wohnhauses in zentraler (Bangkok) und nordöstlicher Klimaregion (Ubon Ratchathani) in Thailand, Quelle: Ebda.

Durchschnittliche monatliche Dauer der Überhitzung

Die Temperaturen sind in beiden Klimaregionen im massiven modernen Wohnhaus höher als im traditionellen Wohnhaus. Das heißt, dass in beiden Klimaregionen ohne den Einsatz von mechanischen Kältemaschinen die Behaglichkeit im traditionellen Holz-Wohnhaus besser ist als die im konventionellen Wohnhaus. Dies ist höchstwahrscheinlich damit zu begründen, dass das traditionelle Holz-Wohnhaus eine höhere Luftwechselrate für die natürliche Belüftung umsetzen kann.

Anzahl der Kühlstunden

In der Zentralregion von Thailand ist beim zeitgenössischen Wohngebäude nicht nur die Dauer der Überhitzung länger, sondern auch die Anzahl der Kühlstunden im Vergleich zum traditionellen Wohnhaus. Dies ist auf die höheren solaren Energieeinträge durch die größeren Öffnungen zurückzuführen. Außerdem verhindern die Verglasungen in den Gebäudeöffnungen einen natürlichen Luftaustausch. Hinzu kommt, dass die architektonische Umsetzung des konventionellen Wohnhauses nicht so viel Verschattung leistet. Beispielsweise verschatten die Dachüberstände die Glasflächen nicht ausreichend. Gegenteilig verhält es sich jedoch in der nordöstlichen Klimaregion: Obwohl beim konventionellen Wohnhaus die Dauer der Überhitzung länger ist, sind hier deutlich weniger Kühlstunden nötig, nämlich nur 53 % der Kühlstunden des traditionellen Wohnhauses. In diesem Fall profitiert das konventionelle Wohnhaus von seiner massiven Konstruktion in einer Region, in der die Nachttemperaturen oft sehr niedrig sind, denn hier kann die in den massiven Gebäudewänden gespeicherte Kühle der Nacht tagsüber zur Kühlung genutzt werden.

Kühlleistung (kWh/Jahr/m^2)

Die Kühlleistung ist ein Indikator für die Energiemenge, die aufgewendet werden muss, um den Wohninnenraum behaglich zu halten. In beiden Klimaregionen ist die Kühlleistung beim konventionellen Wohngebäude ein wenig niedriger als beim traditionellen Wohnhaus, wie im Diagramm zu erkennen ist. Die verstärkte natürliche Belüftung und die leichte Gebäudekonstruk-

4.1.1 Vergleich

tion des traditionellen Wohnhauses sind die Gründe für sein schlechteres Ergebnis bezogen auf die erforderliche Kühlleistung, denn selbstverständlich ist die Wirksamkeit einer Klimaanlage schlecht, wenn die gekühlte Luft aus dem Innenraum durch die Fassadenöffnungen nach außen ventiliert wird. Die detaillierten zusammengefassten Simulationsergebnisse für das traditionelle und moderne Wohnhaus in zentraler (Bangkok) und nordöstlicher Klimaregion (Ubon Ratchathani) in Thailand sind in der folgenden Tabelle zu sehen.

Simulation Models	Discomfort				Total Heating Loads (kWh/year/m^2)	Total Cooling Loads (kWh/year/m^2)
	Too hot (average%/month)	Too cool (average%/month)	Total Too hot (Degree Hour/Year)	Total Too cool (Degree Hour/Year)		
Traditional house in central region	**41.58**	**4.92**	**1353**	**752**	**54.7**	**362.99**
Contemporary house in central region	**50.17**	**2.92**	**8308**	**552**	**25.4**	**324.56**
Traditional house in north-eastern region	**19.5**	**9.0**	**7736**	**366**	**8.58**	**206.26**
Contemporary house in north-eastern region	**32**	**6.83**	**4106**	**587**	**26.1**	**157.84**

13

4.1.1.6 Fazit

Die Ergebnisse der simulierten Gebäudemodelle des Forschungsteams geben interessante Aufschlüsse über die thermische Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen architektonischen Gebäudekonzepte und über die Möglichkeiten für Architekten, mit Hilfe von passiven Kühlmethoden den Energieverbrauch zum Kühlen zu reduzieren. Die vorangegangene Studie lässt vermuten, dass durch die Adaption von traditionellen Architekturkon-

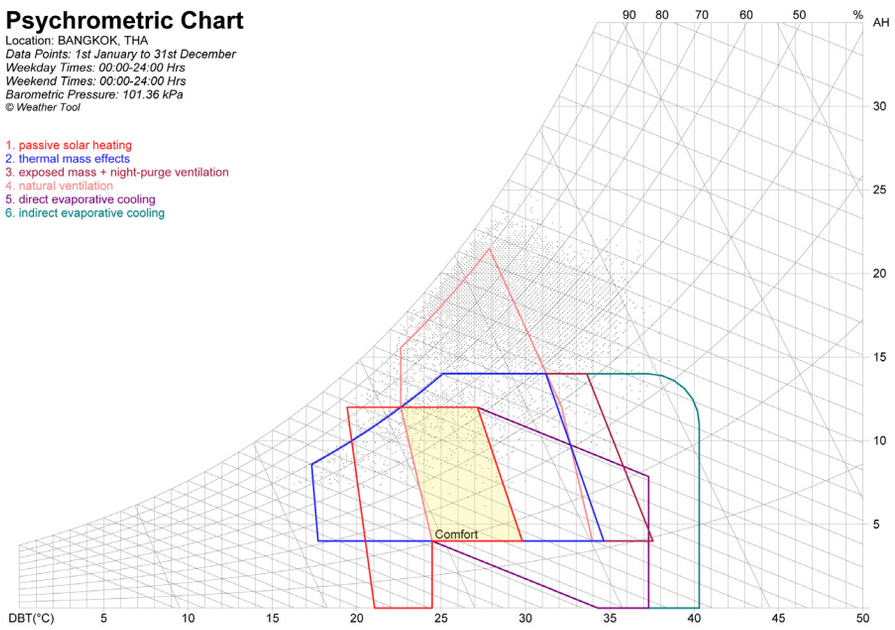
13 | Zusammenfassung der Simulationsergebnisse für ein traditionelles und ein modernes Wohnhaus in zentraler (Bangkok) und nordöstlicher Klimaregion (Ubon Ratchathani) in Thailand, Quelle: Paruj Antarikananda, Elena Douvlou, Kevin McCartney: Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand, in: PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6–8 September 2006, School of Architecture, University of Portsmouth, Großbritannien, 2006

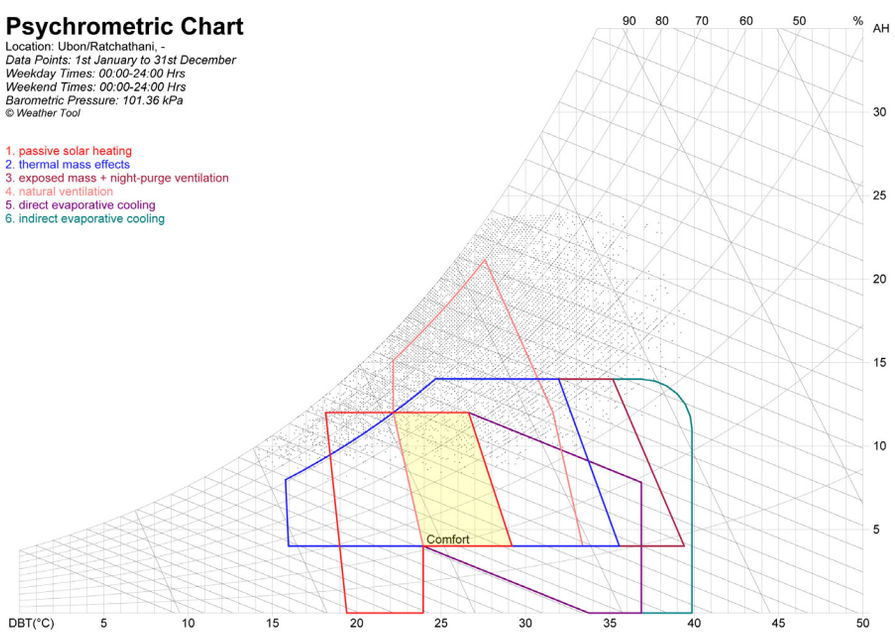
zepten die Innenraumbehaglichkeit ohne elektrisch betriebene Klimaanlagen verbessert werden kann. Im Allgemeinen kann man feststellen, dass in der Planung von zeitgenössischen tropischen Einfamilienhäusern kaum auf die Kühlung mit Klimaanlagen verzichtet wird. In beiden Klimaregionen wäre es jedoch sinnvoll, einige Konzepte beider Gebäudetypologien zu kombinieren. Welche architektonischen Mittel für welche Klimaregion am besten adaptiert werden sollten, soll hier nun aufgezeigt werden:

In der Zentralregion (Bangkok) scheint die massive Konstruktion weniger vorteilhaft zur Abmilderung von heißen Außentemperaturen zu sein. Tatsächlich zeigt der Vergleich der beiden pychrometrischen Diagramme von Ubon Ratchathani und Bangkok, dass die Speichermassenkühlung in Bangkok aufgrund der vorherrschenden Klimaverhältnisse schlechter funktioniert, denn die Hitze ist hier konstant höher und es gibt nicht so starke Temperaturunterschiede innerhalb des Tag-Nacht-Zyklus.

Umso wichtiger scheint es, in Bangkok das Augenmerk auf die natürliche Belüftung zu richten. Der Klimastandort Bangkok hat den Vorteil, dass es hier höhere Windgeschwindigkeiten mit über 50km/h gibt. Dadurch ist eine wirksamere natürliche Belüftung der Wohninnenräume möglich. Weiter ist beim Vergleich der beiden Windrosen zu erkennen, dass der Wind in Bangkok im gesamten Jahr hauptsächlich aus nördlicher und südlicher Richtung weht, während in Ubon Ratchathani die Windrichtung gleichmäßig auf alle Himmelsrichtungen verteilt ist. Dies ermöglicht es, die Gebäude in Bangkok nach den zwei Hauptwindrichtungen zu orientieren. Diese Wind-Orientierung bei der Gebäudepositionierung muss dann allerdings ebenfalls den Sonnenstand berücksichtigen. In Ubon Ratchathani hingegen sollte in die Planung des Gebäudes mit einbezogen werden, dass die Windrichtung über das ganze Jahr aus allen Richtungen erfolgen kann, sodass Grundrisse und Fassadenöffnungen dementsprechend entworfen werden.
Der Schutz vor solaren Energiegewinnen sollte mit Verschattungselementen aus leichten Materialien mit geringer Speicherkapazität realisiert werden, damit diese die Sonnenenergie nicht speichern. Die Weiterleitung der heißen Temperaturen an das Gebäudevolumen ist an diesen Stellen möglich und sollte vermieden werden. Verschattete Außenräume wie Terrassen und Balkone ermöglichen es den Bewohnern, diese abends und morgens zu nutzen. Weiter

4.1.1 Vergleich





14

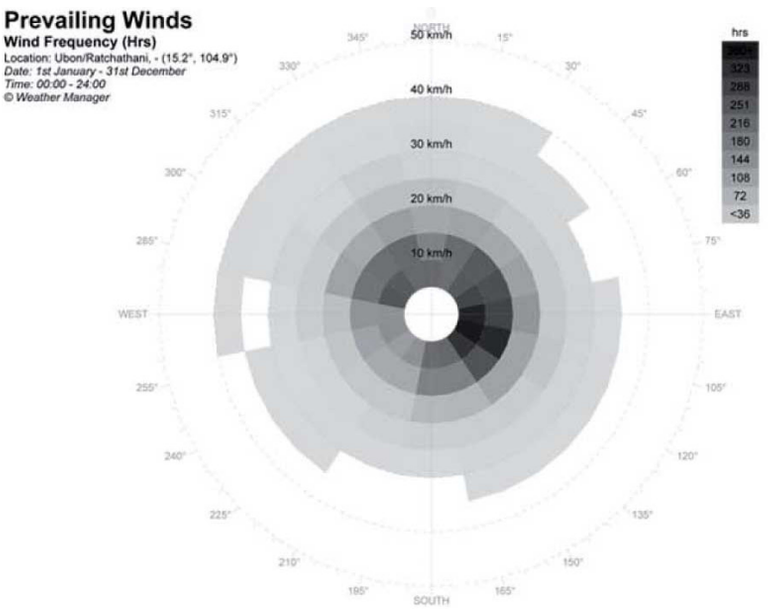
14 | Psychrometrische Diagramme mit Darstellung der Behaglichkeitszone sowie der passiven Kühl- und Heizmethoden von Bangkok und Ubon Ratchathani, Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

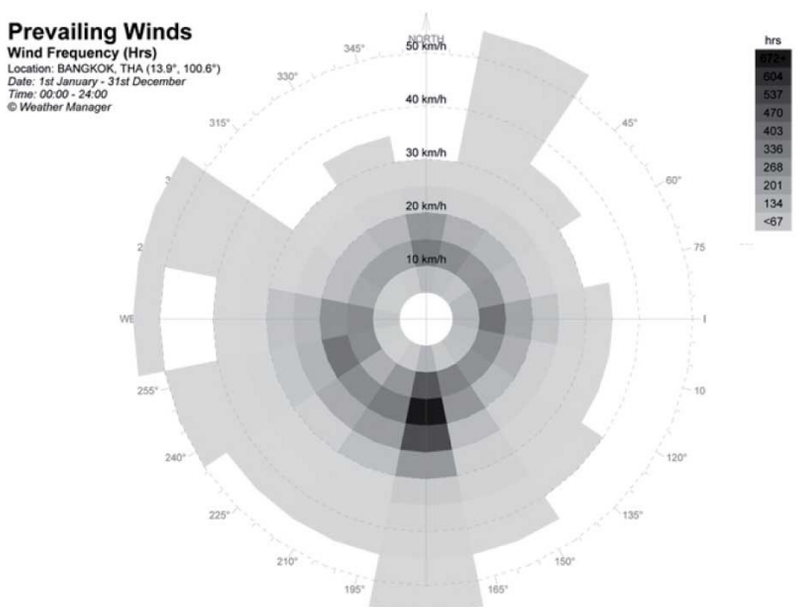
ist es sinnvoll, dieses kleine Wohnhaus (Einfamilienwohnhaus) aufzuständern, denn so kann die Bodenplatte im Erdgeschoss ebenfalls natürlich belüftet und auch von dort die gespeicherte Hitze des Tages fortgelüftet werden. Im übertragendem Sinne hieße dies für die Typologie eines höheren Wohnhauses, die Gebäudestruktur mit mehr Luftanteil zu gestalten, also poröser zu bauen. Hier könnte dann ebenfalls der Wind, in größeren Höhen mit höherer Geschwindigkeit, die gespeicherte Hitze des Tages fortlüften.

In Ubon Ratchathani ist es aufgrund des kontinentalen Klimas ein wenig einfacher, in den heißen Jahreszeiten einen behaglichen Gebäudeinnenraum zu erhalten, weil neben der Temperatur auch die Luftfeuchte niedriger ist. Denn das Empfinden der Behaglichkeit ist zwangsläufig nicht nur von der Temperatur, sondern auch von der Luftfeuchtigkeit abhängig. Eine Massivbauweise ist in dieser Klimaregion sinnvoll, um die kühlende Speichermasse zu nutzen. Die Abkühlung in der Nacht begünstigt die Nutzung der Speichermasse der massiven Außenwände. Im Detail wird die Kühle über Nacht in den Außenwänden gespeichert und tagsüber an den Innenraum abgegeben. Umgekehrt wird die gespeicherte Wärme des Tages nachts ins Innere des Hauses abgegeben. Um eine nächtliche Aufwärmung zu verhindern, muss deshalb nachts durch Öffnung der Fenster ein natürlicher Luftstrom erzeugt werden, der die warme Energie wieder hinausführt. Auch hier ist darauf zu achten, dass die massiven Gebäudeteile durch Verschattung vor zu starker Sonneneinstrahlung geschützt werden.

Auch in der kalten Jahreszeit sind massive Bauelemente hier vorteilhaft für die Innenraumbehaglichkeit. In der oben dargestellten Tabelle „Zusammenfassung der Simulationsergebnisse“ ist zu erkennen, dass die Heizleistung im modernen massiven Wohnhaus (25,4 kWh/Jahr/m^2) geringer ist als im traditionellen Holzhaus (54,7 kWh/Jahr/m^2). Die Heizleistung ist ein Indikator für die Energiemenge, die für Heiztechnik aufgewendet wird, um den Wohninnenraum behaglich zu halten. Dies spricht also ebenfalls für eine massive Konstruktion in der nordöstlichen Klimaregion, weil hier die Temperaturen oft unter den Komfortbereich sinken und das traditionelle Haus mit seiner leichten Holzkonstruktion gegen diese Temperaturschwankungen weniger geschützt ist. Die Bewohner sollten die Fassadenöffnungen auch hinsichtlich ihrer Bedürfnisse kontrollieren können. Wichtig ist hierbei, dass die verglasten Fenster offen gehalten werden können, ohne dass die Gefahr besteht, dass Diebe dort eindringen können.

4.1.2 Messungen





15

15 | Windrose mit Windrichtung, Windstärke und Häufigkeit, Klimastandorte Bangkok und Ubon Ratchathani, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.1.2 Issan – Wohnkomfortmessungen

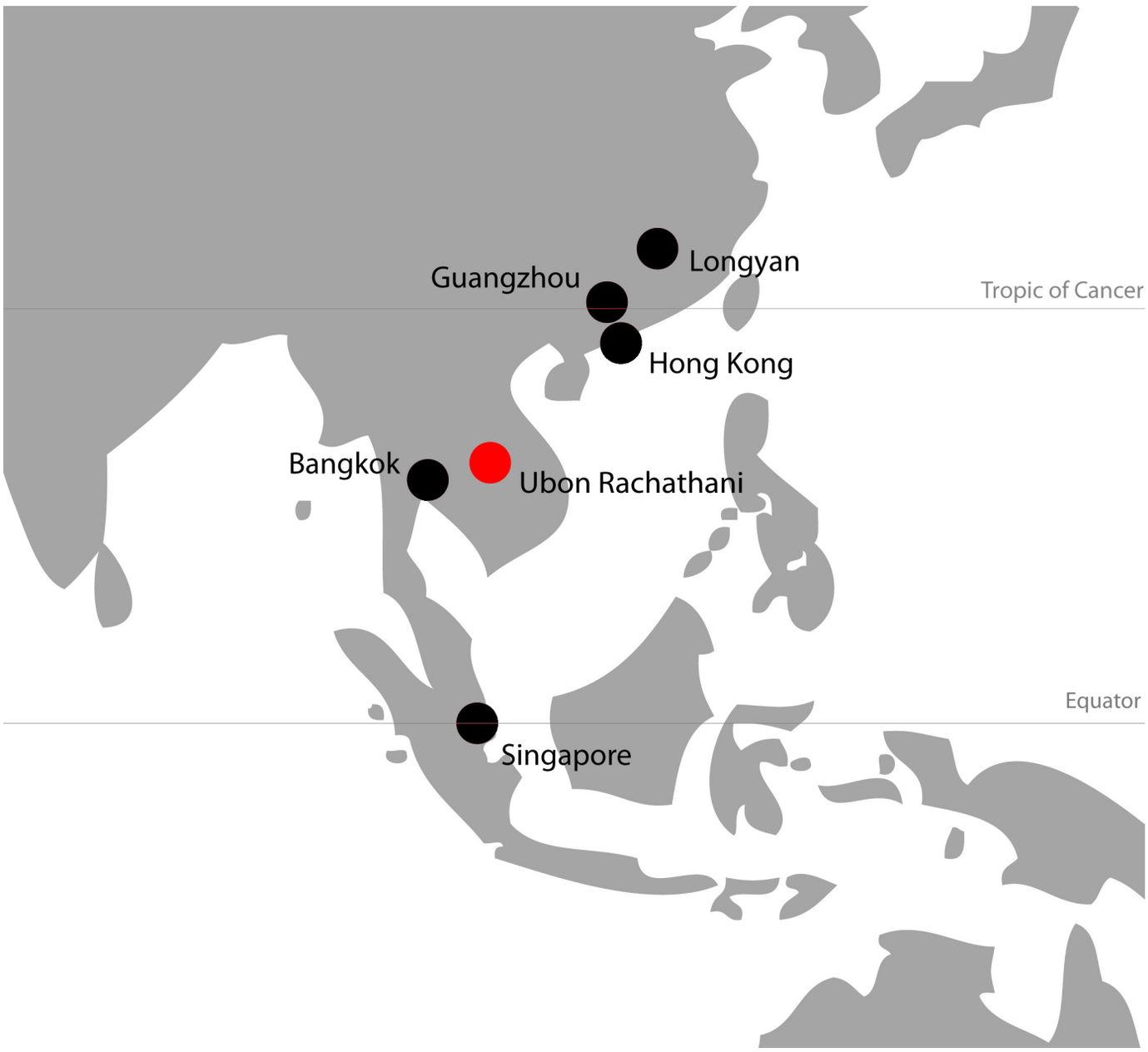
Um die vorangegangene Studie weiter zu vertiefen und zu überprüfen, habe ich im Issan, also in der nordöstlichen Klimaregion von Thailand, spezifische Messungen zur Evaluierung des Wohnraumkomforts in der heißesten Jahreszeit im Monat April durchgeführt. Diese Fallstudie stellt eine Vorstudie für die beiden Wohnhochhaus-Fallstudien Nr. 01 in Bangkok und Nr. 02 in Singapur dar. Alle diese drei Studien sollen die architektonischen Möglichkeiten zur Reduzierung des Energieaufwandes für Kühlung im tropischen Bereich evaluieren. Für diese Vorstudie wurde ein Gebäude ausgewählt, welches in einer gemischten Baukonstruktion sowohl in Massiv- als auch in Leichtbauweise erstellt ist. Die direkten Auswirkungen dieser unterschiedlichen Konstruktionsarten und ihr Einfluss auf die Innenraumbehaglichkeit sollen hierbei evaluiert werden. Die Wirkungsweisen der natürlichen Belüftung, der Speichermasse und der solaren Energieeintrage wurden hierfür untersucht.

Klima

Die Klimabedingungen für die Provinz Ubon Ratchathani wurden im vorherigen Kapitel „Klima in der Region Issan (Nordost-Thailand)“ bereits beschrieben. Detaillierte Wetterdaten wurden mit dem Programm ECOTECT Weather Manager mit den Klimadaten des Meteorologischen Instituts erstellt. Hier sind folgende Grafiken und Werte ablesbar:

- Grundriss des Hauses
- Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung der Gebäudefallstudie
- Temperatur-Jahresmaximum und -minimum sowie jährliche Temperaturdifferenz
- relative Luftfeuchte Jahresmaximum und -minimum
- Windrose mit Windrichtung, Windstärke und -häufigkeit

Die vor Ort gemessenen Klimadaten entsprechen denen des Meteorologischen Instituts; es gibt eine Abweichung von max. 1,7 °C.



16

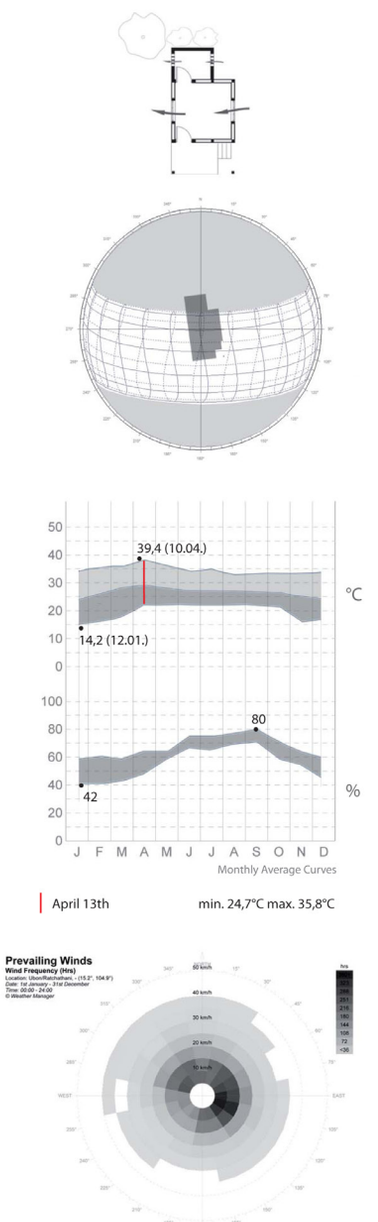
16 I Standort Fallstudie Ubon Ratchathani (roter Punkt), Kartenausschnitt Asien mit sechs ausgewählten Standorten, Äquator und nördlichem Wendekreis, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.1.2.1 Projektbeschreibung

Das Gebäude befindet sich in der Region Issan im nordöstlichen Thailand in der Provinz Ubon Ratchathani in der Nähe der Stadt Phibun Mangsahan. Auf der Übersichtkarte mit allen Fallstudien ist die Lage des Standortes in der Mitte des Festlandes zu erkennen.

Im Lageplan ist zu erkennen, dass das Haus in einer ländlichen Gegend direkt am Mun-Fluss liegt (auf Englisch umgangssprachlich „Moon River" = Mondfluss genannt). Die Häuser des *Mihom Garden Resort* dienen als Unterkünfte hauptsächlich für thailändische Touristen, die sich in der sehr landschaftlich geprägten Umgebung erholen möchten. Mehrere dieser sehr kostengünstig im Jahr 2010 erstellten Gebäude befinden sich auf dem Gelände am Fluss. Diese Bungalow-Gebäude im *Mihom Garden Resort* entsprechen weder dem traditionellen noch dem modernen thailändischen Wohnbautypus. Ähnlich wie die traditionellen Häuser sind sie aufgeständert konstruiert, die Fassaden des Wohnraumes sind mit einer leichten Holzvertäfelung verkleidet und es gibt einen überdachten Terrassenbereich am Eingang. Wesentliche Unterschiede zur traditionellen Bauweise sind die Öffnungen mit winddichten verglasten Fenstern. Des Weiteren gibt es eine kleinere Nasszelle, die in Form eines massiven Gebäudekörpers aus Mauersteinen erstellt ist. Diese ist rechts auf dem Foto zu erkennen.

4.1.2 Messungen



17

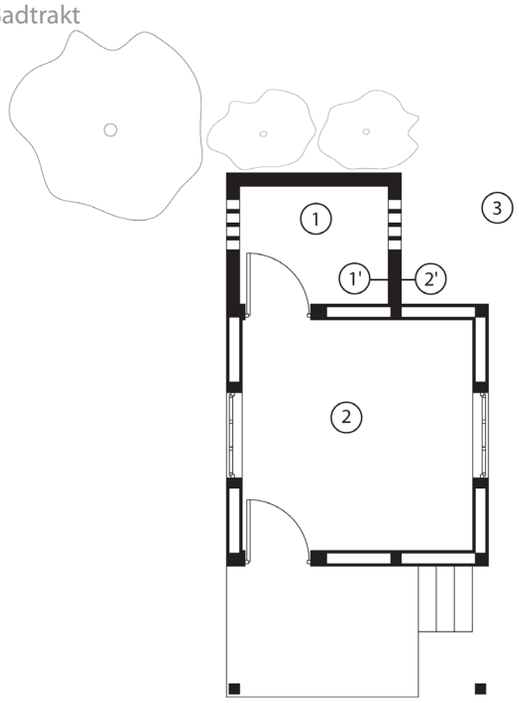
17 I Grundriss des Hauses; Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung der Gebäudefallstudie; Temperatur-Jahresmaximum und -minimum sowie jährliche Temperaturdifferenz; relative Luftfeuchte Jahresmaximum und -minimum; Windrose mit Windrichtung, Windstärke und -häufigkeit – Klimastandort Ubon Ratchathani, Region Issan, nordöstliches Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

4.1.2.2 Messmethodik

Ziel der Messungen war es, die massive und die leichte Baustruktur des Hauses zeitgleich bezüglich ihrer Wirksamkeit zur Verbesserung des Innenraumkomforts zu vergleichen. Die Innenraum- und Außenlufttemperatur sowie die Oberflächentemperatur des massiven Baukörpers wurden in einen 24-Stunden-Zyklus in einem Messintervall von ca. einer Stunde in Grad Celsius gemessen. Der Messzeitraum hierfür war der 13. bis 14. April 2013. Insgesamt wurden 5 Messpunkte definiert, die im Grundriss markiert sind:

Lufttemperatur:
1 - Innenraum Badezimmer,
2 - Innenraum Wohnzimmer,
3 - Außenluft;

Oberflächentemperatur:
1' - Innenseite Badtrakt,
2' - Außenseite Badtrakt



18

18 | Grundriss mit 5 Messpunkten. Lufttemperatur: 1 Innenraum Badezimmer, 2 Innenraum Wohnzimmer und 3 Außenluft; Oberflächentemperatur: 1' Innenseite Bad und 2' Außenseite Bad, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013.

4.1.2 Messungen



19



20

19 I Lageplan, Haus rot Markiert im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Quelle: Google Maps, überarbeitet von Ferdinand Oswald, 2013.

20 I Bungalow-Haus im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

Um die Wirksamkeit der Speichermasse des massiven Badkörpers zu evaluieren, wurde die Lufttemperaturdifferenz zwischen Badinnenraum und außen ermittelt. Zudem wurden die Uhrzeit der einzelnen Messungen, die jeweiligen Wetterverhältnisse zum Messzeitpunkt und die Luftfeuchtigkeit in % verzeichnet. Alle diese detaillierten Messergebnisse sind in der Tabelle am Ende dieses Kapitels ersichtlich. Aus den Temperaturmessdaten wurden zur Veranschaulichung der Ergebnisse Diagramme mit Temperaturverläufen erstellt. In den Grundrissen sind zu den ausgewählten Tages- und Nachtzeiten die Temperaturen, Windströmungen und solaren Energiegewinne schematisch ersichtlich.

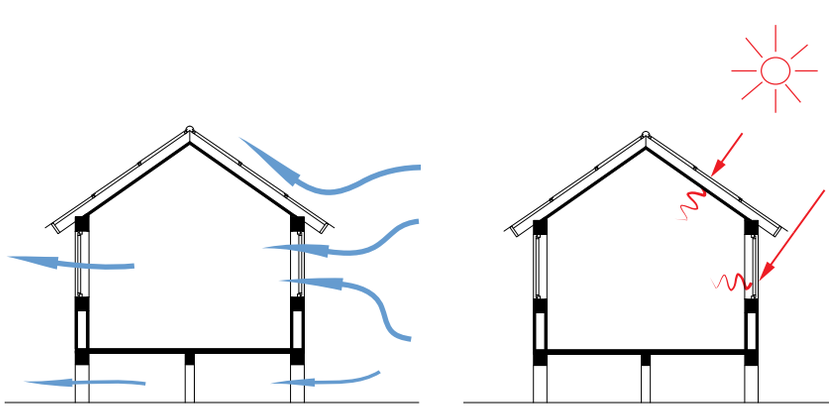
4.1.2.3 Natürliche Belüftung

Zwei Windströmungsarten sind bei dieser Fallstudie möglich: Der erste Windstrom fließt unter dem Haus durch den aufgeständerten Bereich hindurch. Der zweite Luftströmung durchquert die Wohnräume durch die Gebäudeöffnungen und trägt somit zur wirksamsten Kühlung der Bewohner bei, da sie direkt mit dem Luftstrom in Kontakt kommen. Ein dritter Luftstrom durch das Dach existiert hier nicht, denn die Dachform ist einfach ausgeführt – im Unterschied zum traditionellen thailändischen Holzwohnhaus gibt es hier keine Öffnungen am Giebel oder First des Dachbereiches, um Belüftungen vorzunehmen. Innerhalb des Wohnraumes sind keine vertikalen Entlüftungsmöglichkeiten vorhanden.
Die Fensteröffnungen sind nach Osten und Westen orientiert; eine Lüftung des Innenraumes mit Durchströmung desselben ist hier möglich. Das Schrägdach erhöht die Luftgeschwindigkeiten durch die Verkleinerung des Windkorridors (Venturi Effekt). Zudem kann die nach Süden orientierte Eingangstüre zur Über-Eck-Querlüftung genutzt werden. Hier schafft das Terrasseneingangsvordach den Effekt der Verschattung und somit einer geringen Abkühlung der einströmenden Luft. In Ubon Ratchathani gibt es keine Hauptwindrichtung, wie in der Windrose erkennbar ist. Durch die kleine Größe und die in drei Richtungen orientierten Fassadenöffnungen des Gebäudes ist die Lüftung gut an unterschiedliche Windrichtungen adaptierbar. Die natürliche Belüftung des Gebäudes spielt eine maßgebliche Rolle für die Behaglichkeit des Innenraumes. Im massiven Gebäudeteil muss sie die während des Tages in den massiven Wänden gespeicherte Wärme nachts

4.1.2 Messungen

durch Querlüftung hinausführen. Aus dem Wohnraum in Holzleichtbaukonstruktion hingegen sollte die Luft, die sich während des Tages durch solare Energiegewinne aufgewärmt hat, hinausgeführt werden. Im Diagramm „Lufttemperatur Innenraum Wohn/-Schlafzimmer und außen“ ist zu erkennen, wie sich die Lufttemperaturen innen und außen während der natürlichen Belüftung zwischen 9:00 Uhr morgens und 17:00 Uhr nachmittags fast angleichen. Obwohl die Temperatur bis auf 33 °C ansteigt, fühlt man sich durch die Luftbewegung relativ behaglich. Die Tageslüftung und der Abtrag der solaren Energiegewinne sind auch im Grundrissschema in der folgenden Abbildung erkennbar.

Hätte man die Öffnungen während des Tages geschlossen gehalten, dann hätte sich die Innenraumtemperatur durch die solaren Energieeinträge stark erhöht. Die Aufwärmung durch solare Energieeinträge ohne natürliche Belüftung ist im Grundrissschema in der folgenden Abbildung erkennbar. Bei einer leichten Holzkonstruktion ohne Speichermassenpotential wäre die ideale Lösung, auch in der Nacht eine natürliche Belüftung durch Öffnung der Fenster zu nutzen. In diesem Fall war jedoch kein Schutz vor eindringenden Stechfliegen, wie zum Beispiel Moskitonetze, vorhanden. Deswegen wurden beim Einsetzten der Dämmerung und gleichzeitigem Einschalten der künstlichen Beleuchtung die Fenster geschlossen, um die Stechmücken nicht ins Innere des Wohnraums zu locken. Trotz der Nachtabkühlung der Außentemperatur war die Innentemperatur um 2–4 °C wärmer, da die warme Luft des Tages durch die geschlossenen Öffnungen nicht entweichen konnte.



21 22

21 | Schnitt mit Windströmungsarten, Bungalow-Haus im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013.

22 | Schnitt mit solaren Energieeinträgen, Bungalow-Haus im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013.

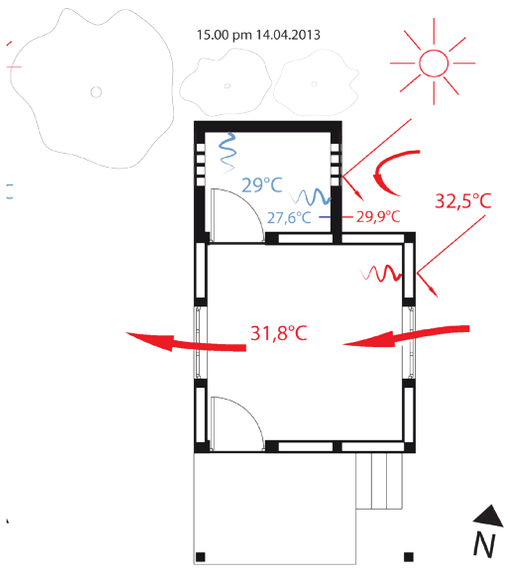
4.1.2.4 Verringerung der solaren Energieeinträge

Die Architektur des Hauses liefert keinen wesentlichen Beitrag zur Verringerung der solaren Energieeinträge. Die Dachüberstände sind kurz gehalten und verschatten die Fassadenöffnungen nicht. Die Fenster, die in Einscheibenglas ausgeführt sind, sind nicht verschattet, sodass die solaren Energien ungehindert durch diese Verglasungen in den Innenraum eindringen. Ein außenliegendes Verschattungselement oder Mehrscheibenverglasung würde hier die Wärmeentwicklung im Innenraum des Hauses wesentlich reduzieren. Zudem existiert weder ein Dach- noch ein Wandaufbau mit wärmedämmenden Eigenschaften. Die Hitze gelangt durch die dünne Holzverschalung und das Dach ohne zusätzliche Dämmeigenschaften sehr schnell ins Innere des Gebäudes und heizt es somit während des Tages stark auf.

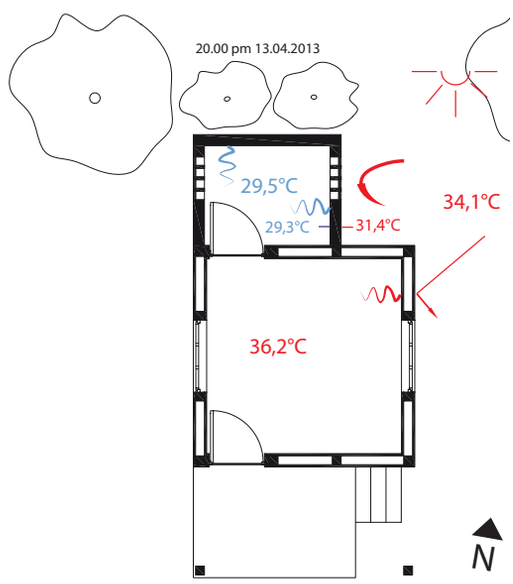
4.1.2.5 Speichermasse

Während man den Wohnraum in Leichtbauweise ab morgens durchlüftet halten sollte, sollten im kleinen massiven Bad-Anbau die Öffnungen morgens geschlossen werden. Hier kann nun die in der Nacht in den massiven Außenwänden gespeicherte Kühle zeitlich versetzt an den Innenraum abgegeben werden. Im Grundrissschema „Tagesnutzung der Kühle aus der Speichermasse“ ist dies ersichtlich. Im zweitem Temperaturdiagramm (Lufttemperatur Innenraum Badezimmer und Oberflächentemperatur Bad-Wand) ist zu erkennen, wie die Speichermasse der massiven Wand durch die Phasenverschiebung die Temperatur des Bades niedrig hält. An der Temperaturlinie des Bad-Innenraums (blauen Linie) ist zu erkennen, wie die Speichermassenkühlung zwischen den heißen und kühlen Außentemperaturen (rote Linie) nach innen vermittelt. Die graue Linie stellt die Oberflächentemperatur der massiven Badwandscheibe dar. Sie verhält sich quasi asynchron zur Außenlufttemperatur.

4.1.2 Messungen



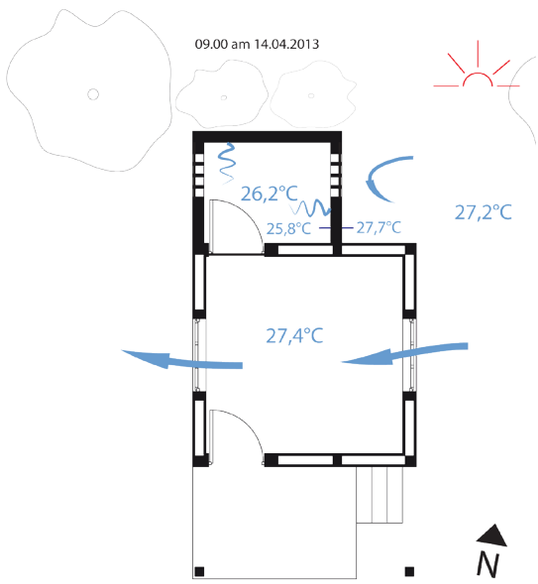
23



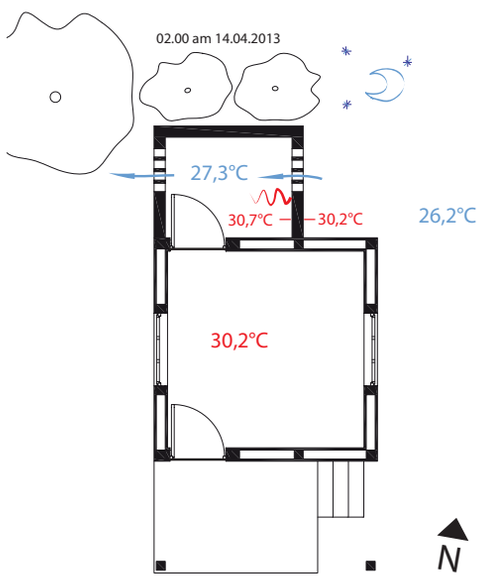
24

23 I Tageslüftung und Abtrag solarer Energiegewinne, Grundrissschema Bungalow-Haus im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013.

24 I Aufwärmung durch solare Energieeinträge ohne natürliche Belüftung, Grundrissschema Bungalow-Haus im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013.



25

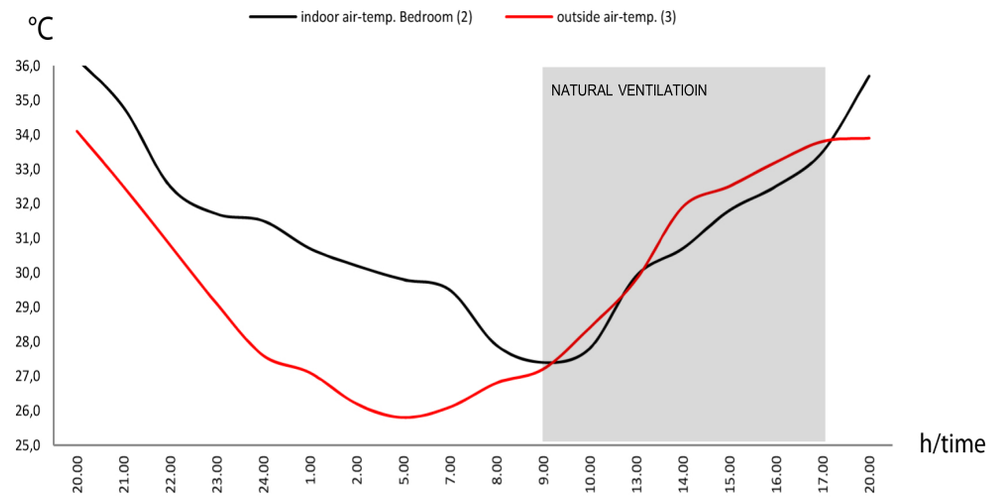


26

25 | Tagesnutzung der Kühle aus der Speichermasse, Grundrisschema Bungalow-Haus im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013.

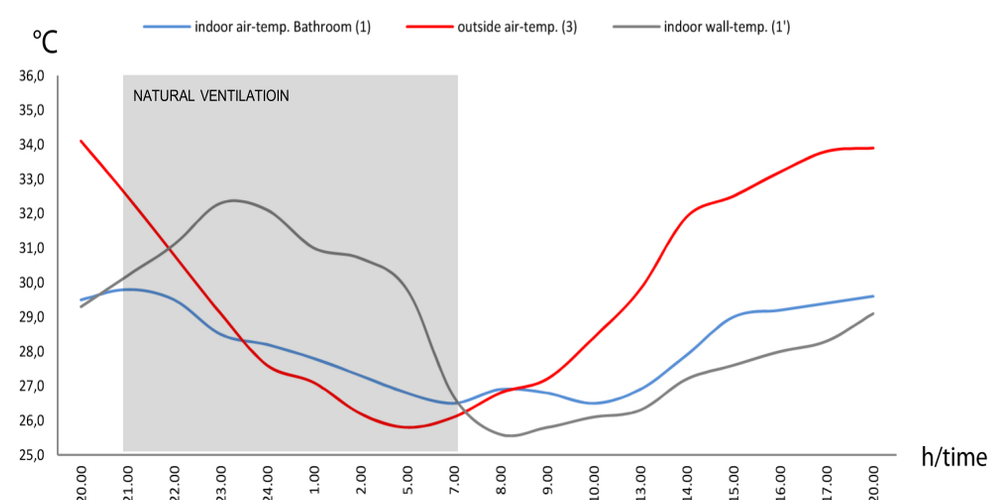
26 | Nachtlüftung und Abgabe von Wärme aus der Speichermasse, Grundrissschema Bungalow-Haus im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013.

4.1.2 Messungen



Ubon Rachathani Bedroom

27



Ubon Rachathani Bathroom

28

27 I Lufttemperatur Innenraum Wohn/-Schlafzimmer und außen, 24 Stunden Messungen 13. und 14. April 2013, Bungalow-Haus im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

28 I Lufttemperatur Innenraum Badezimmer und Oberflächentemperatur Bad-Wand, 24-Stunden-Messungen 13. und 14. April 2013, Bungalow-Haus im Mihom Garden Resort, Phibun Mangsahan, Provinz Ubon Ratchathani, Thailand, Eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.1.2.6 Ergebnis

Die Messresultate zeigen, dass in tropischen Gebieten wie dem Issan die positiven Eigenschaften der Nachtabkühlung mit massiven Bauelementen sehr gut genutzt werden können. Tagsüber kann bei einer hohen Außentemperatur auf diese Weise eine um 5–7 °C kühlere Innenraumtemperatur erreicht werden. Die Fenster müssen hierbei tagsüber geschlossen werden, um zu verhindern, dass die Hitze von außen in den Raum eindringt. Umgekehrt muss die gespeicherte Wärme des Tages nachts durch Querlüftung hinausgeführt werden. Im Grundrissschema „Nachtlüftung und Abgabe von Wärme aus der Speichermasse" ist zu erkennen, wie die Wärme der Badwandscheibe mit einer Oberflächentemperatur von 30,7 °C abstrahlt. Die beiden kleinen Fensterklappen im massiven Gebäudekörper eigneten sich gut für die Querlüftung. Wichtig hierbei war das Schließen der Badezimmertür, um das Eindringen von Moskitos zu verhindern. Eine Lösung dieses Problems könnten vor den Öffnungen befestigte Moskito-Netze bieten.
Prinzipiell ist darauf zu achten dass die thermische Masse immer vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt ist. In diesem Versuchsgebäude ist der massive Gebäudeteil durch Bepflanzungen teilweise verschattet. Da die Sonneneinstrahlung aus den Himmelsrichtungen Westen und Osten am längsten und intensivsten erfolgt, sollte vor allem hier eine Verschattung der massiven Baumasse durch Bepflanzungen oder auskragende Bauelemente erfolgen. Die Innentemperatur im Wohnraum des Holzbaus passt sich schnell an die Umgebungstemperatur an. Am frühen Abend ist die Innenraumtemperatur hier sogar höher als die Außentemperatur, weil die direkte Sonneneinstrahlung die Außenhaut des Gebäudes aufheizt. Die Betrachtung des psychrometrischen Diagramms in diesem Kapitel (4.1.1.6 Fazit), zeigt dass in dieser Klimaregion die Kühlung mittels Verdunstungsprozess ebenfalls möglich ist. Die architektonische Integration einer kühlenden Wasserfläche wäre hier also ebenfalls sinnvoll.

4.2.1 Projektbeschreibung

4.2.1.1 Klima
4.2.1.2 Standort

4.2.2 Natürliche Belüftung

4.2.2.1 Städtebauliche Positionierung
4.2.2.2 Gebäudestruktur Fassade
4.2.2.3 Grundrisse
4.2.2.4 Öffnungen
4.2.2.5 Lärmbelastung Straßenverkehr
4.2.2.6 Luftverschmutzung

4.2.3 Verringerung der solaren Energieeinträge

4.2.3.1 Orientierung und Gebäudestruktur
4.2.3.2 Fassadenstruktur

4.2.4 Speichermasse

4.2.4.1 Gebäude- und Fassadenstruktur
4.2.4.2 Messergebnisse

4.2.5 Verdunstungskühlung

4.2.5.1 Wasserflächen
4.2.5.2 Begrünungen

4.2.6 Bewertung des *The Met* nach Kennwerten

4.2.6.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)
4.2.6.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)
4.2.6.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)
4.2.6.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)
4.2.6.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)
4.2.6.6 Luftanteilquotient (LAQ)
4.2.6.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) - A/V Verhältnis
4.2.6.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) - Größe der Wohneinheiten
4.2.6.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)
4.2.6.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte)
4.2.6.11 Nutzeranzahl Gesamt (NUA)
4.2.6.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte)

4.2.7 Verbesserungspotential/Fazit

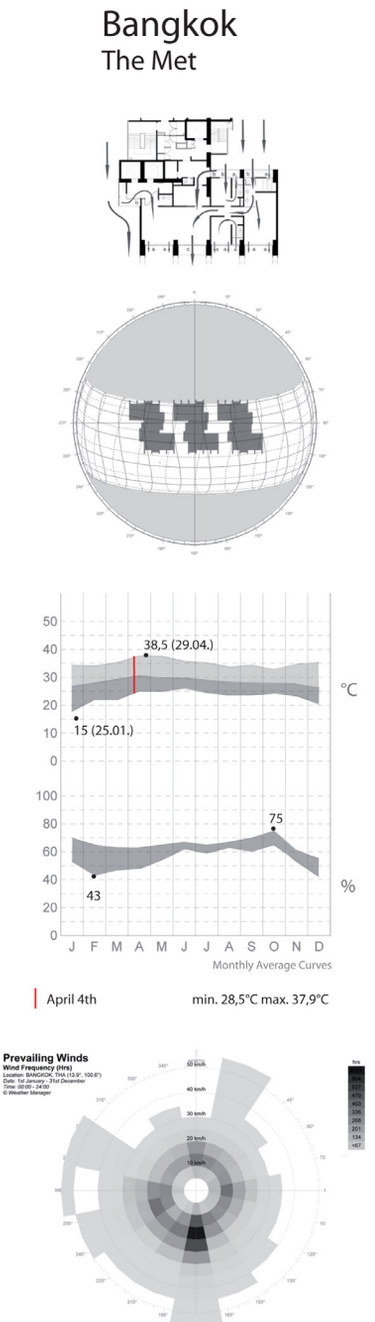
01 I Kapitelcover, Fassadenansicht des The Met, Foto: Ferdinand Oswald, 2013



4.2 Erste Fallstudie - The Met Bangkok Thailand



4.2.1 Projektbeschreibung



02

02 I Grundriss The Met, eine Wohneinheit mit Erschließungskern; Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung und Darstellung des The Met; Temperatur-Jahresmaximum, -minimum und jährliche Temperaturdifferenz, relative Luftfeuchte Jahresmaximum und –minimum; Windrose mit Windrichtung, -stärke und –häufigkeit; Klimastandort Bangkok, Thailand, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

.In dieser Fallstudie wurde vor Ort untersucht, ob ein angenehmer Wohnkomfort nur mit natürlicher Belüftung ohne die Nutzung von Klimaanlagen möglich ist. Der Schwerpunkt dieser Untersuchung ist das Aufzeigen der Gründe für die gute Wirkungsweise der natürlichen Belüftung. Weitere Methoden, die zur passiven Kühlung des Gebäudes beitragen können, wie die Verringerung der solaren Energieeinträge oder die Speichermassen- und Verdunstungskühlung werden danach thematisiert. Nach der Betrachtung des psychrometrischen Diagramms und der Bewertung der Wohnbautypologie nach Kennwerten werden im Fazit dieser Fallstudie The Met Verbesserungspotentiale aufgezeigt. Als Untersuchungszeitraum wurde die heißeste Klimaperiode in Bangkok (April) ausgewählt, um den extremsten Fall (worst case) untersuchen zu können. Obwohl es für jede Wohneinheit Klimaanlagen gibt, ist anzunehmen, dass die Nutzung aufgrund der Gebäudestruktur und -konzeption nicht unbedingt erforderlich ist. Die Bereitstellung der Klimaanlagen ist mit dem Komfortanspruch der wohlhabenden Bewohner und der Standardisierung der Klimaanlage für jede Wohnung in tropischen Regionen zu begründen. Ob ein angenehmes Wohnklima tatsächlich auch ohne Klimaanlage erreicht werden kann, wurde vor Ort untersucht und wird im Folgenden nun aufgezeigt.

4.2.1 Projektbeschreibung

Das 2010 fertiggestellte *The Met*-Hochhaus ist ein Pilotprojekt nicht nur deshalb, weil es mit 228 Metern Höhe das höchste Wohnhochhaus Thailands ist, sondern weil es einen völlig neuen Hochhaustypus darstellt. Die WOHA Architektenaus Singapur entwickelten eine spezifische Lösung für eine dichte Wohnbebauung mit natürlicher Belüftung in den Tropen.
Die tragende Struktur des Gebäudes beinhaltet tragende Stahlbeton-Wandstützen, die aus dem Gebäudekörper herausragen und somit Teil der Fassade werden. Dies hat nicht nur den Vorteil, dass es weniger Konstruktionsfläche innerhalb der Nutzflächen gibt, sondern die Tragstruktur erfüllt weitere funktionale und konzeptionelle Aspekte. So ist die vertikale Gliederung durch die Tragstruktur ein wesentliches Gestaltungselement der Gebäudeerscheinung. Weiter erfüllt die herauskragende Tragstruktur den funktionalen Aspekt der Verschattung und in Kombination mit der Nord-Süd-Ausrichtung des Gebäudes können die Fassaden komplett geöffnet werden. Weitere außenliegende Verschattungselemente sind somit nicht

4.2.1 Projektbeschreibung



03

03 I Standort Fallstudie Bangkok (roter Punkt), Kartenausschnitt Asien mit sechs ausgewählten Standorten, Äquator und nördlichem Wendekreis, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

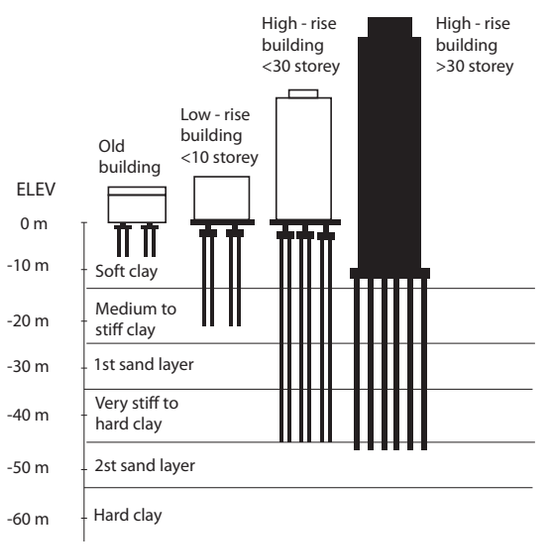
erforderlich. Die 56 Wohngeschosse befinden sich oberhalb von 9 Parkhausetagen und bieten insgesamt 1.344 Bewohnern in 336 Wohneinheiten Platz.

4.2.1.1 Klima

Aufgrund der Lage am Meer herrscht hier ein tropisches See-Klima. Dieses spezifische Klima wurde bereits im vorherigen Kapitel (siehe Kapitel 4.1. Vergleich Vorstudie) detailliert erläutert. Das heiße und feuchte See-Klima bewegt die Menschen dazu, die Klimageräte ganzjährig zu verwenden, wobei sie von den Bewohnern Bangkoks verstärkt in den Sommermonaten (März bis Juli) betrieben werden.

4.2.1.2 Standort

Die Hauptstadt Thailands, Bangkok, befindet sich an der Einmündung des Flusses Chao Phraya in den Golf von Thailand und liegt also direkt an der Meeresküste, wie in der Übersichtskarte der Fallstudien-Standorte ersichtlich ist. Als größte Stadt Thailands liegt Bangkok direkt auf der Höhe des Meeresspiegels. Der Grundwasserspiegel ist hier dementsprechend hoch und es gibt regelmäßige Hochwasser. Deswegen werden keine Unterkellerungen oder Tiefgaragen gebaut.



04

04 I Typisches Baugrundprofil von Bangkok mit verschiedenen Bereichen der Punktfundamenttiefe in Abhängigkeit von der Gebäudehöhe; Quelle: Phienwej et al. and Thasnanipan et al., Typical Bangkok subsoil profile and range of pile length, Application of top-down construction method for deep excavations in urban area of Bangkok. International Symposium on Underground Excavation and Tunnelling, Bangkok, 2006.; überarbeitet von Ferdinand Oswald, 2014.

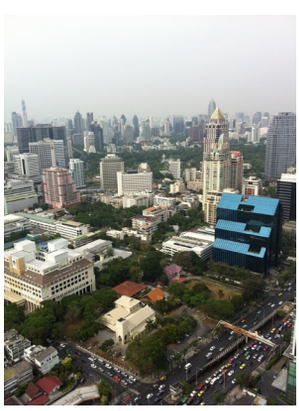
Der Boden ist feucht und weich, sodass Gebäude auf Pfahlfundamenten tief in den Boden verankert werden müssen.[1] Aufgrund dieser Bodenbeschaffenheit in Bangkok wird bei Hochhäusern mit über 30 Geschossen eine Fundamenttiefe von mindestens 45 Metern vorgenommen (siehe Abbildung).

4.2.2 Natürliche Belüftung

Durch die architektonische Typologie des *The Met* ist mit natürlicher Belüftung die Reduzierung der Klimaanlagennutzung möglich. Um dies aufzuzeigen, werden nun die verschiedenen Ebenen des Gebäudes betrachtet: die städtebauliche Positionierung sowie in der Mesoebene die Gebäudestruktur, die Fassade und die Grundrisstypologie. In der Makroebene wird aufgezeigt, welchen zahlreichen Anforderungen die Öffnungen in der Fassade gerecht werden müssen. Am Schluss dieses Unterkapitels „Natürliche Belüftung" werden die Lärmbelastung und die Luftverschmutzung in Bangkok thematisiert.

4.2.2.1 Städtebauliche Positionierung

Das *The Met*-Wohnhochhaus befindet sich im Geschäftsviertel der Stadt an einer der größten und meist befahrenen Straßen Bangkoks, der *Sathon Road*. Es gibt in Bangkok keinen spezifischen Hochhausrahmenplan, was zur Folge hat, dass Hochhäuser wahllos zwischen sehr niedrigen, oft eingeschossigen Häusern verteilt stehen. Die städtebauliche Situation ist aus den Fotos ersichtlich, die aus dem 29sten Geschoss des *The Met* aufgenommen wurden. Die viel befahrene *Sathon Road* ist hier ebenfalls zu erkennen.



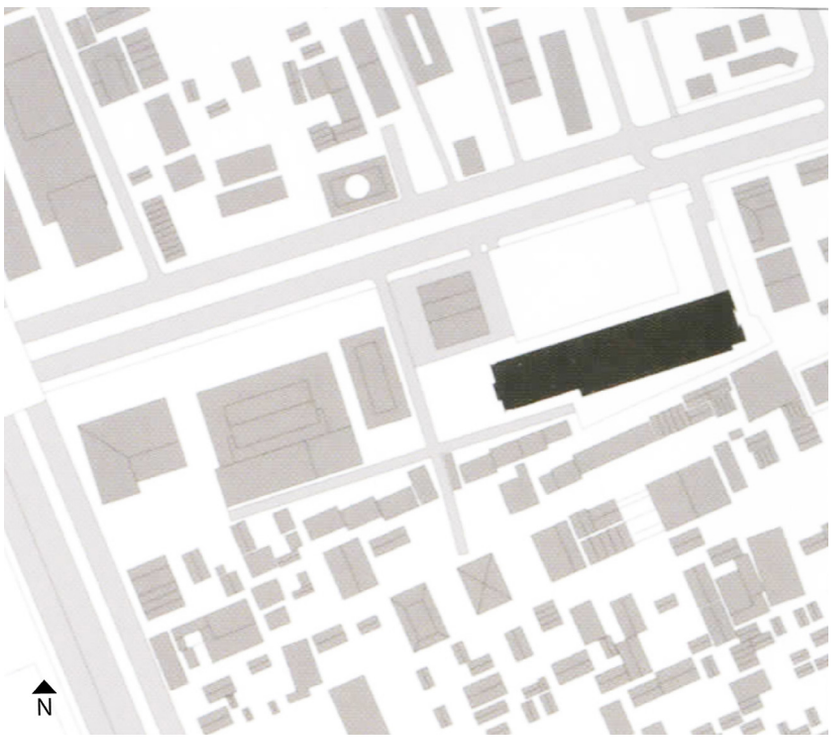


05 06

05 I Städtebauliche Situation und Sathon Road, Aufnahme aus dem 29sten Geschoss des The Met mit Blick Richtung Nordosten, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

06 I Städtebauliche Situation und begrünte Fassade, Aufnahme aus dem 29sten Geschoss des The Met mit Blick Richtung Süden, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

[1] Amornfa, K. / Phienwej, N. / Kitpayuck, P.: Current Practice on Foundation Design of High-Rise Buildings in Bangkok, in: International Association of Lowland and Technology (IALT): Thailand Lowland Technology International Nr. 2 (2012) Bd. 14, 70–83, 2013, S. 71.



07

Auch der Lageplan weist die ungeordnete Positionierung der Gebäude aus. Größere Gebäudekörper befinden sich zwar an der Achse der Straße, doch finden sich hier auch kleinere Bebauungen. Durch den Abstand zu hohen Gebäuden steht das Wohnhochhaus *The Met* frei und wird nicht direkt von anderer hoher Nachbarbebauung beeinflusst. Der Standort als solitäres Hochhaus hat wesentliche Einflüsse auf die Nutzung der natürlichen Belüftung, da der Windstrom nicht von anderen Gebäudekörpern verwirbelt wird. Somit können alle Wohnungen des Hochhauses von den wetterbedingten Winden profitieren. Die Hauptwindrichtung an diesem Standort ist hauptsächlich in südlicher Richtung. Dies ist in der Windrose mit Windrichtungen und Windhäufigkeiten (dunkle Flächen) zu erkennen. Das Gebäude steht quer zur dieser Windrichtung und kann den Wind somit ideal in seine poröse Struktur und in seine Öffnungen aufnehmen.

07 I Lageplan des The Met, Copyright: Dr. Nirmal Kishnani, Greening Asia, Emerging Principles for Sustainable Architecture, 2012, S. 262.

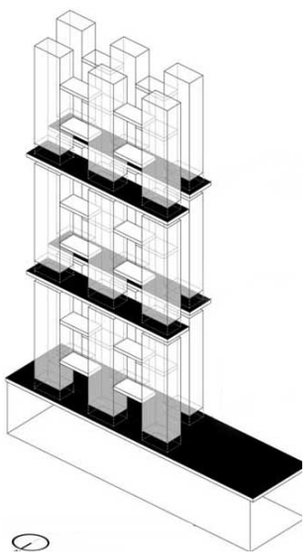
4.2.2 Natürliche Belüftung

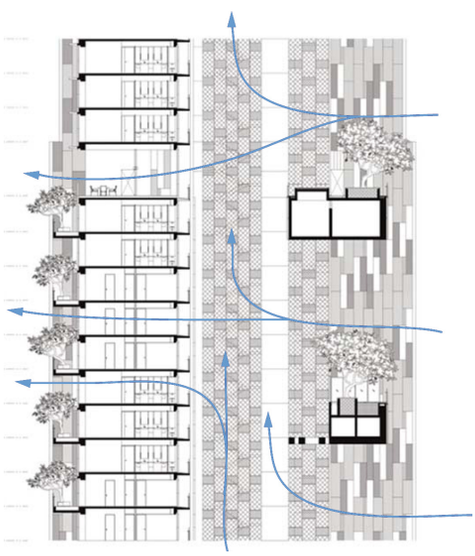
4.2.2.2 Gebäudestruktur und Fassade

Die 370 Wohneinheiten sind alle natürlich belüftbar. Dies ist aufgrund der porösen Gebäudestruktur und der Tragstruktur in Nord-Süd-Richtung möglich. Das Gebäude besteht aus sechs Wohntürmen, die Zwischenräume sind offen und somit ist eine gute Durchlüftung der Gesamtstruktur möglich. Diese Gebäudekörper sind lediglich durch Brücken miteinander verbunden, in welchen sich die halböffentlichen Kommunikationsflächen und private Aufenthaltsflächen mit Begrünungen befinden. Auch die Belichtung der Innenräume wird durch das Konzept der Zergliederung des Gebäudevolumens optimiert: In fast allen Räumen wird während des Tages kein künstliches Licht benötigt.[2] Ausnahmen stellen in den Wohneinheiten ein Gäste-WC, die Küche und das Zimmer für die Haushälterin oder das Zimmermädchen dar. Die statische Grundstruktur des Gebäudes basiert auf Stahlbetonkernen, in denen die Erschließung und die Technikräume untergebracht sind, und einer Stützenbauweise, bei welcher die einzelnen Stützen schottenartig in Nord-Süd-Richtung angeordnet sind. Die Stützen befinden sich zu ca. 2/3 außerhalb und zu 1/3 innerhalb der Wohneinheiten. Somit fungieren diese herauskragenden Wandelemente nicht nur als wesentliches architektonisches Gestaltungselement und verschatten automatisch auch die Fensteröffnungen, sondern sie wirken ebenfalls wie Windschwerter, die das Hineinströmen der Luft in die Wohneinheit fördern. Die Hauptwindrichtung ist von Süden, also trifft sie häufig etwa im 90°-Winkel auf die Fassade. Wenn der Winkel der Windrichtung minimal von den 90° abweicht, dann wirken sich die herauskragenden Wandelemente der Fassade positiv auf den Windfluss ins Innere des Gebäudes aus, weil durch die Druckunterschiede am Element der Windstrom ins Innere geleitet wird. Diese Tragelemente gliedern die Fassade optisch in vertikaler Richtung. Sie befinden sich in regelmäßigen Abständen an allen Wohneinheiten und laufen in vertikaler Richtung über alle 56 Wohngeschosse. Die orthogonal zur Fassade angeordneten Wandscheiben sind die einzigen massiven Wandelemente an der nördlichen und südlichen Fassade. Dazwischen ist die Fassade mit Ausnahme eines Sturzes fast vollflächig verglast und es finden sich geschossweise versetzt Balkone. Die Anzahl der Balkone nimmt mit der Höhe des Gebäudes ab: am meisten Balkone befinden sich im unteren Drittel, im mittleren Bereich sind es schon weniger. Gut ersichtlich ist dies aus dem Foto mit der Fassadenansicht des Gebäudes auf der ersten Seite dieses Kapitels. So vermitteln die Balkone

[2] Der Grundrisstyp in der 29. Etage (im mittleren Hausbereich) ist mit einer geschlossenen Variante der Küche ausgeführt und benötigt eine künstliche Belichtung derselben. Die Trennwände sind allerdings nicht tragend und lassen sich deshalb auf Wunsch auch entfernen.

im unteren Bereich den Eindruck einer Kassettenstruktur und weiter oben entwickelt sich, mit fließendem Übergang, eine zunehmende Betonung der vertikalen Richtung der Fassade.





08 09

Windströmungen sind in vertikaler und horizontaler Richtung vorhanden. Die Wetterwinde erreichen das Gebäude meist in horizontaler Richtung, während die vertikalen Windströme zwar ebenfalls durch Temperatur- und Druckunterschiede entstehen, aber eher innerhalb der Gebäudestruktur zwischen den Wohntürmen stattfinden. Auf den Fotos sind die Räume zwischen den Gebäudekörpern erkennbar.

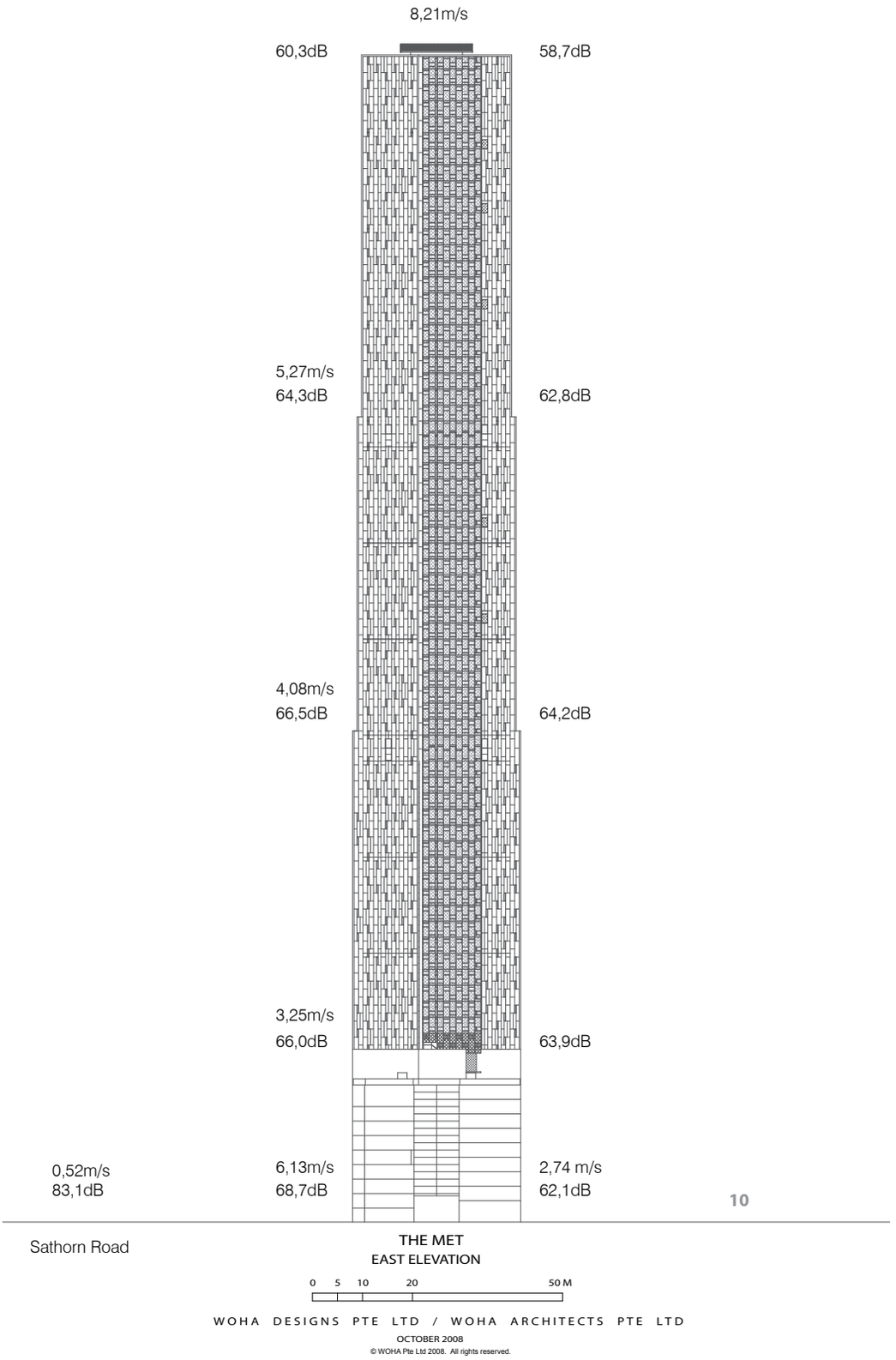
Beide Windströmungen sorgen somit für vielfältige Luftbewegungen und der Wind kann ideal in die Wohnungen eindringen. Dies ist im dargestellten Schnitt erkennbar.

Andere Hochhäuser verursachen mit ihren geschlossenen Gebäudekörpern und glatten Fassadenoberflächen oft unerwünscht starke Luftströmungen. Die führt zu extremen Schlagwinden, die im Straßenbereich für Fußgänger unangenehm sind und die auch Segler, zum Beispiel Schwalben, in größeren Höhen vermeiden. Das *The Met* verursacht durch seine poröse Gebäude-

08 I Gebäudestruktur des The Met mit Darstellung der für alle Bewohner zugänglichen Gemeinschaftsbereiche (schwarze Flächen) und privaten Aufenthaltsflächen (weiße Flächen), Quelle: Dr. Nirmal Kishnani, Greening Asia, Emerging Principles for Sustainable Architecture, 2012, S. 263.

09 I Schnitt des The Met mit Windpfeilen, Quelle: Dr. Nirmal Kishnani, Greening Asia, Emerging Principles for Sustainable Architecture, 2012, S. 266, Windpfeile von Ferdinand Oswald, 2014.

4.2.2 Natürliche Belüftung



10 I Ansicht des *The Met* mit Ergebnissen aus Windgeschwindigkeits- und Dezibel-Messungen vom 04. April 2013, Copyright: WOHA Pte Ltd, Oktober 2008, Überarbeitet: Eintragung der Messergebnisse durch Ferdinand Oswald, 2013.

struktur, im Vergleich zu typischen Hochhäusern weniger extreme Windgeschwindigkeiten. Diese vielfältigen Luftzirkulationen nutzen Schwalben, die kontinuierlich um das Gebäude herum zu beobachten sind.

In Bangkok ist ganzjährlich mit einer ausreichenden Windstärke zu rechnen, da die Nähe zum Meer gegeben ist. Die Windgeschwindigkeiten nehmen nach oben hin kontinuierlich zu, auf der Straßenebene ist die Windgeschwindigkeit fast gleich Null. Messungen an der *Sathon Road* ergaben eine Windgeschwindigkeit von nur 0,52 Metern pro Sekunde, die nicht einmal als leichte Brise spürbar ist (Windstärke 0–1).[3]

Trotzdem gibt es 65 Meter weiter am ebenerdigen Eingangsbereich des *The Met* eine starke Luftzirkulation von 6,13 m/s. Die Messungen dort entsprechen der Windstärke 4, einer mäßigen Brise. Sogar im Erdgeschoss erzeugt die Gebäudestruktur des *The Met* Windströmungen. Dies zeigt auf, wie wirkungsvoll die Gebäudestruktur den Wind sogar nach unten leitet. Ersichtlich ist dies auch aus der Ansicht des *The Met* mit eingetragenen Ergebnissen von Windgeschwindigkeitsmessungen.

Die höheren Wohneinheiten (oberes Drittel) des *The Met* sind sehr begehrt.[4] Sie verfügen über eine bessere Aussicht, eine noch bessere Durchlüftung mit stärkeren Windgeschwindigkeiten und eine bessere Luftqualität. Die höchste Windgeschwindigkeit innerhalb des Messzeitraumes (04.–10. April 2013) wurde auf dem Dach des Gebäudes gemessen. Die Windgeschwindigkeit von 8,21 m/s entspricht der Windstärke 5 (Beaufort) und wird als frische Brise definiert.



11

11 I Räume zwischen den Wohntürmen des *The Met*, Fotos: Ferdinand Oswald, 2013.

[3] Siehe Tabelle 01 in der Anlage: Übersicht Beaufort Scale und Windgeschwindigkeiten.

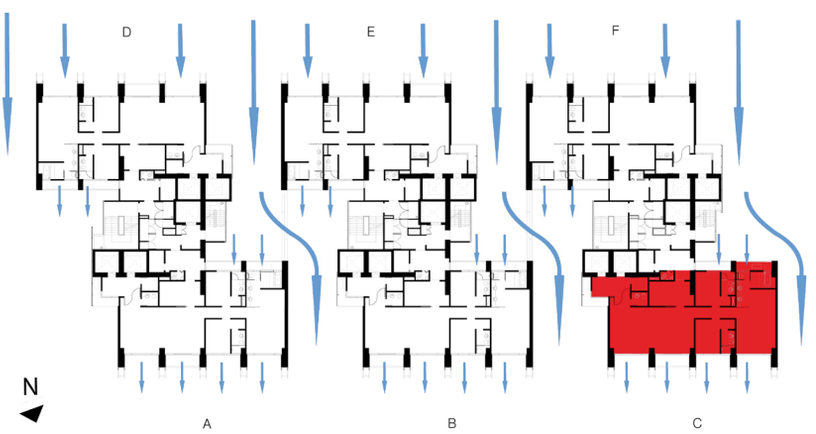
[4] In den höchsten Stockwerken sind selten freie Einheiten zu finden, obwohl diese Apartments kostenintensiver sind als die in den unteren zwei Dritteln des Gebäudes. Stand: April 2013.

4.2.2 Natürliche Belüftung

Eine ähnliche Windstärke erreicht die gemessene vertikale Windströmung im Dachgeschoss. Sie wird durch den Auftrieb verursacht, welcher durch Druck- und Temperaturunterschiede zustande kommt. Die kanalförmigen Zwischenräume der Wohntürme verstärken diesen Kamineffekt.

4.2.2.3 Grundrisse

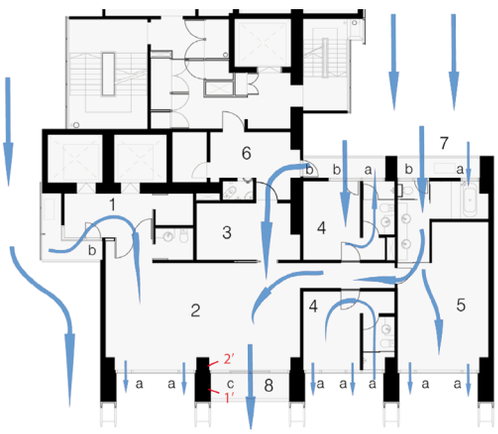
Die drei Wohntürme beinhalten jeweils einen Erschließungskern mit zwei Wohneinheiten. Die beiden Wohneinheiten sind einmal nördlich und einmal südlich orientiert und versetzt zueinander angeordnet. So kann die Luft auch von der Hinterseite der Wohneinheiten eindringen und eine sehr effiziente Querlüftung ist möglich. Dies ist gut erkennbar im Grundriss mit Darstellung des Windflusses.



12

Zahlreiche nach Norden und Süden orientierte Fenster lassen sich öffnen, um eine Durchlüftung zu ermöglichen. Allerdings muss dann teilweise über den Flur und über mehrere Zimmer gelüftet werden. Dies ist abhängig von den drei verschiedenen Grundrisstypen. Hier soll nun der Regelgrundriss des mittleren Bereiches des Gebäudes, der in den Geschossen von der 29. bis zur 46. Etage vorliegt, betrachtet werden. Eine Wohneinheit mit Erschließungstrakt ist im Regelgrundriss ersichtlich.

12 I Grundriss des 29. Geschosses des The Met mit Darstellung des Windflusses und untersuchter Wohneinheit 29C (rot), Copyright CAD-Basis-Data: WOHA Pte Ltd, 2008, überarbeitet von Ferdinand Oswald, 2013.

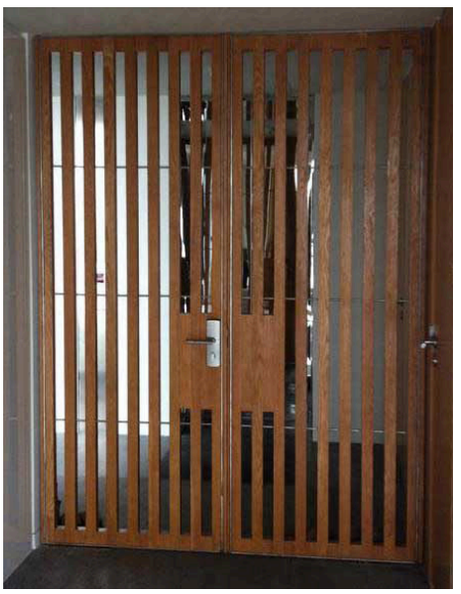


13

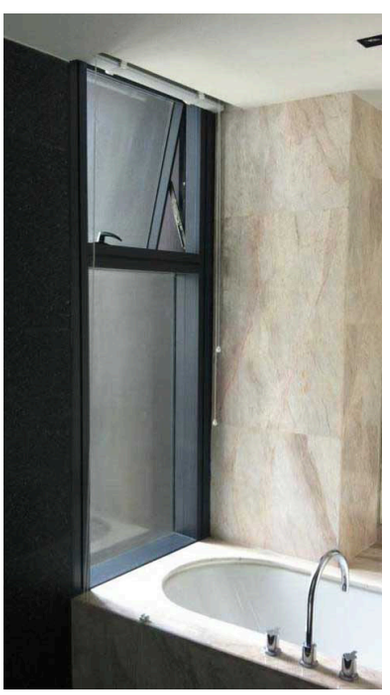
Hier liegen zwei Schlafzimmer mit integrierten Badezimmern an der Fassadenseite (4). Eine Querlüftung dieser Schlafzimmer ist nur bei Öffnung der Türen möglich, was zu ungewollten Einschränkungen der Intimsphäre führen kann. Eine einseitige Belüftung ist mit Öffnung der Balkontür (b) und des Bad-Kippfensters (a) möglich, die Effizienz derselben ist ohne Querlüftung während der heißesten Klimaperiode jedoch fraglich. Eine erforderliche Abgrenzung der Schlafzimmer zu anderen Wohnungsteilen ist in dieser Grundrisstypologie und auch prinzipiell problematisch: Würde man die kleinen Schlafzimmer (4) verbinden, sodass sich ein einziger großer Raum zwischen beiden Fassadenseiten erstreckt, dann würde logischerweise der Flur entfallen und das von der Nord- bis zur Südfassade durchgesteckte Zimmer müsste als Durchgangszimmer zum hinteren großen Schlafzimmer (5) fungieren. Im Unterschied hierzu ermöglicht die Zimmeraufteilung des großen Schlafzimmers in Kombination mit dem Bad eine durchgehende Querlüftung. Hier sind Schlafzimmer und Bad von der Nord- bis zur Südfassade durchgesteckt, sodass nur für das Badezimmer eine raumabtrennende Wand benötigt wird. Dieser Raum kann allerdings zum Lüften problemlos offen gehalten werden, da das Bad hier dem Schlafzimmer zugeordnet ist. Auch im Wohnzimmer (2) und in der Küche (3) ist die Querlüftung ohne Einschränkungen perfekt durchführbar.

13 | Grundriss der untersuchten Wohneinheit 29C des The Met mit Windstudie und Öffnungsarten, Copyright CAD-Basis-Data: WOHA Pte Ltd, 2008, überarbeitet von Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.2 Natürliche Belüftung



14



15

14 | Wohnungseingangstür im The Met, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.
15 | Kippfenster des The Met, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.2.4 Öffnungen

Insgesamt 14 Türen und Kippfenster (Fensterklappen) lassen sich für die Querlüftung in einer Apartment-Einheit öffnen.[5] Obwohl sich auf der kleineren hinteren Fassadenseite der Wohneinheiten nur 3 Türen und 2 Fensterklappen befinden, strömt ausreichend Luft von hier in die Wohneinheiten. Mit den insgesamt 14 Öffnungen lassen sich sehr viele verschiedene Lüftungskombinationen erreichen.

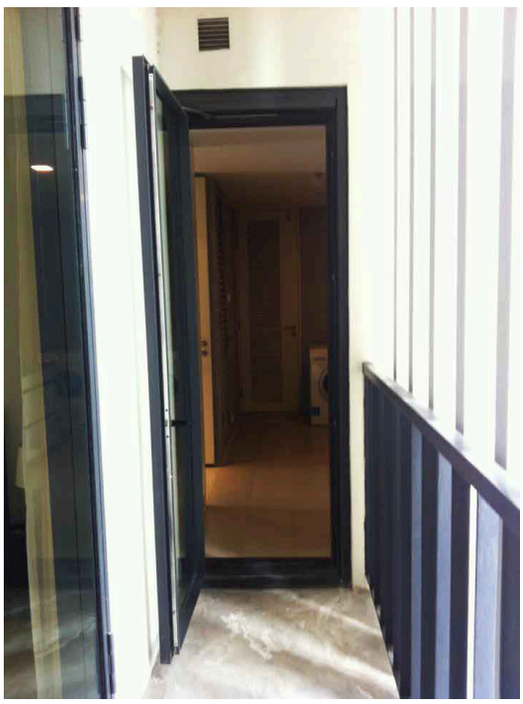
Auch ein Luftstrom in Längsrichtung, zum Beispiel vom nördlichen Loggia-Bereich (7) durch die Badezimmer und dann durchs Wohnzimmer lässt sich realisieren. Die Wohnungseingangstür (1) lässt ebenfalls einen kontinuierlichen Luftstrom zu, da sie luftdurchlässig ausgeführt wurde. Sie ist aus vertikalen Holzstäben gefertigt und bietet die notwendige Durchlässigkeit, damit der Luftstrom zu den Öffnungen im Wohnzimmer querströmen kann. Diese Wohnungseingangstür ist im Foto zu sehen.

Die Kippfenster (Klappfenster) sind an ihrer oberen Kante fixiert und lassen sich unten bis zu einem Winkel von ca. 15° nach außen herauskippen. Mit diesem Mechanismus des Ausschwenkens nach außen im unteren Bereich des Fensters wird das Eindringen von Schlagregen verhindert. Bei den intensiven Monsun-Niederschlägen in der Regenzeit ist dies – zumindest bei denjenigen Fenstern, die im nicht überdachten Loggia-Bereich (direkt an der Außenfassade) liegen – für den Regenschutz dringend erforderlich. Ein solches Kippfenster im Bad ist auf dem Foto zu sehen.

Mit den bestehenden Öffnungen erreicht die Querlüftung eine hohe Durchström-Geschwindigkeit in allen Bereichen der Wohneinheit. Problematisch sind die richtige Dosierung des Luftstromes und die Kontrolle der gewünschten Luftgeschwindigkeit mit dem Öffnungsquerschnitt. Die Loggia-Türen und Fensterklappen erlauben nur ein komplettes Öffnen oder Schließen. Im Unterschied zu den oben liegenden Fensterklappen haben die Loggia-Türen keine Feststellfunktion, was bei zu starkem Luftzug Probleme bereitet. Die Loggia-Türen können bei zu hohen Luftgeschwindigkeiten mit einem lauten Knall zufallen. Bei komplett geöffneter Loggia-Tür kann zudem ein unnötig rascher Luftwechsel entstehen. Eine derart zu hohe Luftgeschwindigkeit

[5] In der Unit 29 C, mittlerer Bereich (Geschoss 29–45) sind beispielsweise 9 Klappfenster, 4 Türen zum überdachten Loggia-Bereich und eine Schiebetür zum Balkon vorhanden.

4.2.2 Natürliche Belüftung



16

kann beispielsweise dazu führen, dass herumliegende Papiere weggeweht werden. Eine geöffnete Loggia-Türe ist auf dem Foto zu sehen.

Eine Lösung könnte hier die Entwicklung von Fensteröffnungen sein, die eine dezidierte Kontrolle des Öffnungsquerschnittes zulassen. Die optimalste Querschnittsöffnungsform und -größe, abhängig von den äußeren Wetterbedingungen, sollte hier vom Benutzer individuell und einfach einstellbar sein. Eine Fixierungsmöglichkeit der Loggia-Türen mit verschiedenen einstellbaren Öffnungswinkeln würde hier ebenfalls eine Lösung bringen. Allerdings ist es hier schwierig, eine stufenlose Fixierung zu realisieren, sodass die einzelnen Fixierungsstufen die Anzahl der gewünschten Öffnungsquerschnitte beschränken. Lediglich die einzige Balkonschiebetüre (c) erlaubt eine feine Einstellung des Öffnungsquerschnittes. Durch die stufenlose Verschiebung kann nahezu jede Öffnungsgröße eingestellt werden und die eingestellte Position der Schiebetür bleibt fix. Dadurch können Luftstromvolumen und Windgeschwindigkeit vom Benutzer sehr einfach kontrolliert und optimiert werden.

16 | Loggia-Tür im The Met, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.2.5 Lärmbelastung durch den Straßenverkehr

Es ist anzunehmen, dass die Lärmbelastung durch den Straßenverkehr von einer der meist befahrenen Verkehrsachsen innerhalb Bangkoks (*Sathon Road*) sehr groß ist. Messungen im Untersuchungszeitraum im mittleren Teil des Gebäudekomplexes führten zu einem Ergebnis von 6,6 Dezibel (dB). Dies entspricht den Erwartungen einer starken Lärmemission durch den Straßenverkehr. Der Versuch, die Fenster zu schließen und mit Klimaanlage ohne Belüftung die erforderliche Behaglichkeit herzustellen, brachte hinsichtlich der Lärmbelastung überraschenderweise keine Verbesserung, da die Fenster nur mit Einfach-Verglasung versehen sind und somit keinen wirksamen Beitrag zur Schallisolierung bieten. Des Weiteren sind die dezentral angebrachten Split-Kühlaggregate direkt in der Loggia am Fenster montiert. Der Betrieb der Klimaanlage erzeugt auch bei geschlossenen Fenstern einen erheblichen Lärm innerhalb der Wohneinheit. Dadurch war der Lärmpegel, den die Klimaanlage verursachte, sogar höher als der des bei geöffneten Fenstern gemessenen Straßenlärms. Die von der Straße abgewandte südliche Fassade ergab bei Messungen nur eine geringe Lärmreduzierung im Vergleich zur straßenseitig orientierten Fassade. Dies ist damit zu begründen, dass die weiter südlich gelegenen Nachbargebäude den Verkehrsschall reflektieren. Die Verkehrslärmbelastung ist hier im Durchschnitt nur um 2 dB geringer als an der Fassade, die der Straße zugewandt ist. Die Verkehrslärmbelastung im Verhältnis zur Gebäudehöhe nimmt nach oben hin ab: Die Dezibel-Werte sind im oberen Bereich des Gebäudes am niedrigsten, im mittleren Bereich sehr hoch und im unteren Eingangsbereich am höchsten. Das ebenfalls hohe Messergebnis im mittleren Teil des Gebäudes ist damit zu begründen, dass die gegenüberliegenden Nachbargebäude den Schall von dort reflektieren. Übersichtlich erkennbar sind die Messergebnisse in der vorher schon aufgezeigten Ansicht des *The Met*. Die Entwicklung von Öffnungssystemen, die eine Lärmreduzierung bei gleichzeitiger Ventilationsmöglichkeit bieten, wäre hier dringend notwendig, da die Belastung durch den Straßenverkehrslärm in asiatischen Städten meist sehr groß ist. Leider ist in Bangkok mit einer Zunahme des Autoverkehrs innerhalb der nächsten Jahre zu rechnen, da der thailändische Staat Neuanmeldungen von Autos subventioniert. Somit ist anzunehmen, dass die Lärmbelastung durch KFZ-Verkehr sich noch weiter verstärken wird.

4.2.2.6 Luftverschmutzung

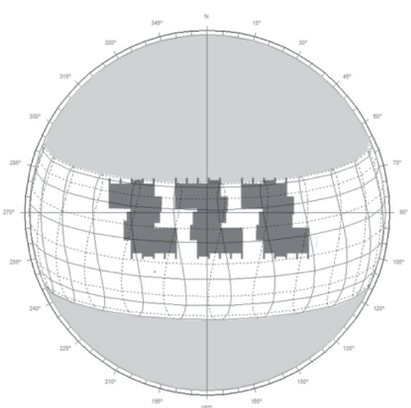
Die Luftverschmutzung, die durch den Straßenverkehr verursacht wird, stellt sich am Standort des *The Met* nicht als Problem dar: Obwohl sich das Gebäude an einer der meistbefahrenen Verkehrsadern Bangkoks befindet, ist die Luftqualität gut. Dies ist folgendermaßen zu begründen: Die Luftqualität in Bangkok war in den 1990er Jahren sehr schlecht, da die Stadt und damit auch der Autoverkehr sehr schnell wuchsen. Die Einführung von Emissions-Vorschriften durch die Regierung, die Verwendung von bleifreiem Benzin und eine Verordnung, nach der nur noch Autos mit Katalysatoren zugelassen wurden, verbesserten die Luftqualität. Die Asphaltierung vieler Straßen bewirkt zudem, dass weniger Staub aufgewirbelt wird, was die Luftqualität weiter verbesserte. Durch diese Eingriffe der thailändischen Regierung ist die Luftqualität in Bangkok heute bereits besser als von amerikanischen Standards vorgeschrieben.
Zusätzlich subventioniert der thailändische Staat Autos mit Gasanrieb. Gasbetriebene Fahrzeuge sind weniger belastend für die Luft als benzin- oder dieselbetriebene Fahrzeuge. Zuerst wechselten viele Autofahrer wegen des hohen Benzinpreises zur Nutzung von LPG (Liquefied Petroleum Gas). Doch hier ist Thailand inzwischen von einem Export- zu einem Importland geworden, was zu steigenden Preisen von LPG führt. Da das Land über ausreichend Gasvorkommen zur Herstellung von NGV (Natural Gas for Vehicles) verfügt, hat das thailändische Energieministerium die Umstellung von Bangkoker Taxis auf Autogas bereits mit 1,2 Milliarden Bath (rund 28 Millionen Euro) gefördert. Aber auch ohne diese spezifische Problematik sollten angesichts der Luftverschmutzung in Metropolen in aller Welt noch andere Lösungsansätze entwickelt werden – zum Beispiel die Säuberung der Luft am Gebäude selbst, beispielsweise durch den Einsatz von Luftfiltern an Fassadenöffnungen.

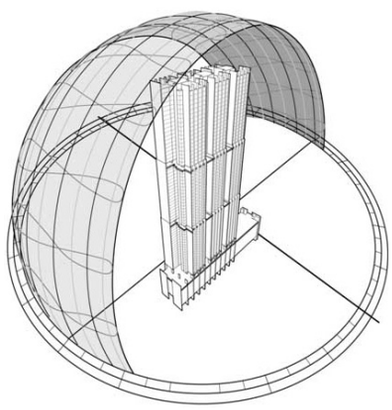
4.2.3 Verringerung der solaren Energieeinträge

In diesem Unterkapitel sollen die Maßnahmen zur Verringerung der solaren Energieeinträge erstens mittels der Orientierung des Gebäudes und der Gebäudestruktur sowie zweitens mittels der Fassadenstruktur aufgezeigt werden.

4.2.3.1 Orientierung des Gebäudes und Gebäudestruktur

In der stereografischen Abbildung ist der Sonnenstand und -verlauf mit der Orientierung des *The Met* im Grundriss zu erkennen. Norden befindet sich hier oben. Hier wird deutlich, dass das Gebäude in Nord-Süd-Richtung orientiert wurde. Das heißt, dass nach Osten und Westen, von wo die Sonneneinstrahlung am intensivsten ist, die geschlossenen, schmalen Stirnseiten des Gebäudes ausgerichtet sind. In der dreidimensionalen Darstellung des Sonnenverlaufs über dem *The Met* ist die Positionierung hinsichtlich der Sonne noch deutlicher zu erkennen. Norden befindet sich hier unten rechts.





17 18

4.2.3.2 Fassadenstruktur

Diese ideale Positionierung des Gebäudekörpers zu den unterschiedlichen Sonnenständen führt dazu, dass an der Nord- und Südfassade wenig Sonneneinstrahlung in einem frontalen Winkel einfällt. Durch die Fassadenstruktur mit den herauskragenden vertikalen Lisenen, die die Tragstruktur des Gebäudes darstellen, wird bei schräger Einstrahlung die Glasfassade immer verschattet.

17 | Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung des Gebäudes, Klimastandort Bangkok, Thailand, eigene Darstellung: Oswald, Ferdinand, 2013, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

18 | Sonnenverlauf über dem The Met, dreidimensionale Darstellung, Quelle: Dr. Nirmal Kishnani, Greening Asia, Emerging Principles for Sustainable Architecture, 2012, S. 263.

4.2.3 Solare Energieeinträge

Dadurch konnten die Architekten die Fassade fast vollflächig verglast umsetzen. Zusätzliche außen angebrachte Verschattungselemente müssen nicht verwenden werden. Die großzügige transparente Fassade wirkt sich erheblich positiv auf die Innenraumqualität der Wohneinheiten aus. So gibt es im Innern durch die Glasöffnungen, welche sich ohne massives Brüstungselement bis zum Fußboden erstrecken, eine gute Ausblickmöglichkeit. Weiter fällt durch den großen Glasanteil der Fassade sehr viel Licht in die Innenräume, was ebenfalls die Wohnqualität verbessert. Innen angebrachte Vorhänge bieten indes die Möglichkeit, den Durchblick zu verschließen bzw. die Wohnräume abzudunkeln.



19

19 | Innenraum mit Verglasung bis zum Fußboden im *The Met*, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.4 Speichermasse

Mit Messungen vor Ort wurde die Nutzung der thermischen Gebäudemasse zur Nachtabkühlung untersucht. Diesbezüglich sind bei dieser Gebäude- und Fassadenstruktur die Positionierung der Wandstützen und der Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung von großer Bedeutung.

4.2.4.1 Gebäude- und Fassadenstruktur

Prinzipiell könnte die Gebäudetragstruktur, welche aus dem Innern in die Fassade herauskragt, hervorragend zur Nutzung der thermischen Masse geeignet sein. Die Stahlbetonstützen sind in regelmäßigen Abständen angeordnet und sie durchstoßen die trennende Außenhaut des Gebäudes, könnten also gut als wärmeübertragende Masse genutzt werden.
Ebenfalls eignen sich die spezifischen Materialeigenschaften des Stahlbetons (wie Dichte, Wärmekapazität, Wärmespeicherfähigkeit, Wärmeleitfähigkeit, Temperaturleitfähigkeit und Wärmeeindringzahl) sehr gut, um Wärmespeicherung und Wärmetransmission für die Kühlung mit Masse zu nutzen. Allerdings entspricht die Bauteildimensionierung nicht den Erfordernissen: Die Dauer der Phasenverschiebung ist zu lang, weil die Stahlbetonstützen zu tief dimensioniert sind. Mit dieser großen Tiefe benötigt die Nachtkühle zu lange Zeit, bis sie in den Innenraum der Wohneinheiten gelangt ist. Die **Positionierung der Wandstütze**, nämlich orthogonal zur Fassade, spielt hier die ausschlaggebende Rolle: Wären die Wandstützen parallel zur Fassade ausgerichtet (also Längs, mit der schmalen Seite zur Fassade), dann wäre der Weg der Transmission der kühlen Temperatur, also die Distanz durch das Bauteil, kürzer und die Phasenverschiebung würde dem Tag-Nacht-Zyklus eher entsprechen. Die Speichermasse der Stützwand müsste also entweder parallel zur Fassade positioniert oder geringer dimensioniert sein.

Die aus der Fassade herausragenden Stahlbeton-Wandstützen verschatten die Fassadenflächen. Mit der Eigenschaft der Verschattung sind sie auch Empfänger der **direkten Sonneneinstrahlung**, durch die eine Aufheizung des Stahlbetons erfolgt. Durch die Temperaturtransmission wird die Wärme weiter bis ans andere Ende der Wandstütze geleitet, also ins Innere des Gebäudes. Dort strahlt die Wärme in den Wohnraum ab. Dies hat also genau

4.2.4 Speichermasse



20

den gegenteiligen Effekt als den gewollten: statt der Kühlung erfolgt eine Aufwärmung.
Obwohl die außenliegenden massiven Stützenanteile mit Aluminium-Paneelen verkleidet sind, wird diese Aufheizung nicht verhindert. Die Stoßfugen sind zwar offen ausgeführt, aber der Öffnungsquerschnitt der Fugen reicht nicht aus, um die durch solare Energiegewinne erwärmte Luft ausreichend aus der Zwischenschicht herauszirkulieren zu lassen. Zugleich besteht hier auch keine eingeschlossene, stehende Luftschicht, die als isolierende Schicht mit Wärmedämmeigenschaften vor der solaren Hitze schützen könnte.

20 | Auskragende Wandstütze mit Aluminiumverkleidung im *The Met*, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

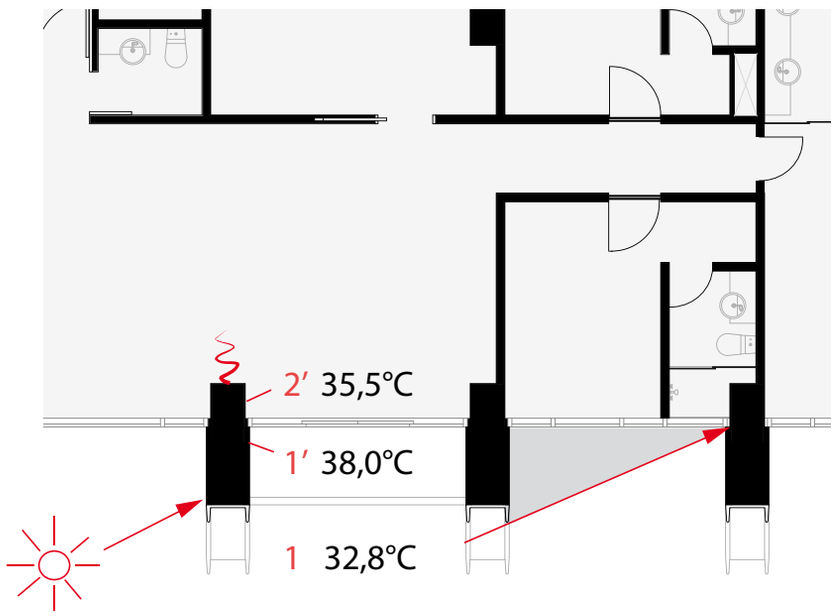
4.2.4.2 Messergebnisse

Die gemessenen Oberflächentemperaturen weisen ebenfalls auf eine Dysfunktion der Speichermassenkühlung hin: Die Oberflächentemperatur der Stahlbeton-Stützenwände ist höher als die Lufttemperatur. In der Abbildung eines Grundrissausschnitts lassen sich die **Messpunkte** und am 04. April 2013 gemessenen **Oberflächentemperaturen** zum Zeitpunkt um 17:00 Uhr ablesen. Hier lässt sich erkennen, dass bei einer Außentemperatur von 32,8 °C die Temperatur der Stahlbeton-Wandstütze durch die Sonneneinstrahlung auf 38 °C erheblich aufgeheizt wird. Auch die Oberflächentemperatur der innenliegenden Stahlbeton-Wandstütze ist mit 35,5 °C höher als die Lufttemperatur. Das Diagramm mit den Oberflächentemperaturen der tragenden Stahlbeton-Wandstütze innen und außen und der Lufttemperatur[6] zeigt die Messergebnisse aus einem 24-Stunden-Zyklus.
Hier lässt sich erkennen, dass die Oberflächentemperaturen im gesamten Zyklus immer höher sind als die Lufttemperatur. Das heißt, dass die Stützenwände sich niemals unter die Temperatur der Luft abkühlen, weil die direkte Sonneneinstrahlung die Masse aufheizt.

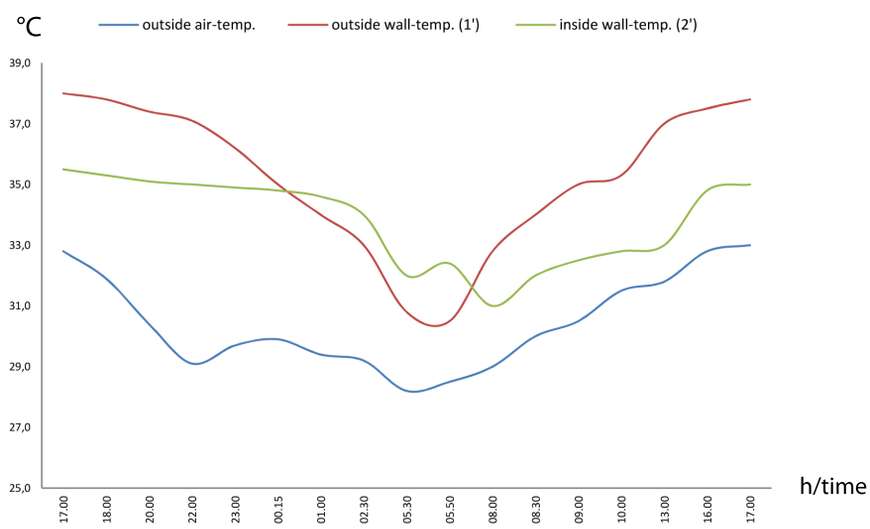
Den Klima-Wetterdaten zufolge müsste die Nutzung der thermischen Masse mit der Nachtabkühlung in Bangkok prinzipiell möglich sein: Am Untersuchungstag, dem 04. April, gibt das Meteorologische Wetteramt eine minimale Nachttemperatur von 28,5 °C an. Die Tageshöchsttemperatur wurde mit 37,9 °C gemessen. Dies ergibt eine Tag-Nacht-Temperaturdifferenz von Δ 9,4 °C. Die Messungen vor Ort ergaben allerdings eine kleinere Tag-Nacht-Temperaturdifferenz. Am selben Mess-Tag wurde eine minimale Nachttemperatur von nur 28,2 °C gemessen und eine Tageshöchsttemperatur von 33,0 °C. Dies ergibt eine Tag-Nacht-Temperaturdifferenz von nur Δ 4,8 °C. Bei der meteorologischen amtlichen Messung ist die Wetterdaten-Temperatur mit 37,9 °C um 4,9 °C höher. Dies ist damit zu begründen, dass die meteorologischen Daten in niedriger Höhe gemessen wurden. Hier ist im Vergleich zum Messpunkt im 29. Stockwerk des *The Met* die Windgeschwindigkeit geringer und die negative Einwirkung des Hitzeinsel-Effekts, also der Wärmespeichermasse von asphaltierten Straßen und massiven Gebäuden, stärker.
Die Wandstützen könnten bei richtiger Dimensionierung und Positionierung die kühle Nachttemperatur aufnehmen und tagsüber nach innen ableiten. Bei ausreichendem Luftwechsel mit der kühlen Nacht-Außenluft an den in-

[6] Tabelle mit Messergebnissen im Anhang.

4.2.4 Speichermasse



21

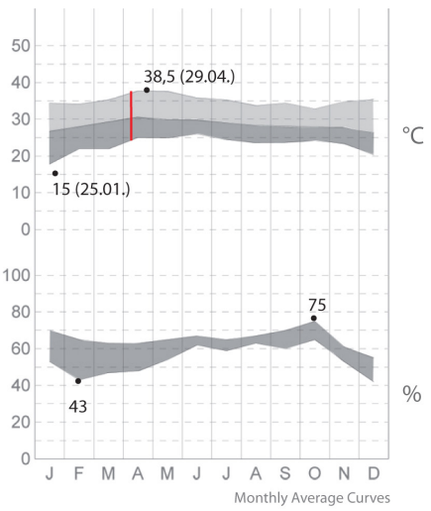


22

21 | Grundrissausschnitt mit Messpunkten, 29. Geschoss, Wohneinheit 29 C, Mess-Tag 04. April 2013 im The Met, Copyright CAD-Basis-Data: WOHA Pte Ltd, 2008, überarbeitet von Ferdinand Oswald, 2013

22 | Diagramm mit den Oberflächentemperaturen der tragenden Stahlbeton-Wandstütze innen (2') und außen (1') sowie der Lufttemperatur (1), Messzeitraum 04. und 05. April 2013, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

nenliegenden Wandstützen wäre ein Abtrag der nachts dort abstrahlenden Tageswärme möglich.



23 April 4th min. 28,5°C max. 37,9°C

4.2.5 Verdunstungskühlung

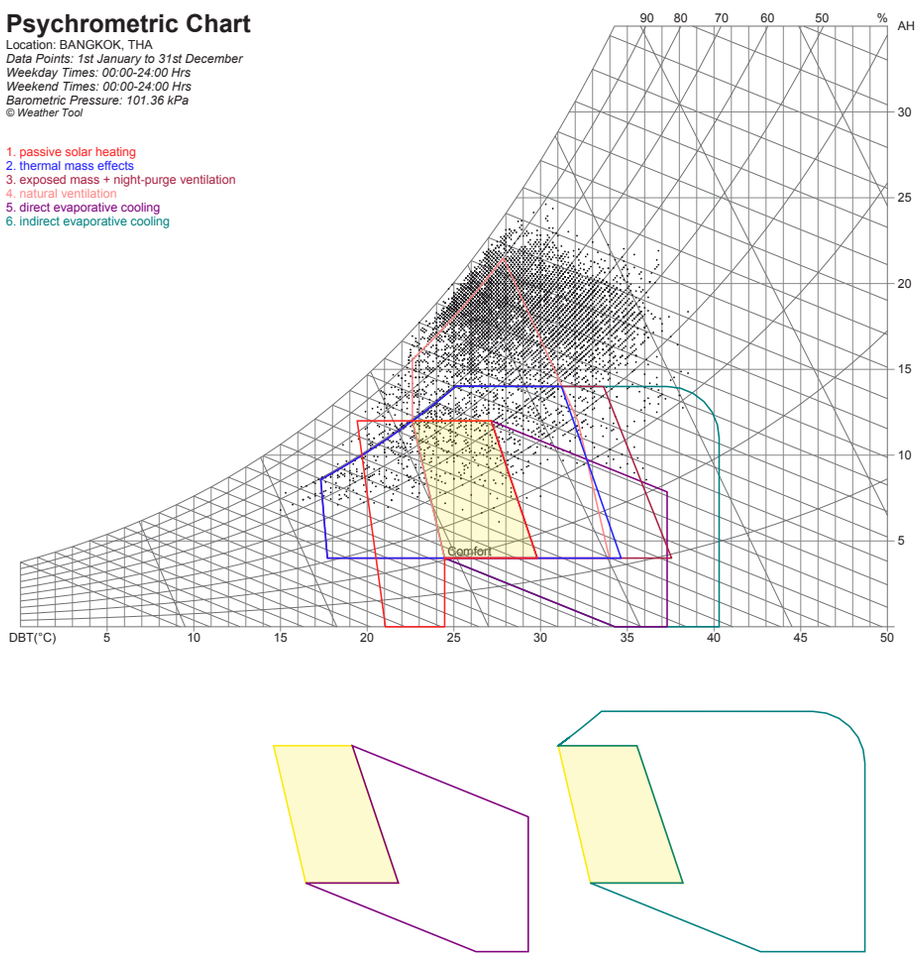
In diesem Unterkapitel soll die Möglichkeit der Kühlung mit Verdunstung untersucht werden. Bei Betrachtung des psychrometrischen Diagrammes stellen wir fest, dass diese Form der Kühlung im Klimabereich der Stadt Bangkok aufgrund der hohen Luftfeuchtigkeit prinzipiell nur bedingt möglich ist. Trotzdem spielt der Einfluss von Wasserflächen auf die Behaglichkeit im *The Met* eine erhebliche Rolle, da diese zahlreich und sinnvoll im Gebäude angeordnet wurden.

4.2.5.1 Wasserflächen

Wasserflächen befinden sich sowohl in den für alle Hausbewohner zugänglichen Gemeinschaftsbereichen als auch in einigen Wohneinheiten als private Schwimmbecken. Diese privaten „Swimming Pools" sind direkt den Wohnungen zugeordnet. Bei Öffnung der Glasflächen zu den Wohnungen kann durch die Wasserflächen gekühlte Luft in die Wohneinheiten einströmen und verbessert die Innenraumbehaglichkeit.

23 I Temperatur-Jahresmaximum, -minimum und jährliche Temperaturdifferenz, relative Luftfeuchte Jahresmaximum und -minimum, Klimastandort Bangkok, Thailand, eigene Darstellung: Oswald, Ferdinand, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

4.2.5 Verdunstungskühlung

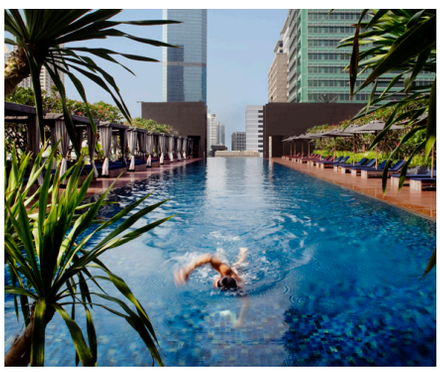


24

24 | Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone sowie der passiven Kühl- und Heizmethoden und Bereiche der indirekten und direkten Verdunstungskühlung in Bangkok, Thailand, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

Die Wasserflächen in den für alle Hausbewohner zugänglichen Gemeinschaftsbereichen sind gut ersichtlich in der zuvor aufgezeigten dreidimensionalen Schema-Grafik „Gebäudestruktur des *The Met* mit Darstellung der für alle Bewohner zugänglichen Gemeinschaftsbereiche (schwarze Flächen) und privaten Aufenthaltsflächen (weiße Flächen)". Die größte Wasserfläche befindet sich auf dem nicht überbauten Areal über dem Parkhaus im 9. Stockwerk. Dieses 50 Meter lange Schwimmbecken hat allerdings weniger Einfluss auf die Innenraumbehaglichkeit als die anderen Becken, da es sich in einiger Entfernung zum Hauptgebäudekörper befindet. Dies ist auf dem Foto „Großes Schwimmbecken im *The Met*" gut erkennbar.





25 26

Die anderen Wasserflächen sind innerhalb der Gebäudestruktur zwischen den 6 Wohntürmen angeordnet. Hier kann die durch das Wasser abgekühlte Luft innerhalb der Gebäudestruktur zirkulieren und schlussendlich auch in die Wohneinheiten hineinströmen. Hier wurden nun Messungen der Lufttemperatur im Erdgeschoss des Gebäudes im Eingangsbereiches vorgenommen. Die gesamte Grundfläche des Eingangsbereiches wird hier von dem oberhalb liegenden Baukörper verschattet. Der Eingangsbereich dient als Vorfahrt der Bewohner mit dem Auto und beinhaltet jeweils drei kleine, von Wasser umgebene Lobbys mit Rezeption und Wartebereich. Neben den Lobbys, den Erschließungskernen, den Wandstützen und den Erschließungswegen ist der gesamte Erdgeschossbereich mit Wasserflächen bedeckt. Diese sind im Grundrissplan des Erdgeschosses blau dargestellt. Hier sind neben den Ergebnissen der Windgeschwindigkeits- und Dezibel-Messungen auch die unterschiedlichen Lufttemperaturen abzulesen.

25 I Privates Schwimmbecken mit Wohneinheit im The Met, Quelle: WOHA Pte Ltd.

26 I Großes Schwimmbecken im The Met, Quelle: WOHA Pte Ltd.

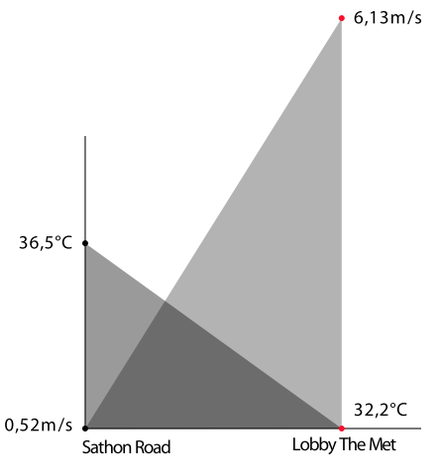
4.2.5 Verdunstungskühlung

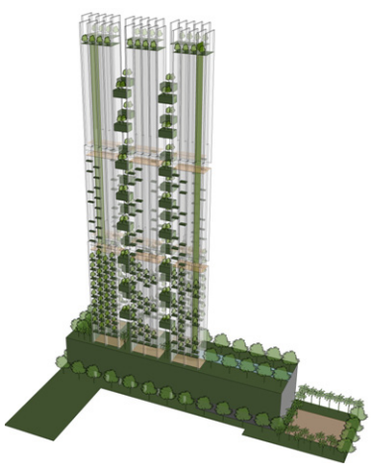


27

27 I Großes Schwimmbecken im The Met, Foto: Ferdinand Oswald, 2013

Innerhalb des Eingangsbereiches wurde eine Lufttemperatur von nur 32,3 °C gemessen. Direkt an der *Sathon Road* herrschte zum gleichen Zeitpunkt eine 4,2 °C höhere Temperatur, nämlich 36,5 °C. Dies ist mit der kühlenden Wirkung der Wasserflächen zu begründen. Das Wasser wird mit Wasserdüsen leicht bewegt, dies optimiert den Verdunstungs- und damit den die Luft kühlenden Prozess. Gleichzeitig wirken sich hier auch die Verschattung und die Luftzirkulation kühlend auf die Lufttemperatur aus. Im Diagramm ist neben der unterschiedlichen Luftgeschwindigkeit auch der Temperaturunterschied zwischen dem Lobby-Bereich und der *Sathon Road* visuell dargestellt.





28 29

4.2.5.2 Begrünungen

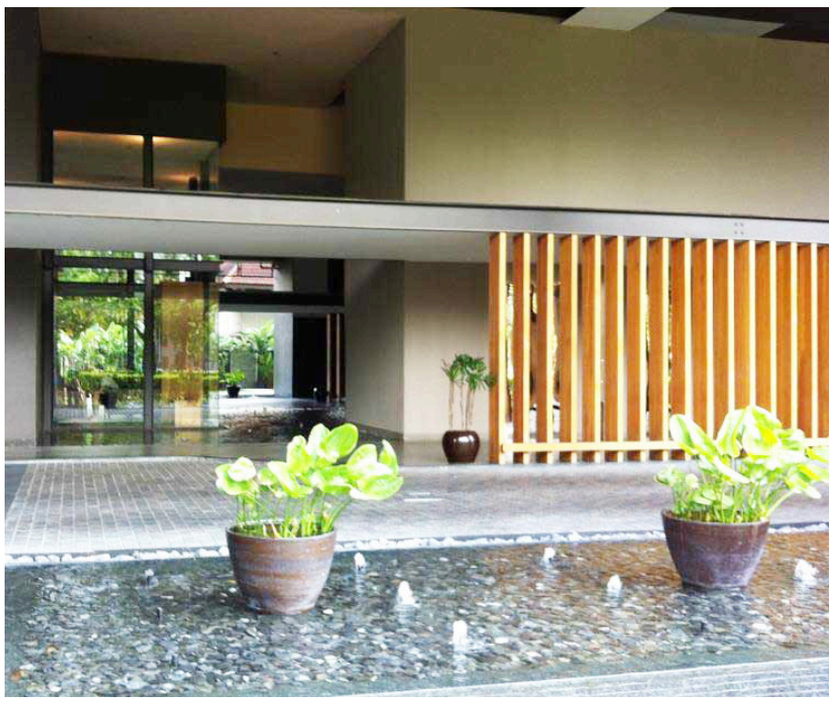
Unterschiedliche Pflanzen- und Bepflanzungsarten sind in die Gebäudestruktur integriert. Vertikale Bepflanzungen und Bäume auf den privaten Terrassen sorgen für eine Konditionierung der Frischluft. So sind im unteren Bereich, bis zum 9. Stockwerk des Gebäudes, an der Fassade des Parkhauses vertikale Bepflanzungen angebracht.

Auch an der Außenwand der Erschließungskerne sind durchlaufend bis zum Dach des Wohnhochhauses diese vertikalen Wand-Bepflanzungen vorhanden. Eine Übersicht über die Integration verschiedener Bepflanzungen in die Gebäudestruktur zeigt die dreidimensionale Abbildung der Gebäudestruktur. Auf dem Foto sind die Bäume auf den privaten Balkonen der Wohneinheiten zu erkennen.

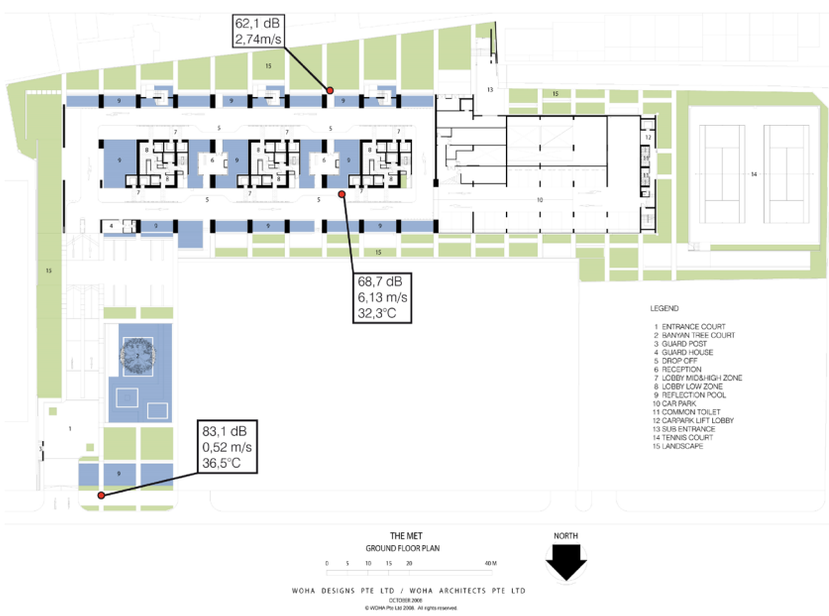
28 I Diagramm Luftgeschwindigkeits- und Temperaturunterschied zwischen Sathon Road und dem Lobby-Bereich des The Met, eigene Darstellung: Oswald, Ferdinand, 2013.

29 I Gebäudestruktur des The Met mit Darstellung der Bepflanzungsarten, Quelle: Dr. Nirmal Kishnani, Greening Asia, Emerging Principles for Sustainable Architecture, 2012, S. 263.

4.2.5 Verdunstungskühlung



30



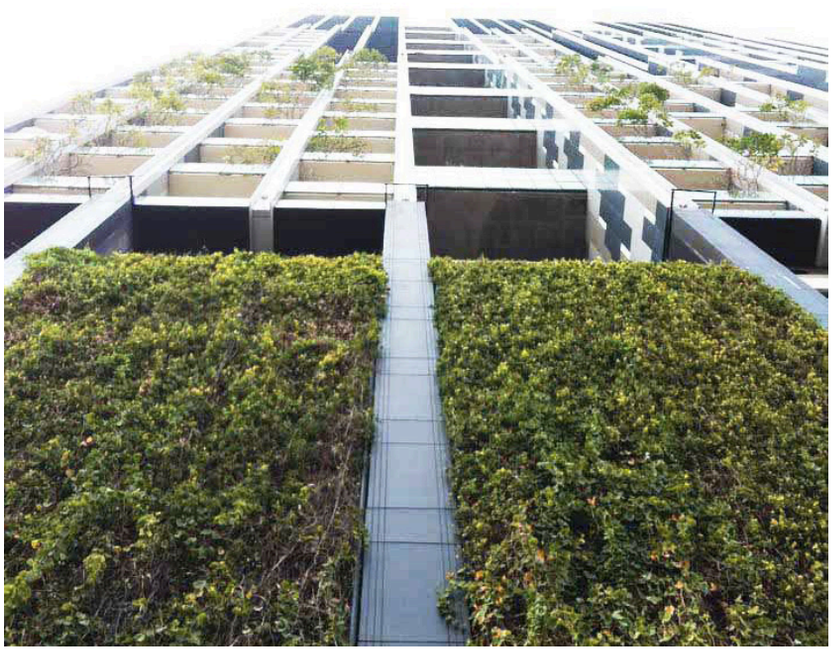
31

30 I Wasserflächen im Eingangsbereich des The Met, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

31 I Erdgeschoss-Grundriss des *The Met* mit Ergebnissen aus Windgeschwindigkeits-, Lufttemperatur- und Dezibel-Messungen vom 04. April 2013, Copyright CAD-Basis-Data: WOHA Pte Ltd, Oktober 2008, Überarbeitet Ferdinand Oswald, 2013.

Aufgrund der höheren Windstärke nach oben hin sind die Bepflanzungen in den höchsten Geschossen auch geringer. Im oberen Drittel des Hauses sind weniger Balkone mit Bäumen und Bepflanzungen vorhanden. Die WOHA-Architekten haben weitreichende Erfahrungen mit der Umsetzung von Begrünungen in Wohnhochhäusern. Es ist anzunehmen, dass die starken Winde in bis zu 228 Metern Höhe die Pflanzen nachteilig beeinflussen würden. So muss bei den hohen Windkräften die Standsicherheit der Bäume gewährleistet sein. Kleinblättrige Pflanzenarten eignen sich besser für ein windbeanspruchtes Umfeld, da die Angriffsfläche der Blätter für starke Winde kleiner ist und das Abreißen der Blätter so verhindert werden kann. Trotz dieser Problematik haben die Architekten bei diesem Projekt die Integration von grünen Gewächsen hervorragend bewerkstelligt.

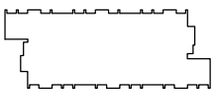


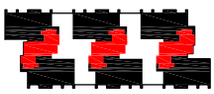


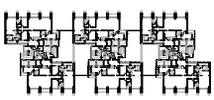
32

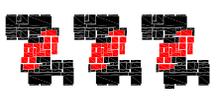
32 I Vertikale Bepflanzungen des The Met, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.6 Kennwerte


GF = 2.119 m²

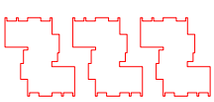

BGF | Geschoss = 1.623 m²


KGF | Geschoss = 281 m²

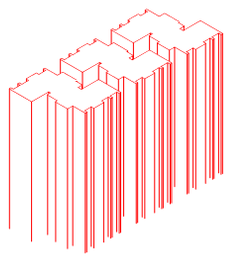

NGF | Geschoss = 1.342 m²

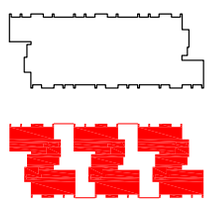

VF | Geschoss = 317 m²

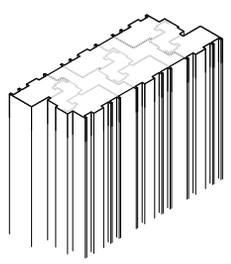

NF | Geschoss = 1.025 m²

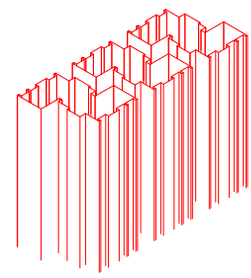

U = 437,4 m

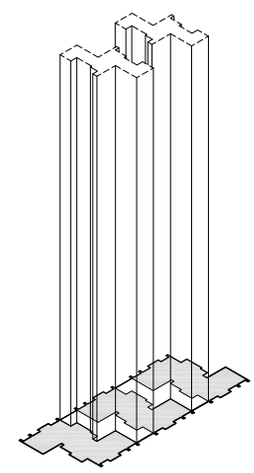

BRI = 299.930 m³

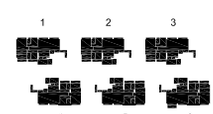

HÜL = 84.574 m²




BRGV = 391.591 m³

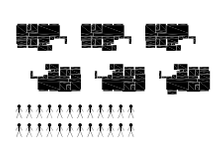

AF = 80.832 m²


LA = 91.660 m³



NE = 6


NU = 4 Personen


NUG = 24 Personen / Etage

33 **34** **35**

33 | Kenngrößen: Grundfläche (GF), Brutto-Grundfläche pro Geschoss (BGFG), Konstruktions-Grundfläche pro Geschoss (KGFG), Netto-Grundfläche pro Geschoss (NGFG), Verkehrsfläche pro Geschoss (VFG), Nutzfläche pro Geschoss (NFG), Fassaden-Umfang (U) und Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) des *The Met*, eigene Darstellungen: Ferdinand Oswald, 2013.

34 | Kenngrößen: Hüllfläche (HÜL) in isometrischer Darstellung, Grundfläche (GF) und Brutto-Rauminhalt in der Aufsicht und Teil des Brutto-Raumgrundvolumens (BRGV) in isometrischer Darstellung des The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

35 | Kenngrößen: Teil der Außenwandfläche (AF) in isometrischer Darstellung, Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung, Nutzungseinheiten pro Geschoss (NE), Wohneinheit mit durchschnittlicher Belegung (NU) von 4 Personen, sechs Wohneinheiten pro Geschoss mit durchschnittlicher Belegungsziffer (NUG) von 24 Personen, des *The Met*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

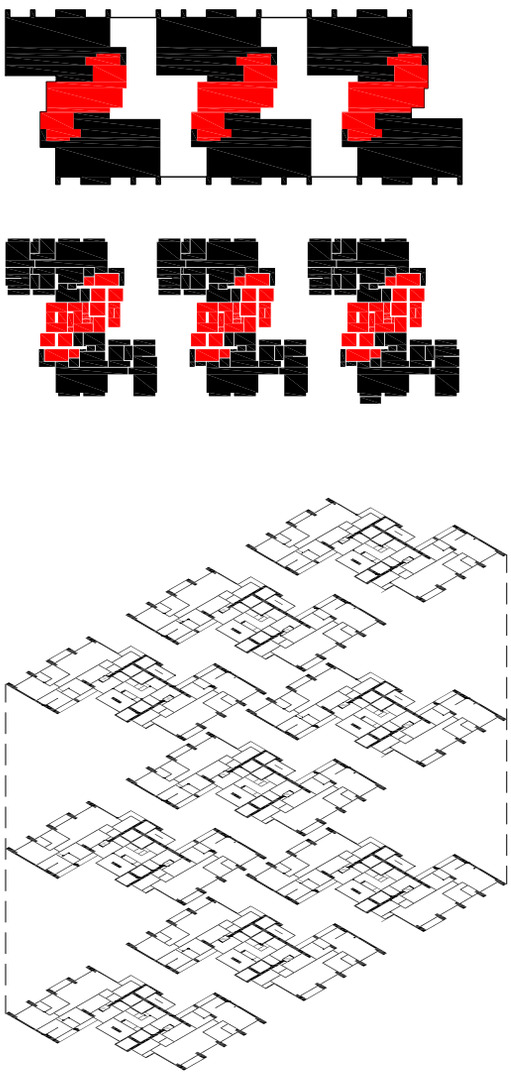
4.2.6 Bewertung des The Met nach Kennwerten

In diesem Unterkapitel wird das Wohnhochhaus nach den unterschiedlichen Kennwerten bewertet. Zur Ermittlung der Kennwerte müssen die Kenngrößen bekannt sein. Diese sind die Flächenkennwerte Brutto-Grundfläche (BGF), Netto-Grundfläche (NGF), Konstruktions-Grundfläche (KGF), Nutzfläche (NF), Verkehrsfläche (VF) und Funktionsfläche (FF). Die Raumkenngrößen sind der Brutto-Rauminhalt (BRI), das Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV) und der Luftanteil (LA). Die Hüllenkenngrößen sind der Umfang (U), die Geschosshöhe (GH), die Gebäudehöhe (GBH), die Außenwandfläche (AF), die Außengrundfläche (GF), die Dachfläche (DF) und die Hüllfläche (HÜL). Die Nutzungseinheitenkenngrößen sind: Nutzungseinheiten pro Geschoss (NE) und Nutzungseinheiten gesamt (NEG). Die Nutzerkenngrößen sind die Nutzeranzahl pro Wohneinheit (NU), die Nutzeranzahl pro Geschoss (NUG) und die Nutzeranzahl gesamt (NUA). Die aus der Flächenermittlung entstandenen Zeichnungen für die Kenngrößen sind als überarbeitete Grafiken hier abgebildet.

4.2.6.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)

Der Netto-Grundflächenquotient (NGFQ) beträgt beim *The Met* 0,83. Beim *The Met* werden also ca. 1/5 der Fläche für die Konstruktionsfläche aufgebracht. Unter Berücksichtigung der enormen Höhe des Gebäudes (228 m) muss der Flächenanteil und Aufwand der Konstruktion natürlich größer sein als bei einem niedrigeren Wohnhochhaus. Das Wohnhochhaus *Ngau Tau Kok* von der *Housing Authority* in Hongkong hat mit einer geringeren Höhe als das *The Met* (126 Meter) einen höheren Netto-Grundflächenquotienten von 0,9. Da es beinahe um die Hälfte niedriger ist als *The Met*, benötigt es eigentlich wesentlich weniger, hat aber trotzdem fast gleich viel Konstruktionsfläche. Beim *The Met* nehmen die Querschnitte der tragenden Stützenwände nach unten hin zu und das Gebäude verjüngt sich nach oben hin. Also nimmt die Wohnfläche aufgrund der kleineren Grundrissfläche nach oben hin ab. Die Netto-Grundfläche eines Geschosses (NGFG) und die Brutto-Grundfläche eines Geschosses (BGFG) im *The Met* sind aus der Darstellung ersichtlich. Des Weiteren ist eine Isometrie dargestellt, die die Konstruktionsfläche (KGF) von einzelnen Geschossen ersichtlich macht.

4.2.6 Kennwerte

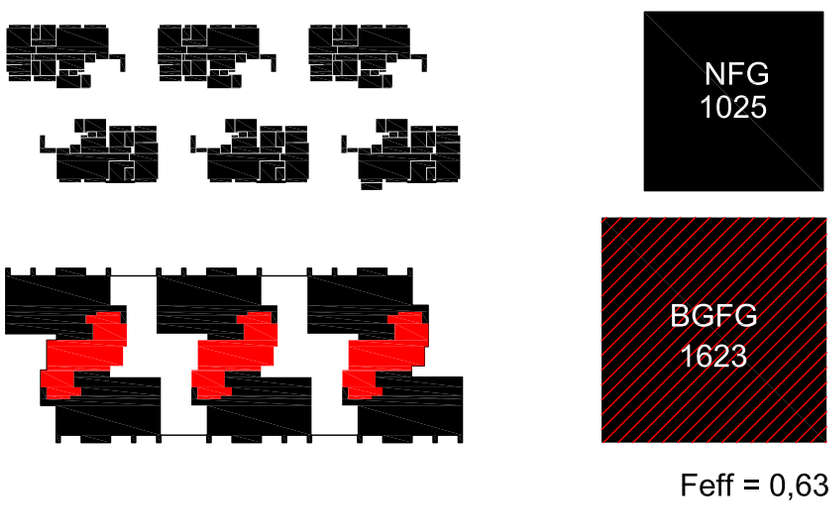


36

36 I Netto-Grundflächenquotient (NGFQ): Netto-Grundfläche (NGF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss, und abstrakte isometrische Darstellung der Konstruktionsfläche (KGF) des The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.6.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)

Der Flächeneffizienzkennwert des *The Met* mit 0,63 ist effizient. Aus diesem Kennwert lässt sich erkennen, dass nicht nur das Verhältnis der Konstruktion zur Brutto-Grundfläche effizient ist, sondern auch das Verhältnis der Nutzfläche zur Verkehrsfläche.
In der Darstellung sind die jeweiligen Regelgeschosse mit Nutzfläche (NF) und Brutto-Grundfläche (BGF) des Gebäudes *The Met* abgebildet. Des Weiteren werden diese beiden Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab grafisch nebeneinander dargestellt.



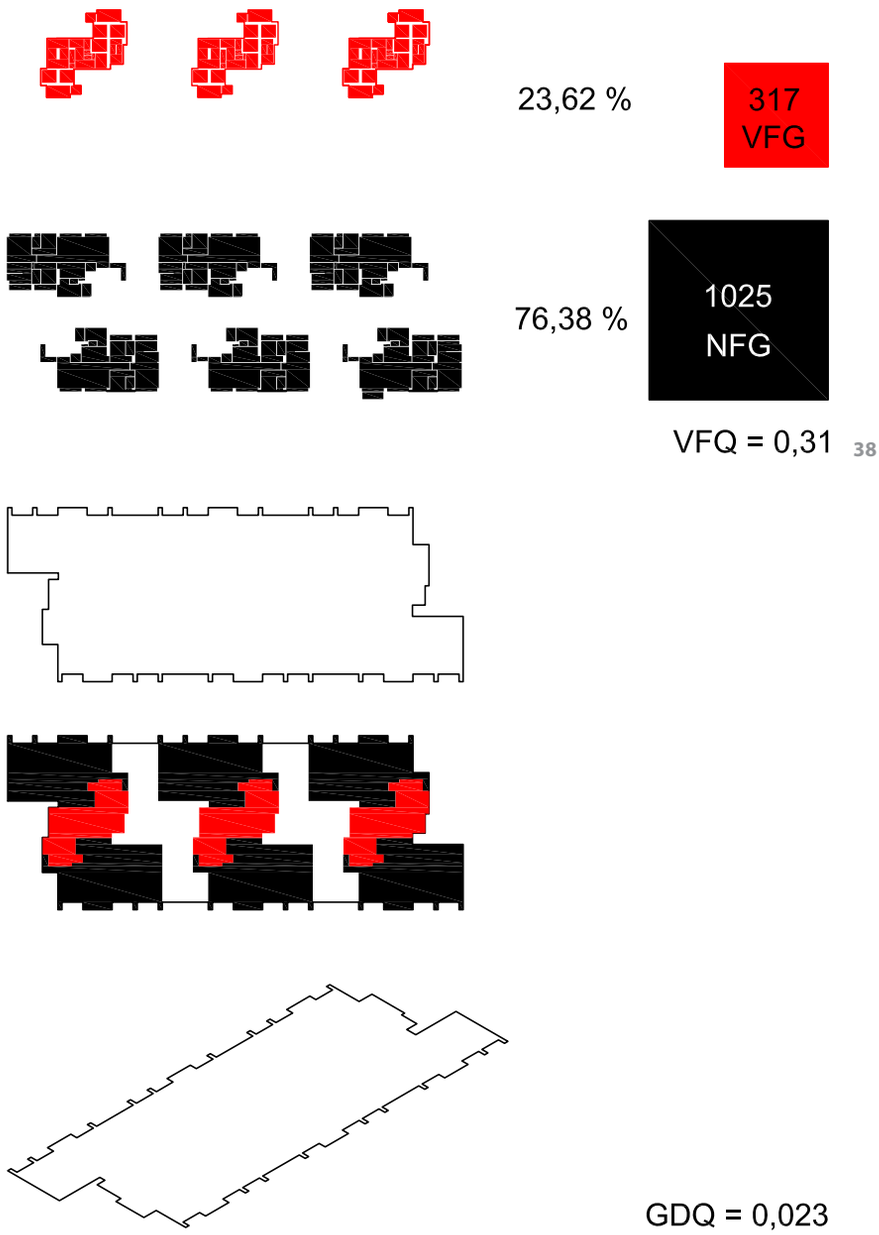
37

4.2.6.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)

Der Verkehrsflächenquotient des *The Met* ist mit 0,31 niedrig. Dies ist mit der Wohngebäudetypologie des Zweispänners zu begründen. Dem großen tragenden Kern mit Wirtschaftsaufzug, Technikräumen und Fluchttreppenhaus werden zwar nur zwei Wohneinheiten pro Geschoss angegliedert, diese sind allerdings mit Durchschnittlich 171 Quadratmetern sehr groß. Obwohl der Wohnungseingangsbereich jeweils als privater Zugang ausgeführt und somit flächenmäßig sehr großzügig umgesetzt ist, beträgt die Verkehrsfläche im Verhältnis zur Nutzfläche nur 23,6 %. In der Darstellung ist ein Regelgeschoss des Gebäudes *The Met* mit Verkehrsfläche (VFG) und Nutzfläche (NFG) darge-

37 I Flächeneffizienzkennwert (Feff): Nutzfläche (NF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des The Met dargestellt, sowie die Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab (NFG und BGFG), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.6 Kennwerte



38

39

38 | Verkehrsflächenquotient (VFQ): Verkehrsfläche (VF)/Nutzfläche (NF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des The Met dargestellt, sowie die Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab mit Prozentangabe (VFG und NFG), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

39 | Gebäudedichtequotient (GDQ): Grundfläche (GF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des The Met dargestellt, sowie isometrische Darstellung der Grundfläche des The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

stellt. Des Weiteren werden diese beiden Geschossflächen in quadratischer Form im selben Maßstab grafisch nebeneinander dargestellt. Neben dem Quotienten ist hier auch das Verhältnis von Verkehrsfläche und Nutzfläche in Prozent berechnet.

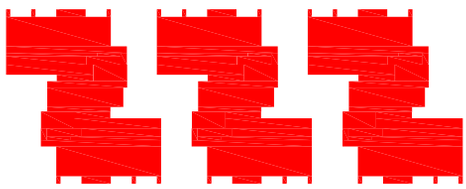
4.2.6.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)

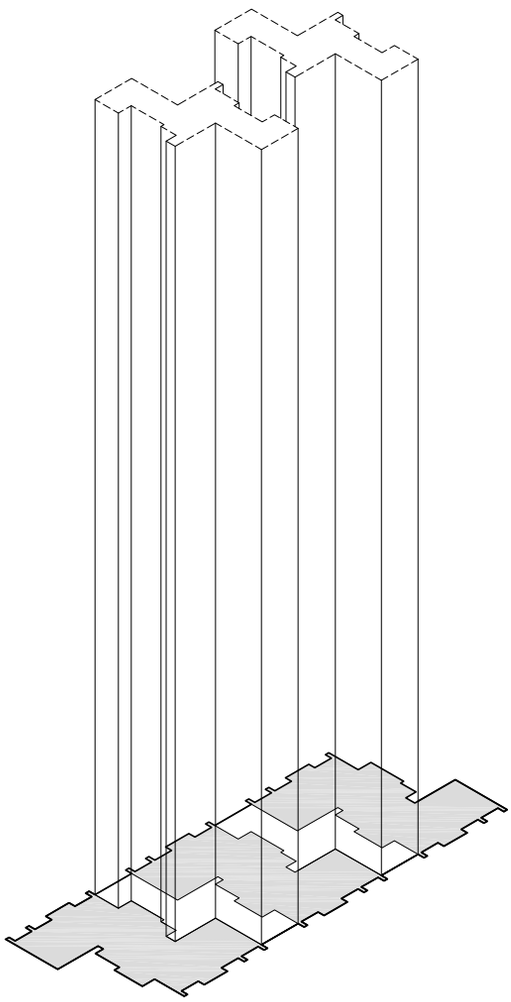
Die Gebäudedichte-Kennzahl des *The Met* ist mit einem Quotienten von 0,023 sehr niedrig und damit ist die Gebäudedichte sehr hoch. Das Verhältnis des gebauten Hochhauskörpers zur Grundfläche ist sehr gut, die direkt bebaute Fläche wird sehr gut ausgenutzt. Dies ist mit der sehr hohen Bauweise (228 Meter, 56 Wohngeschosse) zu begründen: Je höher das Gebäude ist, desto mehr Wohnfläche kann auf der Grundfläche untergebracht werden. Der Wert ermöglicht eine Aussage über die Gebäudedichte, nicht jedoch über die Bewohnerdichte des Wohnhochhauses. Dieser Wert wird im Kapitel unten noch evaluiert. In der Darstellung sind die Grundfläche und die Brutto-Grundfläche eines Regelgeschosses des Gebäudes *The Met* abgebildet. Des Weiteren wird die Grundfläche in einer isometrischen Darstellung gezeigt.

4.2.6.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)

Der Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ) ermöglicht eine ähnliche Aussage wie der Netto-Grundflächenquotient (NGFQ), nur dass hier die räumliche Komponente mit einbezogen ist. Die Höhe der einzelnen Geschosse hat einen erheblichen Einfluss auf das Ergebnis dieses Quotienten und ist aus diesem ablesbar. Das *The Met* hat einen Brutto-Rauminhaltsquotienten von 3,99. Es hat die gleiche Raumhöhe, aber weniger Konstruktionsfläche wie das im nächsten Kapitel untersuchte Skyville-Wohnhochhaus in Singapur. Deshalb ist der Brutto-Rauminhaltsquotient des *The Met* niedriger als der des Skyville, was eine verbesserte Raum-Ausnutzung bedeutet. In der Darstellung sind die Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI, rot) und die Netto-Grundfläche (NGF) eines Regelgeschosses des Gebäudes *The Met* abgebildet.

4.2.6 Kennwerte

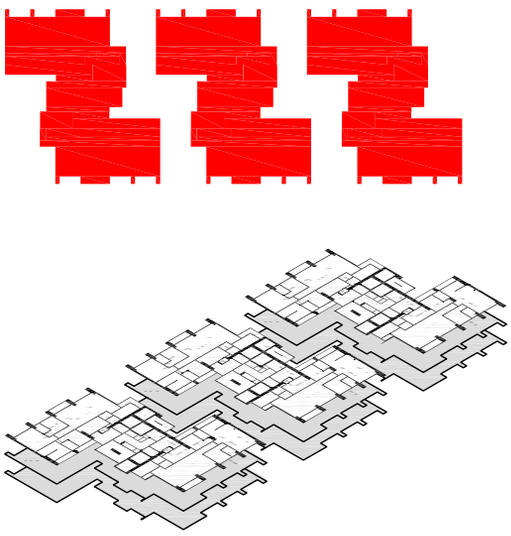




LAQ = 3,27

40

40 I Luftanteilquotient (LAQ), Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung des The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.



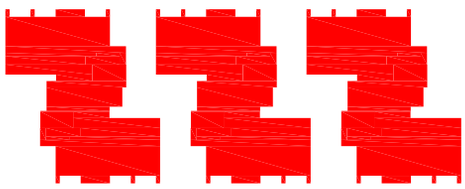
41

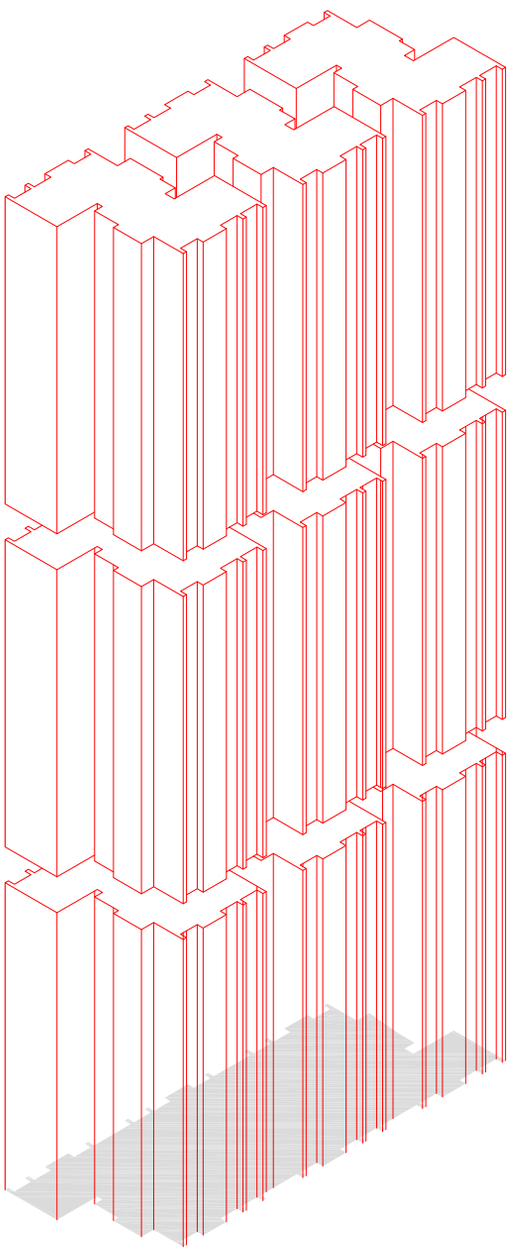
4.2.6.6 Luftanteilsquotient (LAQ)

Der Luftanteil des *The Met* ist 91.660 m^3 groß. Dies ist angesichts der beträchtlichen Gebäudehöhe und des großen Gesamtvolumens ein sehr hoher Wert. Der Quotient von 3,27 gibt jedoch zu erkennen, dass der Anteil des Luftraums im Verhältnis zum Bruttorauminhalt im Vergleich zum *Skyville* nur mittelgroß bis groß ist. Dies ist mit der Gebäudestruktur des Wohnhochhauskomplexes zu begründen: Die beiden großen Abstände zwischen den drei Gebäudekörpern bilden große S-förmige Spalten zur Durchlüftung. Obwohl sich in diesen Spalten nach Osten und Westen geschlossene Fassadenabschnitte befinden, profitieren die Wohneinheiten von diesen Luftspalten, da die Windströmung an den rückseitig orientierten Wohnungsfassaden (Norden und Süden) am Knickpunkt des „S" direkt hineinströmen kann. Die Wohnungsöffnungen sind dem Windstrom hier also frontal entgegengestellt, sodass der Luftstrom hier förmlich in die Wohnungen hineingedrückt wird. Dies optimiert die Wirksamkeit der Querlüftung. Die in zwei Geschossen befindlichen offenen Aufenthaltsflächen in Kombination mit den vertikalen Öffnungen zwischen den Gebäudekörpern unterstützen die Luftzirkulation weiter. Hierdurch wird der vertikale Luftauftrieb in den Zwischenräumen verstärkt. Des Weiteren verbessert der große Luftanteil des Gebäudes mit den vertikalen Zwischenräumen und den horizontal offenen Geschossen die Durchlässigkeit für den

41 I Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ): Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) und Netto-Grundfläche (NGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des The Met dargestellt, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.6 Kennwerte





42

42 | Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis: Hüllfläche und Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung des The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Luftstrom und verkleinert somit auch die Angriffsfläche für Windkräfte. Bei starken Winden wie Stürmen oder Hurrikans verringert sich somit die Gefahr des Kollabierens des Gebäudes. Nach Aussagen der WOHA Architekten wurden in Windkanalmodellen Windsimulationen zur Überprüfung dieser Eigenschaften durchgeführt.[7] In der Grafik ist der Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung des Gebäudes *The Met* abgebildet.

4.2.6.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis

Der Hüllflächenquotient und somit das A/V-Verhältnis des *The Met* ist mit 0,28 sehr niedrig, was bedeutet, dass das Gebäude sehr kompakt ist. Die drei Gebäudekörper mit jeweils zwei sehr großen Wohneinheiten pro Geschoss sind kompakt ausgeführt und haben wenige Vor- und Rücksprünge. Die Fassadenfläche ist im Verhältnis zum Bruttorauminhalt sehr klein. Die Fassade hat mit Ausnahme der herausragenden Stahlbetonkonstruktion keinerlei Faltungen. Des Weiteren sind die Wohneinheiten sehr stringent und konsequent nach Norden oder Süden orientiert. Das heißt, dass die Fassaden in einer Geraden liegen. In der Grafik ist ein Teil von Hüllfläche und Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung des Gebäudes *The Met* abgebildet.

4.2.6.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten

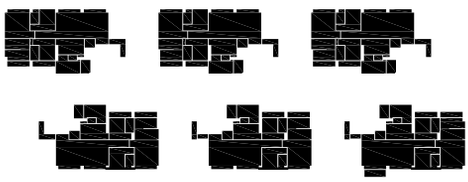
Die Größe der Wohneinheiten entsprechen mit ihrer durchschnittlichen Größe von 170 m^2 den Anforderungen des wohlhabenden Klientel des *The Met*. Die Wohntypologien werden modifizierbar angeboten. Zimmergrößen können flexibel angepasst werden. Somit lassen sich die Ansprüche der Zimmeranzahl in der gleichbleibenden Wohnungsgröße für 1 bis 5 Personen in einer Wohneinheit verändern. In der Grafik sind die Nutzungseinheiten eines Regelgeschosses und ebenfalls die durchschnittliche Fläche einer Nutzungseinheit des Gebäudes *The Met* in der Grundfläche in jeweils gleichem Maßstab isometrisch abgebildet.

4.2.6.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)

Die Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) gibt die durchschnittliche Verkehrsflächengröße einer Nutzungseinheit eines Wohngebäudes in Quadratmetern an und beträgt beim *The Met* 52,80 m^2/NE, was ein sehr

[7] WOHA-Architekten, siehe: Teil 07 Anhang, Kapitel 7.1 Interview WOHA - Architects

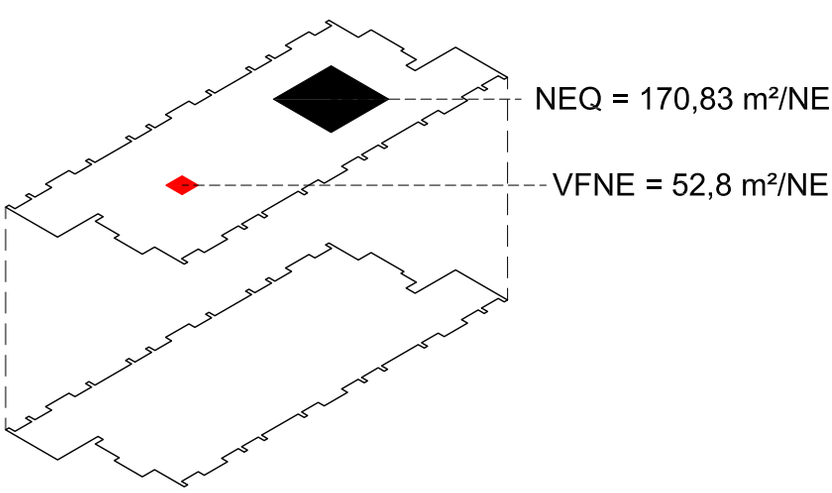
4.2.6 Kennwerte



43



44



45

43 | Nutzungseinheitenquotient (NEQ): Nutzfläche (NF) geteilt durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) in der Abbildung eines Regelgeschosses des The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

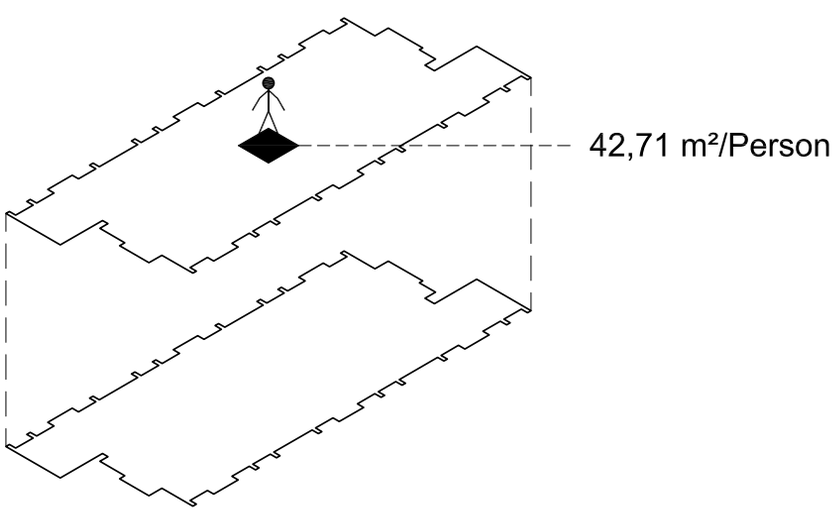
44 | Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE): Verkehrsfläche (VF) geteilt durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) in der Abbildung eines Regelgeschosses des The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald.

45 | Nutzungseinheitenquotient (NEQ) und Verkehrsflächen-Nutzungeneinheitenzahl (VFNE) in isometrischer Darstellung der Grundfläche sowie in quadratischer Darstellung im gleichen Maßstab im *The Met*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

hoher Wert ist. Diese hohe Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl entsteht durch den großflächigen Eingangsbereich. Da nur eine geringe Anzahl von Wohneinheiten pro Geschoss (6 NE) erschlossen werden müssen, ist die Anzahl der Erschließungsflächen hier gering und die Verkehrsfläche kann entsprechend großflächig ausgebildet werden. Dieser private Eingangsbereich ist Teil des geforderten Luxus der Bewohner des *The Met*, die zur obersten Einkommensschicht in Bangkok gehören. In der Grafik sind die Verkehrsflächen eines Regelgeschosses und die durchschnittliche Verkehrsflächengröße des Gebäudes *The Met* in der Grundfläche in jeweils gleichem Maßstab isometrisch abgebildet.

4.2.6.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP)

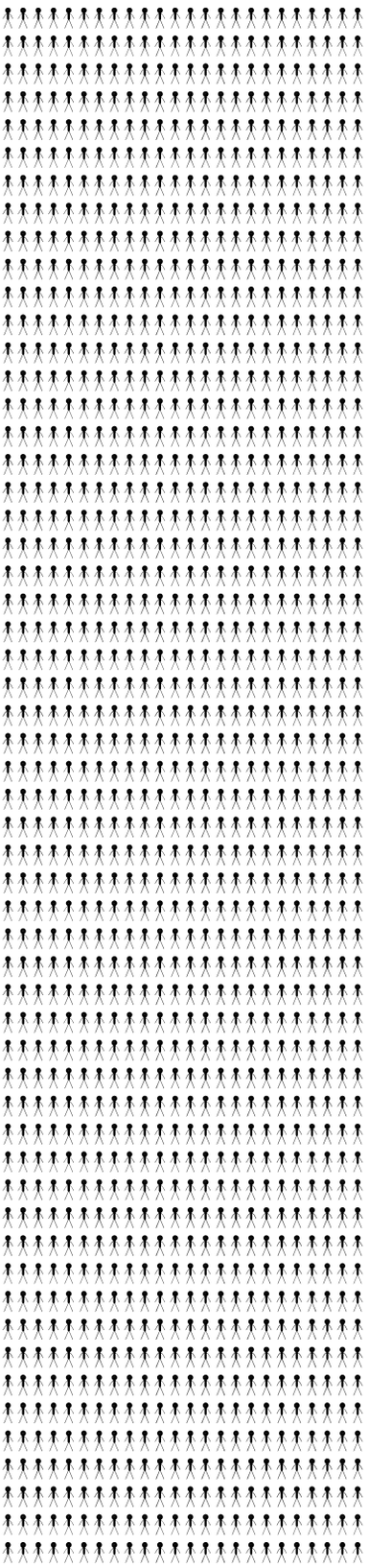
Wie schon erwähnt handelt es sich bei den Bewohnern des *The Met* um ein sehr wohlhabendes Klientel, weshalb die Belegungsziffer pro Wohneinheit recht niedrig ist. Die Belegungsziffer Nutzeranzahl (NU) spiegelt die durchschnittliche Belegung der Wohneinheiten wider. Für die Berechnung der Nutzfläche pro Person (NP) ist dieser Wert sehr wichtig. Im Beispiel des The Met wurde eine durchschnittliche Belegungsziffer (NU) von 4 Personen angenommen. Der Kennwert der Belegungs- oder Wohndichte im m^2 ausgedrückt trifft eine direkte Aussage über die zur Verfügung stehende Wohnfläche pro Person.



46

46 | Nutzfläche pro Person (NP): Nutzungsfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA), in der Abbildung in isometrischer Darstellung die Grundfläche des *The Met* sowie in quadratischer Form die durchschnittlich zur Verfügung stehenden Quadratmeter Wohnfläche pro Person im gleichen Maßstab, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.6 Kennwerte



NUA = 1344 Personen gesamt

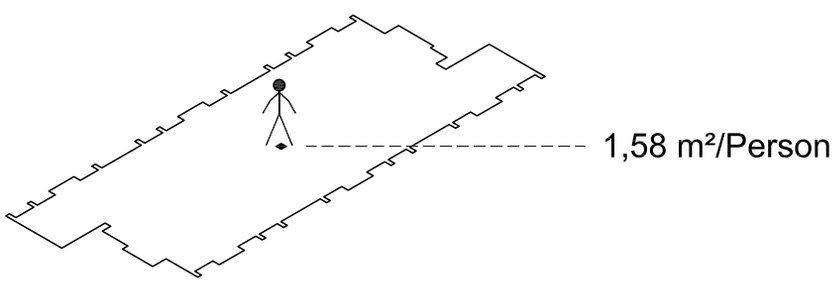
Hinsichtlich der wohlhabenden Bewohner des *The Met* ist die Nutzfläche pro Person (NP) mit 42,7 m² pro Person entsprechend gering. In der Grafik ist diese Wohnfläche (42,71 m²/Pers.) in quadratischer Form in der Grundfläche des Gebäudes The Met im gleichen Maßstab abgebildet.

4.2.6.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA)

Obwohl die Nutzeranzahl des gesamten Wohngebäudes (NUA) keinen Kennwert darstellt, sondern eine Kenngröße, ist es interessant, die Anzahl der Bewohner des gesamten Wohngebäudes zu betrachten. Die Gesamtpersonenanzahl im *The Met* ist mit 1.344 Personen im Verhältnis zur großen Anzahl der Wohngeschosse nicht hoch und liegt unter der von vielen anderen Wohnhochhäusern in Bangkok. Dies ist mit der niedrigen Belegungsziffer und der geringen Belegungsdichtezahl mit einer Person pro 42,7 m² zu begründen. In der Grafik sind alle 1.344 Nutzer des *The Met* dargestellt.

4.2.6.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Person (GP)

Die Gebäudebewohnerquotient des *The Met* liegt bei 0,63. Die Grundfläche pro Person, bezogen auf die bebaute Grundfläche und die gesamte Anzahl der Bewohner des Wohnhochhauses, ist 1,58 m². Dieser Wert ist bei der sehr großen Anzahl von 56 Wohngeschossen recht hoch. Die Grundfläche ist zwar gut zur Personenunterbringung ausgenutzt, könnte aber bei dieser Menge an Geschossen noch mehr Personen unterbringen. Die große Höhe des Gebäudes ist auf die begehrte Grundstückslage im Zentrum Bangkoks und auf die hier sehr hohen Grundstückspreise zurückzuführen.



48

47 I Gesamtbewohneranzahl (NUA), Darstellung aller Personen im The Met, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

48 I Grundfläche pro Person (GP): Grundfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA), in der Abbildung durchschnittliche zur Verfügung stehende Quadratmeter Grundfläche pro Person in isometrischer Darstellung des *The Met*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.2.7 Verbesserungspotential/Fazit

Die natürliche Belüftung und eine dadurch bedingte Reduzierung der elektrischen Konditionierung ist in den Wohneinheiten des *The Met* aufgrund der vorher beschriebenen Gebäude-, Grundriss- und Fassadenstruktur sehr gut möglich. Die Kennzahlen zeigen auf, dass trotz des großen Luftanteils des Gebäudekörpers und der damit gut möglichen Querlüftung der Wohnungen eine hohe Gebäudedichte (Gebäudedichtequotient) erreicht werden kann. Das *The Met*-Projekt ist ein Vorreiter für diese innovative Architektur in tropischen Regionen geworden. Nicht unbegründet hat das *The Met* zahlreiche Architektur- Auszeichnungen und -Preise gewonnen. Das Bewohnen des *The Met* während des Messzeitraumes hat gezeigt, dass sich sogar in der heißesten Hitzeperiode in Bangkok mit der natürlichen Belüftung eine angenehme Behaglichkeit durch natürliche Querlüftung erreichen lässt. Die Befragung[8] von Mitarbeitern des *The Met* hinsichtlich der Nutzung der Klimaanlage ergab, dass nach Einschätzung der Mitarbeiter die meisten Bewohner des *The Met* tatsächlich die Nutzung der Klimaanlagen im Vergleich zu anderen, herkömmlichen Wohngebäuden reduzieren. Dies sei anhand des Stromverbrauchs der einzelnen Wohneinheiten belegbar. Allerdings werden diese Daten der Öffentlichkeit nicht zugänglich gemacht und es gab keine Möglichkeit, die Zahlen des Stromverbrauchs der einzelnen Wohneinheiten im *The Met* einzusehen. Auch die Untersuchungen von Dr. Nirmal Kishnani[9] zeigen dies auf: „45 % of the residents say, that they have low to moderate dependence and reliance on air-conditioning".

Eine Unbehaglichkeit ist bei der natürlichen Belüftung während der einwöchigen Evaluierung[10] nicht registriert worden – allerdings wurde eine Unbehaglichkeit bei Verwendung von elektronisch betriebenen Ventilatoren wahrgenommen. Hierbei wird die Luft künstlich und stark gerichtet in Bewegung gesetzt. Auch bei rotierenden Ventilatoren[11] empfinden viele Personen

[8] Interview mit Ms. Jenitar Eve RCA (Sales Manager The Met, Bangkok) und, Mr. Korn Danudech (Technical Director The Met, Bangkok), geführt von Ferdinand Oswald, Singapur 04.04.2011.

[9] Kishnani, Nirmahl: Greening Asia. Emerging Principles for Sustainable Architecture, Singapur 2012, S. 264.

[10] Einwöchiges Bewohnen des The Met in Wohneinheit 29 C, 04.–10. Mai 2013.

[11] Rotierende Ventilatoren: langsames bewegen des Ventilatoren-Kopfes, z.B. in einem 90°-Winkel.

den Luftstrom als unangenehm und fühlen sich unbehaglich. Dies ist damit zu begründen, dass die Luft punktförmig mit relativ hoher Intensität auf die menschliche Haut geblasen wird. Bei der Querlüftung werden hingegen große Luftmaßen in geringer Geschwindigkeit bewegt. Die Luft wird hierbei durch den Raum geschoben und verhält sich nicht so punktförmig wie bei Ventilatoren. Die menschliche Haut empfindet diese Luftbewegung als unauffälliger, weniger intensiv und angenehmer.

Die Nutzung der Speichermasse funktioniert nach Auswertung der Messungen der Oberflächentemperaturen beim *The Met* nicht. Die Gebäudetrag- und Fassadenstruktur mit den herausragenden tragenden Stahlbeton-Stützenwänden des *The Met* bietet zahlreiche Vorteile wie die Verschattung, sodass auf außenliegende Sonnenschutzelemente verzichtet werden kann, die Intensivierung der natürlichen Querlüftung durch diese als „Windschwerter" genutzten Elemente und das gestalterisch überzeugende Fassadenkonzept. Wie oben schon beschrieben wurde, müssten die herausragenden tragenden Stahlbeton-Stützenwände zur Nutzung der Speichermasse jedoch anders konzipiert sein.

Bei den Öffnungen im *The Met* gibt es ebenfalls noch Verbesserungspotential. Insbesondere ist eine exakte manuelle Kontrolle des Luftstromes durch den Bewohner hier nicht durchführbar. Die unterschiedlichen Anforderungen an Sonnenschutz, Regenschutz und Kontrolle des Öffnungsquerschnitts müssen gleichermaßen durch Öffnen oder Schließen ohne Zwischenstufen gelöst werden. Es wären Öffnungen vonnöten, die alle diese Anforderungen gleichzeitig erfüllen können. Ein Vorbild könnten hier die traditionellen Holzstreben-Fenster der alten Tulou-Bauten in der Fujian-Region in China sein. Diese sind manuell mit minimaler Bewegung des Elementes einstellbar und können somit die gewünschte Luftgeschwindigkeit exakt ermöglichen. Diese Öffnungstypologie wird im übernächsten Kapitel „Vorstudie Tulou" noch vorgestellt.

4.3.1 Projektbeschreibung

4.3.1.1 Klima
4.3.1.2 Standort

4.3.2 Natürliche Belüftung

4.3.2.1 Städtebauliche Positionierung
4.3.2.2 Gebäudestruktur und Fassade
4.3.2.3 Grundrisse
4.3.2.4 Öffnungen

4.3.3 Verringerung der solaren Energieeinträge

4.3.3.1 Orientierung und Gebäudestruktur
4.3.3.2 Fassadenstruktur

4.3.4 Speichermasse

4.3.5 Verdunstungskühlung

4.3.5.1 Wirksamkeit Verdunstungskühlung
4.3.5.2 Begrünungen

4.3.6 Bewertung des *Skyville* nach Kennwerten

4.3.6.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)
4.3.6.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)
4.3.6.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)
4.3.6.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)
4.3.6.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)
4.3.6.6 Luftanteilquotient (LAQ)
4.3.6.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) - A/V Verhältnis
4.3.6.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) - Größe der Wohneinheiten
4.3.6.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)
4.3.6.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte)
4.3.6.11 Nutzeranzahl Gesamt (NUA)
4.3.6.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte)

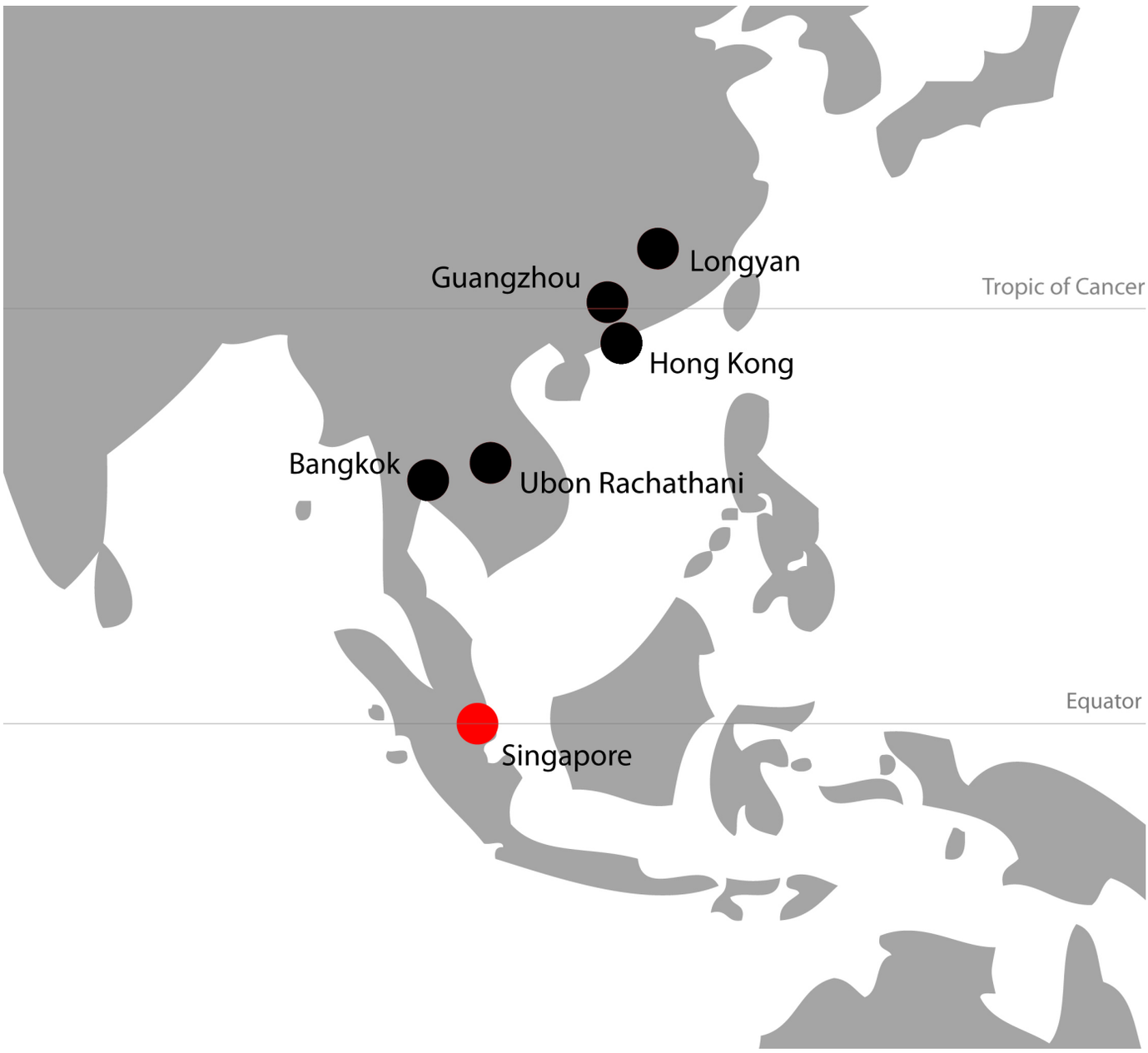
4.3.7 Verbesserungspotential/Fazit

01 | Kapitelcover, Fassadenansicht Skyville at Dawson, Rendering, Copyright: WOHA Pte Ltd, 2013.

4.3 Zweite Fallstudie - Skyville Singapur



4.3.1 Projektbeschreibung



02

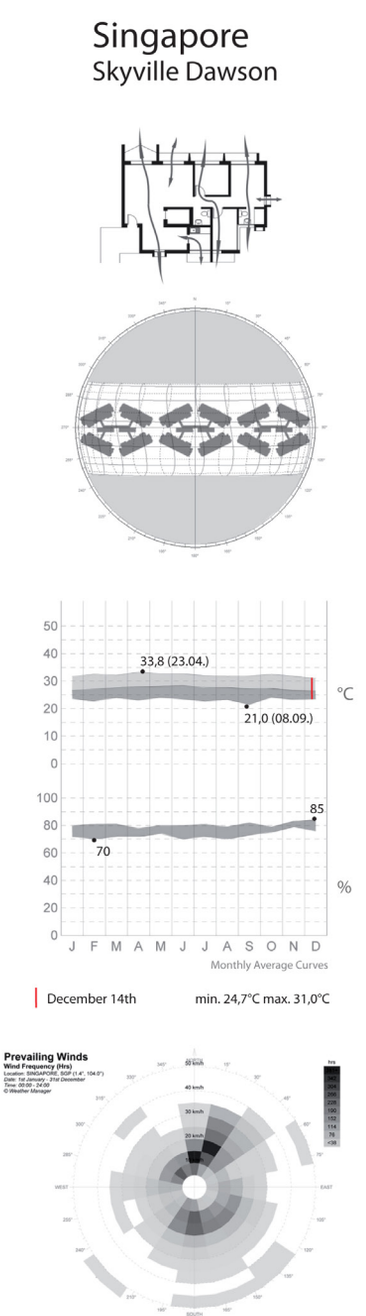
02 I Standort der Fallstudie Singapur (roter Punkt), Kartenausschnitt Asiens mit sechs ausgewählten Standorten, Äquator und nördlichem Wendekreis, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

In dieser zweiten Fallstudie soll untersucht werden, mit welchen architektonischen Mitteln die Architekten diese neue Wohnbautypologie für ein staatlich gefördertes Wohnungsbauprojekt umsetzen, die einen angenehmen Wohnkomfort mit natürlicher Belüftung und gleichzeitiger Reduzierung der Nutzung von Klimaanlagen möglich machen soll. Weitere Maßnahmen, die zur passiven Kühlung des Gebäudes in Singapur beitragen können, wie die Verringerung der solaren Energieeinträge, die Speichermassen- und die Verdunstungskühlung werden hier ebenfalls untersucht. Nach der Betrachtung des psychrometrischen Diagramms und der Bewertung der Wohnbautypologie nach Kennwerten werden im Fazit in dieser Fallstudie Skyville at Dawson Verbesserungspotentiale aufgezeigt.

4.3.1 Projektbeschreibung

Das *Skyville at Dawson*-Projekt kann als Nachfolger und Weiterentwicklung des *The Met* in Bangkok gesehen werden. Die Architekten beider Projekte, WOHA, verfolgen hier im Prinzip ein ähnliches architektonisches Konzept, nämlich die Erreichung einer porösen Gebäudestruktur durch die parallele Positionierung von mehreren Wohntürmen. Die Idee der beiden Architekten Richard Hassell und Wong Mun Summ, den Stadtraum vertikal nach oben zu transferieren wird hier abermals weiterverfolgt. Auch im Detail gleichen sich die beiden Projekte. So ist auch die Ausrichtung der Wohneinheiten nach Norden und Süden hier ähnlich. Der wesentliche Unterschied und zugleich die große Herausforderung ist das unterschiedliche Klientel der beiden Wohnhochhausprojekte. Während das*The Met* für die sehr wohlhabende Oberschicht konzipiert wurde und großzügige Verkehrsflächen sowie wesentlich größere Wohneinheiten (170 m^2) enthält, ist das *Skyville* ein staatlich unterstütztes Wohnbauprojekt für die Mittelschicht Singapurs. Deshalb müssen die Verkehrsflächen kleiner und effizienter sein und die Wohneinheiten (58 m^2) den finanziellen Möglichkeiten der Bewohner entsprechen. Weiter kommt hinzu, dass sich der Klimastandort des *Skyville at Dawson* in Singapur wesentlich von dem des *The Met* in Bangkok unterscheidet. Das *Skyville at Dawson*-Wohnhochhaus hat eine Höhe von 148 m und soll 2.880 Bewohnern in 960 Wohneinheiten auf 40 Wohngeschossen Platz bieten. In Singapur gibt es zahlreiche Wohnhochhäuser mit dieser Gebäudehöhe und in diesen Dimensionen. Das Gesamtensemble besteht aus drei Gebäudegruppie-

4.3.1 Projektbeschreibung



03

03 I Grundriss des Skyville at Dawson einer Wohneinheit; Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Darstellung der Orientierung des Skyville at Dawson; Temperatur-Jahresmaximum, -minimum und jährliche Temperaturdifferenz sowie Jahresmaximum und -minimum der relativen Luftfeuchte; Windrose mit Windrichtung, -stärke und -häufigkeit am Klimastandort Singapur, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

rungen mit jeweils 4 Wohntürmen und einem Erschließungstrakt in der Mitte. Die Tragstruktur des Gebäudes funktioniert mit Stahlbeton-Wandschotten. Das Gebäude befindet sich noch in der Entstehungsphase und soll erst Mitte 2015 fertiggestellt werden, sodass es bei dieser Fallstudie nicht möglich war, Messungen (Temperatur, Luftgeschwindigkeiten) vorzunehmen. Inzwischen befindet sich das Projekt im Rohbau.

4.3.1.1 Klima

Singapur befindet sich genau am Äquator, also im Zentrum der Tropen. Die Tropen befinden sich zwischen dem 20sten nördlichen und dem 20sten südlichen Breitengrad. Der Standort Singapur und seine Position direkt am Äquator sind auf der Karte mit allen sechs Fallstudien zu erkennen.

In Singapur bleibt das Wetter im Vergleich zu den anderen fünf Klimastandorten das ganze Jahr über relativ gleich. Die Temperaturen ändern sich hier aufgrund der Nähe zum Äquator kaum und es gibt ein Temperatur-Jahresmaximum und -Minimum von 33,8 °C und 21,0 °C. Dies ergibt eine jährliche Temperaturdifferenz von nur 12,8 °C. Besonders die Regenzeit führt hier zu Temperaturunterschieden. Es kann hier insbesondere zwischen den beiden Jahreszeiten Sommer und Regenzeit unterschieden werden. Die regenintensivste Zeit ist von November bis Januar; dann sorgt der Nordostmonsun für kräftige Regengüsse und die höchste Luftfeuchtigkeit im Jahr (85 %). Doch auch außerhalb der Regensaison ist mit häufigen Gewittern zu rechnen. Temperatur-Jahresmaximum, -minimum und jährliche Temperaturdifferenz sowie Jahresmaximum und -minimum der relativen Luftfeuchte sind in der Abbildung dargestellt.
Jährlicher Sonnenstand und -verlauf sind in der stereografischen Abbildung zu sehen, die mit den waagerechten Tagesverlauf-Linien deutlich macht, dass es in Singapur kaum direkte Nord- und Südsonneneinstrahlung gibt, weil der Standort sich direkt auf dem Äquator befindet. Die direkte Hauptsonneneinstrahlung erfolgt hier also, neben der zeitlich sehr langen Strahlung die von Oben auf horizontale Flächen eintrifft, von Westen und Osten. Die in Singapur vorherrschenden Windkonditionen sind mit Windrichtung, -stärke und -häufigkeit in der Windrose dargestellt. Zu erkennen ist hier, dass der Wind (dunkle Flächen) am häufigsten von Süden und Norden weht.

4.3.1 Projektbeschreibung

Die häufigste Windgeschwindigkeit liegt in Singapur zwischen 10 und 25 km/h. Diese wetterbedingte Windstärke ist für die Nutzung einer natürlichen Querlüftung prinzipiell ausreichend.

4.3.1.2 Standort

Der Name Singapur entstammt den altindischen Worten „Singha“ (Löwe) und „Pura“ (Stadt) und bedeutet frei übersetzt „Löwenstadt“. Die Halbinsel der Republik Singapur liegt zwischen dem Indischen und dem Pazifischen Ozean. Im Norden grenzt Singapur an die malaysische Halbinsel, im Osten befindet sich die Straße von Malakka, eine der am stärksten befahrenen Wasserstraßen der Welt. Im Süden an der Straße von Singapur befindet sich auch die Hauptstadt Singapur. Die Republik Singapur ist ein Stadtstaat und hat eine Fläche von 712,40 km², auf der 5,3 Millionen Einwohner leben.[1] Daraus ergibt sich eine Bevölkerungsdichte von 7.439 Einwohnern pro km². Obwohl die Fläche der Republik Singapur viele nichtbesiedelte Grünflächen besitzt, ist sie dicht bevölkert, weil sich in den Ballungszentren zahlreiche Wohnhochhäuser befinden. Aufgrund der Lage am Meer herrscht hier ein tropisches See-Klima. Das konstant heiße und feuchte Tropenklima bewegt die Menschen in Singapur dazu, die Innenräume ganzjährig mit Klimageräten zu konditionieren.



04

04 I Baustelle des Rohbaus Skyville at Dawson und städtebauliche Situation in nördlicher Richtung, 19 der 46 Geschosse sind als Rohbau bereits erstellt, Foto: Dawson Skyville BTO Singapur, (Stand: Dezember 2012).

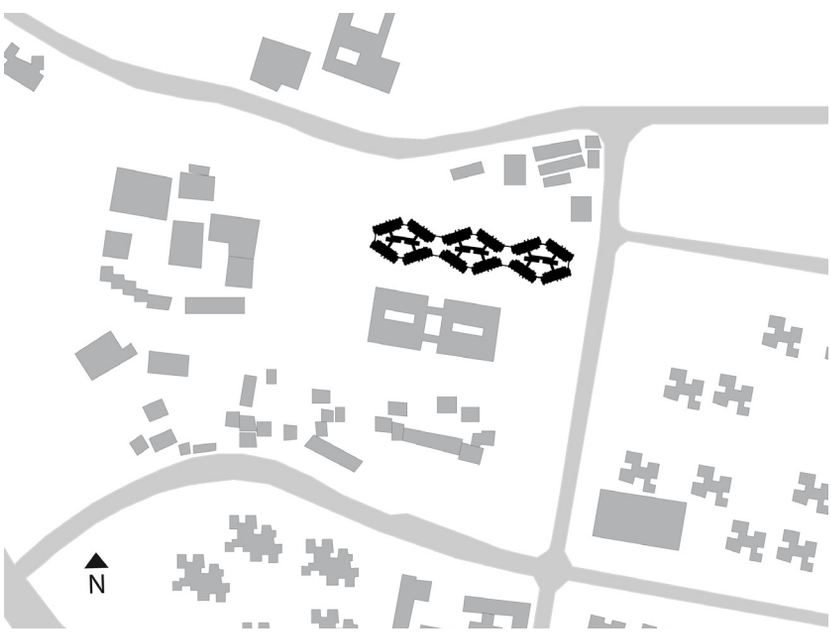
[1] Department of Statistics Singapore, Ministry of Trade & Industry, Republic of Singapore, Online unter: http://www.singstat.gov.sg/statistics/latest_data. html#12 , (Stand: 06.08.2014).

4.3.2 Natürliche Belüftung

Durch die architektonische Typologie des *Skyville at Dawson* ist mit natürlicher Belüftung die Reduzierung der Klimaanlagennutzung sehr wahrscheinlich möglich. Herausstellen wird sich dies, wenn das Gebäude Mitte 2015 bezugsfertig und dann bewohnt wird.
Um dies hier zumindest theoretisch aufzuzeigen, werden nun die verschiedenen Ebenen des Gebäudes betrachtet: die städtebauliche Positionierung (Makro), in der Mesoebene die Gebäudestruktur, Fassade und die Grundrisstypologie. In der Mikroebene wird aufgezeigt welche zahlreichen Anforderungen die Öffnungen in der Fassade erfüllen müssen.

4.3.2.1 Städtebauliche Positionierung

Das *Skyville at Dawson* Wohnhochhaus befindet sich in der Nähe des Stadtzentrums in der Zentralregion der Republik Singapurs. In der Umgebung des Baugrundstück des *Skyville at Dawson*-Wohnhochhauses befinden sich in einiger Entfernung im Süden weitere Wohnhochhäuser und im nördlicher



05

05 I Lageplan Skyville at Dawson, Singapur, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.3.2 Natürliche Belüftung



06

06 I Schnitt Skyville at Dawson, Copyright: WOHA Pte Ltd. Singapore.

Richtung unbebaute Grünflächen und niedrige Bauten. Der Rohbau (Stand: Dez. 2012) und die städtebauliche Situation in nördlicher Richtung, ist auf dem Foto erkennbar.
Ca. 500 Meter entfernt, in südlicher Richtung, befindet sich die vielbefahrene 6-spurige Alexandra Road. Die städtebauliche Situation lässt sich auf dem Lageplan gut erkennen. Durch den Abstand zu hoher Nachbarbebauung steht das Wohnhochhaus *Skyville at Dawson* frei und wird nicht direkt von anderen hohen Windhindernissen beeinflusst. Der Standort als solitäres Hochhaus hat wesentliche Einflüsse auf die Nutzung der natürlichen Belüftung, da der Windstrom nicht von anderen Gebäudekörpern verwirbelt wird. Somit können alle Wohnungen des Hochhauses von den direkten wetterbedingten Winden profitieren. Die Hauptwindrichtung an diesen Standort verläuft in nord-südlicher Richtung. Das Gebäude steht quer zur dieser Windrichtung und kann den Wind somit ideal in seine poröse Struktur und die Öffnungen aufnehmen.

4.3.2.2 Gebäudestruktur und Fassade

Da die Gebäudestruktur und Fassade thematisch und strukturell eng miteinander verknüpft sind, werden diese beiden Themen hier in einem gemeinsamen Unterkapitel behandelt.
Alle 960 Wohneinheiten sind natürlich belüftbar. Dies ist aufgrund der porösen Gebäudestruktur der 12 freistehenden Türme und der Ausrichtung der Apartments in Nord-Süd-Richtung möglich. Insgesamt beinhaltet das Hochhaus-Ensemble *Skyville at Dawson* 12 Wohntürme. Jeweils vier von ihnen werden mit jeweils einem gemeinsamen Erschließungstrakt zu insgesamt drei Wohnhochhausgruppen zusammengefasst. Das 46 Stockwerke hohe Gebäude ist durch drei für alle Bewohner zugängliche übereinanderliegende Aufenthaltsebenen gegliedert. Diese sogenannten „Sky Garden", sind doppelt so hoch wie die Regelgeschosse der Wohnungen. Diese Terrassen gliedern das Gebäude in 4 vertikale Abschnitte mit jeweils 10 Stockwerken. Die Geschosse



07

07 I Grundriss Sky Garden im Skyville at Dawson, Copyright: WOHA Pte Ltd. Singapore.

4.3.2 Natürliche Belüftung



08

der „Sky Garden" sind jeweils abwechselnd auf den nördlichen und südlichen Gebäudeseiten zweistöckig mit Wohneinheiten besetzt. Dies ist im Grundriss Sky Garden gut zu erkennen.
Die Tragstruktur der Wandscheiben in den Wohntrakten wird im Sky Garden in Stützen aufgelöst, sodass ein offener und freier Raum entsteht. Auf der obersten Ebene befindet sich die Dachterrasse mit einer Pergola-artigen Überbauung. Hier wird die räumliche Auflösung der unteren Sky Garden in Form von Stützenreihen formal fortgeführt und dient funktional der Verschattung dieser Dachfläche. Alle drei Gebäudegruppierungen sind hier mit Plattformen und Terrassen miteinander verbunden. So können die Bewohner den Freibereich aller drei Gebäudegruppierungen fußläufig erreichen. Geplant ist, diese Ebenen üppig zu bepflanzen und mit Sitzgelegenheiten auszustatten, um eine gute Aufenthaltsqualität für die Bewohner zu erreichen.

Die Positionen der Wohntürme sind leicht verdreht – das heißt, sie stehen nicht parallel zur Hauptgebäudeausrichtung, sondern gruppieren sich bei den einzelnen drei Gebäudekonglomeraten jeweils um den mittleren Erschließungstrakt. Dies ist gut zu erkennen in dem Grundrissplan. Im Detail sind die Baukörper jeweils um 25° aus der Achse der Längsausrichtung des Gesamt-Ensembles herausgedreht. Die Wohneinheiten orientieren sich dementsprechend in die vier Himmelsrichtungen Nordnordost (NNO), Nordnordwest (NNW), Südsüdost (SSO) und Südsüdwest (SSW). Diese Anordnung mit der Verdrehung der Wohntürme hat die folgenden vier Vorteile:

08 I Rendering Sky Garden im Skyville at Dawson, Copyright: WOHA Pte Ltd. Singapore.

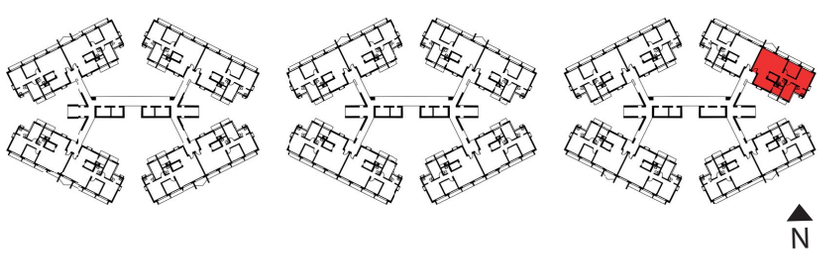
1. Sie verursacht eine Ausweitung in den Zentren der Wohnturmgruppierungen. Diese Ausweitung in der Mitte der vier Wohntürme ermöglicht eine hofartige Situation mit einer guten räumlichen Qualität. Ein Eindruck dieser räumlichen Qualität lässt sich auf dem Rendering der Hofsituation von *Skyville at Dawson* erkennen.

2. Sie ermöglicht eine größere Ausnutzung der Bebauungsfläche: Würde man die Wohnturmriegel im inneren größten Abstand zueinander auseinanderschieben, wäre zwar der Zwischenraum wesentlich größer, aber man hätte damit nicht mehr Wohnfläche geschaffen und die Bebauungsfläche, der Fußabdruck des Gebäudes, würde wesentlich größer werden. Die Bebauungsfläche ist hier also besser ausgenutzt.

3. Es entsteht ein Zwischenraum zwischen den Stirnseiten der beiden einander zugewandten Wohntürme. Durch diese Lücke erfolgt die Belüftung der Gebäudegruppierungen. Dieser Spalt zwischen den Wohntürmen ist ein wesentlicher Teil der Porosität der Typologie.
Wenn man die Wohnturmriegel in eine Flucht parallel zur Hautrichtung des Gesamt-Ensembles rücken würde, wären diese Lücken geschlossen und die Wohnriegel würden sich berühren.

4. Die hofseitigen Fassaden der Wohnturmriegel laufen konisch zusammen. Dies fördert im Sinne des Venturi-Effektes den Fluss der Ventilation durch die Hofstruktur und somit die natürliche Belüftung der Wohneinheiten

Hinsichtlich der natürlichen Belüftung kann diese Verdrehung vor- und nachteilig sein. Abhängig von der Windrichtung und vom Standort der Wohneinheit (nach rechts oder links verdreht) kann es von Vorteil sein, wenn



09

09 I Regelgrundriss Wohnen des Gesamt-Ensembles *Skyville at Dawson*, eigene Darstellung, Ferdinand Oswald, 2013.

4.3.2 Natürliche Belüftung

der Wind aus nordnordwestlicher Richtung kommt, sofern man sich in der in nordnordwestlicher Richtung orientierten Wohneinheit befindet – dann kann der der Wind besser in die Wohnung hineinströmen, anderenfalls nicht. Die Konsequenzen der verdrehten Anordnung für die „Verringerung solaren Energieeinträge" werden im gleichnamigen Kapitel hier gleich noch erläutert.

Die Tragstruktur des Gebäudes besteht aus Stahlbeton-Wandscheiben, die hauptsächlich in nord-südlicher Richtung verlaufen, doch auch in den nördlichen und südlichen Vorder- und Hinterseiten der **Fassade** sind tragende Stahlbeton-Wandscheiben aufgestellt. Anders als beim *The Met,* bei dem nur die reine Tragstruktur und Glaselemente die Fassade ausbilden, handelt es sich hier um eine massive Wand mit Lochungen, also um eine Lochfassade. Trotzdem gibt es hier wie beim *The Met* herausragende Wandelemente, die auch hier funktionale und gestalterische Aspekte erfüllen. Beim *Skyville at Dawson* haben diese vertikalen Fassadenwandschotten aber keine gebäuderelevante Tragfunktion, sie sind hier nur selbsttragend. Genauso wie beim *The Met* erfüllen sie jedoch auch hier weitere funktionale Aufgaben wie die Verschattung der Fassade und die Optimierung des Windflusses in die Öffnungen zur Nutzung der natürlichen Querlüftung: Falls die Windrichtung nicht mit 90° frontal zur Fassade verläuft, bewirken die Windschwerter eine wirksame Einleitung des Windflusses in die Öffnungen der Wohneinheiten. Die Windschwerter





10 **11**

10 I Rendering der Hofsituation von Skyville at Dawson, Copyright: WOHA Pte Ltd. Singapore.

11 I Ansicht Rohbau Südfassade des Skyville at Dawson, Foto: Dawson Skyville BTO Singapur, Stand: März 2014.

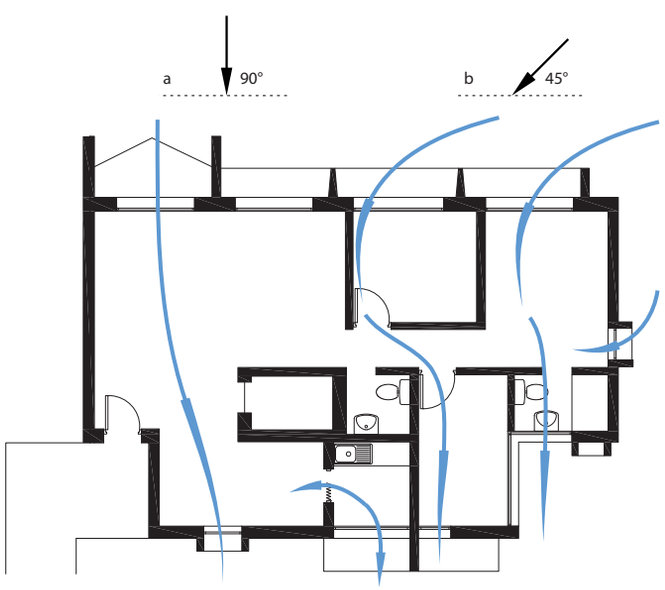
erzeugen an ihren windabgewandten Seiten einen Unterdruck, sodass der Luftfluss an der Vorderseite des Schwertes mit Überdruck besser hineinströmen kann. Dieser Fall ist im Wohnungsgrundriss mit Darstellung des Windflusses bei Auftreffen des Windes aus einer Richtung 45° zur Fassade dargestellt. Neben den vertikalen Wandschotten gibt es hier auch horizontale herausragende Fassadenwandelemente. Im Unterschied zu den vertikalen Elementen laufen diese Wandelemente durchgehend über zwei Wohneinheiten durch. Eingefasst werden beide, die vertikalen und die horizontalen Elemente, von einer umlaufenden abschließenden Wandscheiben-Einrahmung, die sich über 9 Stockwerke in der Höhe und zwei Wohneinheiten (7–8 Öffnungen) in der Breite erstreckt. Die Sky Garden und die gegenüber liegenden zwei Wohngeschosse sind hiervon ausgenommen und nicht in diese rahmenartige Umfassung mit einbezogen. Es entsteht somit eine Fassadenzonierung mit jeweils vier Flächenabschnitten in jeder Fassade eines Wohnturms. Wenn alle Fensteröffnungen mit einer vertikal herausragenden Wandscheibe versehen wären, würde der Eindruck einer kassettenartigen Fassadenstruktur entstehen. Dem ist aber nicht so, weil je nach Wohnungstypologie an einer Wohnung nur ein Fassadenschwert von möglichen zwei oder 1–2 von möglichen drei Fassadenschwertern angebracht sind. Die Architekten nutzten diese Variabilität als Gestaltungsstrategie und entwarfen eine quasi randomisierte Fassadenkomposition. Die flexibel angebrachten und farblich differenzierten vertikalen Elemente, welche scheinbar beliebig angebracht sind, dienen dazu, die Stringenz der Fassade aufzulösen und den großen Fassadenflächen eine gewisse Lebendigkeit zu verleihen. Diese Fassadenschwerter innerhalb der Kassettenstruktur laufen im Gegensatz zu den an den Balkonen und an den Seitenrändern befindlichen vertikalen Elementen spitz zu. Dies soll die Effektivität als Windfangelement noch steigern. Umso besser passt auch die Bezeichnung als Fassaden-„Schwerter“ zu diesen Elementen.

Diese vertikalen herauskragenden Wandschotten sind zudem farblich vom Rest der Fassade deutlich abgesetzt. So wird ein gestalterisches Konzept klarer in den Vordergrund gerückt, nämlich die Differenzierung der vertikalen von den horizontalen Wandelementen und von den seitlichen vertikalen Umrahmungselementen. Funktional erfüllen aber dennoch alle diese Elemente die gleichen Aufgaben, nämlich Verschattung und Optimierung der Belüftung.

4.3.2 Natürliche Belüftung

4.3.2.3 Grundrisse

Die drei Wohnturm-Konglomerate beinhalten jeweils 4 Wohntürme mit einem mittig positionierten Erschließungskern. Vier Stege von dieser mittleren Plattform versorgen jeweils 2 Wohneinheiten. Da diese schmalen Stege punktuell an die Wohnturmriegel andocken, behindert keine horizontale Geschossdecke die wirksame Belüftung der Fassade. Eine solche Einschränkung der natürlichen Belüftung ist zum Beispiel bei parallel zur Wohneinheit verlaufenden Erschließungsgängen der Fall. Somit können die hofseitigen Fassadenseiten der Wohntürme ideal als Ein- und Ausströmungsöffnungen, je nach Luftstromrichtung, genutzt werden. Die Luft kann von der Hinterseite und Vorderseite der Wohneinheiten eindringen, was eine sehr effiziente Querlüftung ermöglicht, da die Wohntypologien zu beiden Seiten orientiert sind. Gut erkennbar ist dies im Grundriss mit Darstellung des Windflusses. Prinzipiell gibt es vier Wohntypen im *Skyville at Dawson*. Sie unterscheiden sich aber nur unwesentlich voneinander, nämlich durch ein drittes kleineres Zimmer einerseits und andererseits durch einen Balkon, welcher eine spitz zulaufende Bodenplatte enthält. Diese Grundrisstypologie mit zwei Zimmern und Balkon ist ebenfalls in der Darstellung abgebildet. Der Wohngrundriss ohne Balkon hat stattdessen eine bis zum Fußboden verglaste Brüstungseinheit.



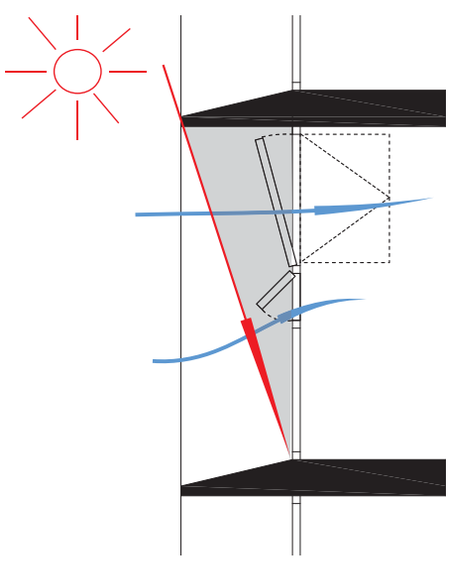
12

12 | Wohngrundriss des Skyville at Dawson mit Darstellung des Windflusses und Wirkungsweise der Windschwerter bei Windrichtung 45° zur Fassade (a) und Windrichtung 90° zur Fassade (b), eigene Darstellung, Ferdinand Oswald, 2013.

Zahlreiche nach Norden und Süden orientierte Fensteröffnungen lassen sich öffnen, um eine Durchlüftung zu ermöglichen. Trotz der raumabtrennenden zwei Schlafzimmer (1 und 2) ist eine natürliche Belüftung über den Flur möglich. Dies setzt natürlich voraus, dass währenddessen die beiden Zimmertüren geöffnet sind.
In Singapur ist ganzjährig mit einer ausreichenden Windstärke zu rechnen, da die Nähe zum Meer gegeben ist. Die Windgeschwindigkeiten nehmen bei zunehmender Geschossanzahl nach oben hin kontinuierlich zu. In der Straßenebene ist die Windgeschwindigkeit wesentlich geringer. Auch beim *Skyville at Dawson* ist damit zu rechnen, dass die Gebäudestruktur wie die des *The Met* Windströmungen nach unten leitet und so für eine angenehme natürliche Luftventilation im Erdgeschossbereich sorgt.

4.3.2.4 Öffnungen

Um die notwendige Brüstungshöhe für den gesetzlich vorgeschriebenen Absturzschutz zu gewährleisten, sind die nach außen öffenbaren Fenster recht hoch angebracht. Darunter befindet sich ein schmalerer Streifen längs orientierter Kippfenster. Ein Vorteil zur besseren Kontrolle des Luftstromes innerhalb der Wohnungen stellt hier das Drehkipp-Fenster dar, welches beim *The Met* nicht eingesetzt wurde. Wie der Name des Fensters schon aussagt, kann



13

13 I Schnitt der Fensteröffnungen im Wohnbereich des *Skyville at Dawson* mit Darstellung des Windflusses, eigene Darstellung, Ferdinand Oswald, 2013.

4.3.3 Solare Energieeinträge



14



15

14 | Rendering des Wohnbereichs im *Skyville at Dawson*, Copyright: WOHA Pte Ltd. Singapore.

15 | Foto der Öffnungenim Wohnbereich, *Skyville at Dawson*, Foto: Peter Chachola Schmal, 2014.

zwischen komplettem Öffnen durch Ausdrehen oder teilweises Kippen des Fensterflügels gewählt werden. Aufgrund der häufigen Niederschläge sollte die Kippung nach außen mit Öffnungsspalte am unteren Fensterteil erfolgen. Die Fensteröffnungskonfiguration des *Skyville at Dawson* bietet die folgenden unterschiedlichen Lüftungspositionen zu Auswahl: Für eine gemäßigte natürliche Belüftung mit geringer Luftgeschwindigkeit innen und/oder bei starkem wetterbedingtem Wind außen kann das mittlere Fensterband gekippt werden. Für eine Querlüftung mit mittlerer Luftgeschwindigkeit ist zusätzlich das obere Fenster zu kippen. Die intensivste Querlüftung und höchste Luftgeschwindigkeit im Innenraum ist durch die komplette Flügelöffnung des oberen Fensters erreichbar. Alle diese Varianten der Querlüftung durch die verschiedenen Öffnungspositionen sind immer abhängig von der wetterbedingten Luftgeschwindigkeit, die an der Fassade des Gebäudes anfällt. Bei den Kippfenstern ist wichtig, dass sie am oberen Teil fixiert sind und sich am unteren Teil nach außen herauskippen lassen. Mit diesem Mechanismus des Ausschwenkens nach außen am unteren Bereich des Fensters wird das Eindringen von Schlagregen verhindert. Bei den intensiven Monsun-Niederschlägen in der Regenzeit ist dies für den Regenschutz dringend erforderlich. Insgesamt 10 Öffnungen mit jeweils einer unterschiedlichen Anzahl von Fensteröffnungen und Türen lassen sich in einer Apartment-Einheit zum Kontrollieren der Querlüftung verwenden.[2] Die Fenstereinteilung der Öffnungen ist im Rendering des dargestellten Wohnbereichs zu erkennen. Hierbei handelt es sich um die Wohntypologie ohne Balkon und mit verglastem Brüstungsbereich.

4.3.3 Verringerung der solaren Energieeinträge

In diesem Unterkapitel sollen die Maßnahmen zur Verringerung der solaren Energieeinträge erstens mittels der Orientierung des Gebäudes und der Gebäudestruktur sowie zweitens mittels der Fassadenstruktur aufgezeigt werden.

4.3.3.1 Orientierung und Gebäudestruktur

In der stereografischen Abbildung ist der Sonnenstand und -verlauf mit Orientierung des *Skyville at Dawson* im Grundriss zu erkennen. Norden befindet sich hierbei oben.

[2] Die Wohnungseingangstür wurde hier mitgerechnet.

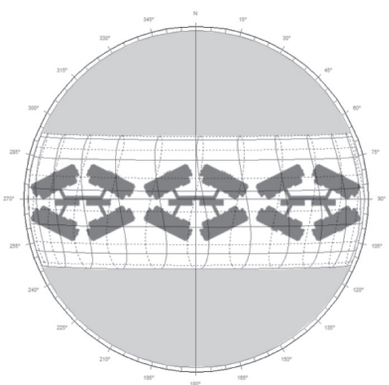
4.3.3 Solare Energieeinträge



16

16 | Ansicht Rohbau Ostfassade (Stirnseite) des Skyville at Dawson, Foto: Dawson Skyville BTO Singapur, Stand: Februar 2013.

Hier wird deutlich, dass das Gebäude in Nord-Süd-Richtung orientiert wurde, sodass nach Osten und Westen, wo die Sonneneinstrahlung am intensivsten ist, die geschlossenen, schmalen Stirnseiten des Gebäudes ausgerichtet und die Wohneinheiten nach Norden oder Süden orientiert sind. Dies ist insbesondere deshalb sinnvoll, weil Singapur am Äquator liegt und die Sonneneinstrahlung fast ausschließlich von Westen und Osten erfolgt.
Die nach Westen und Osten orientierten Stirnseiten des Gebäudes sind fast komplett verschlossen ausgeführt. Lediglich eine fast raumhohe Öffnung direkt an der Stirnseite und eine zweite Öffnung an dem zurückversetzten Zimmer sind hier pro Wohneinheit vorgesehen. Diese Öffnungen und der mittlere Erschließungstrakt sind auf dem Foto des Rohbaus gut zu erkennen.



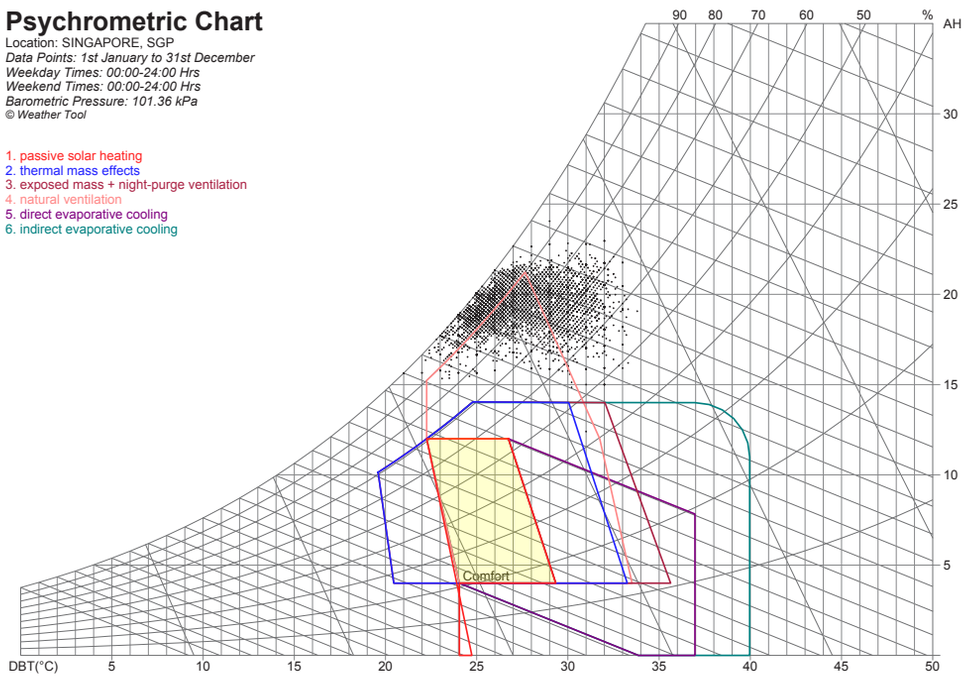
17

4.3.3.2 Fassadenstruktur

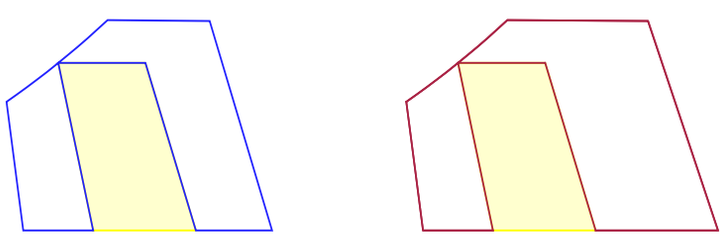
Diese ideale Positionierung des Gebäudekörpers zu den unterschiedlichen Sonnenständen führt dazu, dass an den Nord- und Südfassaden wenig direkte Sonneneinstrahlung anfällt. Durch die Fassadenstruktur mit den herauskragenden vertikalen und horizontalen Wandelementen werden die Fensteröffnungen immer verschattet. Dadurch konnten die Architekten die Fassade ohne zusätzliche außen angebrachte Verschattungselemente umsetzen.
Die verglasten Brüstungselemente, welche sich bis zum Fußboden erstrecken, ermöglichen eine bessere Ausblickmöglichkeit als Brüstungselemente aus massivem, opakem Material. Zudem fällt durch den großen Glasanteil der Fassade mehr Licht in die Innenräume, was die Wohnqualität verbes-

17 I Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung des Gebäudes, Klimastandort Singapur, eigene Darstellung: Oswald, Ferdinand, 2013, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

4.3.4 Speichermasse



18



19

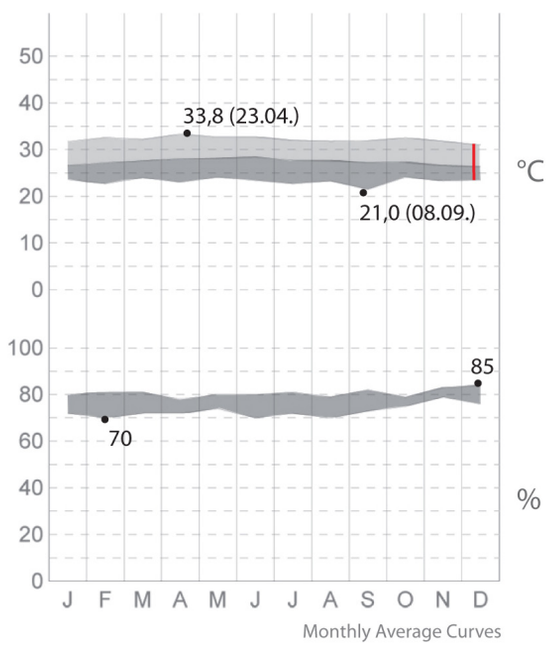
18 | Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone sowie der passiven Kühl- und Heizmethoden am Klimastandort Singapur, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013 mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

19 | Bereich zur Nutzung der Speichermasse (links) und der exponierten Speichermasse mit Nachtventilation (rechts) zur Erweiterung der Behaglichkeitszone in Singapur, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013 mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

sert. Innen angebrachte „Rollos“ oder Vorhänge bieten indes die Möglichkeit, den Durchblick zu verschließen bzw. die Wohnräume abzudunkeln. Um solare Energieeintrage über die massiven Fassadenteile zu verringern, wird die Fassade mit weißer Farbe gestrichen. Dies bewirkt ein Reflektieren des Sonnenlichts und schmälert die Absorption der Wärmeenergie.

4.3.4 Speichermasse

Im psychrometrischen Diagramm von Singapur ist ersichtlich, dass mit Hilfe der Speichermasse die Behaglichkeit im Innenraum nicht verbessert werden kann. An denjenigen Tagen im Jahr, die sich innerhalb des blau markierten Bereichs rechts und rechts oben von der Komfortzone befinden, könnte mit Hilfe der Speichermasse hier zur verbesserten Behaglichkeit gekühlt werden. Im psychrometrischen Diagramm ist zu erkennen, dass sich keinerlei Tage im Jahr innerhalb dieses Bereiches befinden. Die Speichermasse kann die Behaglichkeit in Singapur im Innenraum nicht verbessern.



20

20 I Klimadiagramm mit Tag/Nacht-Temperaturdifferenz und Temperatur sowie relativer Luftfeuchtigkeit für ein Jahr im Monatsdurchschnitt mit Jahreshöchst- und -tiefstwert; unten die min./max.-Temperaturen eines 24-Stunden-Zeitraumes am 14. Dezember 2012, Klimastandort Singapur, einige Darstellung: Ferdinand Oswald 2013 mit Weather Manager 2001, © Autodesk, Inc. 2010, Weather data Download, U.S. Department of Energy, EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY)

4.3.4 Speichermasse

Des Weiteren ist in einem zweiten Bereich erkennbar, wie sich auch die innenliegende Speichermasse (Trennwände, Decken etc.) zur Kühlung mit Nachtventilation nutzen lassen könnten. Der lila umrandete Bereich, der die Speichermassenkühlung mit Nachtventilation darstellt (exposed mass + night-purge ventilation), vergrößert sich hierbei nach rechts. Es ist erkennbar, dass sich keine Jahresmesswerte innerhalb dieser Zonen befinden. Die Wirkungskraft der Speichermasse beträgt nach diesem Simulationsmodell 0 %. Somit kann mit der Speichermassenkühlung in Singapur die Behaglichkeit nicht verbessert werden.

Das entscheidende Kriterium ist die Lufttemperaturschwankung innerhalb eines 24-Stunden-Zyklus: Ist der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht nicht groß genug, so ist die Speichermassenkühlung nicht wirksam. Je größer die Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht ist, desto besser können Wärmespeicherfähigkeit, Wärmetransmission und Phasenverschiebung der massiven Bauteile zur Kühlung des Innenraums genutzt werden. Die Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht sind im Klimadiagramm von Singapur für den 14. Dezember ablesbar.

In Singapur betrug die Temperaturdifferenz am 14. Dezember 2012 in einem 24-Stunden-Zeitraum nur 6,3 °C (24,7–31,0 °C)[3]. Bei einer Nutzung dieser Temperaturspitzen (min./max.) wäre die Speichermassenkühle dann begrenzt wirksam. Die Temperaturspitzen stellen allerdings die extremsten und in diesem Fall optimalsten Temperaturunterschiede dar. Der Temperaturunterschied in Singapur kann bei Betrachtung des durchschnittlichen Wertes durchaus auch kleiner als 6,3 °C sein. Hier spielt der Standort des Gebäudes eine wichtige Rolle. So haben Großstädte durch den Wärmeinseleffekt und die damit verbundene Speicherung der warmen Temperatur in massiven Bauteilen eine geringere Temperaturdifferenz. Gebäude, die sich im Landesinneren befinden, können dagegen von einem größeren Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht profitieren. Der Standort des *Skyville at Dawson* befindet sich im suburbanen Bereich. Das Wohnhochhaus steht an der Grenze zu einer dichten Stadtstruktur mit viel versiegelter Fläche; nur im Süden und im Norden befindet sich unbebauter Landschaftsraum. In Zukunft wird sich der urbane Stadtraum im Norden der Zentralregion von Singapur noch weiter ausdehnen, sodass davon auszugehen ist, dass sich der Standort des *Skyville at Dawson* zunehmend in ein städtisches Umfeld transformieren wird. Somit werden die Chancen für eine hohen Tag/Nacht-Temperaturdifferenz durch immer mehr versiegelte Flächen in Zukunft weiter

[3] Quelle: U.S. Department of Energy : Wetterdaten Guangzhou, Weather data Download. EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY).

sinken und die Speichermassenkühlung kann hier nicht angewendet werden.

4.3.5 Verdunstungskühlung

Im diesem Unterkapitel soll die Möglichkeit der Kühlung mit Verdunstung am Klimastandort Singapur untersucht werden.

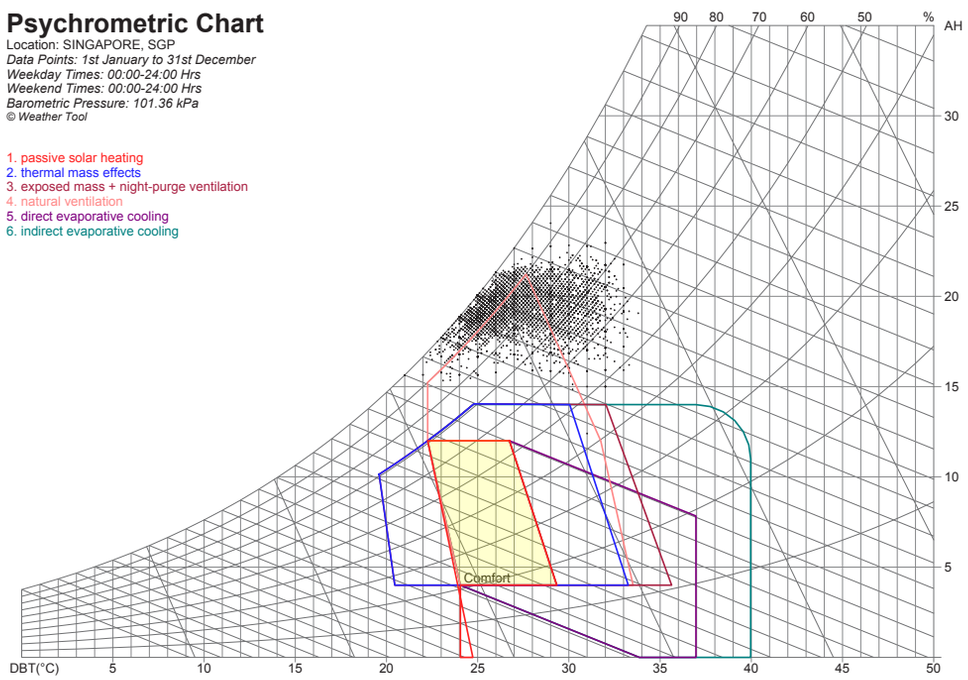
4.3.5.1. Wirksamkeit Verdunstungskühlung

Die Luft kann nicht beliebig viel Wasser aufnehmen: Oberhalb eines gewissen Dampfdrucks von Wasser, der von der Lufttemperatur abhängt, ist die Luft gesättigt. Die relative Luftfeuchtigkeit für ein Jahr im Monatsdurchschnitt mit Jahreshöchst- und -tiefstwert am Klimastandort Singapur sind aus der Grafik im vorherigen Kapitel ablesbar. Dort ist zu erkennen, dass Singapur einen maximalen Wert von 85 % und einen minimalen Wert von 70 % relativer Luftfeuchte hat. Vor allem der minimale Wert von 70 % führt dazu, dass dieser Kühleffekt im feuchten Klima von Singapur nicht möglich ist, denn die Luft ist bereits mit Feuchtigkeit gesättigt, sodass die Verdunstungskühlung ganzjährig nicht genutzt werden kann.
Bei der Betrachtung des psychrometrischen Diagramms für den Klimastandort Singapur können wir dies gut erkennen. In der Darstellung sind die Behaglichkeitszone sowie die direkte Verdunstungskühlung (5. direct evaporative cooling) und die indirekte Verdunstungskühlung (6. indirect evaporative cooling) aufgezeigt. Der Bereich der Verdunstungskühlung befindet sich unterhalb und insbesondere rechts von der Behaglichkeitszone und ist in Lila dargestellt. Die Wirkungskraft der Verdunstungskühlung beträgt nach diesem Simulationsmodell 0 %. Dem psychrometrischen Diagramm zufolge sind die Jahresmesswerte für Singapur alle außerhalb des Bereiches zum Funktionieren der direkten Verdunstungskühlung: Da Singapur das ganze Jahr über eine höhere Luftfeuchtigkeit hat, kann die Verdunstungskühlung hier nicht wirksam sein.

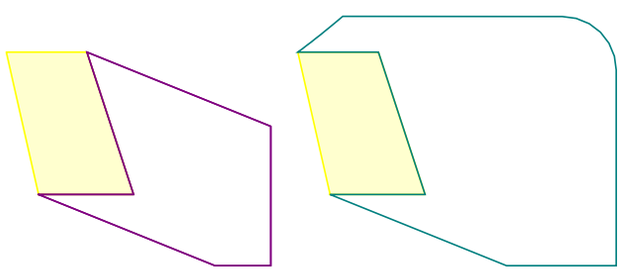
4.3.5.2 Begrünungen

In den Planungsunterlagen und Renderings des Projektes sind zahlreiche Pflanzen in den Sky Garden positioniert. Hier sind sogar bis zu 5 Geschosse

4.3.5 Verdunstungskühlung



21



22

21 | Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone sowie der passiven Kühl- und Heizmethoden am Klimastandort Singapur, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald 2013 mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

22 | Bereich der direkten (links) und indirekten (rechts) Verdunstungskühlung und Behaglichkeitszone am Klimastandort Singapur, eigene Darstellung Ferdinand Oswald 2013 mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

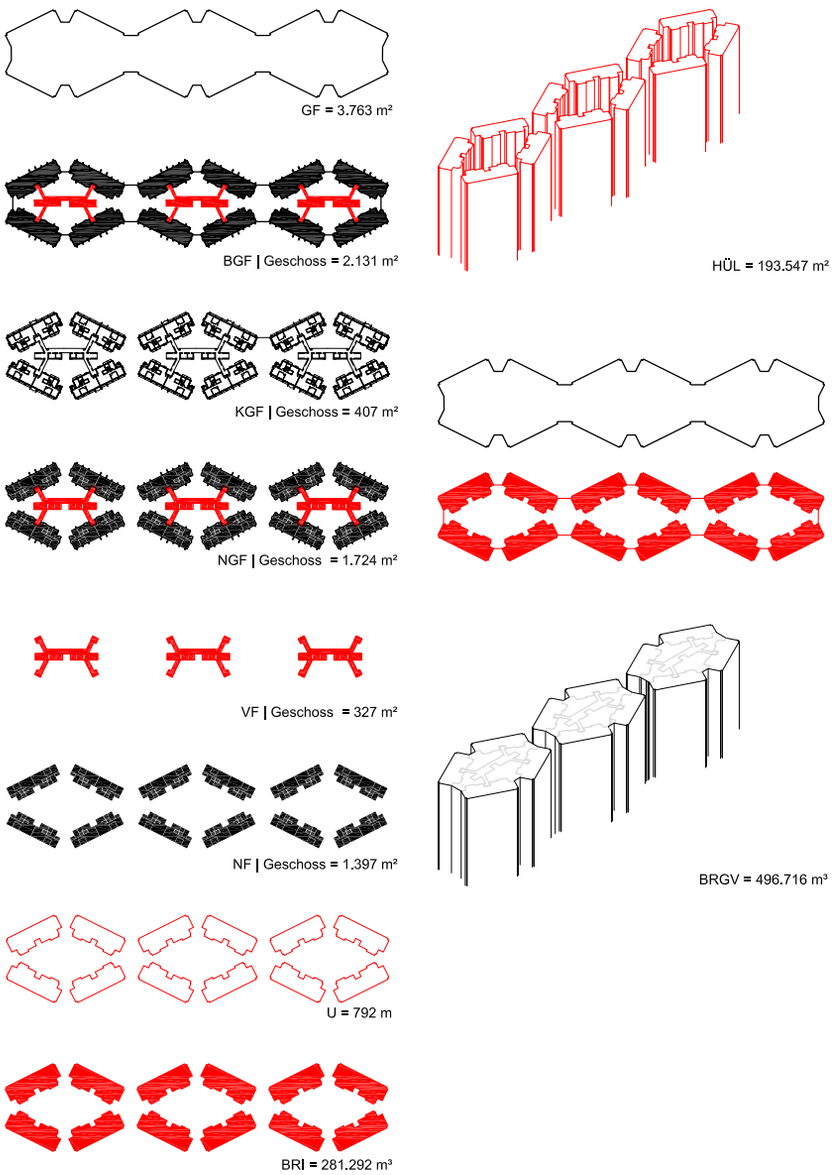
(ca. 16 m) hohe Baumgewächse dargestellt. Man darf gespannt sein, welche von diesen Pflanzen in der Realität umgesetzt werden. Begrünungen auf privaten Freiflächen sind am *Skyville at Dawson* nicht geplant – im Gegensatz zum *The Met,* bei dem es auf einigen privaten Balkonen Begrünungen gibt. Beim *Skyville at Dawson* sind keinerlei vertikale Wand-Bepflanzungen vorgesehen. Dies wäre zum Beispiel an den Stirnwänden der Wohntürme durchlaufend bis zum Dach des Wohnhochhauses möglich gewesen. Die Nichtmiteinbeziehung eines solchen vertikalen Begrünungskonzeptes in das *Skyville at Dawson* ist nicht mit dem klimabedingten Standort Singapur zu begründen. Dies beweist das Wohnhochhausprojekt *Newton Suite* von WOHA: Hier wurde, wie auf dem Foto erkennbar ist, das Konzept der vertikalen Begrünung in Singapur bereits umgesetzt.



23

23 | Newton Suite-Wohnhochhaus in Singapur von WOHA-Architekten, Fertigstellung 2007, Copyright Foto: Patrick Bingham-Hall

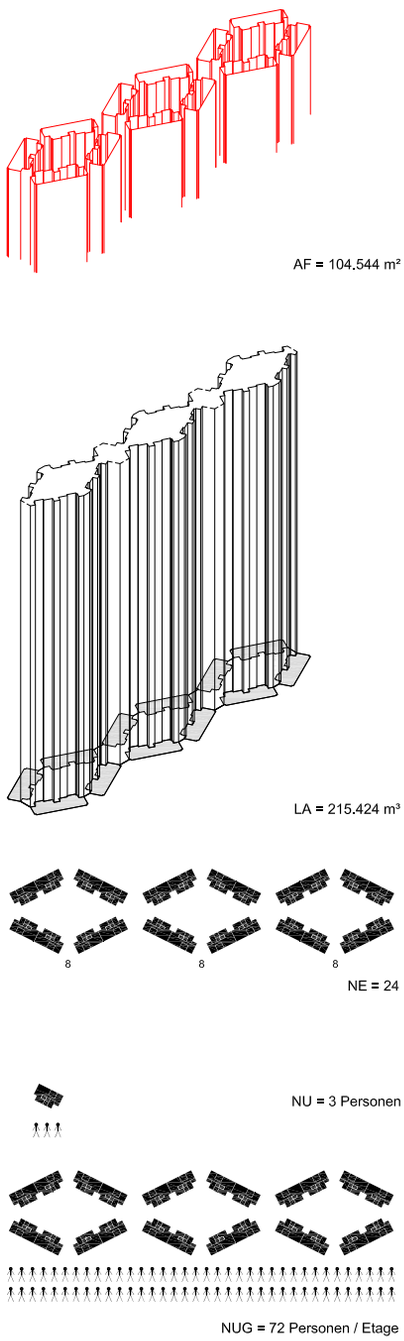
4.3.6 Kennwerte



24 25

24 | Kenngrößen: Grundfläche (GF), Brutto-Grundfläche pro Geschoss (BGFG), Konstruktions-Grundfläche pro Geschoss (KGFG), Netto-Grundfläche pro Geschoss (NGFG), Verkehrsfläche pro Geschoss (VFG), Nutzfläche pro Geschoss (NFG), Fassaden-Umfang (U) und Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) *Skyville at Dawson*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

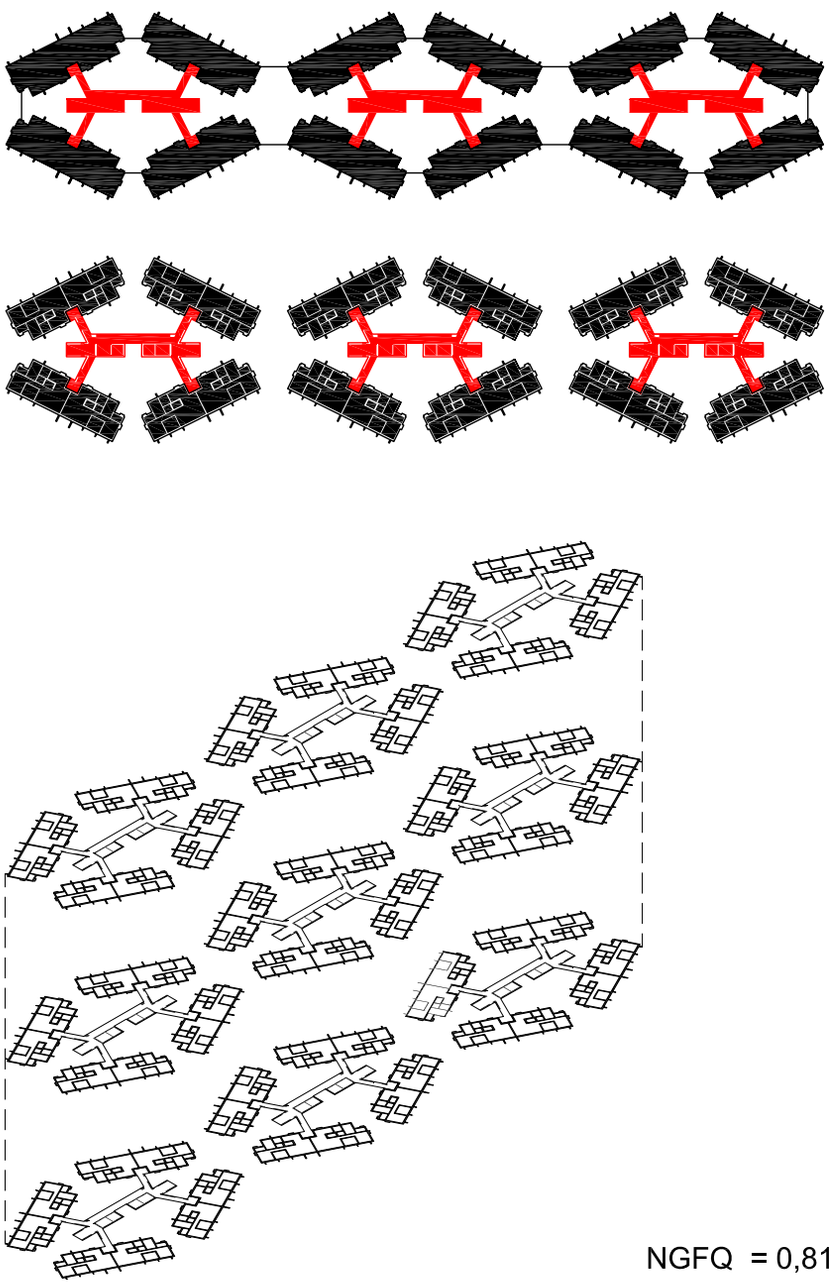
25 | Kenngrößen: Hüllfläche (HÜL) in isometrischer Darstellung, Grundfläche (GF) und Brutto-Rauminhalt in der Aufsicht sowie ein Teil des Brutto-Raumgrundvolumens (BRGV) in isometrischer Darstellung, Skyville at Dawson, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.



26

26 I Kenngrößen: Teil der Außenwandfläche (AF) in isometrischer Darstellung, Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung, Wohneinheiten pro Geschoss (NE), Wohneinheit mit durchschnittlicher Belegungsziffer (NU) von 3 Personen, 24 Wohneinheiten pro Geschoss mit durchschnittlicher Belegungsziffer (NUG) von 72 Personen, *Skyville at Dawson*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.3.6 Kennwerte



27

27 I Netto-Grundflächenquotient (NGFQ): Netto-Grundfläche (NGF)/Brutto-Grundfläche (BGF), hier in der Abbildung für ein Regelgeschoss, sowie abstrakte isometrische Darstellung der Konstruktionsfläche (KGF) des Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013

4.3.6 Bewertung des *Skyville* nach Kennwerten

In diesem Unterkapitel wird das Wohnhochhaus nach den unterschiedlichen Kennwerten bewertet. Zur Ermittlung der Kennwerte müssen die Kenngrößen bekannt sein. Diese sind die Flächenkennwerte Brutto-Grundfläche (BGF), Netto-Grundfläche (NGF), Konstruktions-Grundfläche (KGF), Nutzfläche (NF), Verkehrsfläche (VF) und Funktionsfläche (FF). Die Raumkenngrößen sind der Brutto-Rauminhalt (BRI), das Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV) und der Luftanteil (LA). Die Hüllenkenngrößen sind der Umfang (U), die Geschosshöhe (GH), die Gebäudehöhe (GBH), die Außenwandfläche (AF), die Außengrundfläche (GF), die Dachfläche (DF) und die Hüllfläche (HÜL). Die Nutzungseinheitenkenngrößen sind: Nutzungseinheiten pro Geschoss (NE) und Nutzungseinheiten gesamt (NEG). Die Nutzerkenngrößen sind die Nutzeranzahl pro Wohneinheit (NU), die Nutzeranzahl pro Geschoss (NUG) und die Nutzeranzahl gesamt (NUA). Die aus der Flächenermittlung entstandenen Zeichnungen für die Kenngrößen sind als überarbeitete Grafiken hier abgebildet.

4.3.6.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)

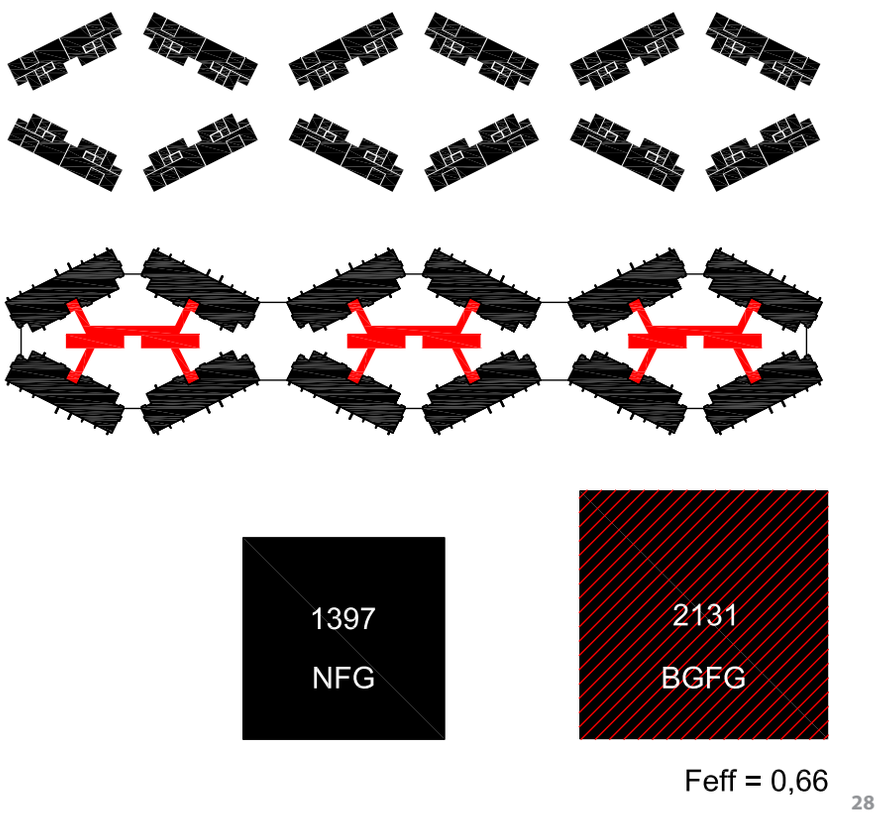
Der Netto-Grundflächenquotient (NGFQ) ist beim *Skyville* 0,81. Beim *Skyville* wird also ca. 1/5 der Fläche für die Konstruktionsfläche aufgebracht. Der Netto-Grundflächenquotient spiegelt einen großen Konstruktionsaufwand wider, der durch die Gebäudehöhe bedingt ist. Natürlich ist bei der enormen Höhe des Gebäudes (147 m) der Flächenanteil und Aufwand der Konstruktion größer als bei einem niedrigeren Wohnhochhaus. Trotzdem ist der Netto-Grundflächenquotient des *Skyville* mit 0,81 niedrig und somit der Konstruktionsaufwand im Verhältnis zur Brutto-Grundfläche groß. Dies ist mit der herauskragenden vertikalen Fassadenstruktur zu begründen, die dem funktionalen Aspekt der Verschattung dient, sodass in Kombination mit der Nord-Süd-Ausrichtung des Gebäudes die Fassade teilweise geöffnet werden kann. Dies geschieht in Form einer Lochfassade; weitere außenliegende Verschattungselemente sind somit nicht erforderlich. Zudem gibt es eine horizontale Auskragung, die zusammen mit den vertikalen Elementen einen Raum ausbildet, der aber nicht betretbar ist und somit nicht zur Nutzfläche hinzugerechnet wird. Dies verschlechtert den Netto-Grundflächenquotienten.

4.3.6 Kennwerte

Die Netto-Grundfläche eines Geschosses (NGFG) und die Brutto-Grundfläche eines Geschosses (BGFG) des *Skyville* sind aus der Darstellung ersichtlich. Des Weiteren ist eine Isometrie dargestellt, die die Konstruktionsfläche (KGF) einzelner Geschosse ersichtlich macht.

4.3.6.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)

Das *Skyville at Dawson*-Wohnhochhaus hat mit 0,66 einen sehr guten Flächeneffizienzkennwert. Trotz des hohen Konstruktionsaufwands hat das Gebäude hierdurch seinen sehr guten Verkehrsflächenquotienten (0,23) und damit eine gute Flächeneffizienz. Es wird wenig Verkehrsfläche zur Erschließung der Wohneinheiten benötigt. Dies ist mit der Wohngebäudetypologie der freistehenden Wohntürme zu begründen, bei denen sich die jeweils 8 Wohnungen um die zentralen Erschließungskerne herumgruppieren. Damit



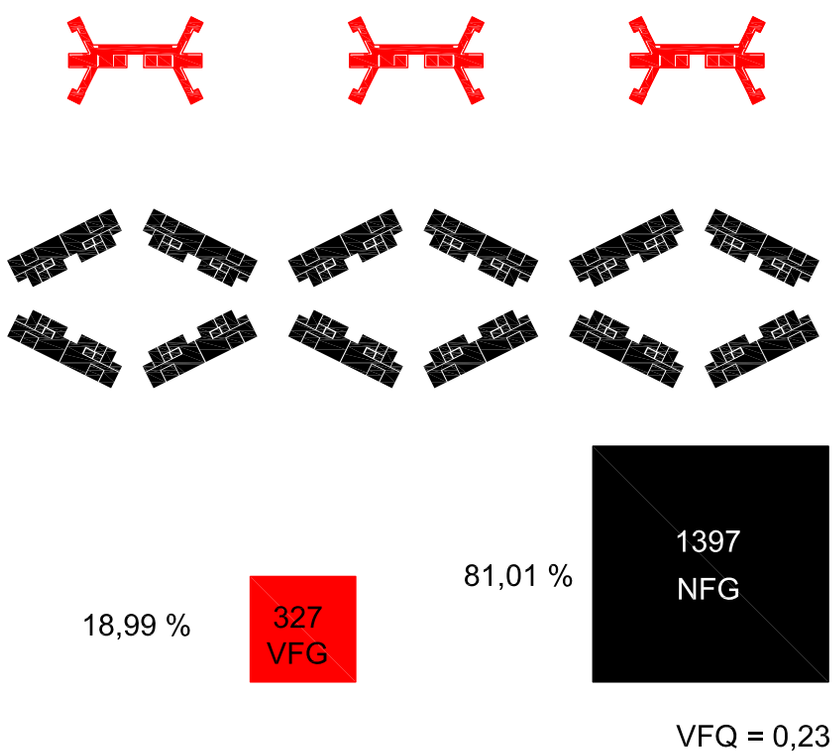
28

28 | Flächeneffizienzkennwert (Feff): Nutzfläche (NF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss, sowie Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab (VFG und BGFG), Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

werden die Wegstrecken zu den Wohneinheiten sehr kurz gehalten und durch die schmalen Stege bleibt die gebaute Verkehrsfläche gering. In der Darstellung ist ein Regelgeschoss mit Nutzfläche (NF) und Brutto-Grundfläche (BGF) des *Skyville* abgebildet. Des Weiteren werden diese beiden Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab grafisch nebeneinander dargestellt.

4.3.6.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)

Das *Skyville at Dawson* hat mit seinem Verkehrsflächenquotienten von 0,23 einen sehr guten Wert. Wie schon in Bezug auf den Flächeneffizienzkennwert angesprochen, wird beim *Skyville* wenig Verkehrsfläche zur Erschließung der Wohneinheiten benötigt.
Die Verkehrsfläche des *Skyville* beträgt nur 18,9 % der Nettogrundfläche. In der Darstellung ist ein Regelgeschoss mit Verkehrsfläche (VFG) und Nutzfläche (NFG) des *Skyville* abgebildet. Des Weiteren werden diese beiden Geschoss-



29

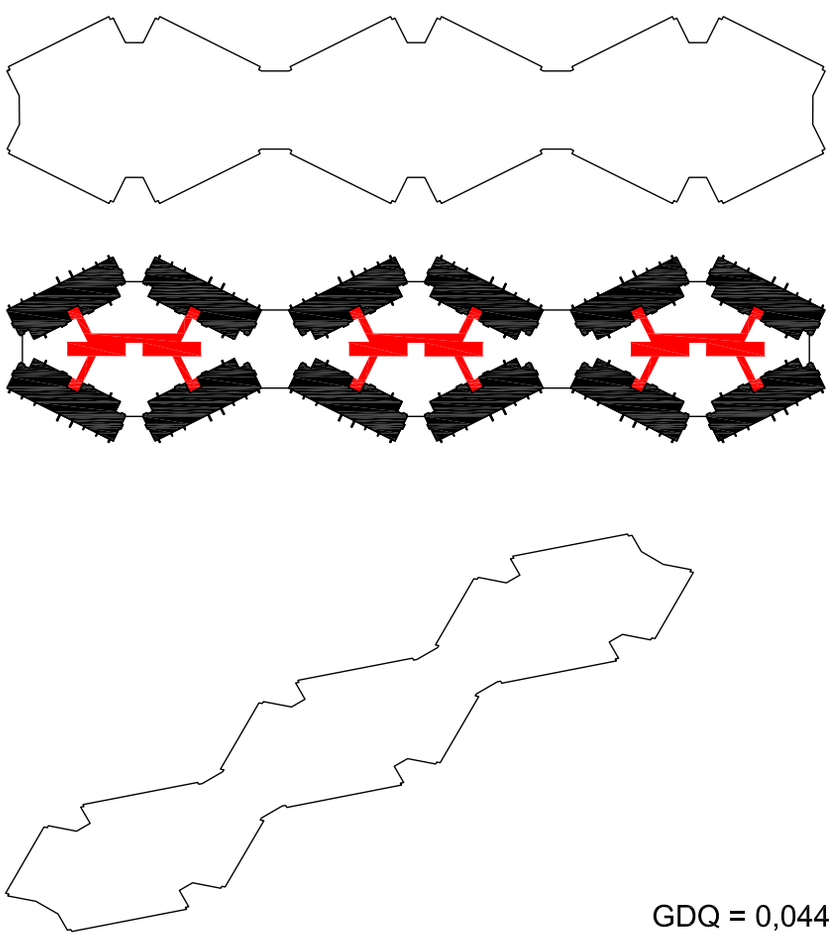
29 I Verkehrsfläche und Nutzfläche in Prozent berechnet. Verkehrsflächenquotient (VFQ): Verkehrsfläche (VF)/Nutzfläche (NF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss, sowie Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab mit Prozentangaben für VFG und NFG, Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013

4.3.6 Kennwerte

flächen in quadratischer Form im selben Maßstab grafisch nebeneinander dargestellt. Neben dem Kennzahl-Quotienten ist hier auch das Verhältnis von Verkehrsfläche und Nutzfläche in Prozent berechnet.

4.3.6.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)

Die Gebäudedichte des *Skyville at Dawson* liegt mit einem Quotienten von 0,044 im mittleren Bereich. Das Verhältnis der gebauten Hochhauskörper zu den Grundflächen ist gut, die direkt bebaute Fläche wird mittelmäßig gut ausgenutzt. Dies ist einerseits mit der sehr hohen Bauweise (147 m) und



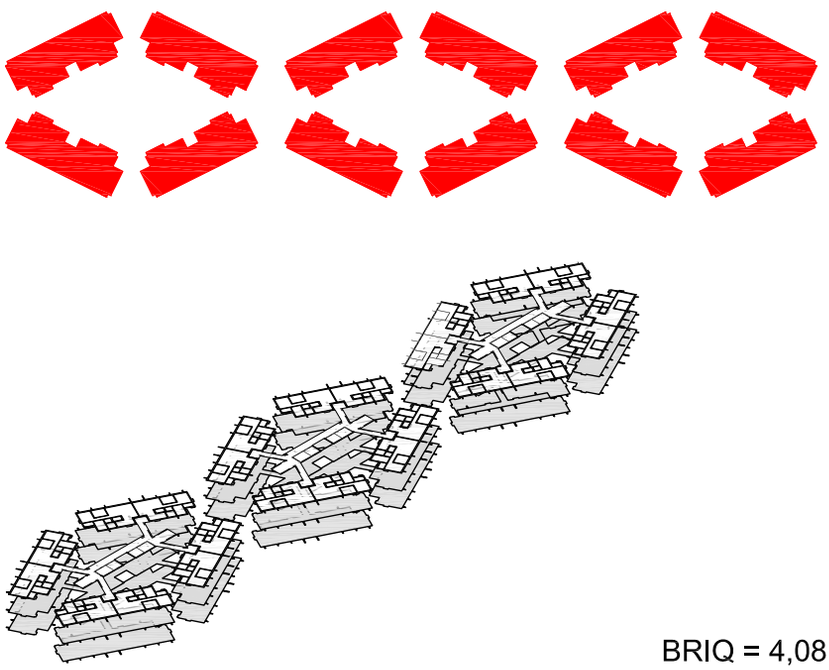
30

30 I Gebäudedichtequotient (GDQ): Grundfläche (GF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss und isometrische Darstellung der Grundfläche, Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013

andererseits mit dem großen Luftanteil innerhalb der Gebäudestruktur zu begründen. Je höher das Gebäude ist, desto mehr Wohnfläche kann auf der Grundfläche untergebracht werden und je größer der Luftanteil ist, desto weniger Wohnfläche kann auf der Grundfläche untergebracht werden. In der Darstellung sind die Grundfläche und die Brutto-Grundfläche eines Regelgeschosses des *Skyville* abgebildet. Des Weiteren ist die Grundfläche in einer isometrischen Darstellung aufgezeigt.

4.3.6.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)

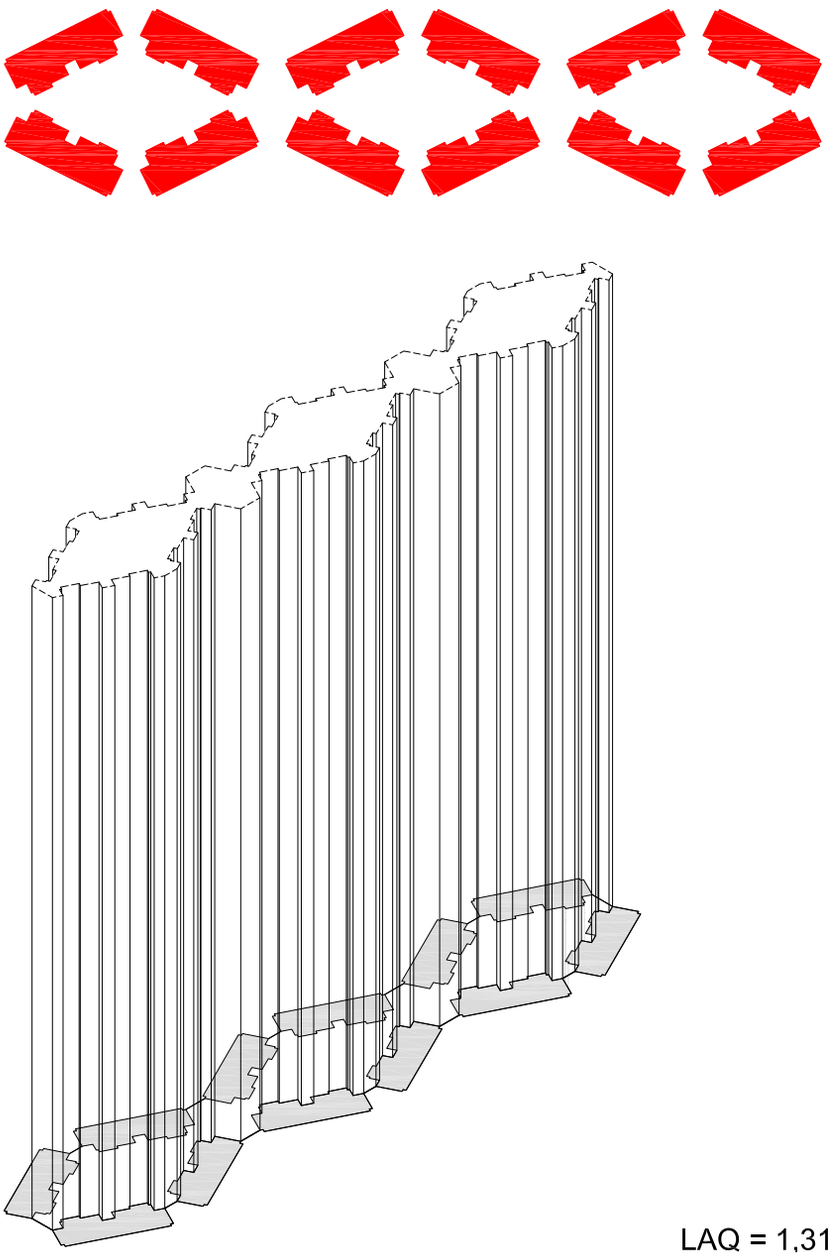
Das *Skyville* hat einen sehr guten Brutto-Rauminhaltsquotienten mit 4,08. Dies ist auf seine großzügige Geschosshöhe (3,30 m) bzw. auch auf seine lichte Raumhöhe zurückzuführen. Das Gebäude hat die gleiche Geschosshöhe wie das *The Met*, aber im Vergleich zum *The Met* mehr Konstruktionsfläche. Deshalb ist der Brutto-Rauminhaltsquotient hier schlechter bzw. niedriger. In der Darstellung ist die Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) rot und die Netto-Grundfläche (NGF) eines Regelgeschosses des *Skyville* abgebildet.



31

31 I Bruttorauminhaltsquotient (BRIQ): Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) und Netto-Grundfläche (NGF), hier für ein Regelgeschoss des Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.3.6 Kennwerte



32

32 | Luftanteilquotient (LAQ), Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung des Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

In der Netto-Grundfläche eines Regelgeschosses ist die Konstruktionsfläche (weiße Flächen) ersichtlich.

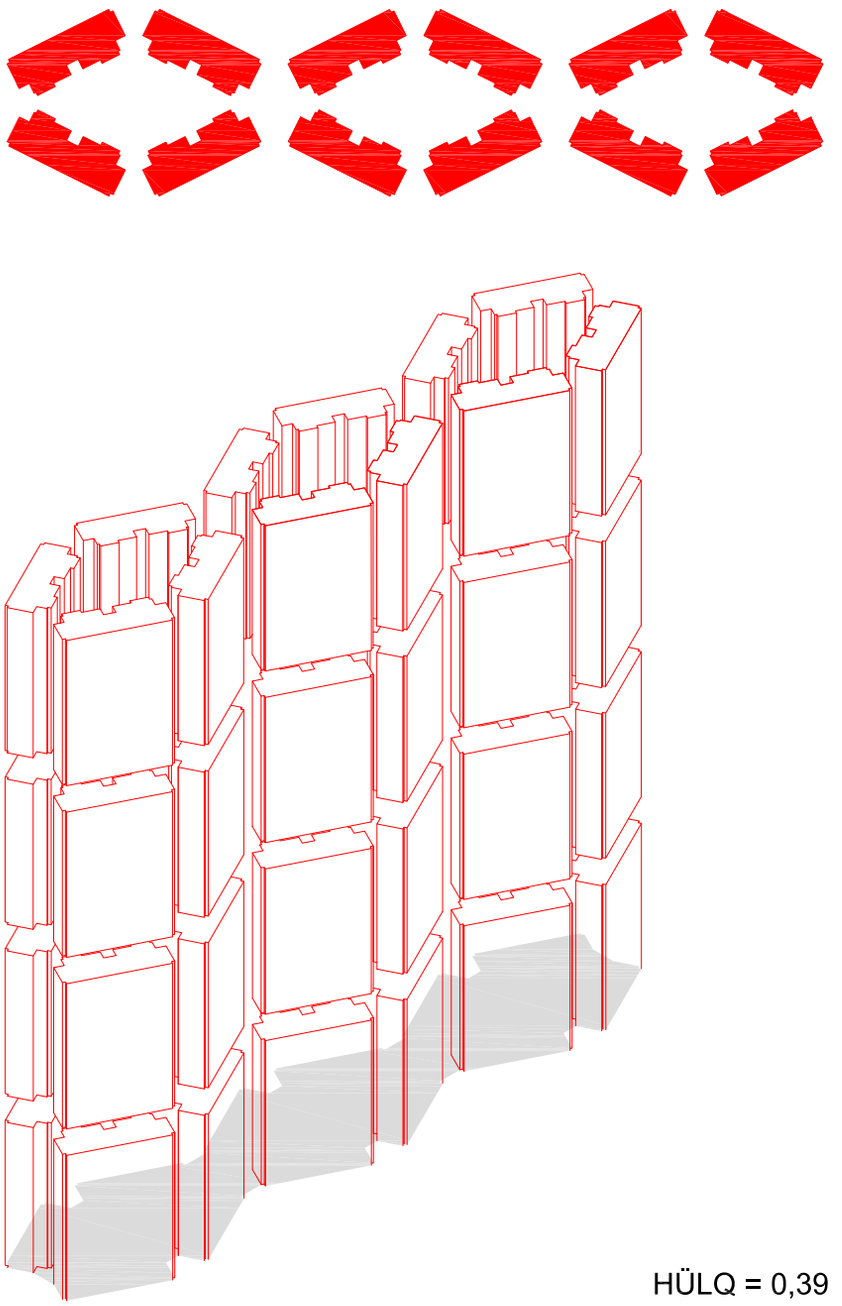
4.3.6.6 Luftanteilquotient (LAQ)

Der Luftanteil des *Skyville* beträgt 215.424 m³. Diese sehr große Luftmenge ist durch die große Gebäudehöhe und das große Gesamtvolumen bedingt. Bei der Betrachtung des Luftanteilquotienten von 1,31 lässt sich erkennen, dass aber auch der Anteil des Luftraums im Verhältnis zum Bruttorauminhalt sehr groß ist. Dies ist mit der speziellen Gebäudetypologie zu begründen und hat signifikate Vorteile für die natürliche Querlüftung. In der Grafik ist der Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung des *Skyville* abgebildet.

4.3.6.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis

Der Hüllflächenquotient und somit das A/V-Verhältnis des *Skyville* ist mit 0,39 sehr hoch und somit ist das Gebäude nicht sehr kompakt. Die insgesamt 12 freistehenden Gebäudekörper mit jeweils zwei Wohneinheiten pro Geschoss sind zwar kompakt ausgeführt und haben wenige Vor- und Rücksprünge, doch ist ihre Fassadenoberfläche durch die insgesamt 12 Wohntürme immens groß (AF = 104.544 m²). Im Vergleich zum *The Met* sind die Wohntürme des *Skyville* also kleiner und zahlenmäßig mehr (beim *The Met* 3 und beim *Skyville* 12 Türme). Die Erschließungskerne mit Aufzügen und Treppenhäusern befinden sich hier nicht im Inneren der Wohnkörper und müssen daher mit zusätzlicher Außenwand ausgestattet werden. Dafür wird bei den Erschließungsstegen an Fassadenfläche gespart, da diese nicht umbaut sind. Die Fassadenfläche ist im Verhältnis zum Bruttorauminhalt dementsprechend groß hinsichtlich der quantitativ zu konstruierenden Fassadenhaut. Für eine Forcierung der natürlichen Belüftung und der Querlüftung aller Wohnräume ist die konsequente Freistellung der Wohntürme aber sinnvoll. In der Grafik sind ein Teil der Hüllfläche und des Baukörpervolumens in isometrischer Darstellung des *Skyville* abgebildet.

4.3.6 Kennwerte



33

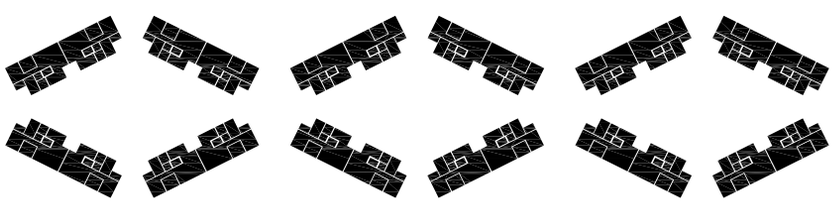
33 | Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis: Hüllfläche und Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung des Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.3.6.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten

Die Wohneinheiten im *Skyville* sind mit ihrer durchschnittlichen Größe von 58,20 m² mittelgroß und entsprechen den Anforderungen der Mittelklasse von Singapur. In der Grafik sind die Nutzungseinheiten eines Regelgeschosses und die durchschnittliche Fläche einer Nutzungseinheit in der Grundfläche in isometrischer Darstellung des *Skyville* in entsprechendem Maßstab abgebildet.

4.3.6.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)

Beim *Skyville* beträgt die Verkehrsfläche im Durchschnitt 13,6 m² pro Wohneinheit. Diese niedrige Zahl resultiert aus den flächenmäßig kleinen und schmalen stegartigen Eingangsbereichen. Des Weiteren handelt es sich beim *Skyville* um einen Acht-Spänner, bei dem ein Erschließungskern effizient von acht Wohnparteien pro Etage genutzt wird. In der Grafik sind die Verkehrsflächen eines Regelgeschosses und die durchschnittliche Fläche einer Verkehrsfläche in der Grundfläche in isometrischer Darstellung des *Skyville* in entsprechendem Maßstab abgebildet.



34

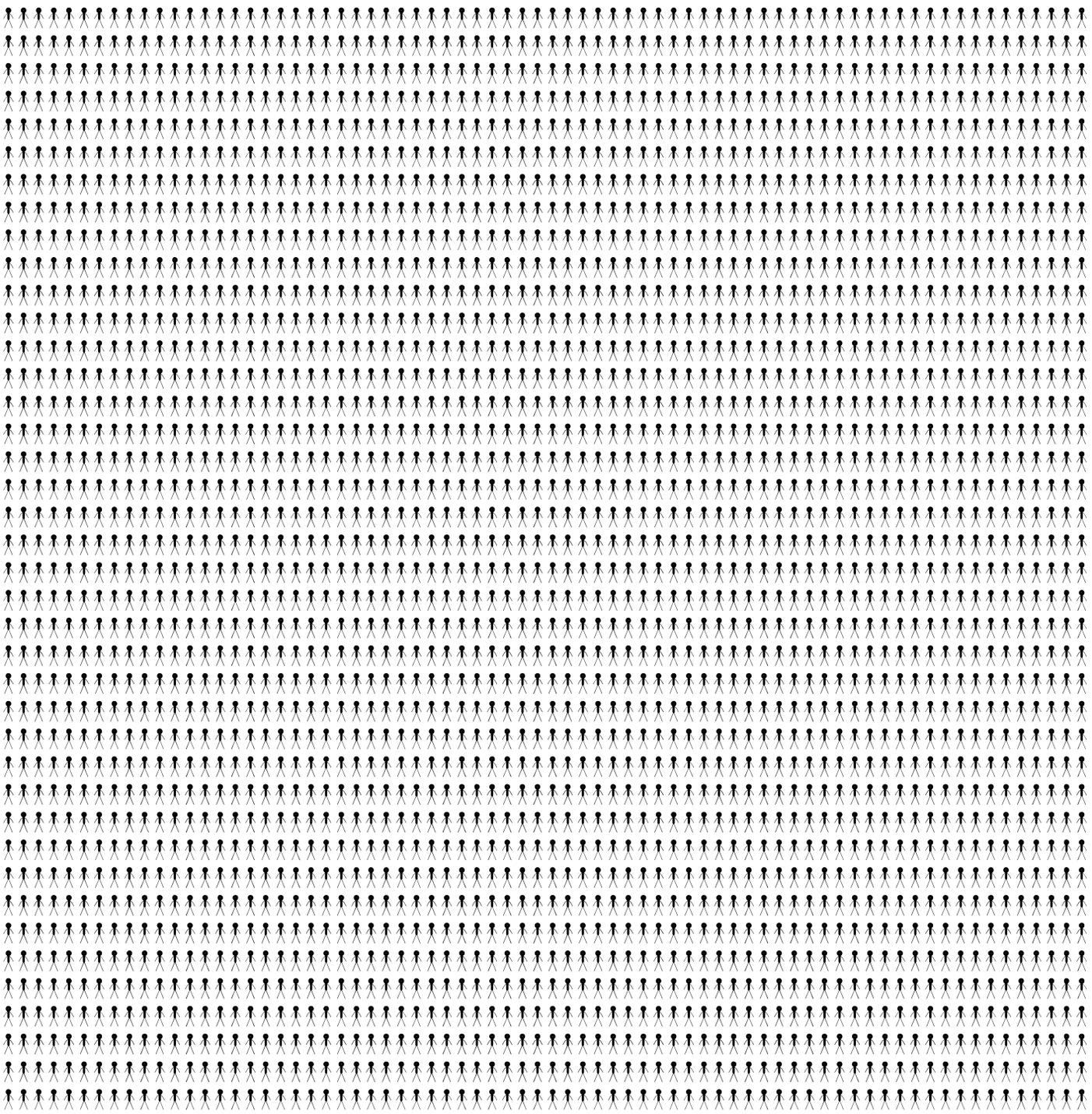


35

34 I Nutzungseinheitenquotient (NEQ): Nutzfläche (NF) durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) eines Regelgeschosses des Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

35 I Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE): Verkehrsfläche (VF) durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) eines Regelgeschosses des Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.3.6 Kennwerte



36

36 | Gesamte durchschnittliche Belegungsziffer (NUA) 2.880 Personen im Skyville, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.



37

4.3.6.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP)

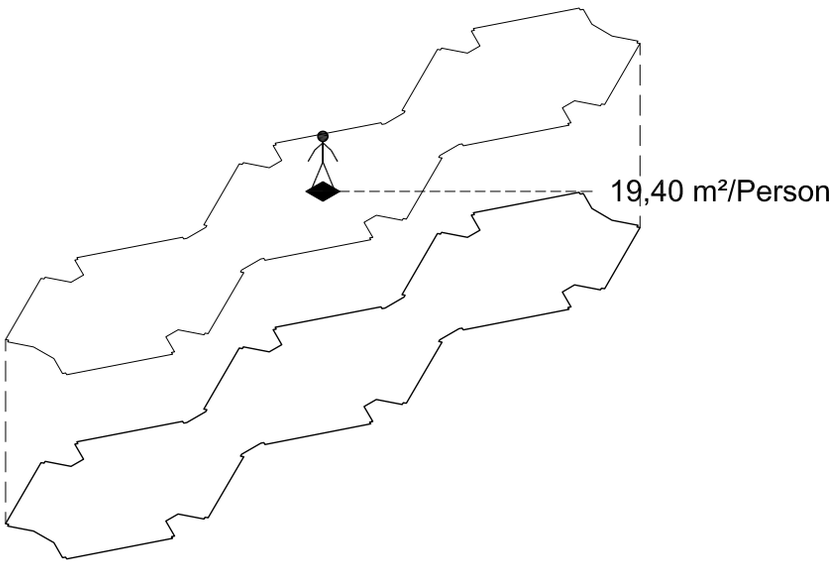
Der Kennwert der Nutzfläche pro Person (NP) im m^2 ausgedrückt trifft eine direkte Aussage über die zur Verfügung stehende Wohnfläche pro Person und beträgt im *Skyville* 19,40 m^2.
Die Belegungsziffer pro Wohneinheit wurde mit 2–4 Personen geschätzt. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Belegungsziffer von 3 Personen pro Wohneinheit im *Skyville*.
In der Grafik ist diese durchschnittliche Wohnfläche pro Wohneinheit in quadratischer Form in der Grundfläche des Gebäudes *Skyville* im gleichen Maßstab abgebildet.

4.3.6.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA)

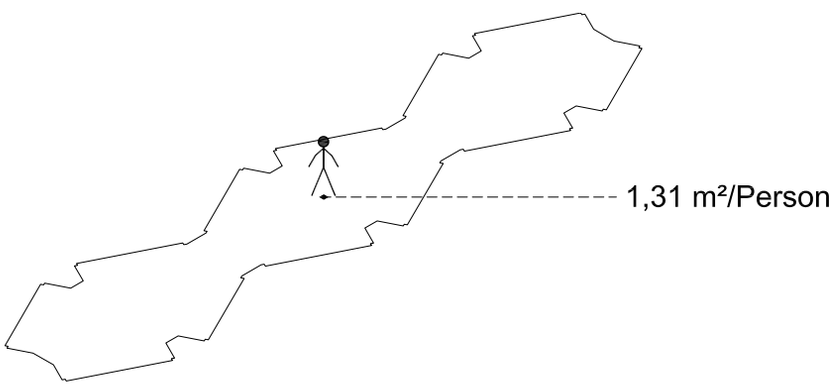
Obwohl die Nutzeranzahl des gesamten Wohngebäudes (NUA) keinen Kennwert, sondern eine Kenngröße darstellt, ist es trotzdem interessant, die Quantität der Bewohner des gesamten Wohngebäudes des *Skyville* zu betrachten. Die Gesamtpersonenanzahl im *Skyville* ist mit 2.880 Personen, bezogen auf die große Grundfläche des Gebäudekomplexes und im Verhältnis zur Ge-

37 I Nutzungseinheitenquotient (NEQ) und Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) in isometrischer Darstellung mit Grundfläche des Skyville im gleichem Maßstab, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013

4.3.6 Kennwerte



38



39

38 | Nutzfläche pro Person (NP): Nutzungsfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA), in der Abbildung in isometrischer Darstellung die Grundfläche des *Skyville* sowie in quadratischer Form die durchschnittlich zur Verfügung stehenden Quadratmeter Wohnfläche pro Person im gleichen Maßstab, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

39 | Grundfläche pro Person (GP): Grundfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA). In der Abbildung durchschnittliche pro Person zur Verfügung stehende Quadratmeter Grundfläche in isometrischer Darstellung des *Skyville*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

schossanzahl des Gebäudes, immer noch sehr hoch. In der Grafik sind alle 2.880 Nutzer des *Skyville* dargestellt.

4.3.6.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Person (GP)

Die Gebäudebewohnerdichte des Skyville liegt bei 1,31 m^2 Grundfläche pro Person, bezogen auf die bebaute Grundfläche und die gesamte Anzahl der Bewohner des Wohnhochhauses. Dieser Wert ist sehr gut, obwohl das *Skyville* einen so großen Luftanteil aufweist. Die Grundfläche ist zur Personenunterbringung also sehr gut ausgenutzt. Da das Gebäude die große Anzahl von 40 Wohngeschossen aufweisen kann, vervielfacht sich die Bewohneranzahl mit der Anzahl dieser Geschosse. Die große Höhe des Gebäudes ist auf die starke Wohnungsnachfrage in Singapur bei gleichzeitig wenigem Platzbedarf des Stadtstaates zurückzuführen. Wenig vorhandener Baugrund und hohe Grundstückspreise fördern den Bau von hohen Wohnbauten.

4.3.7 Verbesserungspotential/Fazit

Jeweils vier freistehende Wohntürme stehen um einen jeweils in der Mitte befindlichen Erschließungskern. Diese Formation ist dreimal nebeneinander linear aufgestellt. Die Gebäudestruktur ist hier sehr offen, lediglich über Stege werden die Kerne mit den Wohnkörpern verbunden. Das Freistellen der insgesamt 12 Gebäudekörper bildet große schattige Innenräume, die zur Erschließung und ebenfalls zur Durchströmung der Luft in die und aus den Wohnungen genutzt wird. Beim *Skyville*-Projekt sind drei Geschosse komplett offen, also nicht umbaut. Die hier befindlichen offenen Aufenthaltsflächen in Kombination mit den vertikalen Zwischenräumen innerhalb der Gebäudestruktur (zwischen den Gebäudekörpern) forcieren die Luftströmung und optimieren somit die Querlüftung der einzelnen Wohnungseinheiten. Durch die ganzgeschossigen Öffnungen auf drei Gebäudehöhen wird der vertikale Luftauftrieb unterstützt. Des Weiteren verkleinert die Winddurchlässigkeit des Gebäudes die Angriffsfläche für Windkräfte. Auch bei starken Winden (Stürmen/Unwettern) ist die Standsicherheit des Gebäudes gut gewährleistet.

4.3.7 Fazit

Fassadenstruktur

Die Fassadenstruktur wie die herausragenden vertikalen und horizontalen Fassadenschwerter des *Skyville at Dawson* bieten zahlreiche Vorteile wie die Verschattung und somit die Möglichkeit des Verzichts auf außenliegende Sonnenschutzelemente, die Intensivierung der natürlichen Querlüftung sowie das überzeugende gestalterische Fassadenkonzept.

Öffnungen

Ein Verbesserungspotential bei den Öffnungen ist durchaus gegeben: So könnte die untere Fixverglasung als Kippfenster ausgeführt werden. Dies würde den unteren Bereich in Fußbodennähe besser mit Luftströmungen versorgen und damit das Belüftungsspektrum der Wohninnenräume erweitern und zur Steigerung der Behaglichkeit führen.
Eine Verbesserung der Kontrolle der Querlüftung durch den Bewohner wäre mit dem Ersetzen des Drehkipp-Fensters durch ein Schiebefenster möglich. Wie im Kapitel über die Fallstudie *The Met* bereits beschrieben wurde, kann der Nutzer die Luftgeschwindigkeit hiermit noch exakter kontrollieren, indem er den Öffnungsquerschnitt genau und beliebig einstellen kann. Auch stellt das Zufallen des Fensters aus der geöffneten Drehposition bei höheren Windgeschwindigkeiten eine Gefahr dar. Vermeiden lässt sich dies durch eine Einrast-Funktion in unterschiedlichen Drehpositionen. Ein Schiebe-Kippfenster als Kombinationsfenster würde sich hier hervorragend eignen. Wie die Bezeichnung schon aussagt, lässt sich die Position dieses Fensters entweder kippen oder verschieben. Die Kippposition würde sich bei Regenschauern anbieten, da sie das Eindringen des Niederschlages in die Wohnung verhindert. Eine weitere Optimierung würde das Anbringen eines Kipp- oder Drehkipp-Fensters im Brüstungsbereich darstellen. Beim Drehkipp-Fenster müsste man allerdings noch eine zusätzliche Absturzsicherung anbringen, um den gesetzlichen Vorschriften gerecht zu werden.

Speichermasse

Die Nutzung der Speichermasse funktioniert nach Auswertung der Klimasimulationen mit dem psychrometrischen Diagramm in der Klimaregion des *Skyville*

at Dawson nicht. Nachdem jedoch im vorherigen Kapitel die Positionierung und Anordnung der speichermassenrelevanten massiven Bauteile des *The Met* untersucht wurden, ist anzunehmen, dass sich die Gebäudetragstruktur des *Skyville at Dawson* mit den tragenden massiven Fassadenwandscheiben in anderen Klimaregionen wie Bangkok gut für die Speichermassenkühlung eignen würden.

Verdunstungskühlung

Auf den Einsatz von Wasserflächen zur Verdunstungskühlung wurde im *Skyville*-Projekt verzichtet, weil die Verdunstungskühlung am Klimastandort Singapur nicht funktioniert. Es gibt allerdings ein WOHA-Projekt in Singapur, das zahlreiche Wasserflächen in das Gebäudekonzept integriert hat. Im Grundriss des Projektes *Crown Plaza Changi Airport Hotel* ist ersichtlich, dass eine Vielzahl von offenen Wasserflächen innerhalb der Gebäudestruktur enthalten ist, obwohl eine Verdunstungskühlung in Singapur nicht funktioniert. Eine Begründung hierfür könnten der ästhetische Anblick, das beruhigende Geräusch oder die vielfältige Reflektierung der Sonne durch die Wasserflächen sein. Diese Faktoren stellen ebenfalls eine Verbesserung der Behaglichkeitsqualität dar und bei einer Hotelnutzung investiert die Hotelkette gerne in das Wohlbefinden des Gastes. Es könnte also auch der Kostenfaktor gewesen sein, der dazu führte, dass auf die Integration von Wasserflächen beim *Skyville at Dawson* verzichtet wurde.

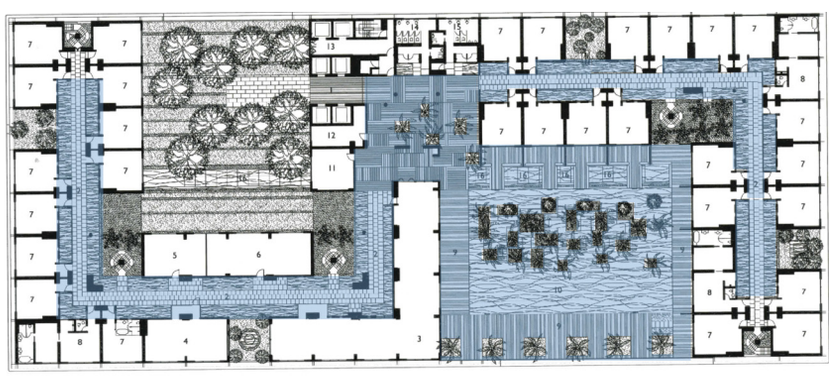
Natürliche Belüftung

Die natürliche Belüftung und gleichzeitige Reduzierung der elektrischen Konditionierung ist in den Wohneinheiten des *Skyville at Dawson* aufgrund der zuvor beschriebenen Gebäude-, Grundriss- und Fassadenstruktur sehr gut möglich. Die Luftgeschwindigkeiten konnten zwar noch nicht gemessen werden, aber die Erfahrungen aus den Messungen im Rahmen der anderen Fallstudien und aus den Simulationen der Klimastandorte lässt darauf schließen. Gerade hier in Singapur, wo Speichermassen- und Verdunstungskühlung keine ausreichenden Resultate bieten, ist es für Architekten von Wohnungsbauten umso wichtiger, eine wirksame natürliche Querlüftung zu planen und in das Konzept zu integrieren.

4.3.7 Fazit



40



41

40 I *Crown Plaza Changi Airport Hotel*, Singapur, WOHA-Architekten, Fertigstellung 2008.

41 I Grundriss mit Wasserflächen, *Crown Plaza Changi Airport Hotel*, Singapur, WOHA-Architekten, Copyright: WOHA Pte Ltd., überarbeitet von Ferdinand Oswald, 2014.

Kennzahlen

Die Kennzahlen zeigen auf, dass trotz des hohen Luftanteils der Gebäudekörper und der damit gut möglichen Querlüftung der Wohnungen ein sehr geringer Verkehrsflächenquotient umgesetzt werden konnte: Beim *Skyville at Dawson* wird wenig Verkehrsfläche zur Erschließung der Wohneinheiten benötigt. Die Verkehrsfläche des *Skyville* macht nur 18,99 % im Verhältnis zur Nettogrundfläche aus. Das Gebäude hat mit seinem Verkehrsflächenquotienten von 0,23 den kleinsten und damit besten Wert der vier untersuchten Projekte.

Das *Skyville at Dawson*-Projekt hat gute Chancen, ein Vorreiter für innovative Architektur für ein mittelständisches Klientel in tropischen Regionen zu werden. Es könnte ein Paradebeispiel für ein natürlich belüftetes Wohnhochhaus im staatlich geförderten Wohnungsbau werden. Spannend wird es sein, nach Fertigstellung des Projektes die Bewohner nach ihrer Zufriedenheit, ihrer Behaglichkeit und der Nutzungshäufigkeit von raumkonditionierenden Klimageräten zu befragen.

4.4.1 Projektbeschreibung

4.4.1.1 Klima
4.4.1.2 Standort

4.4.2 Natürliche Belüftung

4.4.2.1 Landschaftliche Positionierung
4.4.2.2 Gebäude-, Fassadestruktur und Grundrisse
4.4.2.3 Öffnungen

4.4.3 Verringerung der Solaren Energieeinträge

4.4.3.1 Fassadenstruktur
4.4.3.2 Öffnungen

4.4.4 Speichermasse

4.4.5 Verdunstungskühlung

4.4.5.1 Feuchtespeicherung
4.4.5.2 Wasserflächen

4.4.6 Fazit

01 | Innenhofansicht Hakka-Tulou, China, Fotos: Ferdinand Oswald, 2013.

4.4 Vorstudie - traditionelles Tulou Fujian Region China





02



03

02 I Hakka-Tulou, China, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

03 I Hakka-Tulou, China, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

Die folgenden drei Kapitel (B Subtropen: 4.4 - 4.6) widmen sich der subtropischen Klimazone. Diese Klimaregion wird hier anhand einer Vorstudie und zweier Fallstudien untersucht.

In subtropischen Gebieten hatten die Wände von Gebäuden schon immer die wichtige Funktion, vor Hitze zu schützen. Ein Blick auf traditionelle Gebäudetypologien in den Subtropen zeigt, dass in früheren Zeiten ein behagliches Innenraumklima auch ohne Klimaanlage möglich war. Ein typisches Beispiel hierfür sind die *Tulou*-Bauten im Südosten Chinas. In diesem Kapitel soll die Frage beantwortet werden, mit welchen architektonischen Mitteln dieses behagliche Klima erreicht werden konnte. Es stellt sich die Frage, weshalb sich diese spezifische *Tulou*-Typologie am Standort entwickeln konnte und warum sie in dieser runden Gebäudeform errichtet wurden. Weiter soll der Frage nachgegangen werden, wieso diese Typologien in ihrer damaligen Form heute nicht mehr gebaut werden. Antworten auf diese Fragen sollen anhand eines konkreten *Tulou*-Beispiels gefunden werden, nämlich anhand des über 300-jährigen traditionellen *Chengqi-Lou-Tulou* (1709), das in der Fujian-Region in der Nähe der Stadt Longyan steht.

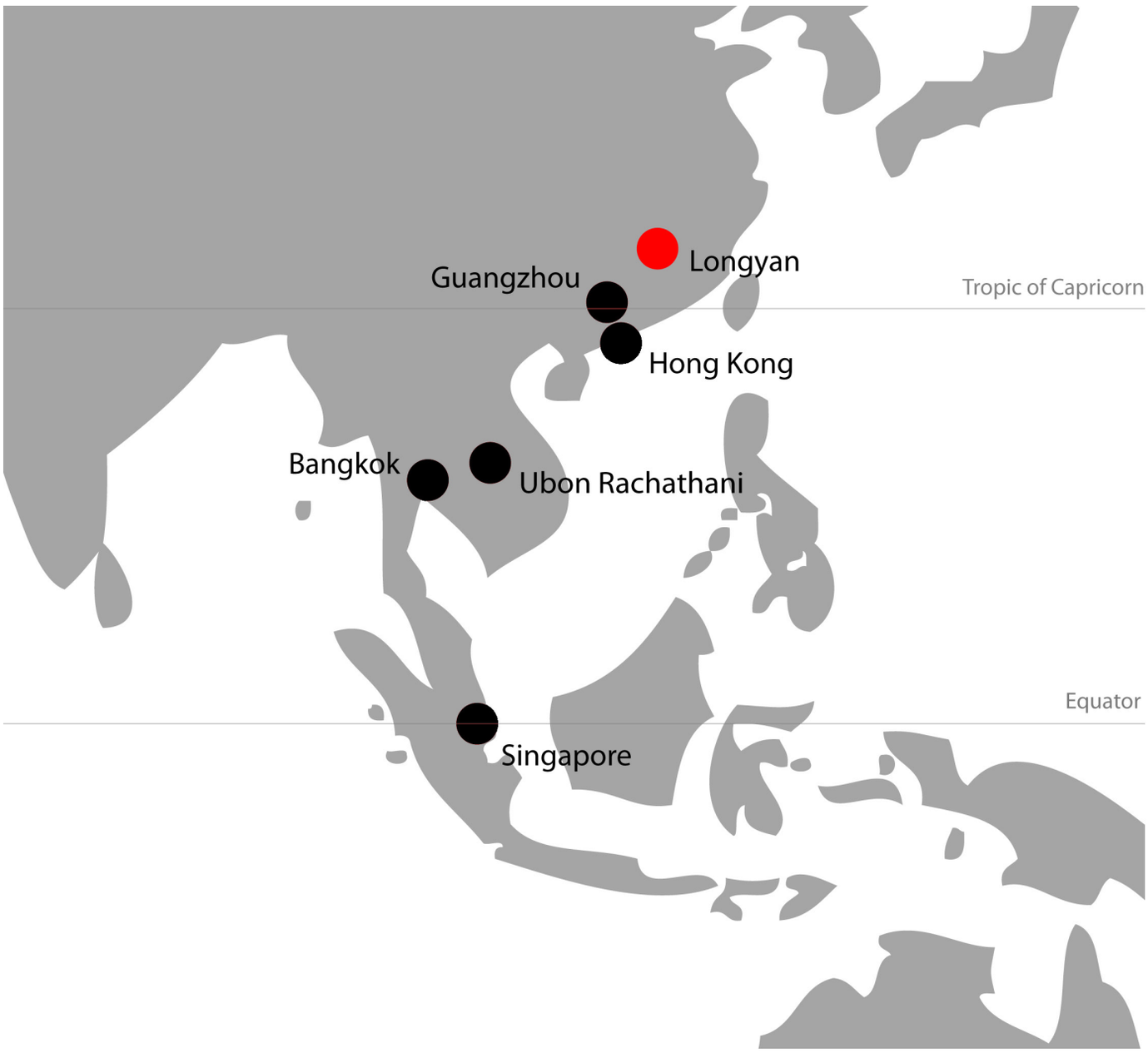
4.4.1 Projektbeschreibung

Tulou sind aus Erde gebaute, kreisrunde Häuser. „*Tu lou*" bedeutet wörtlich übersetzt „Erdgebäude", was auf das Baumaterial zurückzuführen ist. Wegen ihrer teilweise runden Gebäudeform werden *Tulou* auch „Rundhäuser" genannt. Sie sind vor allem im Südosten Chinas seit dem 12. Jahrhundert entstanden. Der Begriff *Hakka* bedeutet wörtlich übersetzt „Gast-Familie" und bezeichnet eine der acht Volksgruppen der Han-Chinesen. Sie sind die Erbauer der *Tulou*, weshalb diese Gebäudeform auch als *Hakka*-Architektur oder *Hakka-Tulou* bezeichnet wird. Es gibt unterschiedlich große *Tulou*-Rundhäuser in einer Bandbreite zwischen 17 und 91 Metern Durchmesser. Das *Zaitianlou-Tulou* in *Zhaoan* ist das Größte von allen noch existierenden *Tulou* und weist bei einem Durchmesser von 91 Metern 2,40 m dicke Außenwände auf.[1]
Heute gibt es noch ca. 1.000 *Tulou*-Rundbauten. In einem dieser Bauten wohnten ca. 600 Bewohner in einem Zeitraum aus 3 oder 4 Generationen.[2]

[1] Vgl. Knapp, Ronald G.: China's Old Dwellings, Honolulu 2000, S. 264.

[2] Vgl. Aaberg-Jørgensen, Jens: Clan homes in Fujian, in: ARKITEKTEN Nr.28 (2000), S. 2-11.

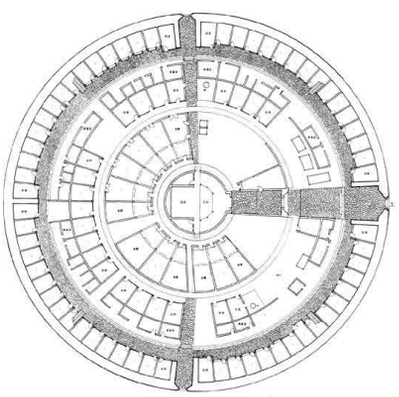
4.4.1 Projektbeschreibung



04

04 I Standort der Fallstudie Longyan (roter Punkt), Kartenausschnitt Asiens mit sechs ausgewählten Standorten, Äquator und nördlichem Wendekreis, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

In den *Tulou* spielt das gesellschaftliche Zusammengehörigkeitsgefühl eine maßgebliche Rolle. Sie können als ländliche Kollektivsiedlungen betrachtet werden und die Bewohner des *Tulou* werden oft als „Clans" bezeichnet. Mit seiner introvertierten Form und den massiven geschlossenen Außenmauern bietet dieser alte Bautyp seinen Bewohnern Sicherheit und Geborgenheit. Die festungsartige Architektur war in der damaligen Zeit auch als Schutzmaßnahme gegen Räuberbanden erforderlich. Die Wohneinheiten bestehen aus einzelnen Zimmern, die im Kreis nebeneinander angeordnet und jeweils radial nach außen und zum Hof hin ausgerichtet sind. Die Außenwand und teilweise auch die querstehenden Wohnraumtrennwände sind massiv ausgeführt. Die Decken und die innenliegende Gebäudekonstruktion sind in Holzbauweise erstellt. Das hier beschriebene *Chengqi-Lou-Tulou* beinhaltet drei Obergeschosse und hat pro Etage und im Erdgeschoss 60 Räume. Ohne die in der Mitte im Innenhof befindlichen Gemeinschaftsräume stellt dieses *Tulou* 240 einzelne Zimmer zur Verfügung.



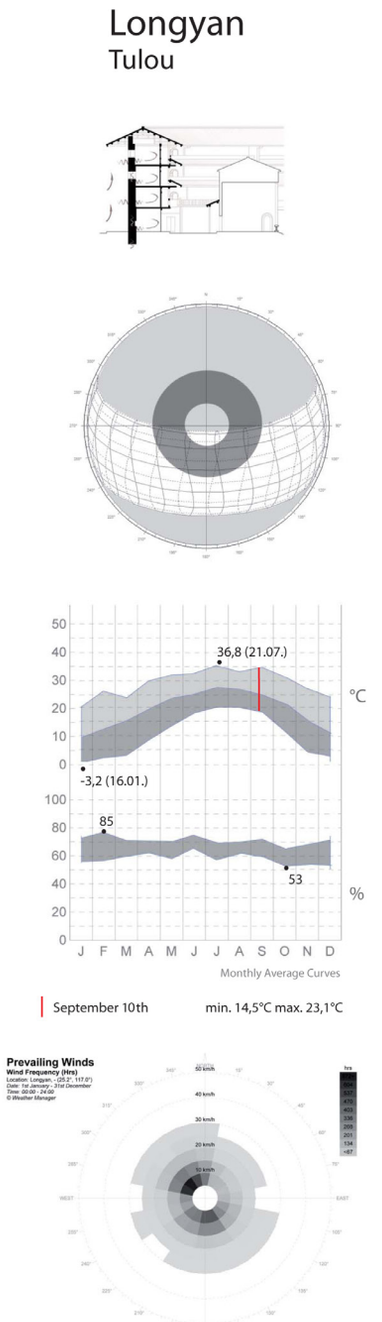
05

4.4.1.1 Klima

Auf der Karte der Fallstudien ist der Standort Longyan ersichtlich. Longyan befindet sich als einziger Untersuchungsstandort oberhalb des 20. Breitengrades und gehört mit seinem Breitengrad von 25° zu den Subtropen, aber über dem nördlichen Wendekreis der Sonne. Hier gibt es ausgeprägtere Jahreszeiten als

05 I Erdgeschoss *Hakka-Tulou*, China, Quelle: Mogi, Keiichiro, Zhongguo minju yanjiu, A Survey of Chinese Dwellings, Taipei, Taiwan, 1996.

4.4.1 Projektbeschreibung



06

06 I Schnitt Hakka-Tulou; Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Darstellung der Orientierung des Hakka-Tulou; Temperatur-Jahresmaximum und -minimum sowie jährliche Temperaturdifferenz mit Jahresmaximum und -minimum der relativen Luftfeuchte; Windrose mit Windrichtung, -stärke und -häufigkeit am Klimastandort Longyan, China, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten des U.S. Department of Energy, 2013.

weiter südlich. Es gibt in Longyan einen milden Winter, Herbst und Frühling sowie einen sehr heißen Sommer. Das Klima ist hier mit den mitteleuropäischen moderaten Klimata vergleichbar. Die wesentlichen Unterschiede sind: heißere Sommer, mildere Winter und die Luftfeuchtigkeit ist mit bis zu 85 % wesentlich höher. Weil es höher im Norden liegt, hat Longyan eine direkte Süd-Sonneneinstrahlung. Dies ist gut in der stereografischen Abbildung des Sonnenstandes und -verlaufs zu erkennen. Zudem gibt es hier im Vergleich zu den anderen Fallstudien-Standorten die höchste durchschnittliche Jahrestemperaturdifferenz mit 40 °C. Diese große Temperaturdifferenz erfordert energetische Maßnahmen (Heizung oder baulichen Wärmeschutz), um im Winter eine Behaglichkeit im Innenraum zu erhalten. Der Wind weht hier relativ gleichmäßig aus allen Himmelsrichtungen.

4.4.1.2 Standort

Die *Tulou*-Bauten befinden sich im Landesinnern im ländlichen Bereich. Sie sind im Schnittpunkt der drei chinesischen Provinzen Fujian, Guangdong



07

07 I China-Karte mit Standort der *Hakka-Tulou* (roter Kreis, „*tulou* area") und den drei chinesischen Provinzen Jiangxi, Fujian und Guangdong (hellrote Flächen), Quelle: Matthew Hartzell, Harvard University, Faculty of History Cambridge, Massachusetts, 2013.

4.4.1 Projektbeschreibung



08

08 I *Hakka-Tulou*, Quelle: Matthew Hartzell, Harvard University, Faculty of History Cambridge, Massachusetts, 2013.

und Jiangxi angesiedelt, wie auf der Karte von China zu erkennen ist. 2008 wurden die Bauten von der UNESCO als Weltkulturerbe anerkannt. Da die *Tulou*-Bauten hauptsächlich in der Fujian-Region vorkommen, wurde als offizielle Bezeichnung von der UNESCO „*Fujian-Tulou*" festgelegt.

4.4.2 Natürliche Belüftung

4.4.2.1 Landschaftliche Positionierung

Die *Tulou* stehen meist in einem Konglomerat aus mehreren Bauten zusammen und bilden somit gemeinsam eine dörfliche Struktur. In der bergigen *Tulou*-Region stehen diese Gebäude-Ensembles meist in Tal-Senken, in Tälern oder an flacheren Hängen zusammen, wie auf der Foto-Aufnahme gut erkennbar ist. Durch ihre runde, unbestimmte und ungerichtete Gebäudeform lassen sie sich gut in die topografisch hügelige Situation eingliedern, in der die Höhenlinien nicht parallel verlaufen.

4.4.2.2 Gebäude- und Fassadenstruktur sowie Grundrisse

Es gibt runde und auch quadratische *Tulou*-Typologien. Hier soll nun die Frage beantwortet werden, warum die *Tulou*-Bauten teilweise in dieser runden Bautypologie erstellt wurden.
Die runde Bautypologie weist fünf vorteilhafte Aspekte auf:

1. Die kreisrunde Bauweise verbessert die Materialeffizienz: Mit einer runden Außenwand benötigt man im Verhältnis zum gebauten Raumvolumen weniger Baumaterial als bei einer orthogonalen Typologie. Dies ist aus den abgebildeten Zeichnungen ersichtlich. Hier werden jeweils die gleichen Mengen an Baumaterial verwendet (äußere Doppellinien).

2. In den oberen zwei Zeichnungen ist ersichtlich, dass das runde (links) mehr und das quadratische *Tulou* (rechts) weniger Innenhoffläche besitzt (schraffierte Fläche). Dies entspricht einem um 41 % größeren Innenhof bei Verwendung derselben Menge an Baumaterial.[3]

[3] Vgl. Aaberg-Jørgensen, Jens: Clan homes in Fujian, in: ARKITEKTEN Nr.28 (2000), S. 2-11.

4.4.2 Natürliche Belüftung

3. In den unteren beiden Zeichnungen wird die Raumausnutzung verglichen (schraffierte Fläche). Das runde (links) hat eine um 13 % größere Gebäudefläche als das quadratische *Tulou* (rechts).[4]

4. Technisch ist eine Holzdachkonstruktion an einem großen kreisrunden Gebäude einfacher zu erstellen, weil keine besonderen Dachkonstruktionen an den Eckpunkten erstellt werden müssen. Beim quadratischen *Tulou* läuft die Firstkonstruktion an den Ecken orthogonal zusammen. Dies ist in Konstruktion und Materialbedarf aufwendiger, da hier eine zusätzliche Eckdachkonstruktion erstellt werden muss. Die Dachkonstruktion beim runden *Tulou* bleibt dagegen hinsichtlich ihrer Typologie immer gleich und der First läuft ohne Unterbrechung durchgehend im Kreis.

5. Die natürliche Belichtung erfolgt in beiden Fällen hauptsächlich durch den Innenhof; es fällt nur wenig Licht durch die kleinen Fensteröffnungen in der Außenwand. Die runde *Tulou*-Typologie hat eine einheitliche Raumaufteilung, alle Räume sind zum Innenhof orientiert und können daher gut belichtet werden. Bei der quadratischen Bauweise sind die Eck-Räume vom Hof aus nicht belichtbar, denn an den Ecken entfällt hier die innenliegende Fassade durch die Knickung. Zudem ist auch die natürliche Belüftung eines solchen in der Ecke positionierten Raums schwieriger und schlechter zu realisieren.

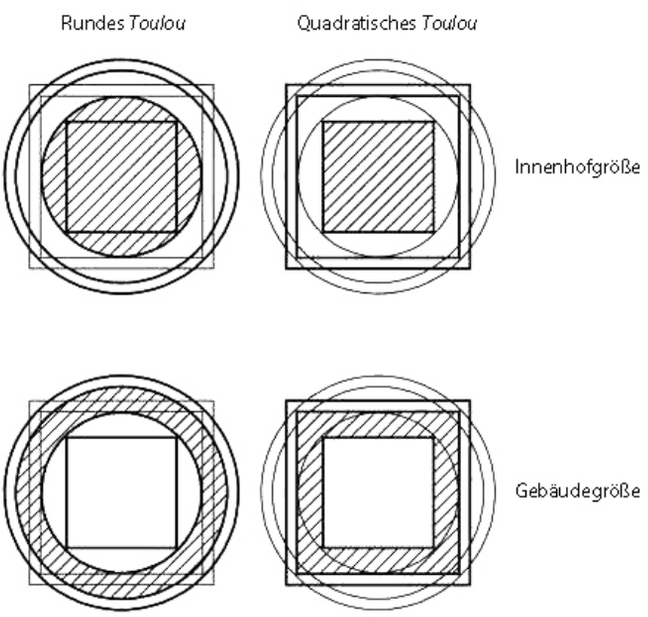
Alle diese Vorteile beziehen sich auf ein Gebäude in einer großen Dimension. Ist das Gebäude kleiner, dann ist die quadratische Typologie vorteilhafter, da beim runden Gebäude hier die Raumausnutzung zu unpraktisch wird. Je kleiner der Radius des Gebäudes ist, desto spitzer werden die Winkel der Raumtrennwände an die runde Außenwand.

Wie zuvor bereits erwähnt, weht der Wind hier ganzjährig relativ gleichmäßig aus allen Himmelsrichtungen. In Verbindung mit der runden Gebäudeform des *Tulou* sind somit für jeden der im Kreis angeordneten Räume die gleichen Bedingungen zur Belüftung der Innenräume mit Außenwind gewährleistet.

Wie oben beschrieben, sind die Wohneinheiten in der runden Gebäudeform nebeneinander angeordnet und alle nach außen und nach innen zum Hof hin orientiert. Diese durchgesteckten Wohneinheiten, zugänglich über die innenliegenden Laubengänge, ermöglichen mit kleinen quadratischen

[4] Vgl. Ebda.

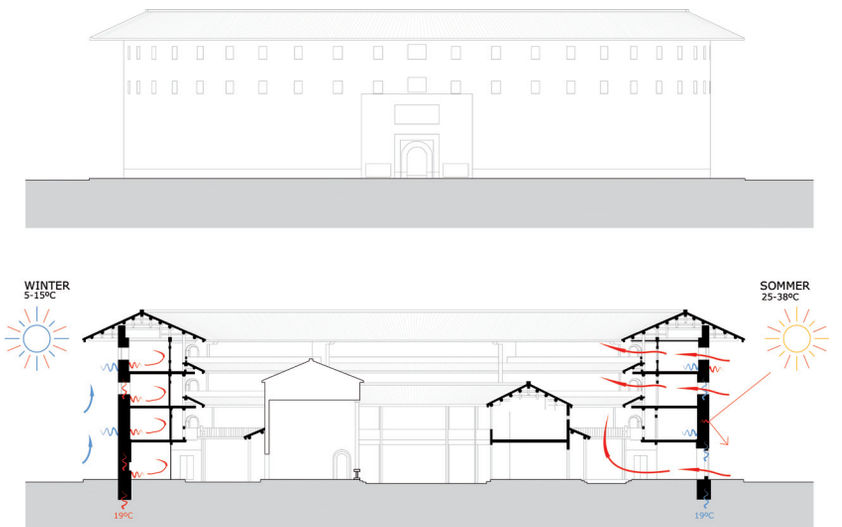
Fensteröffnungen (1x1 Meter) in der Außenwand und größeren Öffnungen zum Innenhof die Querlüftung jeder Einheit. Diese Querlüftung ist in einer Windstudie im Schnitt mit roten Windpfeilen für den Sommerfall dargestellt: Der Wind strömt in die Öffnungen der Außenfassade hinein, durchfließt den Wohnraum und strömt durch die Öffnung an der Hofseite wieder hinaus. Diese Raum- und Öffnungsanordnung fördert die natürliche Querlüftung mit einem intensiven Luftstrom durch die Wohnräume. Dies funktioniert aufgrund der Öffnungspositionierung zumindest in den zweiten und dritten Obergeschossen sehr gut. Im Winter werden die kleinen außenliegenden Fenster verschlossen, damit keine kalte Außenluft die Innenräume abkühlen kann.



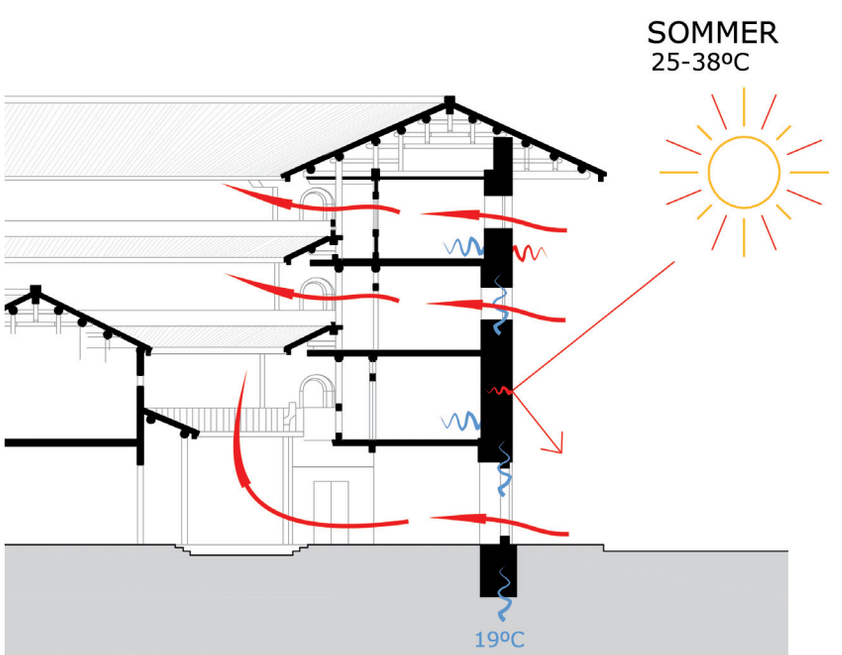
09

09 I Vergleich des runden und des quadratischen Hakka-Tulou, Quelle: Jens Aaberg-Jørgensen, Clan homes in Fujian, Danish in ARKITEKTEN, Nr. 28, November 2000, S. 10.

4.4.2 Natürliche Belüftung



10



11

10 I Ansicht und Schnitt Zhenchenglou-Tulou, Hongkeng Village, Yongding-Bezirk, Fujian-Provinz, China, Quelle: Jens Aaberg-Jørgensen, Clan homes in Fujian, Danish in ARKITEKTEN, Nr. 28, November 2000, S. 4, überarbeitet: natürliche Belüftung und geothermische Masse im Sommer und Winter: Ferdinand Oswald, 2013.

11 I Schnitt mit natürlicher Belüftung im Sommer, Zhenchenglou-Tulou, Hongkeng Vilage, Yongding-Bezirk, Fujian-Provinz, China, Quelle: Jens Aaberg-Jørgensen, Clan homes in Fujian, Danish in ARKITEKTEN, Nr. 28, November 2000, S. 4, überarbeitet: natürliche Belüftung und geothermische Masse im Sommer: Ferdinand Oswald, 2013.

4.4.2.3 Öffnungen

Die kleinen lochartigen Öffnungen in der massiven Außenfassade sind durch eine einfache Holzklappe verschließbar. Die Öffnungen an der Innenhofseite des *Tulou* sind brüstungshoch in der Holzwand platziert und messen 0,75 m Breite und 1,25 m Höhe. Die Öffnung besteht hier aus Gitterelementen und ist den sogenannten „Lattice"-Öffnungsarten zuzuordnen. Eines dieser „Lattice"-Fenster wurde bereits oben im Kapitel 3.4.2.4 „Traditionelle Verschattungssysteme" vorgestellt. Die Lattice-Öffnungen in den Holzwänden der *Tulou* sind besonders konzipiert, um auf die äußeren Faktoren wie Temperatur und Luftgeschwindigkeit flexibel reagieren zu können. Dies ist mit einem einfachen, aber raffinierten Mechanismus gelöst, durch den die Öffnung in der Wand zum Hof eine Steuerung des Luftstromes zulässt: Zwei hintereinander angeordnete Holzgitter lassen sich hier in einem Fensterrahmen verschieben. So kann die Größe des Öffnungsquerschnitts zum Durchströmen der Luft mit einer einfachen Handbewegung manuell geregelt werden. Der geöffnete und geschlossene Zustand dieses Fensters ist auf den Fotos erkennbar. In den Zeichnungen ist mit blauen Luftstrom-Pfeilen dargestellt, wie durch eine minimale Verschiebung des inneren Gitterelements das Durchströmen der Außenluft entweder gestoppt oder ermöglicht werden kann.

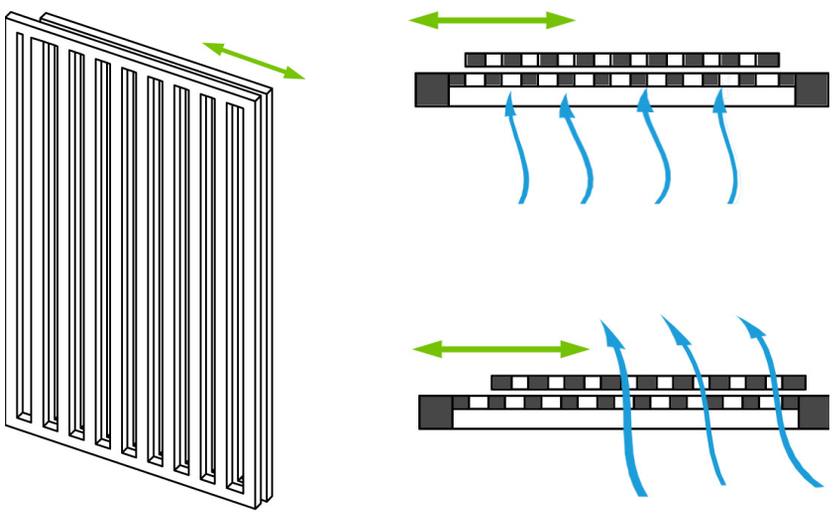
Ein weiteres traditionelles chinesisches Holzgitterfenster ist die *Wenzhou*-Lattice-Öffnung. Der Name dieser Öffnungsart enthält seine Herkunft aus der Stadt *Wenzhou* in der Provinz *Zhejiang*, die nördlich an die Fujian-Provinz angrenzt. Die *Wenzhou*-Öffnung hat nur ein einziges Holzgitterelement und anstatt eines zweiten Gitterelements ein geschlossenes Holzpaneel, das von unten über die Öffnung hochgeschoben werden kann. Auch dadurch können stufenlos verschieden große Öffnungsquerschnitte eingestellt werden. In den Zeichnungen ist dies im Vertikalschnitt und der Isometrie gut erkennbar. Die Nachteile gegenüber der Lattice-Öffnung des *Tulou* sind, dass unterhalb der Öffnung im Brüstungsbereich zur Einführung des Holzpaneels Platz zur Verfügung stehen muss und der konstruktive Aufwand zur Erstellung einer *Wenzhou*-Öffnung größer ist. Beide Lattice-Öffnungstypologien, *Tulou* und *Wenzhou,* bieten mit ihrer Holz-Gitterstruktur Schutz vor unbefugtem Eindringen in den Wohnraum vom Erschließungsgang aus, bei gleichzeitiger Belüftung im geöffneten Zustand.

4.4.2 Natürliche Belüftung

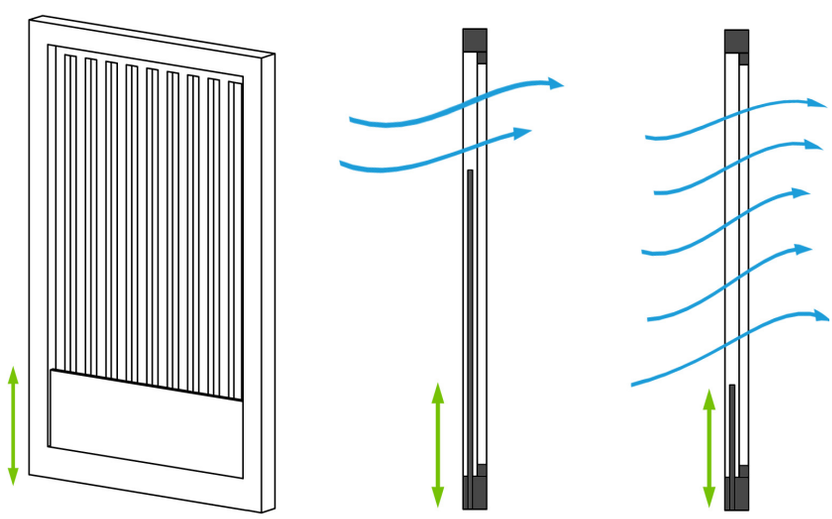


12

12 | Holzgitterfenster im geöffneten und geschlossenen Zustand, Hakka-Tulou, China, Fotos: Ferdinand Oswald, 2013.



13

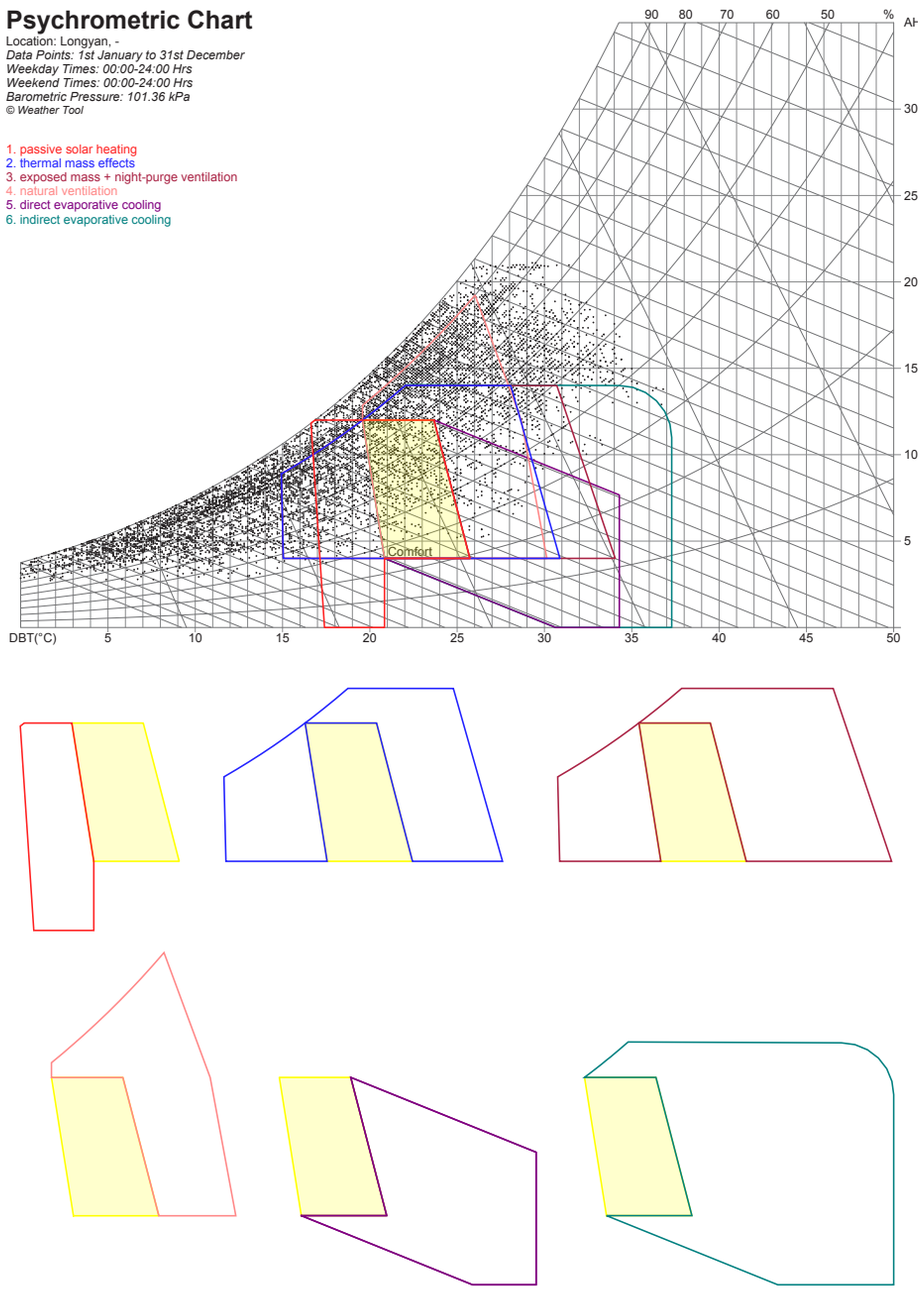


14

13 | Horizontalschnitte und Isometrie des Holzgitterfensters im geöffneten und geschlossenen Zustand, Hakka-Tulou, China, Zeichnungen von Renji Wu, Student im Seminar „Structure & Facade“, Ferdinand Oswald, IAT, TU Graz im Sommersemester 2013.

14 | Vertikalschnitte und Isometrie Wenzhou-Holzgitterfenster im geöffneten und geschlossenen Zustand, Zeichnungen von Renji Wu, Student im Seminar „Structure & Facade“, Ferdinand Oswald, IAT, TU Graz im Sommersemester 2013.

4.4.3 Solare Energieeinträge



15

15 I Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone sowie der passiven Kühl- und Heizmethoden für Longyan, Fujian-Region, China. Einzelne Abbildungen: Bereich der passiven solaren Energiegewinne und Behaglichkeitszone (oben links), Bereich der Speichermasse und Behaglichkeitszone (oben Mitte), Bereich der exponierten Speichermasse + Nachtdurchlüftung und Behaglichkeitszone (oben rechts), Bereich der natürlichen Belüftung und Behaglichkeitszone (unten links), Bereich der direkten Verdunstungskühlung und Behaglichkeitszone (unten Mitte), Bereich der indirekten Verdunstungskühlung und Behaglichkeitszone (unten rechts), überarbeitet: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010

4.4.3 Verringerung und Nutzung der solaren Energieeinträge

Die Funktionsweise der Simulation mit dem psychrometrischen Diagramm wurde bereits im dritten Teil im Unterkapitel „3.3.1.1 Passive solare Energiegewinne" anhand des Standortes Longyan beschrieben. Dennoch soll die Wirkungsweise der Energiegewinne durch Sonneneinstrahlung hier noch einmal aufgezeigt werden. Der Bereich der passiven solaren Energiegewinne ist rot markiert und befindet sich links von der Behaglichkeitszone. Die große Anzahl von Tagen (Punkten) innerhalb des rot markierten Bereichs zeigt, dass man in einem großen Zeitraum im Jahr theoretisch weniger zusätzliche Heizenergie bräuchte. Die Auswirkungen auf die Behaglichkeit mit einer Verringerung der solaren Energieeinträge, wie sie im Sommer zum Beispiel durch Verschattungsmaßnahen notwendig sind, sind im diesem psychrometrischen Diagramm nicht dargestellt.

4.4.3.1 Fassadenstruktur

Im Winter steht die Sonne tiefer, sodass die solaren Energiegewinne zur Aufwärmung der Außenwände und dann auch der Innenräume genutzt werden können. Im Sommer, wenn die Sonne hoch steht, sorgt der große Dachüberstand für eine ausreichende Verschattung und verhindert eine zu starke Erhitzung der Außenwände.
In der Darstellung des Sonnenverlaufs am Anfang dieses Kapitels ist zu erkennen, dass im Gebiet von Longyan eine Südsonneneinstrahlung vorherrscht. Beim hier untersuchten *Tulou* können die passiven solaren Energiegewinne also hauptsächlich auf der Südseite des Gebäudes zum Aufwärmen des Gebäudes genutzt werden.

Die Gebäudeaußenhülle der *Tulou* wird mit einer dünnen Kalklehmschicht verputzt. Die helle Kalkfarbe reflektiert solare Energieeinträge und vermeidet somit eine Überhitzung der Wand. Weiter schützt dieser Kalk vor äußeren Bewitterungen wie Schlagregen und Luftfeuchte.

4.4.3.2 Öffnungen

Die Außenfassade des *Tulou* hat kleine Öffnungen, sodass es im Sommer nur wenig solare Energieeinträge durch die kleine Angriffsfläche dieser Öffnungen gibt. Weiter ist die Laibung der Öffnungen, durch die große Außenwandstärke bedingt, sehr tief. Dies hat im Sommer den Vorteil, dass diese Öffnungen wirksam verschattet werden können. Allerdings birgt dies auch den Nachteil, dass die angestrebte Aufwärmung der Innenräume im Winter durch diese kleinen Öffnungen ebenfalls nur in geringem Umfang möglich ist. Die solaren Energiegewinne werden durch den flacheren Sonnenstand im Winter zwar verbessert, sind aber dennoch durch diese kleinen Öffnungen stark verringert. Die zum Hof orientierten innenliegenden Lattice-Öffnungen werden gegen solare Energiegewinne im Sommer gut verschattet. Im obersten Geschoss leistet der Überstand der Dachkonstruktion die Verschattung und in den übrigen Geschossen verschattet der Erschließungsgang die Öffnungen. Teilweise gibt es außerdem zusätzliche Dachüberstände, positioniert im zweiten und dritten Obergeschoss, zur Verschattung des jeweils darunter befindlichen Geschosses. Erkennbar ist dies im zuvor aufgezeigten Schnitt des *Zhenchenglou-Tulou*.

4.4.4 Speichermasse

Im psychrometrischen Diagramm ist der Bereich der Nutzung der Speichermasse blau markiert und befindet sich rechts und links von der Behaglichkeitszone. Dieser Bereich ist inklusive der Behaglichkeitszone oben in der Mitte noch einmal separat dargestellt. Die Nutzung der Speichermasse ist eine Strategie, die sowohl zur Kühlung als auch zur Erwärmung der Innenräume genutzt werden kann. Beim *Tulou* in Longyang kann im Winter für einige Tage die Wärme aus der Speichermasse genutzt werden. Hierbei wird tagsüber die Wärme der Sonnenstrahlung in massiven Außenwänden gespeichert und dann zeitversetzt in der Nacht an den Innenraum wieder abgegeben. Eine dunkle, Solarstrahlung absorbierende Außenwand-Oberfläche würde dieses Prinzip optimieren.

Der Bereich der Nutzung der exponierten Speichermasse mit Nachtdurchlüftung ist dunkelrot dargestellt und erweitert den blauen Bereich der Speichermasse nach rechts. Separat ist er oben rechts noch einmal dargestellt. Das

Prinzip der Speichermasse wird mit der Methode der zusätzlichen Nachtauslüftung noch optimiert, denn die in der massiven Wand gespeicherte Wärme des Tages strahlt abends ab und wird später dann durch eine Nachtventilation fortgelüftet. Für das *Tulou* in der Nähe von Longyan betrifft dies allerdings nur einige wenige Tage im Jahr, wie aus der Grafik des psychrometrischen Diagramms ersichtlich ist.

Für den Bau der *Tulou* wurde Erdmaterial aus der Umgebung verwendet. Ein großer Teil der Gebäude- und Fassadenstruktur besteht aus diesem massiven Baumaterial, so die Außenwände und teilweise auch die Wohnraumtrennwände. Wegen des statischen Lastabtrags der bis zu viergeschossigen *Tulou*-Bauten müssen die Außenwände 1,00–2,40 m dick sein. Diese massiven Lehmwände dienen als Temperatur-Speichermasse: Die Hitze wird im heißen Sommer in den Wänden gespeichert, benötigt aber aufgrund der enormen Dicke derselben – und der dadurch bedingten hohen Speicherkapazität – lange Zeit, bis sie von außen nach innen hindurchgewandert ist. Anders als bei dünneren Betonwänden, bei denen die Temperaturweiterleitung innerhalb eines Tag-und-Nacht-Zyklus funktionieren kann, verläuft die Phasenverschiebung hier über längere Zeiträume. Temperaturschwankungen, die als Temperaturwellen zeitlich versetzt in der Wand verlaufen und sodann an der Rauminnenseite heraustreten, sind von Schichtdicke und Temperaturleitfähigkeit der Wand abhängig.[5] Im Sommer wird die hohe Temperatur nicht nach innen geleitet und es bleibt innen kühl; erst in kälteren Jahreszeiten strahlt die im Sommer erwärmte Wand ihre Wärme nach innen ab.

Da sich die massive Wand nach oben verjüngt, hat sie unten die größte Dicke, was den Kontakt zum Boden und damit zur Erdmasse optimiert. Durch dieses großflächige Auflager mit direktem Kontakt zum Boden wird die Erdtemperatur als passive Massenkühlung genutzt: In sechs Metern Tiefe hat das Erdreich immer die Jahresmitteltemperatur die zumeist einen Temperaturunterschied zur stärker variierenden Lufttemperatur aufweist. Die im Sommer kühlere und im Winter wärmere Erdtemperatur steigt nach oben in die Masse der Wand und kann so das Gebäude passiv aktivieren. Die massive Lehmbauwand kompensiert somit die extremen Temperaturspitzen im Sommer und im Winter.

[5] Keller , Bruno / Rutz, Stephan: Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, Zürich 2007, S. 46–49.

4.4.5 Verdunstungskühlung

4.4.5.1 Feuchtespeicherung

Die Oberflächen der Lehminnenwände sind unversiegelt – so kann das Erdmaterial raumseitig Feuchtigkeit aufnehmen und sie bei Bedarf wieder abgeben: Die Lehmwand sorgt für einen ausgeglichenen Feuchtigkeitshaushalt im Innern und damit für ein angenehmes Innenraumklima. Gleichzeitig kühlt die Wand damit im Sommer den Innenraum ab. Bruno Keller beschreibt diese Hygroskopizitäts-Eigenschaft, Feuchtigkeit aus der Umgebung zu binden, folgendermaßen: „Die Hygroskopizität von Baumaterialien, insbesondere die des Innenausbaus (Wand, Decken- und Bodenbeläge, aber auch Mobiliar), speichert die Raumluftfeuchtigkeit. Baustoffe, die viel Feuchtigkeit aus der Luft aufnehmen und bei Bedarf wieder rasch abgeben können (weitestgehend pflanzliche, tierische und poröse mineralische Stoffe), sind gegenüber nicht saugfähigen Baustoffen (Kunststoffe, Beton, Metalle) vorteilhaft, da ihre raumseitigen Oberflächen feuchtepuffernd wirken. Der Effekt ist energetisch wirksam, der Hauptnutzen liegt jedoch in der höheren Behaglichkeit.“[6]
Ein Beleg dafür, dass dies ebenfalls in unserem mitteleuropäischen moderaten Klimagebiet funktioniert, sind die zeitgenössischen Projekte des Architekten Martin Rauch aus Österreich. Er hat in zahlreichen realisierten Projekten die Vorteile des Baumaterials Lehm aufgezeigt. In den Arbeiten seines Büros „Lehm Ton Erde“ zeigt er die Vorteile des Baumaterials Lehm und die Funktion desselben als Regulator der Innenraumbehaglichkeit auf. Das Wohn- und Atelierhaus Rauch ist beispielsweise ein Lehmhaus, welches wie die *Tulou* aus dem Aushubmaterial der Baustelle gebaut ist.[7]

4.4.5.2 Wasserflächen

Eine direkte Verdunstungskühlung reduziert die Raumtemperatur durch ein Wasserelement, welches direkt an den zu kühlenden Raum angegliedert ist. Im psychrometrischen Diagramm befindet sich der Bereich der Verduns-

[6] Quelle: Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel, Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 75.

[7] Boltshauser, Roger / Rauch, Martin / Kapfinger, Otto (Hg.) / Simon, Axel (Hg.) Haus Rauch - Ein Modell moderner Lehmarchitektur, Birkhäuser Verlag, Basel 2010.

tungskühlung für den *Tulou*-Standort unterhalb und insbesondere rechts von der Behaglichkeitszone und ist in Lila dargestellt. Die Wirkungskraft der Verdunstungskühlung fällt nach diesem Simulationsmodell am *Tulou*-Standort bescheiden aus. Der Grafik des psychrometrischen Diagramms zufolge wird die direkte Verdunstungskühlung erst ab einer relativen Luftfeuchte unter 60 % aktiv. Da Longyan die meiste Zeit im Jahr eine höhere Luftfeuchtigkeit hat, ist die Verdunstungskühlung hier kaum wirksam und es fallen nur einige wenige Tage in den lila markierten Bereich. Das *Tulou* beinhaltet dementsprechend auch keine Wasserflächen, da von dieser Kühlmethode hier wenig profitiert werden kann. Die Bereiche der Nutzung der direkten (lila) und der indirekten Verdunstungskühlung (hellblau) sind jeweils mit der Behaglichkeitszone unten in der Mitte und rechts noch einmal separat dargestellt.

4.4.6 Fazit

Die 300 Jahre alten *Tulou*-Rundhäuser nutzen die Potentiale der Wand zur Klimaverbesserung der Innenräume. Auch wenn man zur damaligen Zeit nicht die heutigen technischen Möglichkeiten zur Kühlung des Innenraums besaß und der Anspruch an die Behaglichkeit unter dem heutigen Niveau lag, wurde mittels einfacher bauphysikalischer Grundlagen und intelligenter Raumanordnung ein angenehmes Wohnklima für die Bewohner der *Tulou* geschaffen.

Bei den oben beschriebenen Lattice-Fassadenöffnungen ist allerdings ein Widerspruch erkennbar: Im Sommer erlaubt der geöffnete Zustand zwar die natürliche Belüftung, aber gleichzeitig ist das Gitterfenster an diesen Öffnungsstellen ungeschützt gegen die Sonneneinstrahlung. Im Winter kann die Öffnung zwar gegen kalte Außenwinde verschlossen werden, aber zugleich ist die Nutzung von solaren Energiegewinnen durch seine opake Holzmaterialität hier nicht möglich. Beide Öffnungstypologien, das *Tulou*- und *Wenzhou*-Holzgitterfenster, haben also den Nachteil, dass sie im geschlossenen Zustand lichtundurchlässig sind. Dadurch gibt es keine Möglichkeit, bei geschlossener, luftabschließender Einstellung die Innenräume zu belichten. Eine Verbesserung würde hier ein verschiebbares Gitterelement aus transparentem Material darstellen – für eine Belichtung einerseits und andererseits

4.4.6 Fazit

für solare Energiegewinne im Winter. Ebenso wären Glasfenster an der Außenfassade vorteilhafter.
Um die Sonnenenergie zu nutzen, könnte man die nach Süden orientierte Fassadenseite mit einem großen Glasanteil ausführen, da Glasfenster die solare Energie sehr gut nach innen einstrahlen lassen. Allerdings müsste dann im Sommer für eine Verschattung dieser Fenster gesorgt werden, um zusätzlichen solaren Energieeintrag zu vermeiden. Die Nutzung dieser Methode ist also in extremem Maße abhängig von der architektonischen Ausbildung: von der Orientierung des Gebäudes und von der Fassade mit Detaillierungen und Öffnungen.

Doch weshalb wird heute nicht mehr nach dieser *Hakka-Tulou*-Typologie mit ihren spezifischen Charakteristika gebaut? Hierfür gibt es sowohl gesellschaftliche als auch technologische Gründe: Das soziale Leben der chinesischen Bevölkerung erfährt in den letzten Jahrzehnten mit den politischen Veränderungen einen Wandel. Durch das marktwirtschaftliche Umfeld bedingt verlor das gemeinschaftliche „Clan"-Leben immer weiter an Attraktivität. In der Fujian-Region stehen inzwischen viele der alten *Tulou*-Rundhäuser leer. Grund dafür ist die Abwanderung der Bevölkerung aufgrund von fehlenden Arbeitsstellen in der ländlichen Region. Die Betreibung von landwirtschaftlichen Höfen lohnt sich nicht mehr, da ein ertragreiches Einkommen mit kleinen Betrieben nicht mehr möglich ist. Aus einigen Dörfern in der Fujian-Region sind in den letzten 15 Jahren bis zu 25 % der Bevölkerung in Städte abgewandert, um dort Jobs als Fahrer oder Servicepersonal in Restaurants anzunehmen oder um in Ziegeleien oder Kohleminen zu arbeiten. Weiter ist die Notwendigkeit einer sicheren „Festung" im ländlichen China inzwischen nicht mehr gegeben. Hieraus resultiert die Aufteilung der „Clans" in individuelle Familien, welche sich Eigenheime in der Nähe der Städte zulegen.[8] Die Anzahl der zusammenlebenden Großfamilien nimmt ab und der Trend zum Single- oder Pärchen-Wohnen nimmt zu.

Es dauerte 6 bis 7 Jahre, größere *Tulou* mit den traditionellen Bauverfahren zu errichten.[9] Um ökonomisch effizient zu sein, müssen Wohngebäude heutzutage wesentlich schneller errichtet werden. Das traditionelle Handwerk zur Errichtung von *Tulou*-Bauten erfährt heutzutage keine Wertschätzung mehr.

[8] Laude, Olivier / Knapp, Ronald (Hg.): Unique Habitats, Village Landscapes, University of Hawaii Press, Honolulu 1992, S. 163–173.

[9] Vgl. Aaberg-Jørgensen, Jens: Clan homes in Fujian, in: ARKITEKTEN Nr.28 (2000), S. 2-11.

4.4.6 Fazit

Das Verfahren der Aufeinanderschichtung von Stampflehm wurde in China bis heute nicht in ein ökonomisches und maschinelles Verfahren übersetzt. Verfahrensweisen zur Erstellung von Wohngebäuden mit Ziegelmauerwerk oder Stahlbeton sind hier wesentlich effizienter, d.h. kostengünstiger und schneller. Dennoch gibt es in China ein Architekturbüro, die das traditionelle *Tulou* auf eine spezielle Weise modifiziert und in eine zeitgenössische Wohnarchitektur adaptiert hat. Dieses Projekt des Urban-*Tulou* soll im folgenden Kapitel vorgestellt werden.

4.5.1 Projektbeschreibung

4.5.1.1 Klima
4.5.1.2 Standort und städtebauliche Positionierung

4.5.2 Natürliche Belüftung, Speichermasse und solare Energieeinträge

4.5.2.1 Fassade
4.5.2.2 Öffnungen
4.5.2.3 Gebäudestruktur
4.5.2.4 Messergebnisse

4.5.3 Psychrometrisches Diagramm

4.5.3.1 Solare Energiegewinne im Winter
4.5.3.2 Speichermasse
4.5.3.3 Natürliche Belüftung
4.5.3.4 Verdunstungskühlung

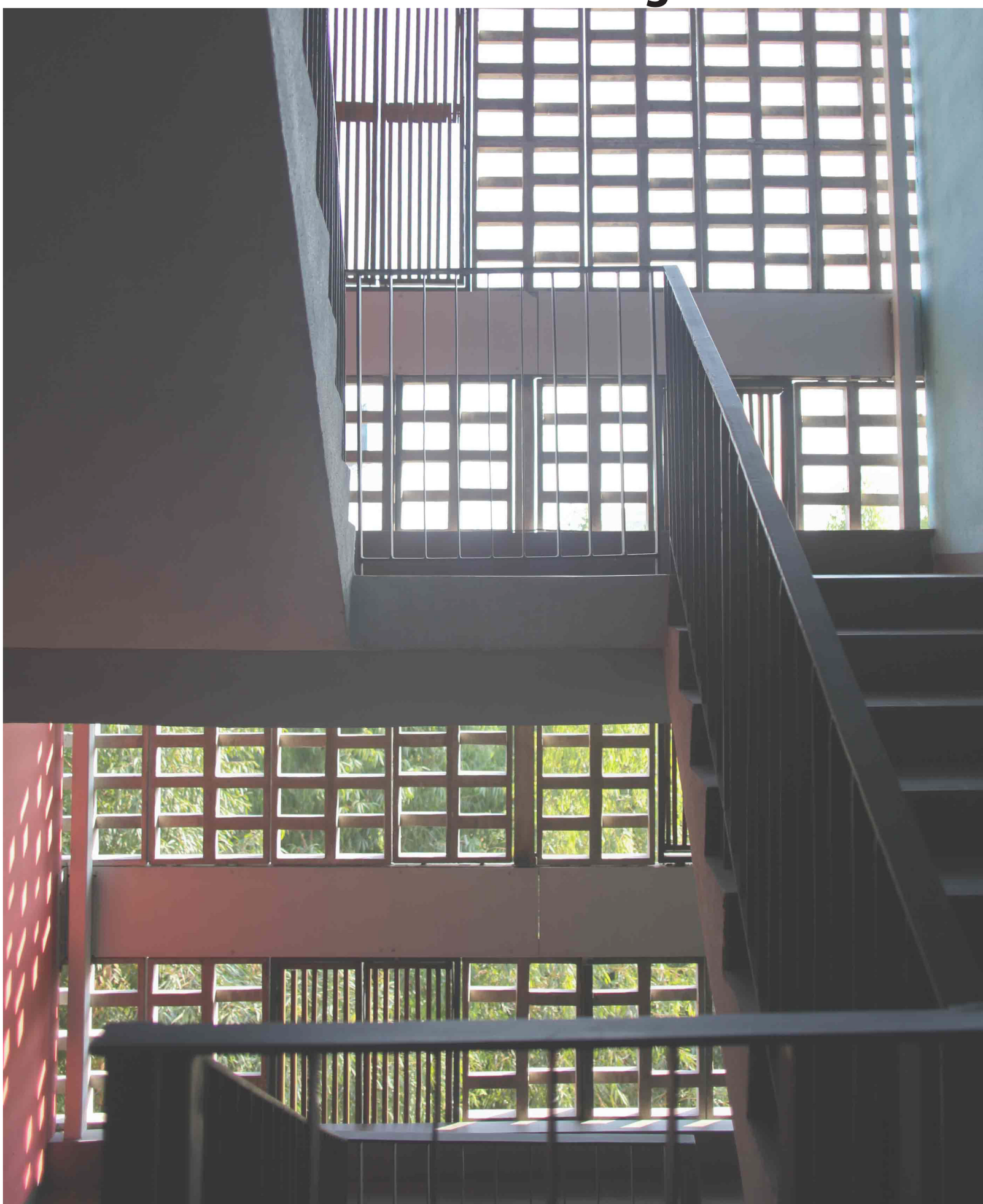
4.5.4 Bewertung des *Urban Tulou* nach Kennwerten

4.5.4.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)
4.5.4.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)
4.5.4.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)
4.5.4.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)
4.5.4.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)
4.5.4.6 Luftanteilsquotient (LAQ)
4.5.4.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis
4.5.4.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten
4.5.4.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)
4.5.4.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte)
4.5.4.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA)
4.5.4.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte)

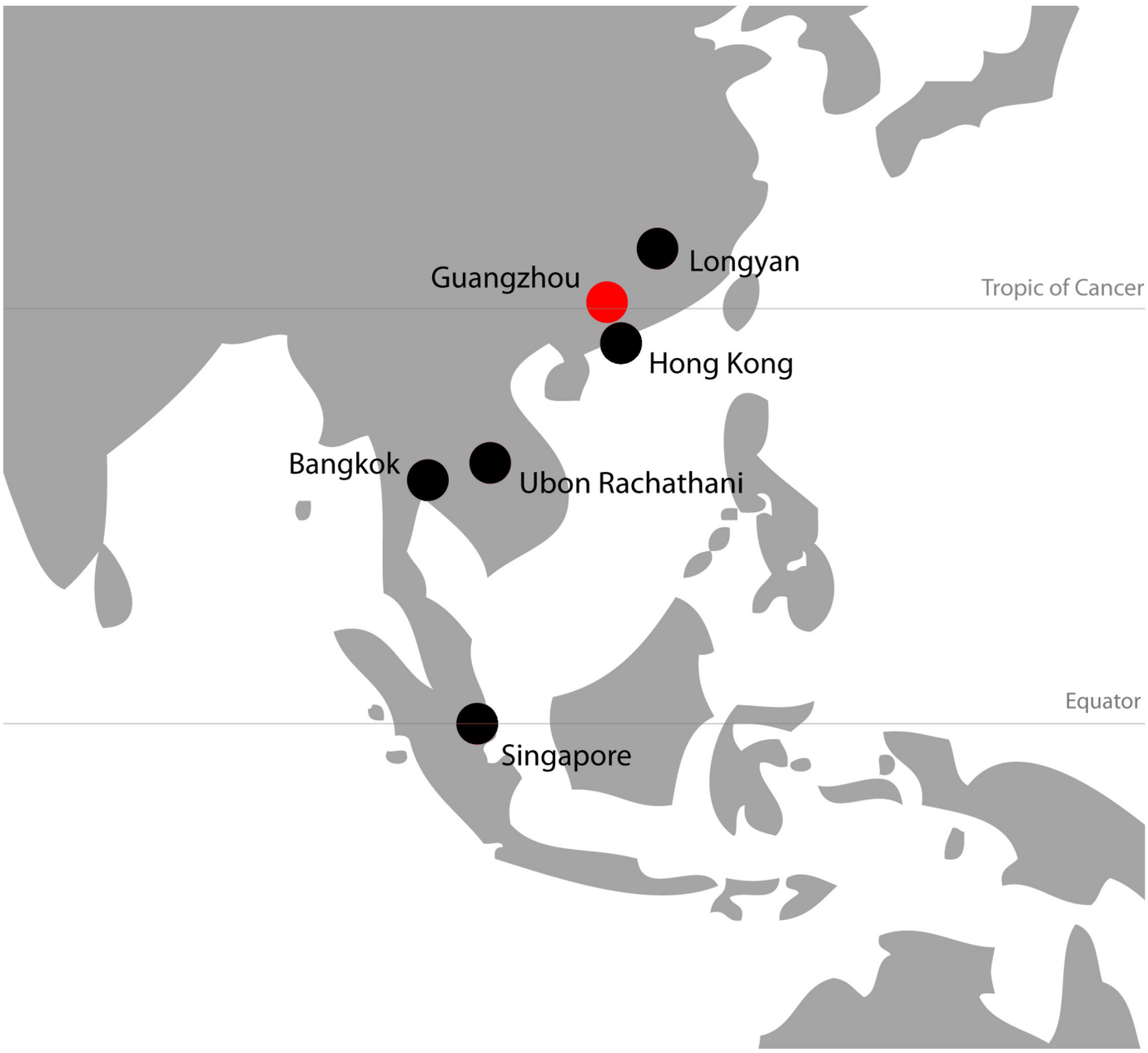
4.5.5 Verbesserungspotential/Fazit

01 I Innenansicht Treppenhaus – Urban Tulou URBANUS, Guangzhou, China, Foto: Addison Godel, 2012.

4.5 Dritte Fallstudie - Urban Tulou Guangzhou China



4.5.1 Projektbeschreibung



02

02 I Standort Fallstudie Guangzhou (roter Punkt), Kartenausschnitt Asiens mit sechs ausgewählten Standorten, Äquator und nördlichem Wendekreis, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Einen zeitgenössischen Lösungsversuch für die Problematik der Klimaanlagennutzung führt das von den URBANUS-Architekten im Jahr 2008 fertig gestellte Wohnbauprojekt Urban Tulou vor, das die traditionelle Tulou-Typologie im urbanen Kontext adaptiert. An diesem Wohnbau-Projekt soll aufgezeigt werden, welche Potentiale die Wand als klimaregulierendes Element birgt und auf welche Weise diese genutzt werden können – auch durch neuartige Fassadenwand-Strukturen, die gegenwärtig entwickelt und optimiert werden.

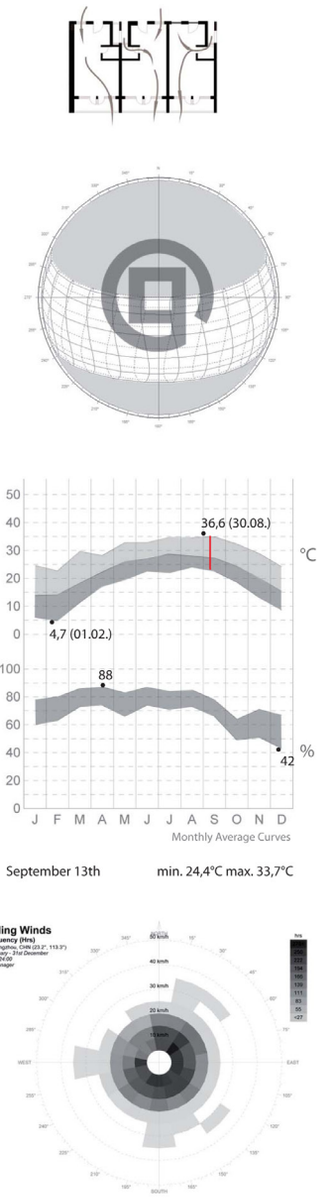
4.5.1 Projektbeschreibung

Das Wohnhaus *Urban Tulou*, das die Architekten des Büros URBANUS in Shenzhen für die subtropische Region Pearl River Delta in Guangzhou entwarfen, kommt teilweise ohne die Nutzung von Klimaanlagen aus. Dies wird durch ein konzeptionell homogenes Zusammenspiel von Fassade, Gebäudeform, Grundrissen und einzelnen Wandelementen ermöglicht. Als Pilotprojekt besinnt es sich auf Prinzipien lokaler traditioneller Bauweisen und transformiert sie in eine zeitgenössische Architektur. Die URBANUS-Architekten überarbeiteten die traditionelle Wohntypologie des *Tulou* und entwarfen damit ein neues, funktionierendes und zeitgemäßes architektonisches Konzept. Dieses *Urban Tulou* wurde 2008 in der Provinz Guangdong realisiert und beinhaltet 273 Einzimmerwohnungen und Apartments sowie Schlafsäle für Bewohner mit geringem Einkommen. Untersucht werden soll im Folgenden, inwieweit die Wand als klimaregulierendes Element hier eingesetzt wird und inwiefern die Wandöffnungen die Anforderungen zur Gewährleistung von Verschattung und zur Durchlässigkeit für Querlüftung erfüllen. Zudem soll untersucht werden, welche gestalterischen Möglichkeiten hier bestehen, um ein architektonisch Anspruchsvolles äußeres Erscheinungsbild sowie heute notwendige funktionale Qualitäten wie Freiräume und Privatsphäre zu gewährleisten.

4.5.1.1 Klima

Im Kartenausschnitt Asiens mit den sechs Fallstudien ist der Standort des *Urban Tulou* in Guangzhou (roter Punkt) zu erkennen. Hier ist auch zu sehen, dass sich Guangzhou nur knapp oberhalb des nördlichen Wendekreises und somit knapp in den Subtropen befindet: Der genaue Breitengrad von Guangzhou ist 23,4°. Da dieser Standort weiter im Norden liegt als die Tropen, gibt es hier

4.5.1 Projektbeschreibung



03

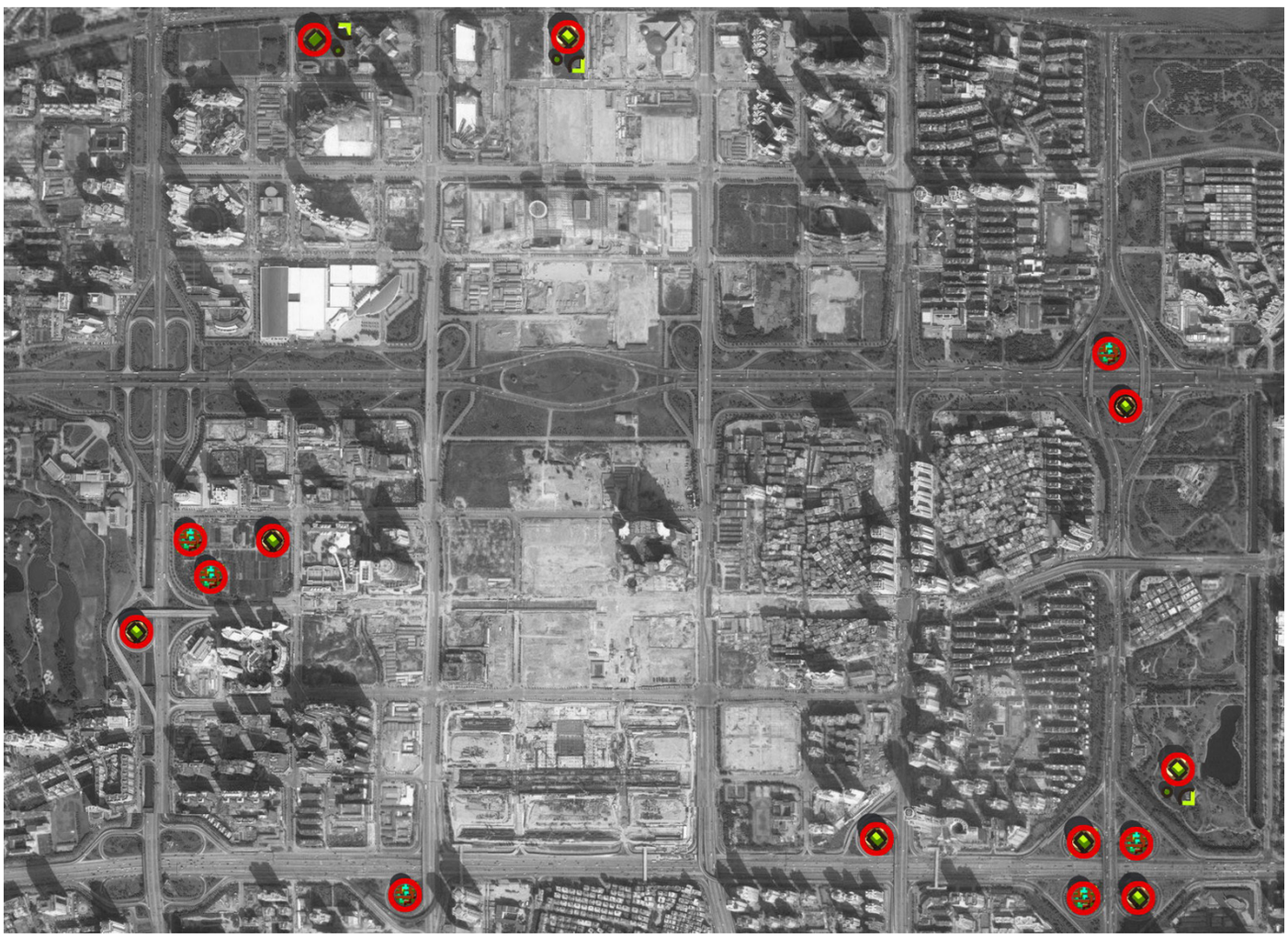
03 I Grundriss von drei Wohneinheiten des Urban Tulou; Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung und Darstellung des Urban Tulou; Temperatur-Jahresmaximum und -minimum sowie jährliche Temperaturdifferenz und relative Luftfeuchte Jahresmaximum und -minimum; Windrose mit Windrichtung, -stärke und -häufigkeit. Klimastandort Guangzhou, China, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten vom U.S. Department of Energy, 2013.

häufiger eine direkte Süd-Sonneneinstrahlung. Der jährliche Sonnenstand und -verlauf ist in den stereografischen Abbildungen dargestellt. Es gibt in Guangzhou einen milden Winter mit maximalen Tieftemperaturen von 4,7 °C und einen heißen Sommer mit einer maximalen Höchsttemperatur von 36,6 °C. Prinzipiell ist das Klima in Guangzhou mit dem in Hongkong vergleichbar. Diese beiden Orte liegen nicht sehr weit entfernt voneinander, Luftlinie nur ca. 120 km. Der wesentliche Unterschied dieser zwei Klimastandorte ist die kontinentale Lage von Guangzhou und die Küstenlage von Hongkong. In Küstengebieten wie Hongkong ist wegen des Seeklimas die Temperaturdifferenz zwischen Tag und Nacht nicht so groß, weil das Wasser im Meer ein besserer Wärmespeicher ist als der Erdboden. Deshalb gibt es in Guangzhou im Vergleich zu Hongkong eine größere durchschnittliche Jahrestemperaturdifferenz mit einem Unterscheid von 4,1 °C (Guangzhou 31,9 °C, Hongkong 27,8 °C). Die Windrichtung erfolgt in Guangzhou gleichmäßig aus allen Himmelsrichtungen und hat am häufigsten eine Windstärke zwischen 15 und 20 km/h.

4.5.1.2 Standort und städtebauliche Positionierung

Das *Urban Tulou* hat eine runde unbestimmte Gebäudeform. Diese ungerichtete Gebäudeorientierung untersuchte das Architekturbüro URBANUS in einer städtebaulichen Studie. Die URBANUS-Architekten stellen in ihrer Untersuchung verschiedene mögliche Platzierungen des *Urban Tulou* im urbanen Raum vor, also in der Stadt. Daher stammt auch die Bezeichnung *Urban Tulou* – „*urbanes Tulou*" oder eben „*Stadt-Tulou*". Nach deren städtebaulichem Konzept kann es quasi „überall" in der Stadt angeordnet werden: Selbst an sogenannten „Un-Orten" wie neben Zugstrecken, in Autobahnkreuzen, auf Parkhäusern, an Flussufern, in Stadtzentren oder neben Fabriken könnte diese Typologie städtebaulich integriert werden. Die URBANUS-Architekten nutzen den gebäudetypologischen Charakter des *Urban Tulou*, um problematische städtische Grundstücksflächen neu zu belegen. Damit bewirken sie eine weitere Verdichtung von chinesischen Metropolen.

4.5.1 Projektbeschreibung



04

04 I Studie zur städtebaulichen Positionierung des Urban Tulou in Shenzhen, Satelliten-Luftbild, Copyright: URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011.



05

05 I Studie zur städtebaulichen Positionierung des *Urban Tulou* in Shenzhen, Fotomontagen, Copyright: URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011.

4.5.1 Projektbeschreibung



06

Das *Urban Tulou* wurde 2008 in der Stadt Guangzhou realisiert. Es liegt außerhalb des Stadtzentrums an der Vorstadt *Vanke Siji Flower City*. Hier befinden sich einige Wohnhäuser mit mittlerer Gebäudehöhe (4–6 Geschosse) und noch teilweise unbebaute Flächen. Das *Urban Tulou* wurde auf einer unbebauten Restfläche erstellt und wird im Norden und Westen von zwei sehr hohen Wohnhochhaus mit 15 Stockwerken flankiert. Im Süden befindet sich eine vielbefahrene Stadtautobahn.

06 | Lageplan des Urban Tulou, Copyright: URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011.

4.5.2 Natürliche Belüftung, Speichermasse und solare Energieeinträge

Im folgenden Kapitel wird die Wirksamkeit von natürlicher Belüftung, Speichermasse und Verringerung der solaren Energieeinträge nach den unterschiedlichen Betrachtungsebenen der Fassade, der Öffnungen und der Gebäudestruktur analysiert und dargestellt.

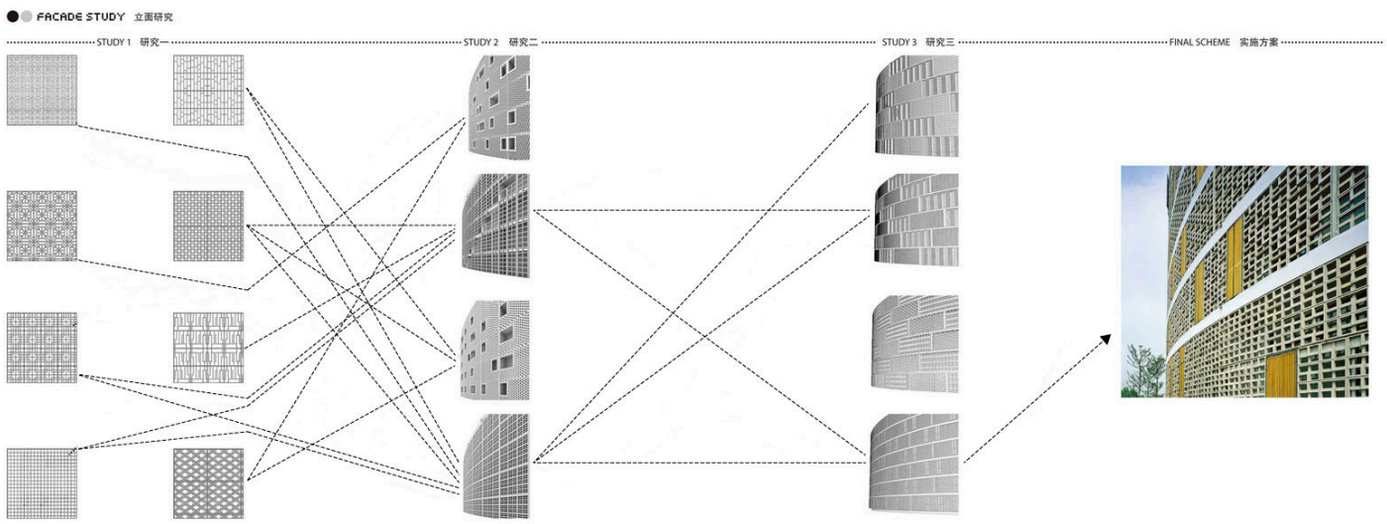
4.5.2.1 Fassade

In ihrem Zusammenspiel sind die Wandschichtungen der Fassaden trennendes und zugleich verbindendes Element und bilden eine Art Filter. Die erste Schicht, die Außenfassade, bietet Licht- und Luftdurchlässigkeit sowie gleichzeitig Blickschutz, Schlagregenschutz und Sicherheit. Der Zwischenraum dient als verschattete Luftschicht zur Absenkung der Temperatur und als Aufenthaltsort vor der dahinterliegenden Außenwand der Wohnräume. Diese luftabschließende Wand schafft einerseits durch die großen Verglasungen eine Verbindung zum Innenraum und ermöglicht andererseits durch massive Betonelemente die Verbindung von Innen- und Außenwand, die für die Nutzung der thermischen Masse von Bedeutung ist.

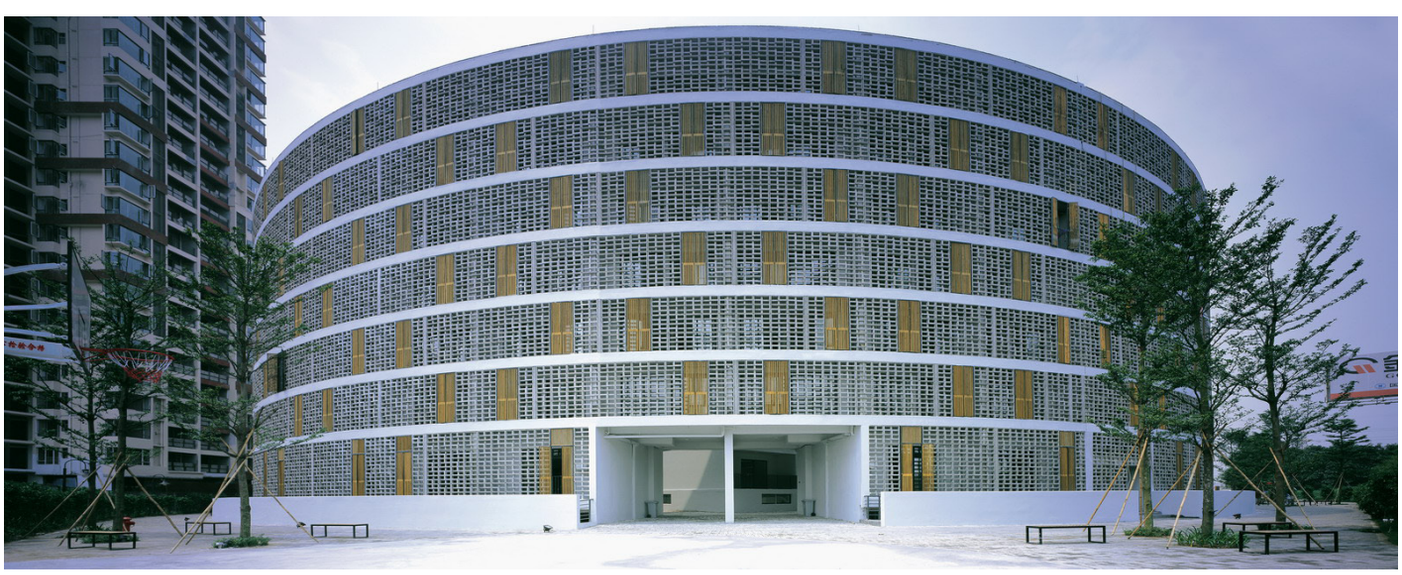
Die in die Primärkonstruktion eingestellten Fassadenmodule bestehen aus Faserbeton-Fertigelementen an der außenliegenden Hülle und hölzernen Sonnenschutz-Paneelen an der dem Innenhof zugewandten Seite. Beide Außenwandfassaden sind porös, d.h. mit kleinen Öffnungen versehen. So bietet diese Gebäudehaut eine gute Verschattung und ermöglicht durch ihre zahlreichen kleinen Öffnungen das Eindringen von Luft in das Gebäude. Das Resultat vereint den erkennbaren Einfluss chinesischer Bautraditionen mit der Erfüllung von Anforderungen an zeitgenössisches Wohnen. Dazu wird das Motiv des zuvor schon beschriebenen traditionellen chinesischen Gitterfensters (Lattice) aufgegriffen. Es stammt ursprünglich aus der Ming- und Qing-Dynastie des 13.–18. Jahrhunderts.

Die kleinen vorfabrizierten Beton-Elemente sind zwischen den Geschossdecken als Außenfassade aufeinandergestellt. Die rechtwinkligen Element-Rahmen sind mit zwei sich überschneidenden L-förmigen Betonstreben gefüllt, von dem sich eines weiter vorne und das andere nach hinten versetzt

4.5.2 Kühlmethoden



07



08

07 I Fassadenstudien *Urban Tulou*, Copyright: URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2012.

08 I Ansicht *Urban Tulou*, Guangzhou, China, Copyright: URBANUS-Architekten Shenzhen, Foto: Chaoyin Yang & Yan Meng, 2011.

befindet. Durch diese räumlichen Vor- und Rücksprünge und die Anordnung der Elemente entsteht ein diagonal verlaufendes Mosaikbild. Der Elementrahmen ist halb so stark wie die L-förmigen Elemente. Dadurch entsteht ein einheitliches Öffnungsraster mit gleich großen rechtwinkligen Öffnungen und Abständen.

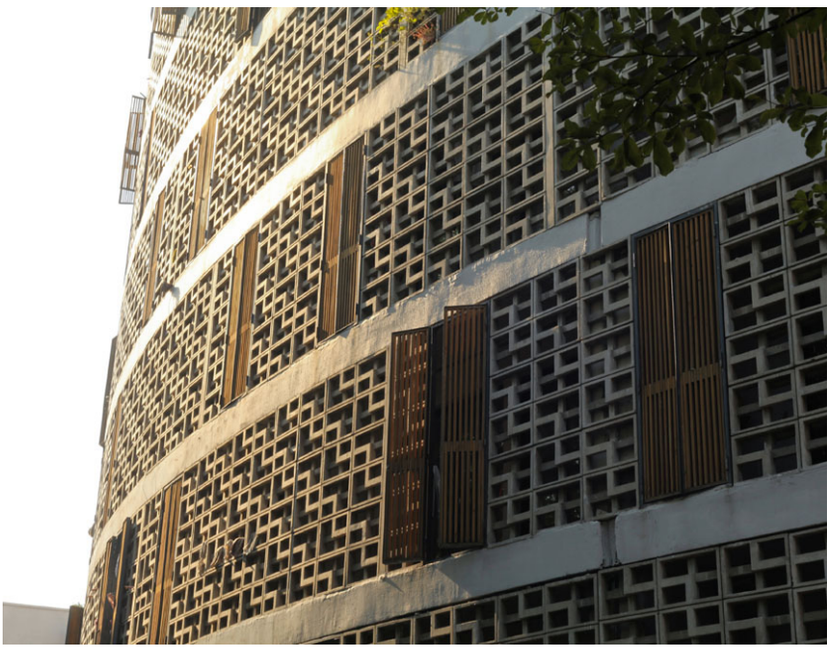
Die in Fenstern, Türen und sogar Wänden verarbeiteten Holzgitter sind ein für die traditionelle chinesische Architektur typisches Element, dem in China eine besondere handwerklich-ästhetische Aufmerksamkeit gewidmet wird. Doch die eigentliche Bedeutung dieser Gitter ist rein funktional, denn sie dienen der Verschattung und –mit ihren kleinteiligen Öffnungen – auch der Belüftung des Hauses. Diese Funktionen übernehmen auch die Betonelemente der vorgestellten Außenfassade. Gleichzeitig nutzen die Architekten die Eigenschaften des Betons für eine gestalterische Adaption der traditionellen Gitterfenster.

4.5.2.2 Öffnungen

Die Fassade präsentiert sich von innen und außen als einheitliche Struktur und verfügt formal über ein homogenes Erscheinungsbild. Die konkrete Adaption der traditionellen Holzgitter erfolgt in der feingliedrigen Ausarbeitung der Struktur der Holzpaneele. Diese sind jeweils an eine Wohneinheit angegliedert und lassen sich über die gesamte lichte Raumhöhe öffnen. Die aufklappbaren Holztüren sind mit vertikalen Holzstreben vergittert. Ein wesentlicher Entwurfsaspekt hierbei ist es, die notwendige Stabilität der Türen ohne zusätzliche Elemente zu erreichen und somit den traditionellen Ursprung auf minimalste Weise sichtbar zu machen. Die von oben und unten kommenden Holzstreben überlappen sich im mittleren Bereich und sorgen damit für die notwendige Stabilität ohne zusätzliche Elemente.

Die Außenfassade erlaubt die komplette Öffnung der dahinterliegenden Außenwand der Wohneinheiten; diese sind somit vor Sonne und unbefugtem Zutritt geschützt. Da eine solche „zweite Fassade“ von außen nicht sichtbar ist, kann sie freizügig gegliedert werden: Die Glastüren lassen sich vollständig öffnen, wodurch der Zwischenraum zu einem Teil des Wohnraumes wird. Dieser verschattete und gut durchlüftete Außenbereich bildet für die Bewohner

4.5.2 Kühlmethoden



09



10

09 I Fassadenansicht *Urban Tulou*, URBANUS, Guangzhou, China, Foto: Addison Godel, 2012.

10 I Chinesischer Wohnungsbau mit Sicherheitsgittern, Peking, China, Foto: Ferdinand Oswald 2012.

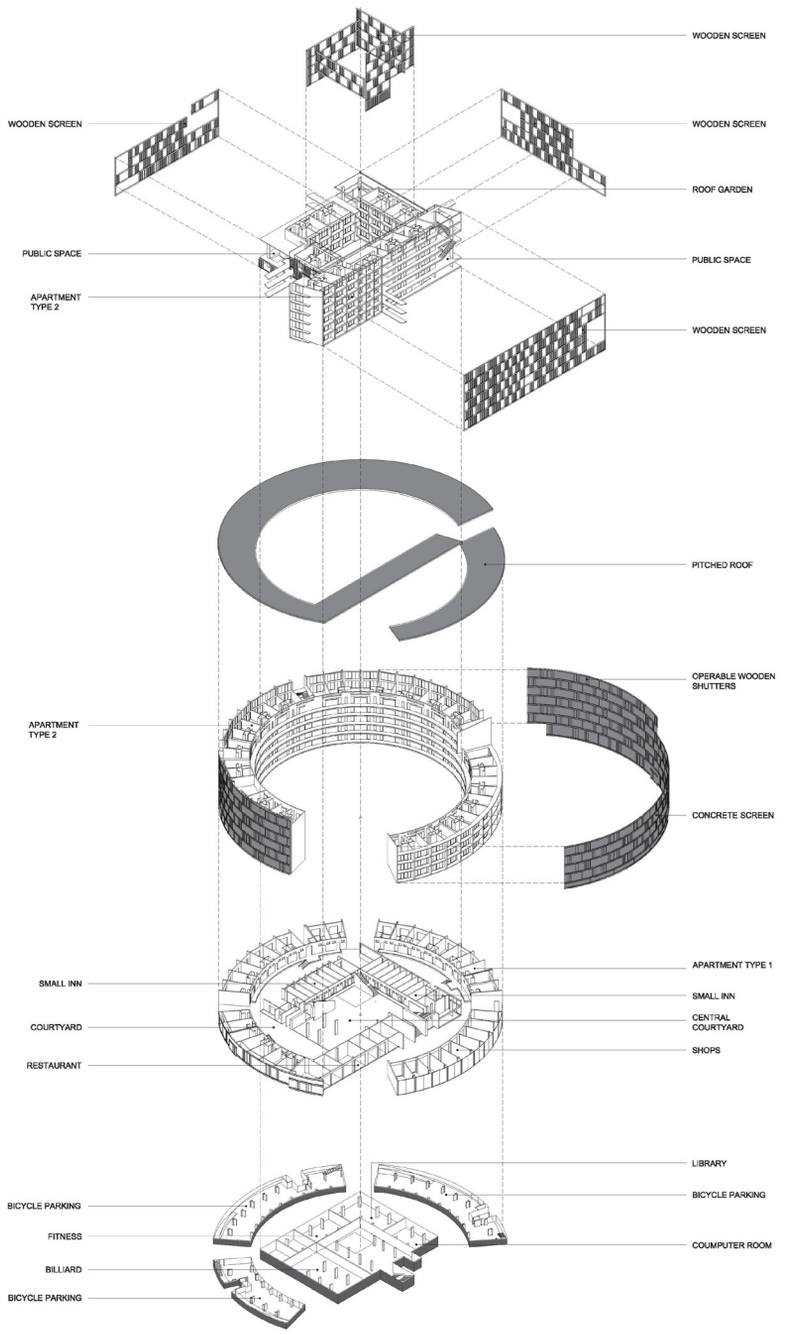
eine private Aufenthaltsstätte, wird aber auch für die so banale wie essentielle Funktion des Wäscheaufhängens genutzt.

Die traditionellen *Tulou* sind, mit Ausnahme einiger weniger Fensteröffnungen und der Eingangstür im Erdgeschoss, von außen komplett verschlossen. Einerseits soll das neue *Urban Tulou* diesen geschlossenen Charakter und damit die traditionelle Identität der alten Form bewahren, andererseits ist die Fassade des neuen *Urban Tulou* luftdurchlässig und bietet so den Bewohnern natürliche Belüftung bzw. Belichtung und mehr Wohnqualität mit weiteren Aufenthaltsbereichen. Eine nach wie vor wichtige Anforderung an den zeitgenössischen chinesischen Wohnbau ist der Schutz vor Einbrechern. Diese verschaffen sich im niedrigen Wohnungsbau Zugang zu den Wohnungen, indem sie über die Fassade hineinklettern. Mit ihren kleinteiligen Öffnungen fungiert die Fassade hier wie ein käfigartiges Sicherheitsgitter. Solche Sicherheitsgitter sind in den heutigen chinesischen Großstädten trotz allen Sicherheitsvorkehrungen immer noch erforderlich und finden im 6-geschossigen Wohnungsbau häufig ihre Anwendung. Doch nicht nur die Beschaffenheit der Außenfassade ist maßgeblich für eine Behaglichkeit ohne „Air Conditioning". Wesentlich sind auch die Positionierung von Außen- und Innenwänden für die Querlüftung, die Nutzung der thermischen Masse und die Anordnung der Gebäudekörper. Damit ist die gesamte architektonische Grundriss- und Gebäudestruktur für das klimaregulierende Element Wand von Bedeutung.

4.5.2.3 Gebäudestruktur

Die runde Gebäudeform des *Urban Tulou* greift formal und funktional die traditionellen *Tulou*-Typologien auf. Durch die runde Gebäudeform des *Urban Tulou* gibt es keine gerichtete Orientierung und der Wind wird regelmäßig ins Innere des Gebäudes geleitet. Die kreisförmig angeordneten Wohneinheiten sollen zudem gleich viel Frischluft vom Innenhof bekommen. Auch wenn sich die Fassadenhaut als poröse Beton-Membran nicht in das Innere des Gebäudes hineinzieht, wird das Konzept der durchgesteckten Wohneinheiten in jedem Gebäudeteil fortgeführt. Auch innen orientiert sich jede Wohneinheit einerseits zum privaten Freiraum hin und anderseits zum halböffentlichen Erschließungsraum auf der gegenüberliegenden Seite. Die Wohntypologie des traditionellen *Tulou* und die Weiterführung der Fassadenaußenwand

4.5.2 Kühlmethoden



11

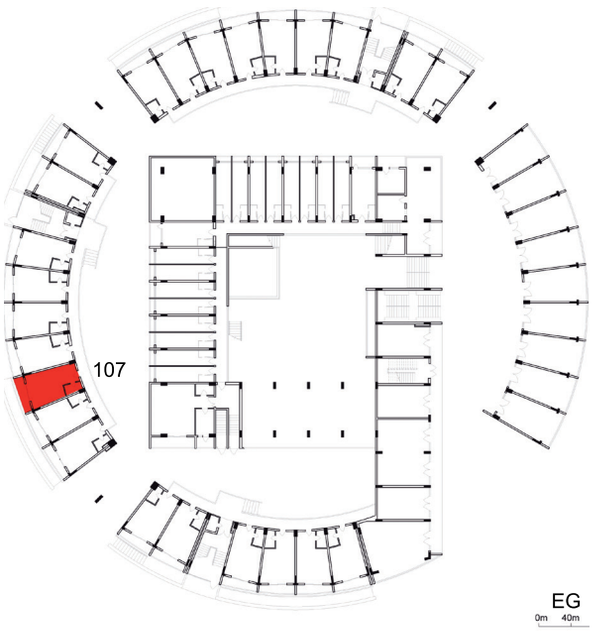
11 I Gebäudestruktur *Urban Tulou*, Copyright: URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011.

mit Holzelementen ins Innere der Gebäudestruktur sind der rote Faden des Entwurfskonzeptes.

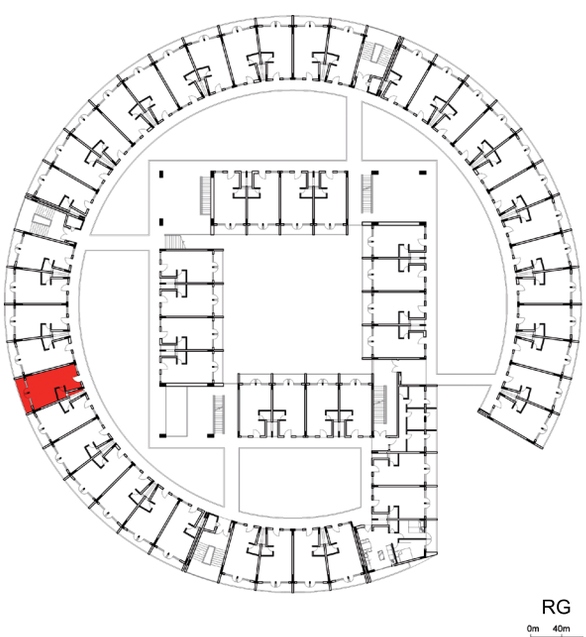
Die Architekten modifizierten das kreisrunde Gebäudevolumen des traditionellen *Tulou* durch eine Fortführung des Gebäudekörpers nach innen und verlängerten es damit durch vier orthogonale Biegungen zu einer Spirale. In den Zwischenräumen entstehen hierdurch fünf Innenhöfe, in denen immer eine leichte Luftzirkulation herrscht – sogar dann, wenn außerhalb des Gebäudes kein Wind weht. Durch die unterschiedliche Geschossanzahl der Gebäudekörper gibt es Abstufungen der Gebäudehöhe. An den niedrigeren Gebäudekörpern kann der Wind besser in die Höfe des Gebäudes hineinzirkulieren.

Eine wesentliche Modifikation des alten *Tulou* ist die partielle Wegnahme des Sockelgeschosses. Die Luft kann hier im Erdgeschoss ins Gebäude eindringen und zieht nach oben, um kühle Luft zu den Apartments zu bringen. Weitere Aussparungen gibt es in den Obergeschossen; hier werden sie als Gemeinschaftsflächen genutzt. Die Treppenaufgänge sind offen konzipiert, sodass auch hier die Luft nach innen strömen kann. Das Kellergeschoss, das als gemeinschaftliche Fahrrad-Abstellfläche genutzt wird, ragt einen Meter aus der Erdoberfläche heraus und ist nach beiden Seiten geöffnet. So kann auch hier der Wind hinein- und herausströmen und wird abgekühlt. Die erdberührenden Bauteile profitieren im Sommer von der geothermischen Erdkühlung: Diese wird durch die Wände und Bodenplatten an die Außenluft abgegeben und kühlt diese herunter. Dieses Prinzip ist in den beiden Schnitten des *Urban Tulou*, Tages- und Nachtszenario, ersichtlich.

4.5.2 Kühlmethoden



12



13

12 I Grundriss Erdgeschoss *Urban Tulou*, Grundriss von URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2012.

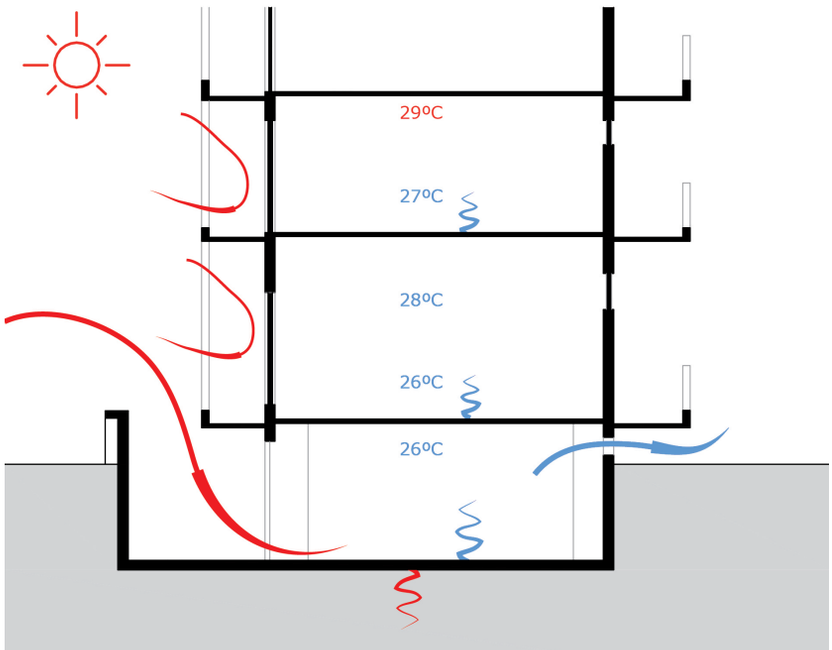
13 I Grundriss Regelgeschoss *Urban Tulou*, Grundriss von URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2012.



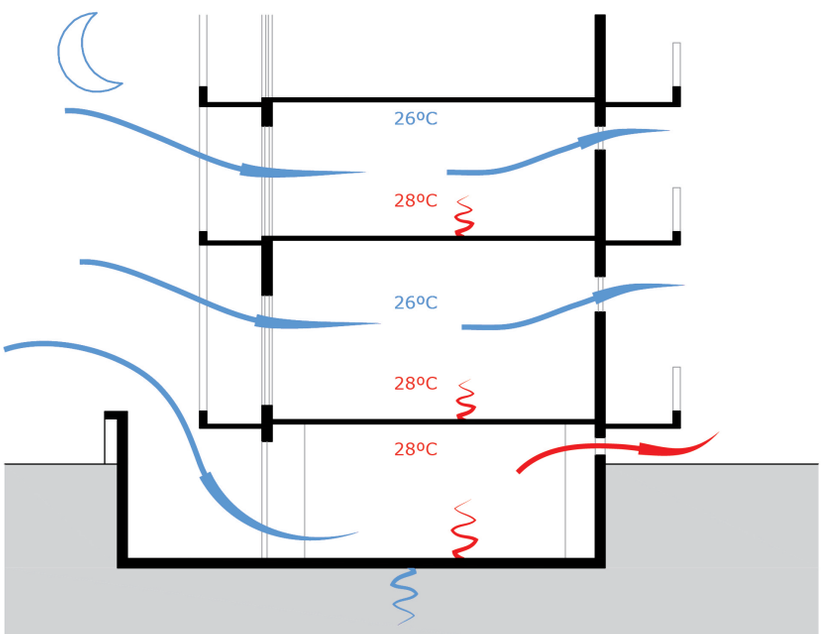
14

14 | Ansicht innere und äußere Fassadenstruktur *Urban Tulou*, Guangzhou, China, Copyright: URBANUS-Architekten Shenzhen, Foto: Chaoyin Yang & Yan Meng, 2011.

4.5.2 Kühlmethoden



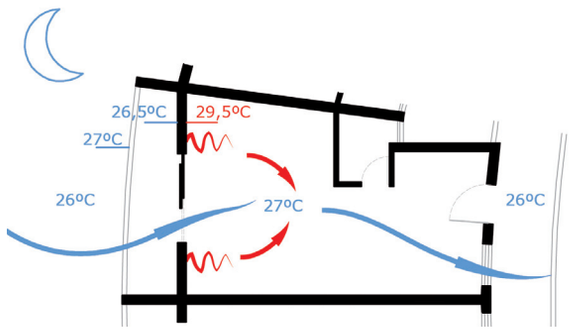
15



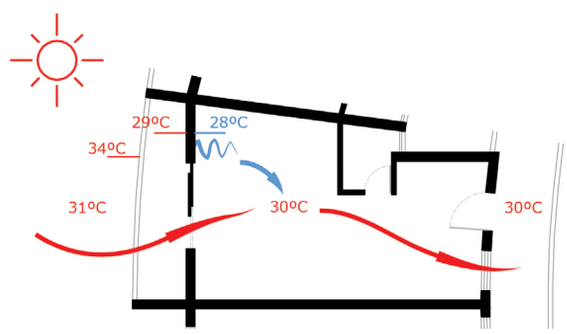
16

15 I Querlüftung und geothermische Masse tagsüber, Schnitt *Urban Tulou* URBANUS, Guangzhou, China – Tagesmessung am 13. Sept. 2012 um 14:20 Uhr in den Wohneinheiten Nr. 107 und 207 sowie dem Untergeschoss, Schnitt von URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2012.

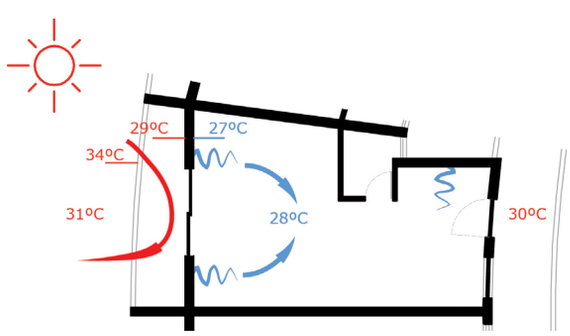
16 I Querlüftung und geothermische Masse während der Nacht, Schnitt *Urban Tulou* URBANUS, Guangzhou, China –Nachtmessung am 14. Sept. 2012 um 2:30 Uhr in den Wohneinheiten Nr. 107 und 207 sowie dem Untergeschoss, Schnitt von URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2012.



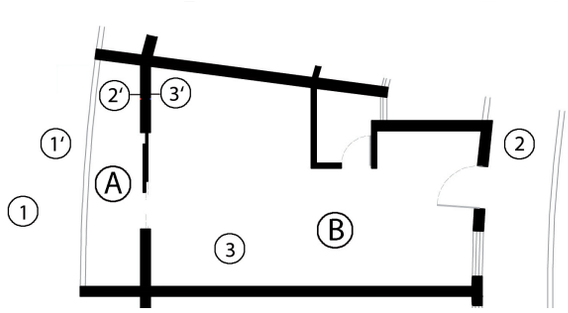
17



18



19



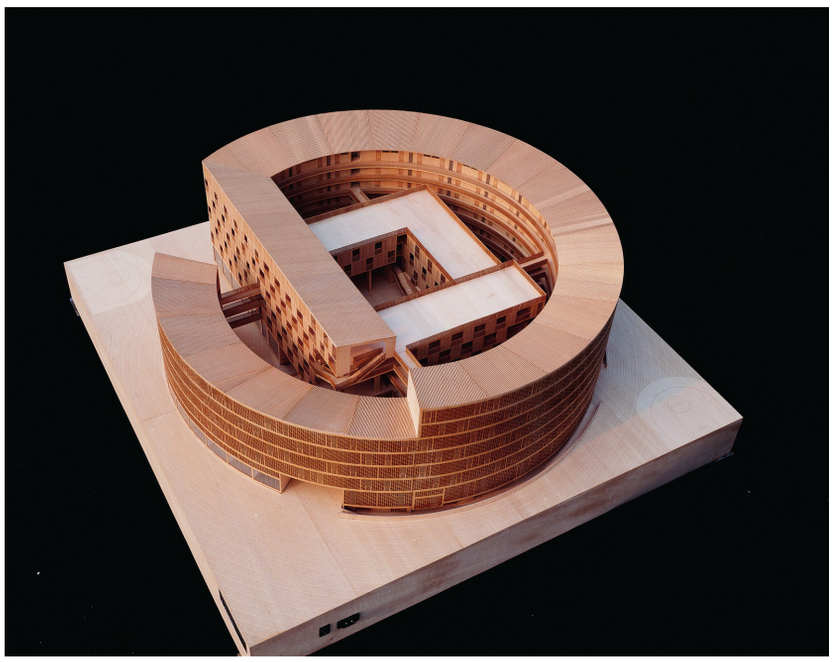
20

17 | Querlüftung und thermische Masse während der Nacht, Wohneinheit Nr. 107; Nachtmessung am 14. Sept. 2012, 2:00 Uhr; Grundriss *Urban Tulou*, URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2012.

18 | Querlüftung und thermische Masse tagsüber bei geöffneten Schiebetüren, Wohneinheit Nr. 107; Tagmessung am 14. Sept. 2012, 16:00 Uhr, Grundriss von URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2012.

19 | Thermische Masse und keine Querlüftung tagsüber bei geschlossenen Öffnungen, Wohneinheit Nr. 107; Tagmessung am 13. Sept. 2012, 16:00 Uhr, Grundriss von URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2012.

20 | Standort der Messpunkte, Wohneinheit Nr. 107, Grundriss von URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2012.



21

4.5.2.4 Messergebnisse

Messungen der Luft- und der Oberflächentemperatur der unterschiedlichen Wandelemente[1] zeigen die soeben beschriebene Wirkung der Erdkühlung In den Innenhöfen entsteht durch die Temperaturunterschiede der Luft ein Auftrieb, da die eindringende Luft durch die Verschattung und die Speichermasse des Betons abgekühlt wird und beim Erwärmen dann nach oben steigt. So entsteht neben dem windinduzierten auch ein thermischer Auftrieb in den Innenhöfen.

Durch ihre Ausrichtung zur Loggia und zum Erschließungsgang ist in allen Wohneinheiten eine Querlüftung gewährleistet. Die Luft kann ungehindert durch alle Wohnungsteile fließen, da diese in Schottenbauweise nebeneinander angeordnet sind. Für die Querlüftung wurden von den Architekten an den umlaufenden Laubengängen zahlreiche Oberlicht-Schiebeöffnungen konzipiert. Diese und die zur Loggia hin orientierten Glasschiebewände eignen sich durch ihren Schiebemechanismus hervorragend zur Steuerung

21 I Modell *Urban Tulou*, Quelle: URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, Foto: Chaoyin Yang & Yan Meng, 2011.

[1] Messungen der Luft- und Oberflächentemperatur der unterschiedlichen Innen-, Außen-, Wand- und Deckenelemente des *Urban Tulou*, 12.–15. September 2012.

des Lufteinlasses. Bei beiden Fenster-Öffnungstypen können verschiedene Öffnungsquerschnitte stufenlos eingestellt werden.

Die äußere Fassadenhaut verhindert durch Verschattung eine solare Überhitzung der dahinterliegenden tragenden Betonaußenwand. Letztere wird als Kühlmasse genutzt. Das Material dieser Betonwand weist eine hohe Dichte und damit eine gute Speicherfähigkeit auf. Um die richtige Weiterleitung der Temperatur (Phasenverschiebung) zu gewährleisten, ist die Schichtdicke der Außenwand so beschaffen, dass die gespeicherte Kühle der Nacht innerhalb eines 12-Stunden-Zyklus raumseitig weitergeleitet wird. Dieses Prinzip ist in den beiden Grundrissen des *Urban Tulou*, Tages- und Nachtszenario, ersichtlich. Natürlich kühlt sich die Innenraumluft tagsüber bei geöffneten Schiebetüren nicht ab.

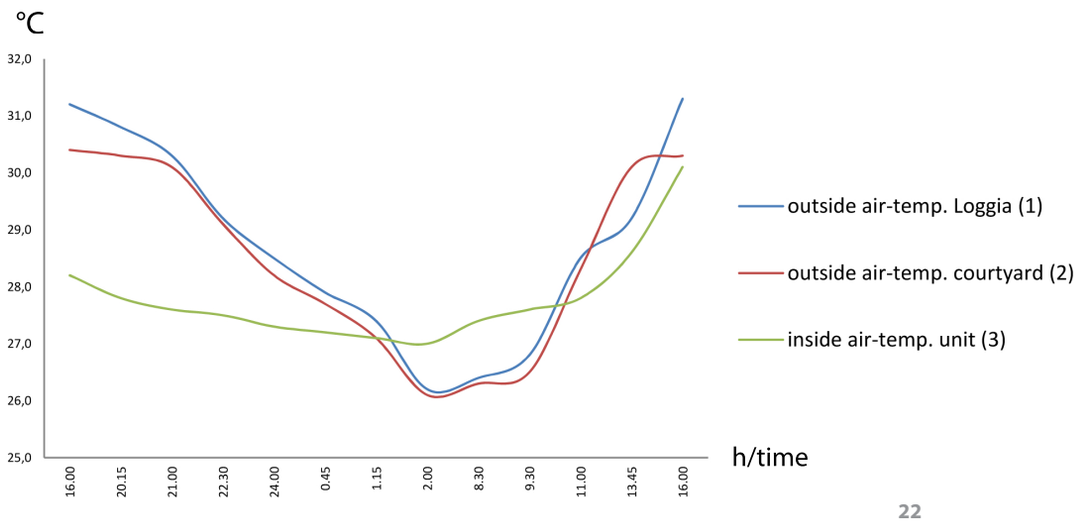
Die Resultate der Messungen von Luft- und Oberflächentemperaturen der Wände[2] in zahlreichen Wohneinheiten des *Urban Tulou* haben Folgendes ergeben: Um optimale Behaglichkeit zu erhalten, muss zwischen Querlüftung und Schließung der Fenster abgewechselt werden, damit die Strahlungskühle der Betonwände zum Einsatz kommen kann. Das Innenraumklima kann demnach von den Bewohnern reguliert werden und ist somit abhängig vom Nutzerverhalten. Der Zustand bei tagsüber geschlossenen Öffnungen ist im dritten Grundriss von Wohneinheit 107 ersichtlich. Hier hat sich die Innenraumtemperatur bis auf 28 °C heruntergekühlt.

Um die Messstandorte in der Wohneinheit 107 genau zu definieren, sind im Grundriss die Messpunkte exakt definiert und folgendermaßen bezeichnet:

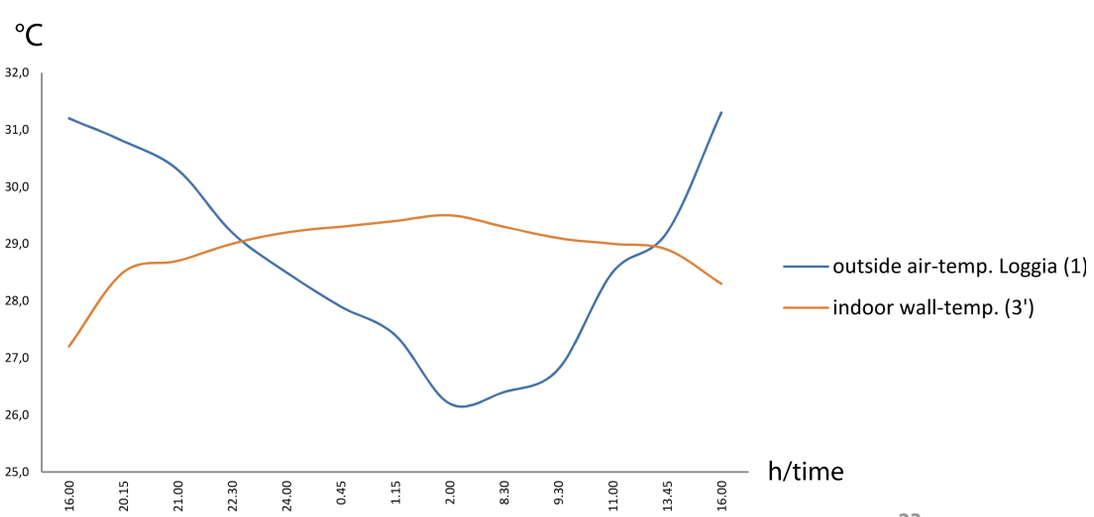
1 – Außenlufttemperatur Loggia (outside air-temp. loggia)
2 – Außenlufttemperatur Innenhof (outside air-temp. courtyard)
3 – Innenraum-Lufttemperatur Wohneinheit (inside air-temp. unit)
1' – Oberflächentemperatur Fassadenelement außen (loggia outer filter facade)
2' – Oberflächentemperatur tragende Außenwand außen (loadbearing wall outside)
3' – Oberflächentemperatur tragende Außenwand innen (loadbearing wall inside)
A – Luftfeuchtigkeit außen Loggia (loggia outer facade)
B – Luftfeuchtigkeit innen Wohneinheit (unit inside)

[2] Vgl. im Anhang: Tabelle mit einer Übersicht der Messungen der Luft- und Oberflächentemperatur im Urban Tulou in Wohneinheit 107, Ferdinand Oswald, 2013.

4.5.2 Kühlmethoden



22



23

22 | Lufttemperaturen aus 24-Stunden-Messungen, *Urban Tulou*, URBANUS, Guangzhou, China; Wohneinheit Nr. 107; Messungen vom 13. Sept. 2012 16:00 Uhr bis zum 14. Sept. 2012 16:00 Uhr; 1: Außentemperatur Loggia-Bereich, 2: Außentemperatur Innenhof, 3: Innentemperatur Wohneinheit, Ferdinand Oswald 2013.

23 | Oberflächentemperatur der Außenwand-Innenseite und Außenlufttemperatur aus 24-Stunden-Messungen, *Urban Tulou*, URBANUS, Guangzhou, China; Wohneinheit Nr. 107; Messungen vom 13. Sept. 2012 16:00 Uhr bis zum 14. Sept. 2012 16:00 Uhr; 1: Außentemperatur Loggia-Bereich, 3': Oberflächentemperatur der Außenwand-Innenseite, Ferdinand Oswald 2013.

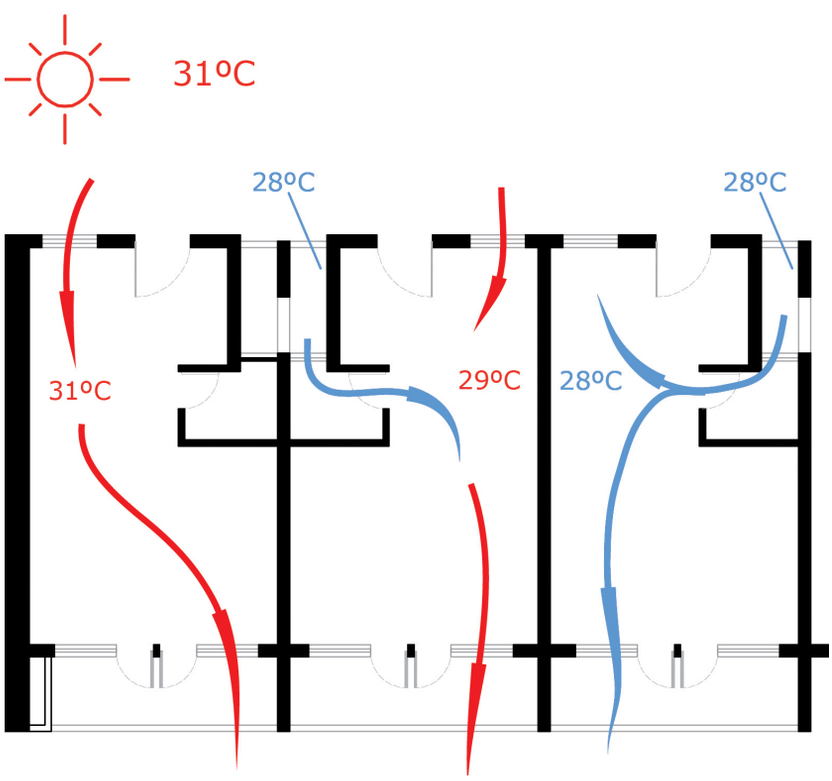
Im Anhang findet sich die Tabelle mit einer Übersicht der Mess-Ergebnisse der Luft- und Oberflächentemperatur in Wohneinheit 107.

Das Diagramm zeigt die Lufttemperaturen aus einer 24-Stunden-Messung. Drei Temperaturkurven zeigen (1) die Außentemperatur im Loggia-Bereich (blaue Linie), (2) die Außentemperatur im Innenhof (dunkelrote Linie) und (3) die Innentemperatur der Wohneinheit (grüne Linie). Hier ist gut zu erkennen, wie die Innenraumtemperatur durch die Speichermasse und die nächtliche kühle Belüftung während vieler Stunden niedriger ist als die Außenlufttemperatur. Am Ende des Messzeitraumes wurde die Schiebetüre tagsüber (16:00) geöffnet. Die grüne Kurve verläuft dann nach oben, weil die warme Außenluft in die Wohneinheit hineinströmt und die Temperatur im Innenraum sich folglich erhöht.
Im nächsten Diagramm ist die Oberflächentemperatur-Kurve der Außenwand-Innenseite (3') dargestellt (braune Linie). Diese wird hier der Außenlufttemperatur (1) gegenübergestellt (blaue Linie). Hier ist gut zu erkennen, dass sich die Oberflächentemperatur der Außenwand-Innenseite gegenläufig zur Außenlufttemperatur verhält. Die Speichermasse gleicht somit die Temperaturspitzen der Außentemperaturen aus und fungiert als Regulator der Innenraum-Behaglichkeit.

Zusätzlich gibt es jeweils zwischen zwei Wohneinheiten einen innenliegenden vertikalen Luftschacht. Mit Hilfe dieses Kamins werden die Bäder natürlich entlüftet: Die auf dem Dach auftreffende Sonnenstrahlung erhitzt die Abdeckung der Schornsteinausgänge und die darunterliegende Luft. So entsteht ein Kamineffekt, durch den die kältere Luft aus den Kellergeschossen durch die Bäder förmlich in die Wohnungen hineingedrückt wird. Drei Szenarien sind für die Wohneinheiten Nr. 355–357 im Grundriss dargestellt: Bei Querlüftung ohne Miteinbeziehung des vertikalen Luftschachts (Wohneinheit links) bleibt die Innenraumtemperatur von 31 °C bestehen. Allerdings fördert der Luftstrom hierbei durchaus die Behaglichkeit. Im nächsten (mittleren) Szenario werden, um den Sogeffekt zu unterstützen, die Tür zum Badezimmer, jene zur Loggia- und jene zur Erschließungsseite der Wohnung geöffnet. Hierbei strömt im Zuge der Querlüftung noch einige Luft durch die Wohnungstüre in den Wohnraum. Durch die Luft aus dem Schacht, bei Vermischung mit der Außenluft, wird die Innenraumtemperatur auf 29 °C heruntergekühlt. Beim

4.5.2 Kühlmethoden

dritten Szenario (rechts) werden die Tür zum Badezimmer und nur jene zur Loggiaseite der Wohnung geöffnet; die Wohnungseingangstüre bleibt verschlossen. Da hier keine Querlüftung stattfindet, wird der Raum nicht durch die heiße Außenluft erwärmt und die Innenraumtemperatur wird auf 28 °C heruntergekühlt. Dieses dritte Szenario stellt die optimalste Form der Kühlung mit Lüftung während des Tages dar.



24

24 | Passive Luftkühlung durch die vertikalen Technikschächte, Wohneinheiten Nr. 355–357; Tagmessung am 13. Sept. 2012, 15:00 Uhr, Quelle: URBANUS-Architekten Shenzhen, 2011, überarbeitet: Ferdinand Oswald 2013.

4.5.3 Psychrometrisches Diagramm

Wie schon im Kapitel 3.3 „Standortbedingte Kühlmethoden – Psychrometrie“ beschrieben, kann die Anwendung der verschiedenen Kühlmethoden in der Simulation mit dem psychrometrischen Diagramm hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Behaglichkeit untersucht werden. Im psychrometrischen Diagramm sind die Wetterbedingungen am Klimastandort Guangzhou des gesamten Jahres in einzelnen Punkten abgebildet. Jeder Punkt steht für einen Tag, 365 Punkte gibt es also für ein Jahr. Dies ist im grafisch überarbeiteten psychrometrischen Diagramm für Guangzhou gut erkennbar. Die Behaglichkeitszone ist hier gelb eingefärbt. Diejenigen Punkte, die sich innerhalb der gelben Fläche befinden, bezeichnen die Tage im Jahr, an denen die Wetterbedingungen die Behaglichkeitsanforderungen der dort lebenden Personen erfüllen. Die weiteren farbigen Linien markieren die Bereiche, in denen die Behaglichkeit theoretisch mit Hilfe von passiven Kühlmethoden verbessert werden könnte. Die Punkte innerhalb der farbig markierten Bereiche stehen für Tage, an denen man theoretisch keine zusätzliche Kühl- oder Heizenergie bräuchte.

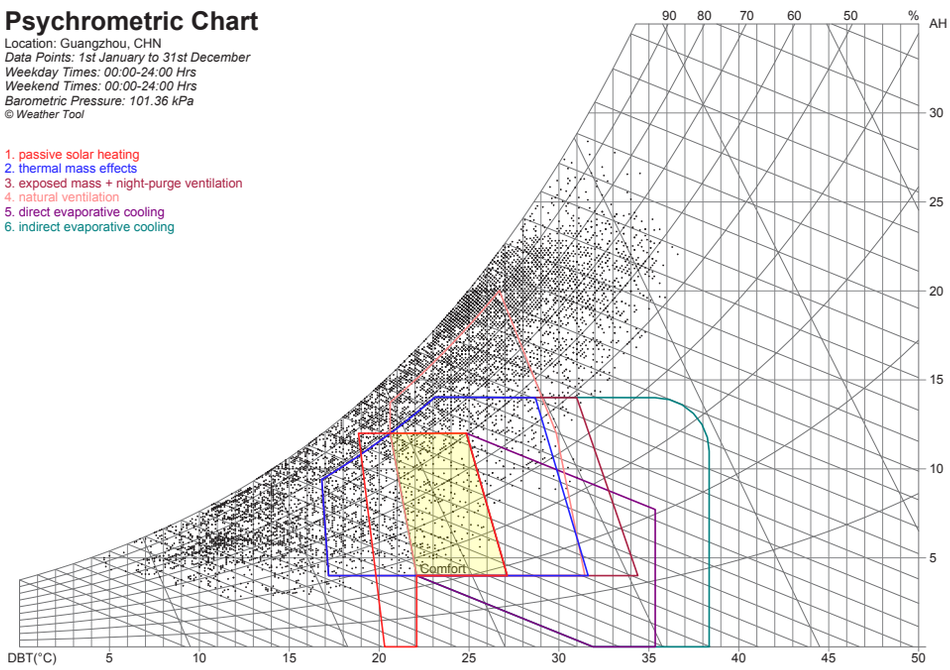
4.5.3.1 Solare Energiegewinne im Winter

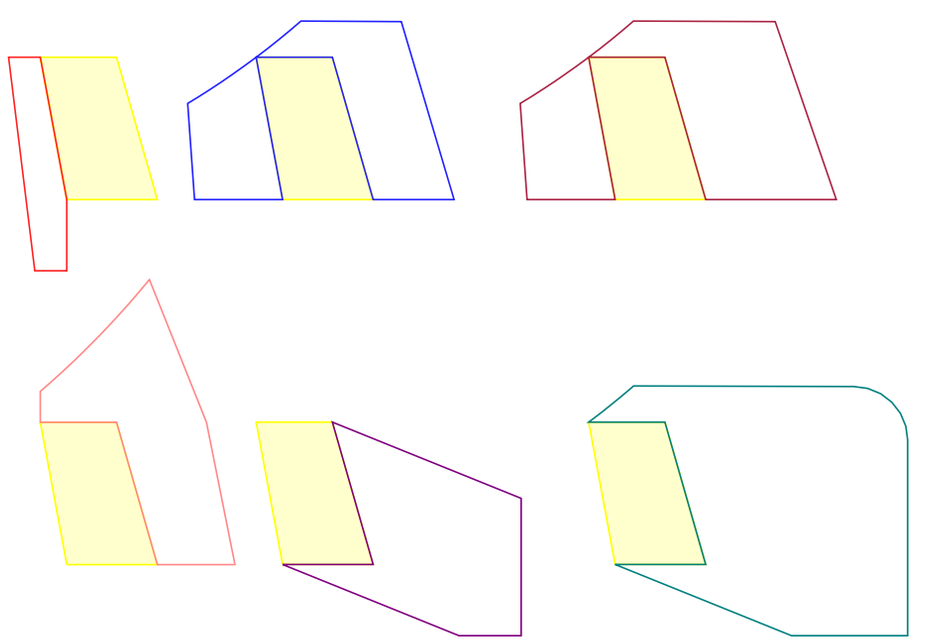
Der Bereich der passiven solaren Energiegewinne ist rot markiert und befindet sich links von der Behaglichkeitszone. Hier ist er noch einmal separat ohne Diagramm nur mit der Behaglichkeitszone abgebildet. Es ist zu erkennen, dass die Sonneneinstrahlung und ihre solaren Energieeinträge an einigen Tagen im Winter genutzt werden können. Da die relativ geschlossene Fassadenstruktur des *Urban Tulou* aus Betonfertigteilen nicht beweglich ist, kann sie jedoch nicht auf beide Anforderungen „Verschattung im Sommer“ und „Wärmespeicherung und Weiterleitung der Energie im Winter“ reagieren. Nur die Holzklapptüren lassen sich hier flexibel öffnen und schließen. Die solaren Energieeinträge lassen sich im *Urban Tulou* also nur bedingt nutzen.

4.5.3.2 Speichermasse

Wie aus den Messungen vor Ort im *Urban Tulou* schon hervorgegangen ist, kann die Speichermasse am Klimastandort Guangzhou wirksam zur Verbes-

4.5.3 Psychrometrie





25

25 I Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone und der passiven Kühl- und Heizmethoden sowie separat: Bereich der passiven solaren Energiegewinne und Behaglichkeitszone (oben links), Bereich der Speichermasse und Behaglichkeitszone (oben Mitte), Bereich der exponierten Speichermasse + Nachtdurchlüftung und Behaglichkeitszone (oben rechts),Bereich der natürlichen Belüftung und Behaglichkeitszone (unten links), Bereich der direkten Verdunstungskühlung und Behaglichkeitszone (unten Mitte), Bereich der indirekten Verdunstungskühlung und Behaglichkeitszone (unten rechts), von Guangzhou, Guangdong Provinz, China, Überarbeitet: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

serung der Behaglichkeit in Innenräumen genutzt werden. Der Bereich der Nutzung der Speichermasse ist in der Darstellung blau markiert und befindet sich rechts und links von der Behaglichkeitszone. Die Nutzung der Speichermasse kann sowohl zur Kühlung als auch zur Erwärmung der Innenräume genutzt werden. Die Wirksamkeit der Kühlung mit Speichermasse in der heißen Jahreszeit ist an der Anzahl der Tage innerhalb des rechte Bereichs der blauen Linie zu erkennen. In einem erheblichen Zeitraum kann dieser Simulation zufolge also die Speichermasse genutzt werden. Dies geht konform mit den Ergebnissen aus den Messungen im *Urban Tulou* im Sommer. Der Bereich der exponierten Speichermasse mit Nachtdurchlüftung ist dunkelrot dargestellt und erweitert den blauen Bereich der Speichermasse nach rechts. Wie schon zuvor im Detail beschrieben, wird das Prinzip der Speichermasse mit der Methode der zusätzlichen Nachtauslüftung noch weiter optimiert, denn die in der massiven Wand gespeicherte Wärme des Tages strahlt abends ab und wird später dann durch die Nachtventilation fortgelüftet.

In Guangzhou kann aber auch im Winter für einige Tage die Wärme der Speichermasse zum„Heizen“ genutzt werden. Die Wirksamkeit der Aufwärmung mit Speichermasse in der kalten Jahreszeit ist an der Anzahl der Tage innerhalb des linken Bereichs der blauen Linie zu erkennen. In einem beträchtlichen Zeitraum ist dies theoretisch möglich. Hierbei könnte tagsüber die Wärme der Sonnenstrahlung in den massiven Außenwänden der Wohneinheiten gespeichert und dann zeitversetzt in der Nacht an den Innenraum wieder abgegeben werden. Wie soeben schon beschrieben, ist die Wohnungsaußenwand jedoch durch die außenliegende poröse Fassade vor Sonne geschützt. Deshalb funktioniert dieses Prinzip der Erwärmung der Wohnaußenwand beim *Urban Tulou* nur bedingt, da sie Sonne nicht ausreichend auf die Wohnungsaußenwand strahlen kann.

4.5.3.3 Natürliche Belüftung

Die natürliche Belüftung ist in der Simulation die wirksamste Methode zur Verbesserung der Behaglichkeit am Klimastandort Guangzhou. Dies ist an der Anzahl der Tage zu erkennen, die sich im rosa umrandeten Bereich der natürlichen Belüftung befinden. Dieser Bereich befindet sich rechts und oberhalb von der Behaglichkeitszone. Im Hochsommer kann hier an fast allen Tagen die Behaglichkeit durch diese Kühlmethode verbessert werden.

4.5.3 Psychrometrie

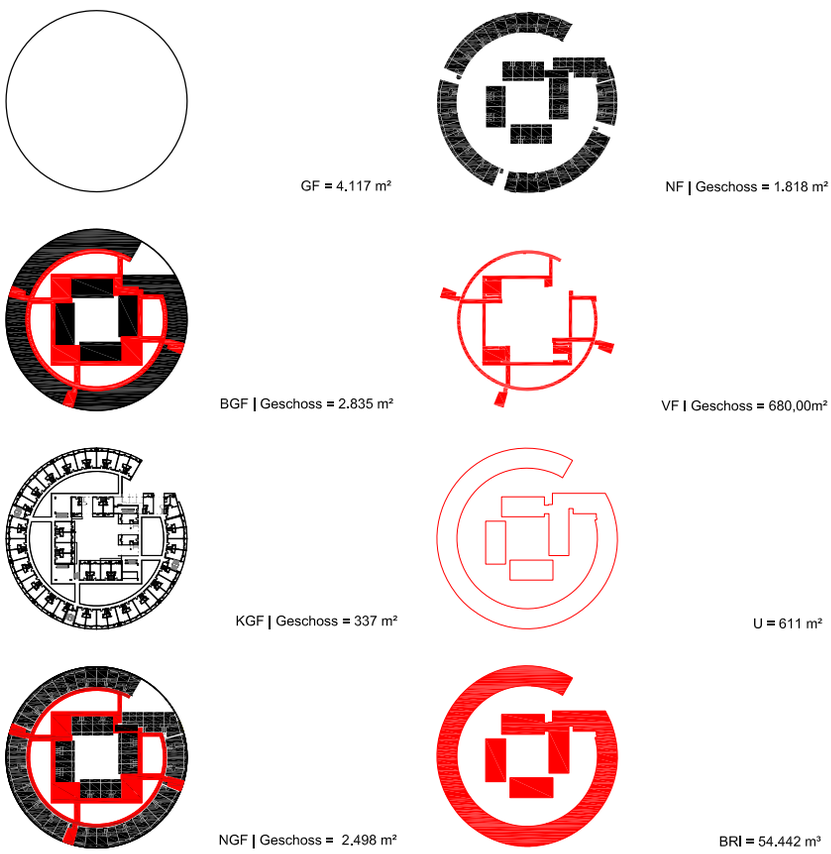
Die Messungen im *Urban Tulou* zur heißesten Jahreszeit (September) zeigen dies ebenfalls auf.

4.5.3.4 Verdunstungskühlung

Die direkte und die indirekte Verdunstungskühlung hätten eine gute Wirkung am Standort Guangzhou. Dies zeigen die vom Simulationsmodell aufgezeigten Bereiche der Verdunstungskühlung, welche sich unterhalb, rechts und insbesondere oberhalb von der Behaglichkeitszone befinden. Sie sind in lila und hellblau dargestellt. Es gibt einige Tage zur heißen Jahreszeit, in denen die Verdunstungskühle die Behaglichkeit verbessern könnte. Leider wird diese Form der Kühlung weder mit Wasserflächen noch Sprühvernebelung oder sonstigen Methoden im *Urban Tulou* genutzt. Dies ist mit dem Kostenrahmen des Projektes zu begründen: Für die Bewohner der Arbeiterschicht sind solche zusätzlichen architektonischen Elemente nicht bezahlbar und der Staat will beim sozialen Wohnungsbau hierfür kein Geld investieren.

4.5.4 Bewertung des Urban Tulou nach Kennwerten

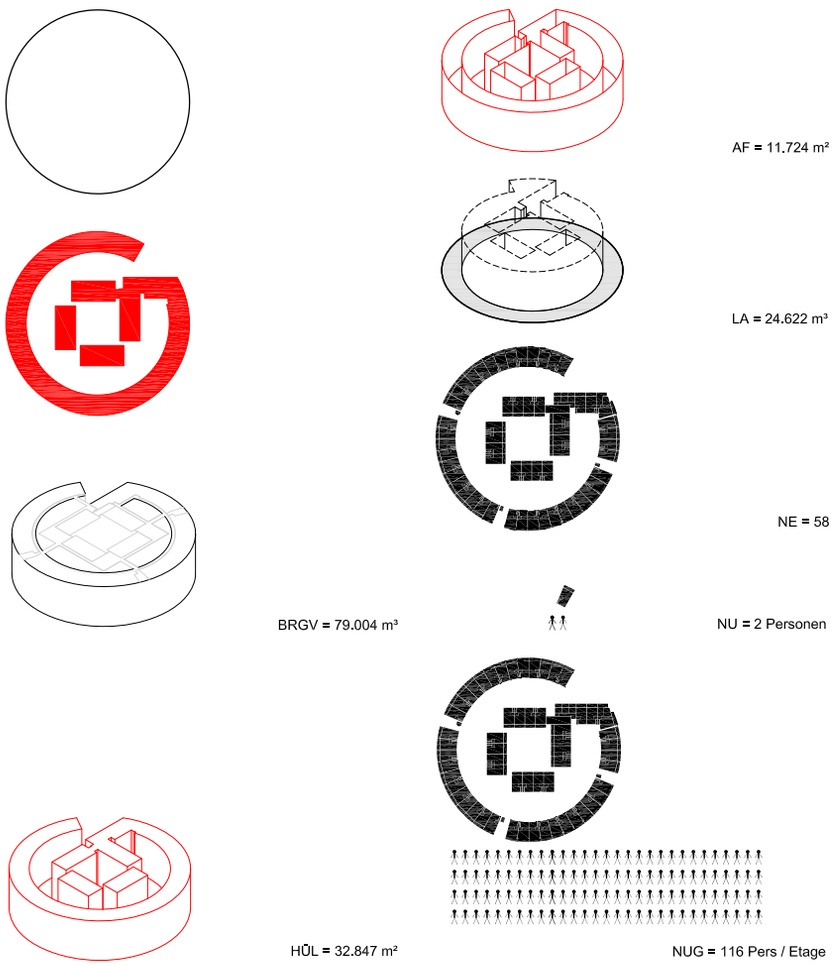
In diesem Unterkapitel wird das Wohngebäude *Urban Tulou* nach den unterschiedlichen Kennwerten bewertet. Zur Ermittlung der Kennwerte müssen die Kenngrößen bekannt sein. Diese sind die Flächenkennwerte Brutto-Grundfläche (BGF), Netto-Grundfläche (NGF), Konstruktions-Grundfläche (KGF), Nutzfläche (NF), Verkehrsfläche (VF) und Funktionsfläche (FF). Die Raumkenngrößen sind der Brutto-Rauminhalt (BRI), das Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV) und der Luftanteil (LA). Die Hüllenkenngrößen sind der Umfang (U), die Geschosshöhe (GH), die Gebäudehöhe (GBH), die Außenwandfläche (AF), die Außengrundfläche (GF), die Dachfläche (DF) und die Hüllfläche (HÜL). Die Nutzungseinheitenkenngrößen sind: Nutzungseinheiten pro Geschoss (NE) und Nutzungseinheiten gesamt (NEG). Die Nutzerkenngrößen sind die



26

26 | Kenngrößen: Grundfläche (GF), Brutto-Grundfläche pro Geschoss (BGFG), Konstruktions-Grundfläche pro Geschoss (KGFG), Netto-Grundfläche pro Geschoss (NGFG), Verkehrsfläche pro Geschoss (VFG), Nutzfläche pro Geschoss (NFG), Fassaden-Umfang (U) und Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) des Urban Tulou, eigene Darstellungen: Ferdinand Oswald, 2013.

4.5.4 Kennwerte



27 28

Nutzeranzahl pro Wohneinheit (NU), die Nutzeranzahl pro Geschoss (NUG) und die Nutzeranzahl gesamt (NUA).
Die aus der Flächenermittlung entstandenen Zeichnungen für die Kenngrößen sind als überarbeitete Grafiken hier abgebildet. Im Anhang findet sich eine Tabelle mit den Berechnungsgrundlagen der Kenngrößen und den ermittelten Kennwerten des *Urban*.

Das *Urban Tulou* stellt mit seinen 6 Geschossen kein Wohnhochhaus dar. Aber gerade deshalb ist es höchst spannend, Kernwerte wie Gebäudedichtequotient

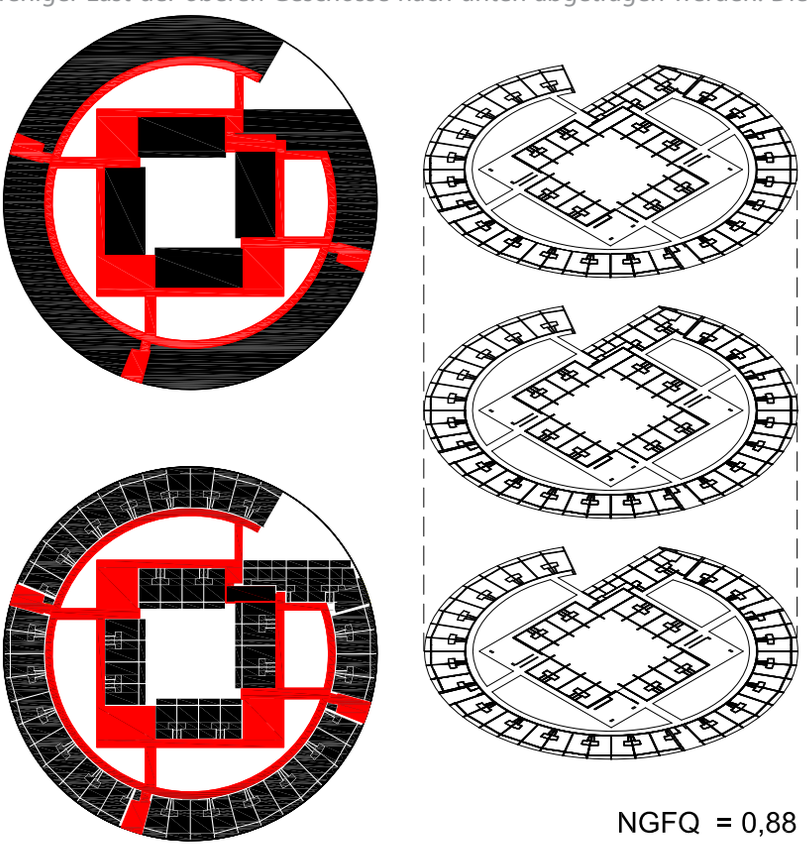
27 | Kenngrößen: Hüllfläche (HÜL) in isometrischer Darstellung, Grundfläche (GF) und Brutto-Rauminhalt in der Aufsicht und Teil des Brutto-Raumgrundvolumens (BRGV) in isometrischer Darstellung des Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

28 | Kenngrößen: Teil der Außenwandfläche (AF) in isometrischer Darstellung, Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung, Nutzungseinheiten pro Geschoss (NE), Wohneinheit mit durchschnittlicher Belegung (NU) von 2 Personen, 58 Wohneinheiten pro Geschoss mit durchschnittlicher Belegungsziffer (NUG) von 116 Personen des Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

und Gebäudebewohnerdichte-Quotient mit denen der eigentlichen Wohnhochhäuser zu vergleichen, denn die Geschossanzahl ist ein wesentlicher und einflussreicher Faktor für diese Kennwerte.

4.5.4.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)

Der Netto-Grundflächenquotient beträgt beim *Urban Tulou* in Guangzhou 0,88. Dies ist ein besserer Quotient als beim *the Met* (0,83) und beim *Skyville* (0,81). Allerdings sind diese beiden Wohngebäude etwa um das Zwanzigfache höher als das *Urban Tulou*. Bei Berücksichtigung der geringen Höhe des Gebäudes (19,2 m) mit nur 6 Geschossen sind der Flächenanteil und der Aufwand der Konstruktion hier nur bedingt geringer. Bei diesem Wohngebäude muss weniger Last der oberen Geschosse nach unten abgetragen werden. Die



29

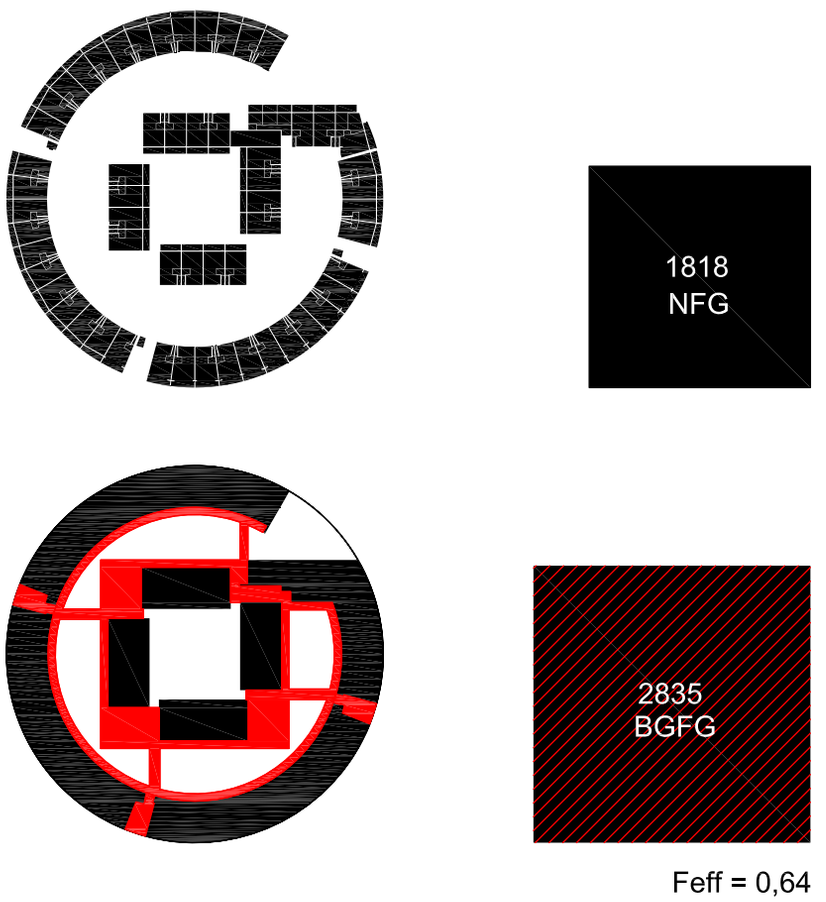
29 I Netto-Grundflächenquotient (NGFQ): Netto-Grundfläche (NGF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss, und abstrakte isometrische Darstellung der Konstruktionsfläche (KGF) des Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.5.4 Kennwerte

Netto-Grundfläche eines Geschosses (NGFG) und die Brutto-Grundfläche eines Geschosses (BGFG) des *Urban Tulou* sind aus der Darstellung ersichtlich. Des Weiteren ist eine Isometrie dargestellt, die die Konstruktionsgrundfläche (KGF) von einzelnen Geschossen ersichtlich macht.

4.5.4.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)

Der Flächeneffizienzkennwert des *Urban Tulou* ist mit 0,64 unter Berücksichtigung der niedrigen, 6-Geschossigen Wohnhaus-Typologie ein niedriger und damit schlechter Wert. Während das Gebäude zwar einen guten, weil hohen Netto-Grundflächenquotienten von 0,88 hat, wegen des geringen



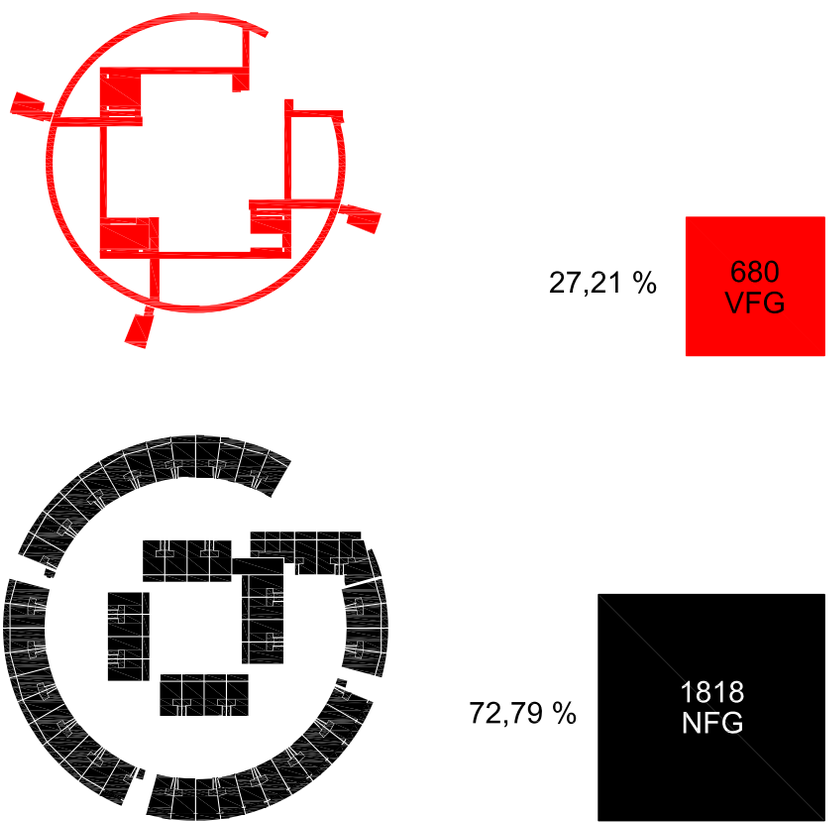
30

30 I Flächeneffizienzkennwert (Feff): Nutzfläche (NF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des Urban Tulou dargestellt, sowie die Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab (NFG und BGFG), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Konstruktionsaufwandes aufgrund der geringen Gebäudehöhe, hat es eine große Verkehrsfläche. Diese Tatsache macht sich im Flächeneffizienzkennwert des *Urban Tulou* bemerkbar. In der Darstellung sind die Regelgeschosse mit Nutzfläche (NF) und Brutto-Grundfläche (BGF) des *Urban Tulou* abgebildet. Des Weiteren werden diese beiden Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab grafisch nebeneinander dargestellt.

4.5.4.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)

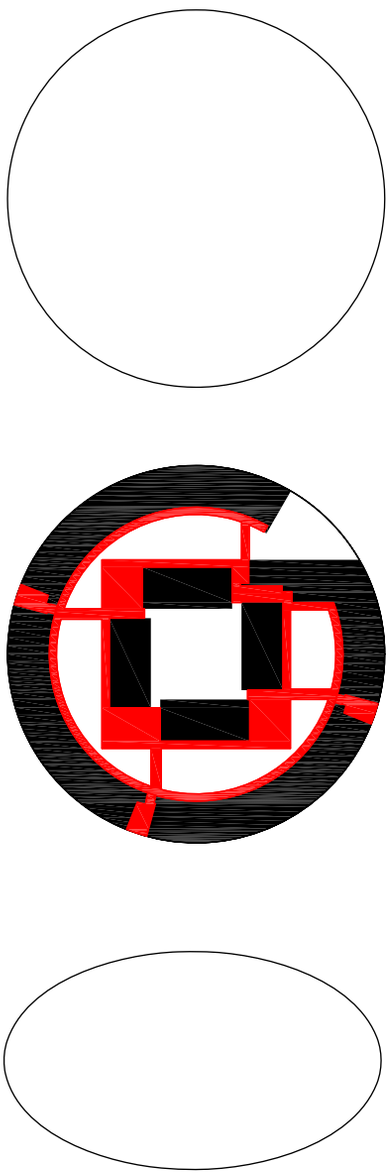
Der Verkehrsflächenquotient des *Urban Tulou* ist mit 0,37 hoch, da das Gebäude eine im Verhältnis zur Nutzfläche große Verkehrsfläche hat. Dies ist mit der Wohngebäudetypologie der Erschließungsgänge zu begründen:



31

31 I Verkehrsflächenquotient (VFQ): Verkehrsfläche (VF)/Nutzfläche (NF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des Urban Tulou dargestellt, sowie die Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab mit Prozentangabe (VFG und NFG), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.5.4 Kennwerte



32

32 I Gebäudedichtequotient (GDQ): Grundfläche (GF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des Urban Tulou dargestellt sowie isometrische die Grundfläche des Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Jede der kleinen Wohneinheiten kann über einen Laubengang einzeln erschlossen werden, außen kreisförmig und im mittleren Trakt gerade. Vor allem innerhalb des runden Gebäudetraktes bei den quadratisch angeordneten Wohnriegeln befinden in drei von vier Ecken große überdachte Aufenthaltsbereiche, die maßgeblich zur Vergrößerung der Verkehrsfläche beitragen. Für einen „sozialen Wohnungsbau" ist die Umsetzung solcher Freiflächen eine großzügige, wenn nicht gar luxuriöse Maßnahme. Die Verkehrsfläche beträgt im Verhältnis zur Nutzfläche 27,2 %. Über ein Viertel der Nettogrundfläche wird also für die Verkehrsfläche benötigt. In der Darstellung sind die Regelgeschosse mit Verkehrsfläche (VFG) und Nutzfläche (NFG) des *Urban Tulou* abgebildet. Des Weiteren werden diese beiden Geschossflächen in quadratischer Form im selben Maßstab grafisch nebeneinander dargestellt. Neben dem Kennzahl-Quotienten ist hier auch das Verhältnis von Verkehrsfläche und Nutzfläche in Prozent angegeben.

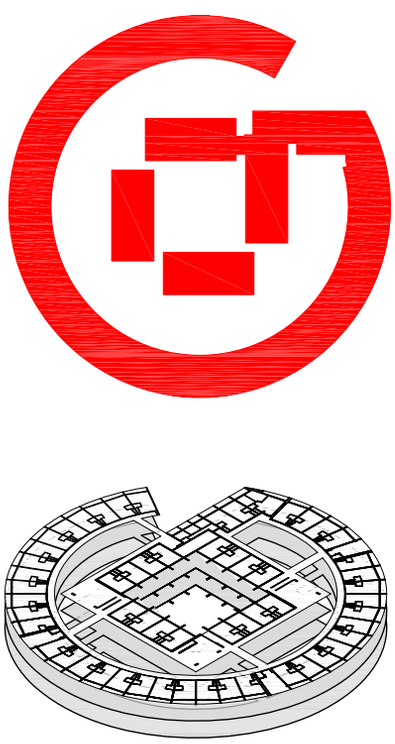
4.5.4.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)

Die Gebäudedichte-Kennzahl des *Urban Tulou* ist mit einem Quotienten von 0,24 extrem hoch, womit die Gebäudedichte sehr gering ist. Das Verhältnis des gebauten Hauskörpers zur Grundfläche ist hier deshalb so schlecht, weil es sich beim *Urban Tulou* um ein niedriges Gebäude von nur 19,2 Metern Höhe mit 6 Wohngeschossen handelt.
Das Verhältnis der Fassadenfläche zum Bruttorauminhalt ist hinsichtlich der zu konstruierenden Fassadenhaut effizient. Die konsequente Freistellung der Wohnkörper ist für eine Querlüftung aller Wohnräume sehr sinnvoll und macht die natürliche Belüftung wirksam. In der Darstellung sind die Grundfläche und die Brutto-Grundfläche eines Regelgeschosses des *Urban Tulou* abgebildet. Des Weiteren ist die Grundfläche auch isometrisch darsgetellt.

4.5.4 Kennwerte

4.5.4.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)

Das *Urban Tulou* hat eine niedrige Raumdeckenhöhe und deshalb einen geringen Brutto-Rauminhaltsquotienten von 3,63. In der Darstellung sind die Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) und die Netto-Grundfläche (NGF) eines Regelgeschosses des *Urban Tulou* abgebildet.

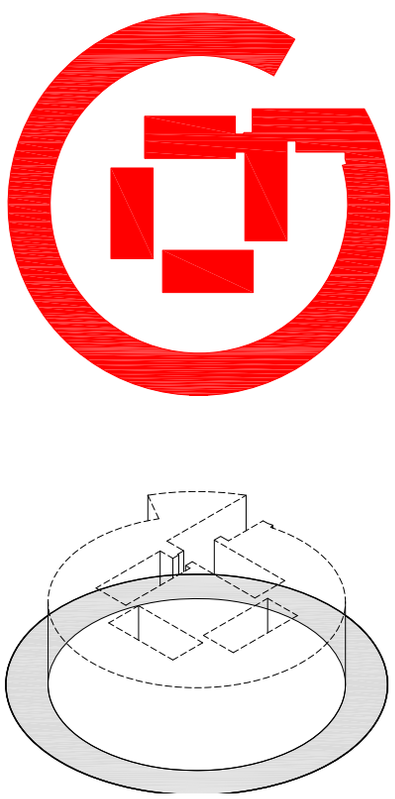


BRIQ = 3,63 33

33 | Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ): Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) und Netto-Grundfläche (NGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des Urban Tulou dargestellt, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.5.4.6 Luftanteilsquotient (LAQ)

Der Luftanteil des *Urban Tulou* ist 24.622 m^3 groß. Dies ist angesichts der geringen Gebäudehöhe und des kleinen Gesamtvolumens ein erwartungsgemäß niedriger Wert. Der Luftanteilsquotient von 2,21 gibt jedoch zu erkennen, dass der Anteil des Luftraums im Verhältnis zum Bruttorauminhalt sehr groß ist. Dies ist mit der speziellen Gebäudetypologie zu begründen: Das *Urban Tulou* bildet mit seiner Anordnung der Gebäudekörper großzügige Zwischenräume aus. Diese Innenhöfe sind innerhalb des runden Gebäudekörpers platziert. Die in den Geschossen jeweils an den Ecken befindlichen offenen Aufenthaltsbereiche tragen zur Vergrößerung des Luftanteils und zum niedrigen Luftanteilsquotienten bei. Sie unterstützen die Luftzirkulation und somit die Querlüftung. In der Grafik ist der Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung des *Urban Tulou* abgebildet.

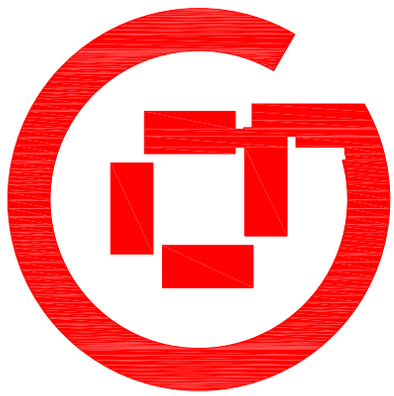


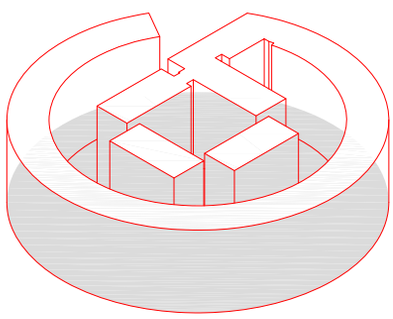
34

LAQ = 2.21

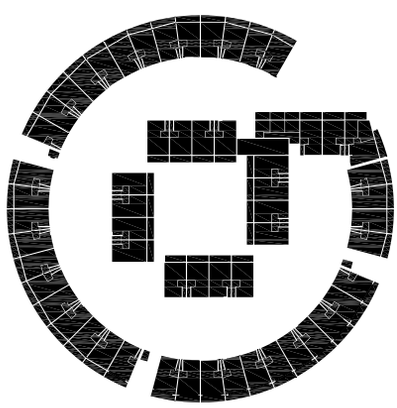
34 I Luftanteilsquotient (LAQ), Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung des Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.5.4 Kennwerte





HÜLQ = 0,60 [35]



NEQ = 31,35 m²/NE [36]

35 | Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis: Hüllfläche und Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung des Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

36 | Nutzungseinheitenquotient (NEQ), Nutzfläche (NF) geteilt durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) in der Abbildung eines Regelgeschosses des Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.5.4.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis

Der Hüllflächenquotient und somit das A/V-Verhältnis des *Urban Tulou* ist mit 0,6 relativ niedrig und somit ist das Gebäude recht kompakt. Die Wohneinheiten werden einseitig offen über Laubengänge erschlossen. Bei den Erschließungsstegen wird an Fassadenfläche gespart, da diese nicht umbaut sind. Die Gebäudekörper sind kompakt ausgeführt und haben keine Vor- und Rücksprünge oder Faltungen. Die Fassadenfläche ist im Verhältnis zum Bruttorauminhalt sehr klein. In der Grafik sind Hüllfläche und Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung des *Urban Tulou* abgebildet.

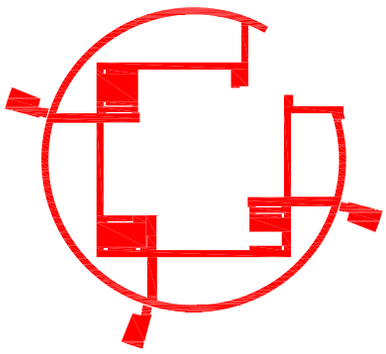
4.5.4.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten

Mit ihrer durchschnittlichen Größe von 31,35 m^2 entsprechen die Wohneinheiten den gewöhnlichen Anforderungen der chinesischen Arbeiterklasse. Die Raumkonfiguration der Wohnungstypen ist teilweise modifizierbar. In den größeren Wohneinheiten, die sich in den im Innern liegenden Wohntrakten befinden, lässt sich ein großer Wohnraum in zwei kleinere Zimmer sowie eine Küche mit Trennwänden unterteilen. In der Grafik sind die Nutzungseinheiten eines Regelgeschosses *Urban Tulou* abgebildet.

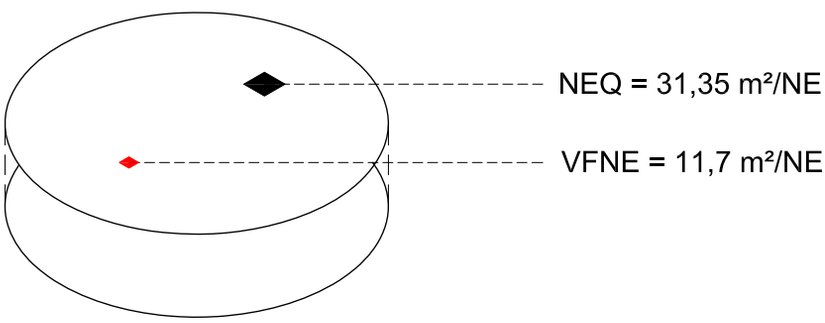
4.5.4.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)

Die Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) gibt die durchschnittliche Verkehrsflächengröße einer Nutzungseinheit eines Wohngebäudes in Quadratmetern an. Beim *Urban Tulou* beträgt sie 11,70 m^2/NE, was ein sehr niedriger Wert ist. Dies resultiert aus der hohen Anzahl von 58 Wohneinheiten pro Geschoss: All diese Wohneinheiten müssen über eine Verkehrsfläche in einer Geschossebene erschlossen werden. Das *Urban Tulou* hat im Vergleich zu den drei anderen Fallstudien mit 680 m^2 die größte Verkehrsfläche pro Geschoss. In der Grafik ist die Verkehrsfläche eines Regelgeschosses dargestellt. In einer weiteren Abbildung sind die durchschnittliche Fläche einer Nutzungseinheit und die durchschnittliche Verkehrsflächengröße einer Nutzungseinheit des Gebäudes *Urban Tulou* in der Grundfläche isometrisch abgebildet.

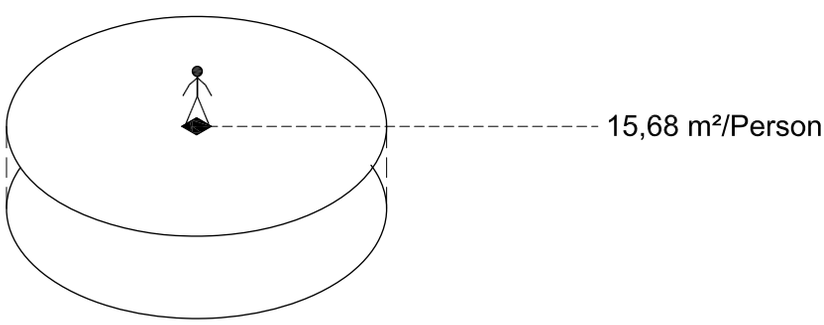
4.5.4 Kennwerte



VFNE = 11,7 m²/NE 37



38



39

37 | Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE): Verkehrsfläche (VF) geteilt durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) in der Abbildung der Verkehrsfläche eines Regelgeschosses des Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

38 | Nutzungseinheitenquotient (NEQ): Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) in isometrischer Darstellung mit Grundfläche im gleichem Maßstab im Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald.

39 | Nutzfläche pro Person (NP): Nutzungsfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA) = durchschnittlich zur Verfügung stehende Quadratmeter Wohnfläche pro Person, bezogen auf die gesamte Nutzfläche in isometrischer Darstellung des *Urban Tulou*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.5.4.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP)

Der Kennwert der Nutzfläche pro Person (NP) in Quadratmetern ausgedrückt trifft eine direkte Aussage über die zur Verfügung stehende Wohnfläche pro Person und beträgt im *Urban Tulou* 15,6 m^2.
Die Belegungsziffer der Wohneinheiten im Urban Tulou variiert zwischen 2 und 8 Personen. Diese sehr unterschiedlichen Belegungsgrößen innerhalb eines Wohngebäudes sind mit den unterschiedlichen Bewohnern des Urban Tulou zu begründen: Es gibt Wohneinheiten, die als Schlafunterkünfte für Arbeiter von bis zu 8 Personen genutzt werden. Andere dienen als Apartments für 1–2 Personen. Die durchschnittliche Belegungsziffer wurde aufgrund von Beobachtungen mit einem Wert von 2 Personen pro Wohneinheit abgeschätzt. Diese durchschnittliche Belegungsziffergröße, wie hier beim Urban Tulou angenommen, stellt für ein gewöhnliches Wohngebäude in Guangzhou einen eher niedrigen Wert dar.
Für die eher weniger wohlhabenden Bewohner des *Urban Tulou* ist die Belegungsdichte mit 15,6 m^2 pro Person erwartungsgemäß hoch. In der Grafik ist diese Wohnfläche (15,6 m^2/Pers.) in der Grundfläche des Gebäudes *Urban Tulou* in gleichem Maßstab in isometrischer Darstellung abgebildet.

4.5.4.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA)

Obwohl die Nutzeranzahl des gesamten Wohngebäudes (NUA) keinen Kennwert darstellt, sondern eine Kenngröße, ist es interessant, die Anzahl der Bewohner des gesamten Wohngebäudes zu betrachten. Die Gesamtpersonenanzahl im *Urban Tulou* ist mit 696 Personen relativ hoch. Im Verhältnis



40

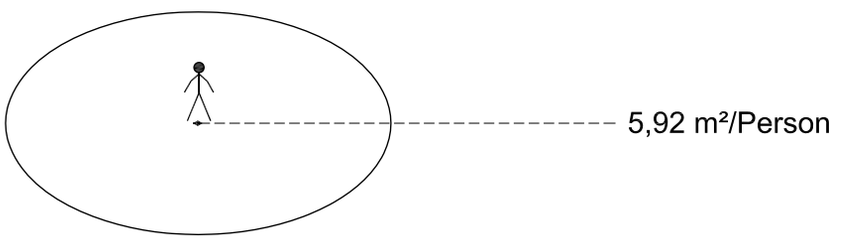
NUA = 696 Personen gesamt

40 I Gesamtbewohneranzahl (NUA), Darstellung aller 696 Bewohner des Urban Tulou, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

zur niedrigen Geschossanzahl des Gebäudes ist die Personenanzahl eine sehr große Zahl. In der Grafik sind alle 696 Nutzer des *Urban Tulou* dargestellt.

4.5.4.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Person (GP)

Die Gebäudebewohnerquotient des *Urban Tulou* liegt bei 0,17. Die Grundfläche pro Person, bezogen auf die bebaute Grundfläche und die gesamte Anzahl der Bewohner des Wohnhochhauses, ist 5,91 m^2. Dies ist ein hoher Wert, die Gebäudebewohnerdichte ist also gering. Die Grundfläche wird hier zur Personenunterbringung zwar eigentlich gut ausgenutzt, aber mit der geringen Höhe des Gebäudes mit nur sechs Geschossen können auf seiner Grundfläche weniger Personen untergebracht werden als in den Hochhäusern. D eshalb ist die Gebäudebewohnerdichte hier geringer und folglich die Gebäudebewohnerdichtezahl , also die anteilige Grundfläche pro Person, höher.



41

4.5.5 Verbesserungspotential/Fazit

Optimierungspotentiale
Die bei der Untersuchung des *Urban Tulou* gewonnenen Erkenntnisse können eine Basis schaffen, auf deren Grundlage neue Gebäude entwickelt werden können. Die folgenden Aspekte verdeutlichen Ansatzpunkte für mögliche Optimierungen und damit auch für die Entwicklung von neuen Typologien.

Verschattungselemente im Hofbereich
Die Holzwandelemente im Bereich der innenliegenden Höfe sind für die Verschattung der Glasschiebetüren nicht ausreichend. Ergänzend sollten weitere verschiebbare Elemente hinzukommen, die eine direkte Sonnenbestrahlung und eine Überhitzung der Innenräume verhindern. Diese Holzgitterelemente sollten vor der Stahlbrüstung angegliedert werden, um auch diese zu ver-

41 I Grundfläche pro Person (GP): Grundfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA), in der Abbildung durchschnittliche zur Verfügung stehende Quadratmeter Grundfläche pro Person in isometrischer Darstellung des *Urban Tulou*, eigene Darstellung, Ferdinand Oswald, 2013.

schatten, da sich der Stahl als Wärmeleiter bei direkter Sonneneinwirkung sehr stark erhitzt. Möglich wäre es auch, die Stahlbrüstungen zur Absturzsicherung aus weniger wärmeleitendem Material wie Holz zu fertigen. Eine Messung der Oberflächentemperatur des Stahls ergab 37 °C[3] – eine Temperatur, die beim Berühren der Stahlbrüstung sogar zu Verletzungen führen könnte.

Passive Luftkühlung zwischen tragenden Wänden
Die passive Luftkühlung durch die vertikalen Technikschächte an der vorderen Seite der Wohneinheiten könnten parallel an die tragenden, konisch verlaufenden Wohnungstrennwände angegliedert werden. Der Lüftungsquerschnitt würde dadurch schmaler und länger werden, wodurch der Kontakt der kalten Luft zur thermischen Masse vergrößert würde, nämlich über die gesamte Länge der Wand. Die thermische Masse würde somit wesentlich effizienter die Innenräume kühlen.

Kontrollierte Lüftung im Untergeschoss zur Nutzung der Speichermasse:
Die Untergeschosse werden mit Nutzung der Speichermasse der erdberührenden Bauteile im Sinne einer geothermischen Erdkühlung genutzt. Beim *Urban Tulou* hat dies den Vorteil, dass die Luft tagsüber abgekühlt wird und in die Innenhöfe fließen kann. Die Öffnungen sind hier permanent geöffnet – eine Möglichkeit, den Ein- und Austritt der Luft exakt kontrollieren zu können, wäre jedoch von Vorteil: Durch die Verkleinerung der Luftdurchlässe während des Tages ließe sich die Effizienz der thermischen Masse verbessern. Entsprechend der außen vorherrschenden Luftgeschwindigkeit sollte der Luftwechsel so angepasst sein, dass genügend Strahlungskühle von der Masse an die Luft abgegeben werden kann, damit die Temperaturdifferenz stimmt und die daraus resultierende Thermik in den Höfen funktioniert. Bewegliche Wandöffnungen werden bisweilen mit computergesteuerten, elektronisch betriebenen Vorrichtungen bewegt. Hier könnte ein Mechanismus angewendet werden, der mit äußeren Klimafaktoren wie Windstärke (selbstschließende Klappen) oder Temperatur (Bimetalle) direkt reagiert.

Fazit
Das *Urban Tulou* wird im Norden und Westen direkt von zwei sehr hohen Wohnhochhäusern mit 15 Stockwerken tangiert. Inwieweit sich diese hohen Gebäude positiv oder negativ auf die natürliche Belüftung der Wohneinheiten des *Urban Tulou* auswirkt, konnte während der Untersuchungen vor Ort

[3] Messung der Oberflächentemperatur des nicht verschatteten Stahl-Brüstungselements am 13.09.2012, 15:15 Uhr bei einer Lufttemperatur von 31,7 °C.

4.5.5 Fazit

leider nicht ermittelt werden. Fakt ist, dass die natürliche Querlüftung mit hohen Luftgeschwindigkeiten während des Untersuchungszeitraumes in den Wohneinheiten des *Urban Tulou* für eine Behaglichkeit in den Innenräumen gesorgt hat und somit gut funktioniert.

Wie schon erwähnt, befindet sich im Süden des *Urban Tulou* eine vielbefahrene Stadtautobahn. Allerdings war während des Aufenthaltes im *Urban Tulou* kein unangenehmer Lärm von diesem Autobahnverkehr zu vernehmen: Sogar in den der Autobahn zugewandten Wohneinheiten waren die Fahrgeräusche der Autos kaum zu hören, obgleich der Verkehrslärm im Freibereich zwischen dem *Urban Tulou* und der Autobahn laut und unangenehm war. Diese starke Verminderung des Lärms ist auf die poröse Außenfassade zurückzuführen, die ihn auf wirksame Art filtert. Die Außenfassade des *Urban Tulou* fungiert (funktioniert) also auch als Lärmschutzwand.

Das Interview mit einer Bewohnerin des *Urban Tulou*[4] hat ergeben, dass die bestehenden Öffnungen in den Wänden in Hochsommernächten nicht ausreichen, um die für die Querlüftung erforderliche Luftmenge zu erhalten. Dieses Problem lässt sich nicht einfach durch eine Vergrößerung der bisherigen Öffnungsklappen lösen, da statische Vorgaben und der Lastabtrag der Betonschottenwände nur bedingt größere Wandöffnungen zulassen. Deshalb könnte über die Entwicklung einer Wandstruktur nachgedacht werden, die Eigenschaften wie Lastabtrag, thermische Aktivierung und Luftdurchlässigkeit miteinander verbinden könnte. Lichtdurchlässiger Beton existiert bereits: Er wird aus feinkörnigem Beton und Glasfasermatten hergestellt und erreicht die Stabilität von gewöhnlichem Beton. Luftdurchlässiger Beton könnte auf ähnliche Weise mit einer horizontalen Schichtung kleiner Röhrchen erreicht werden. Ein weiterer Ansatz wäre, ein Wohnungseingangs-Türelement zu entwickeln, welches wie die zuvor beschriebenen steuerbaren Öffnungselemente im traditionellen *Tulou* funktionieren könnte. Mit dieser alten Technologie garantiert das Holzstreben-Element zugleich Sicherheit und steuerbare Luftzufuhr. Eine Herausforderung wäre es, ein neues Türelement zu entwickeln, das zudem auch den heutigen Schallschutz-Anforderungen gerecht wird.

Kennwerte

Wie oben analysiert, liegt die Gebäudebewohnerdichte (GBD) des *Urban Tulou* bei 5,91 m^2/Person, bezogen auf die bebaute Grundfläche im Verhält-

[4] Interview mit Frau Sandy Li Xiao Ming, wohnhaft in der Urban Tulou - Wohneinheit Nr. 607, geführt von Ferdinand Oswald, Guangzhou, 14.09.2012.

nis zur Anzahl der Bewohner des Wohnhauses. Dies ist im Vergleich zu den anderen drei Fallstudien-Wohnhochhäusern der höchste Wert, denn durch die niedrige Höhe des Gebäudes mit nur sechs Geschossen können natürlich weniger Personen untergebracht werden als in einem höheren Gebäude. Sehr Interessant wäre die Modifizierung dieser Wohntypologie und Extrudierung der Geschosse des *Urban Tulou* zu einem Wohnhochhaus. Wenn es möglich wäre, das Gebäude bei gleicher Belegungsziffer pro Geschoss zu erhöhen, dann würde die Gebäudebewohnerdichte einen sehr guten Wert ergeben. Wie oben beschrieben, ist der Netto-Grundflächenquotient des *Urban Tulou* mit 0,88 ein besserer Quotient als beim *the Met* (0,83) und beim *Skyville* (0,81). Allerdings sind diese beiden Wohngebäude etwa um das Zwanzigfache höher als das *Urban Tulou*. Bei Berücksichtigung der geringen Höhe des Gebäudes (19,2 m) mit nur 6 Geschossen ist der Flächenanteil und Aufwand der Konstruktion nur bedingt geringer als bei den Hochhäusern, denn bei diesem Wohngebäude muss weniger Last der oberen Geschosse nach unten abgetragen werden. Spannend wäre es, herauszufinden, wie stark die Dimensionen der tragenden Wände vergrößert werden müssten, wenn das *Urban Tulou* in ein Wohnhochhaus transformiert würde. Der Luftanteilsquotient des *Urban Tulou* liegt im Vergleich zu den Wohnhochhäusern *The Met* und *Skyville* im mittleren Bereich. Interessant wäre es, herauszufinden, ob die Luftanteile bei einer Extrudierung des *Urban Tulou* zu einem Wohnhochhaus verändert werden müssten, um die gleichen Konditionen für eine gut funktionierende Querlüftung der Wohneinheiten beizubehalten. Das *Urban Tulou* bietet seinen Bewohnern ein angenehmes Wohnklima und verzichtet dabei auf die Nutzung von Klimaaggregaten. Die Gebäudeform, die Fassade, die Grundrissanordnung und auch der Umgang mit den einzelnen Wandelementen haben sich aus den klimatischen und örtlichen Gegebenheiten entwickelt. Es ist eine Typologie entstanden, deren Wände ein Klimaaggregat ersetzen. Eine wesentliche Qualität des Projekts ist das harmonische Zusammenspiel der auf formalen, funktionalen und bauphysikalischen Grundlagen basierenden Entwurfsparameter.

Diese Erkenntnisse setzen allerdings nicht voraus, dass neu zu bauende Gebäude in gleicher Weise wie das *Urban Tulou* konzipiert werden sollen. Vielmehr zeigt das *Urban Tulou*-Projekt auch, dass die äußere Erscheinungsform nicht von notwendigen Entwurfsparametern abhängig sein muss. So ist z.B. eine Gebäudeform in kleinteiliger Gebäudekörperanordnung notwendig, um Windströme innerhalb der Gebäudestruktur optimal zu führen. Dieser Parameter ist beim *Urban Tulou* jedoch bewusst nicht optisch zur Geltung gekommen, sondern vielmehr erscheint das Gebäude formal als ganzheitlich, indem es durch die äußere Fassadenhaut eingefasst wird.

4.6.1 Projektbeschreibung

4.6.1.1 Klima
4.6.1.2 Standort

4.6.2 Natürliche Belüftung

4.6.2.1 Städtebauliche Positionierung
4.6.2.2 Gebäudestruktur
4.6.2.3 Fassade
4.6.2.4 Grundrisse
4.6.2.5 Öffnungen

4.6.3 Verringerung der solaren Energieeinträge

4.6.3.1 Orientierung und Direkteinstrahlung
4.6.3.2 Fassadenstruktur
4.6.3.3 Dachfläche

4.6.4 Speichermasse

4.6.5 Psychrometrisches Diagramm

4.6.5.1 Solare Energiegewinne im Winter
4.6.5.2 Speichermasse
4.6.5.3 Natürliche Belüftung
4.6.5.4 Verdunstungskühlung

4.6.6 Bewertung des *Ngau Tau Kok* nach Kennwerten

4.6.6.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)
4.6.6.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)
4.6.6.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)
4.6.6.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)
4.6.6.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)
4.6.6.6 Luftanteilsquotient (LAQ)
4.6.6.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis
4.6.6.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten
4.6.6.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)
4.6.6.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte)
4.6.6.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA)
4.6.6.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte)

4.6.7 Verbesserungspotential/Fazit

01 | Fassadenansicht Upper Ngau Tau Kok Estate, Hongkong, China, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6 Vierte Fallstudie - Ngau Tau Kok Hongkong





02

02 I Vogelperspektive Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Hong Kong housing Authority, 2013.

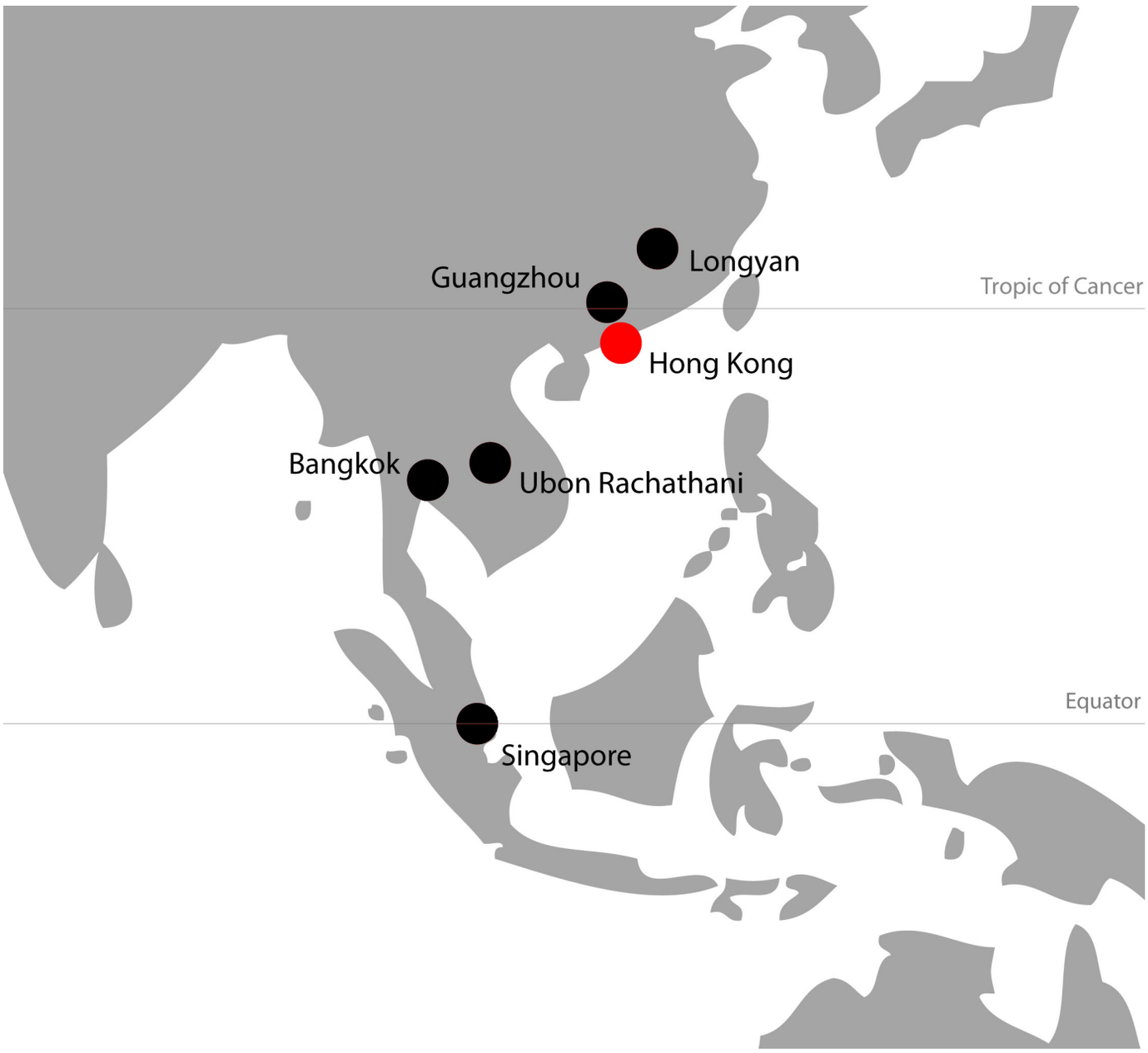
Das *Upper Ngau Tau Kok Estate* ist eine der wenigen Wohnanlagen von der HKHA, die als Standortspezifisches Projekt geplant wurde. Das *Site Specific Project* soll eine im Vergleich zu anderen Wohnhochhaus-Projekten der HKHA bessere natürliche Belüftung ermöglichen. In diesem Kapitell soll nun aufgezeigt werden, inwieweit die städtebauliche Positionierung, die Gebäudetypologie und die Fassadenöffnungen Einfluss auf die Wirksamkeit der natürlichen Belüftung der Wohnräume haben. Weiter werden die Möglichkeiten der Speichermassen-Nutzung und die Auswirkungen solarer Einstrahlung in diesem Kapitel untersucht.

4.6.1 Projektbeschreibung

Die Typologie des *Upper Ngau Tau Kok Estate* wurde von der *Hong Kong housing Authority* um die Jahrhundertwende als neue Wohnhochhaus-Typologie geplant und 2009 wurde der gesamte Wohnhochhaus-Komplex fertiggestellt. Zuvor befanden sich auf demselben Gelände Gebäude der *MARK V*-Wohnhochhaus-Typologie von der HKHA. Diese Typologie war schon in den 1960er Jahren entwickelt worden. Bereits 1989 startete die HKHA mit der Neuentwicklung des Wohngebietes. In verschiedenen Schritten wurden die alten Wohnhochhäuser abgerissen und durch die neuen ersetzt, bis 2009 schließlich die fünf alten Wohnblöcke durch sechs neue mit jeweils ca. 780 Wohneinheiten ersetzt waren. Insgesamt wurden mit dem neuen *Upper Ngau Tau Kok Estate* 4.584 neue Wohnungen geschaffen.

Weil diese neue Wohnbebauung höher ist, bietet sie nicht nur auf gleicher Grundstücksfläche für mehr Personen Wohnraum, sondern durch ihre größere Höhe ist in den oberen Stockwerken auch die Luftgeschwindigkeit schneller und damit wirksamer für die natürliche Belüftung. Weiter bietet das neue *Upper Ngau Tau Kok Estate* eine größere Vielfalt an Wohnungstypen. So sind sechs verschiedene Wohneinheitentypen mit 1 bis 2 Zimmern in den Wohnhochhäusern zu finden. Ein wesentlicher Unterschied zu den vorherigen Wohnhaustypen ist die bessere natürliche Belichtung und Belüftung der Erschließungsflure, welche in den jeweiligen Gebäudeflügeln mittig zwischen den Wohnungen angeordnet sind. Auf dem Foto ist ein Wohnungsflur in einem der alten *MARK V*-Wohnhochhäuser der HKHA zu sehen, der hier noch nicht über natürliche Belichtung und Belüftung verfügte.

4.6.1 Projektbeschreibung



03

03 I Standort Fallstudie Hongkong, China (roter Punkt), Kartenausschnitt Asien mit sechs ausgewählten Standorten, Äquator und nördlichem Wendekreis; eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.



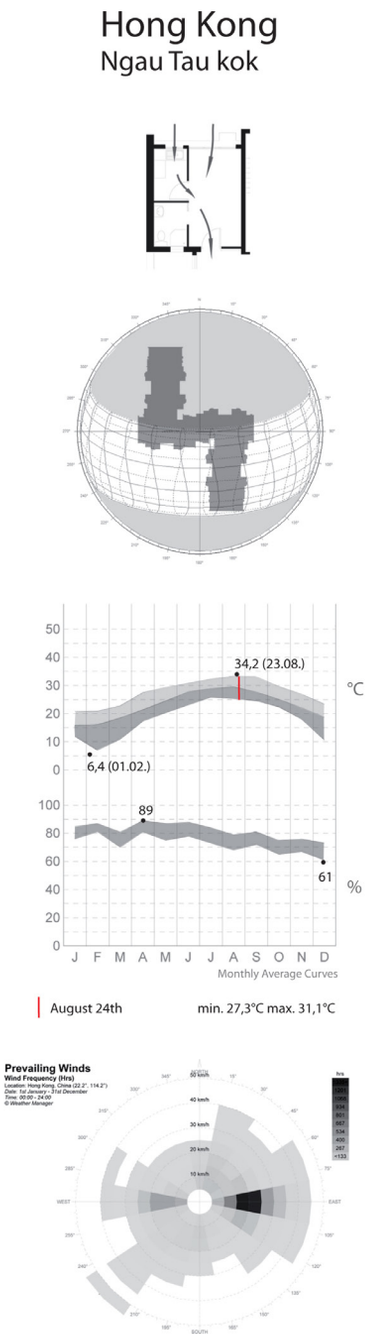
04

4.6.1.1 Klima

Hong Kong liegt mit 22,3° ziemlich genau auf dem nördlichen Wendekreis der Sonne (23,5°) Im Kartenausschnitt Asiens mit den sechs ausgewählten Fallstudien ist der Standort Hongkong (roter Punkt) zu erkennen. Somit kommt die Sonneneinstrahlung gleichmäßig über das ganze Jahr aus dem Norden. Im Gegensatz hierzu variiert die Südeinstrahlung während der verschiedenen Jahreszeiten stark. So gibt es im Winter mehr direkte Süd-Einstrahlung der Sonne als im Sommer. Hierauf wird im Kapitel „Verringerung der solaren Energieeinträge" gleich noch detaillierter eingegangen. Der jährliche Sonnenstand und -verlauf in Hongkong ist in den stereografischen Abbildungen dargestellt. Hongkong hat einen milden Winter mit maximalen Tieftemperaturen von 6,4 °C, und einen heißen Sommer mit einer maximalen Höchsttemperatur von 34,2 °C. Wie im vorherigen Kapitel schon beschrieben, ist das Klima in Hongkong mit dem in Guangzhou vergleichbar, da diese beiden Orte nahe beieinander liegen. Der wesentliche Unterschied dieser beiden Klimastandorte ist die Küstenlage von Hongkong und die kontinentale Lage von Guangzhou. Die Windrichtung erfolgt im Sommer meist aus östlicher Himmelsrichtung vom

04 I Mittlerer Erschließungskorridor eines MARK V-Wohnhochhauses in Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Hong Kong housing Authority, 1998.

4.6.1 Projektbeschreibung



05

05 I Grundriss Upper Ngau Tau Kok Estate, Wohneinheit Nr. 3202; Sonnenstand und -verlauf in stereografischer Abbildung mit Orientierung und Darstellung des Upper Ngau Tau Kok Estate; Temperatur-Jahresmaximum und -minimum sowie jährliche Temperaturdifferenz und relative Luftfeuchte Jahresmaximum und -minimum; Windrose mit Windrichtung, -stärke und -häufigkeit; Klimastandort Hongkong, China, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, Daten überarbeitet mit dem Programm ECOTECT/Weather Manager, Klima-Wetterdaten des U.S. Department of Energy, 2013.

Meer über den Berg und hat am häufigsten eine Windgeschwindigkeit zwischen 15 und 25 km/h. Somit ist die Windstärke hier höher als in Guangzhou, was durch die flache See bedingt ist.

4.6.1.2 Standort

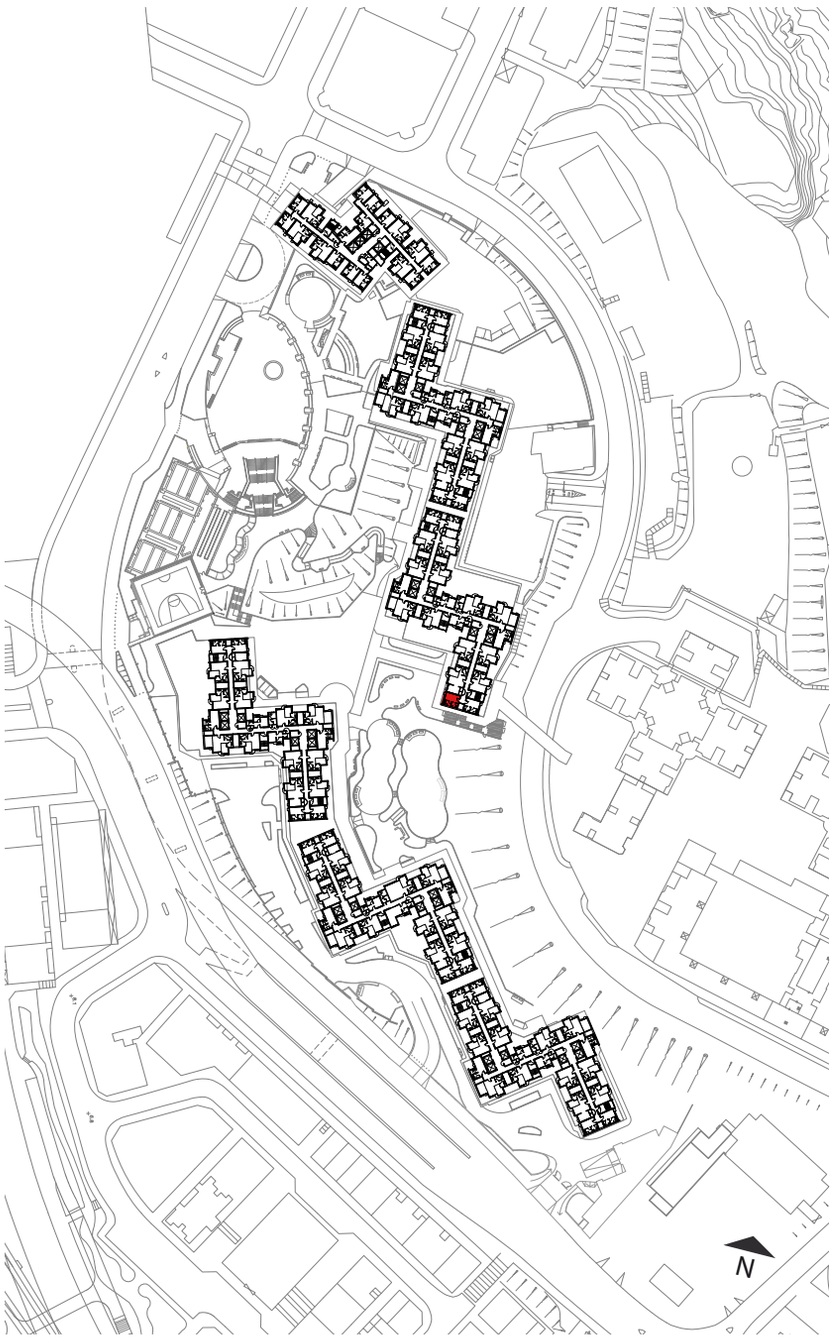
Das *Upper Ngau Tau Kok Estate* liegt in Hongkong im Bezirk *Kwun Tong* im Stadtteil *Kowloon*. *Kwun Tong* ist als einer der 18 Stadtbezirke der am dichtesten bevölkerte Teil Hongkongs mit 55.000 Einwohnern pro Quadratkilometer. Vom Zentrum *Kowloons* ist *Kwun Tong* durch eine Meeresbucht getrennt, in der sich der alte Flughafen *Kai Tak* befindet. Seitdem der neue Flughafen außerhalb in *Chek Lap Kok* 1998 gebaut wurde, wird die künstlich aufgeschüttete Landzunge des *Kai Tak* derzeit mit Wohngebäuden der HKHA revitalisiert. In *Kwun Tong* befindet sich das Areal *Ngau Tau Kok* am Hang in Richtung Bucht. Die Küstenlinie war in der damaligen Zeit, vor den Maßnahmen zur Landgewinnung, wie ein „Ochsenhorn" geformt – dies ist die die wörtliche Übersetzung des Kantonesischen *Ngau Tau Kok*. Der Stadtteil *Ngau Tau Kok* ist mit seinen über 210.000 Einwohnern einer der bevölkerungsreichsten im *Kwun Tong*-Bezirke. Auf der Karte von *Hong Kong Island* und *Kowloon* ist rechts der Bezirk *Kwun Tong* mit der U-Bahn-Station *Ngau Tau Kok* zu erkennen.



06

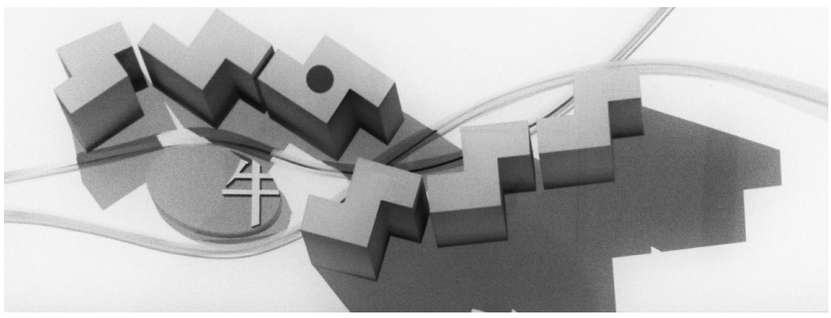
06 I Kartenausschnitt Hong Kong Island und Kowloon, Bezirk Kwun Tong und Ngau Tau Kok, Copyright: Baedeker, Ostfildern-Kemnat 2013.

4.6.2 Natürliche Belüftung



07

07 I Lageplan Upper Ngau Tau Kok Estate, Hongkong, China mit Wohneinheit Nr. 3202 (rot markiert), CAD-basis- Daten von der Hong Kong housing Authority, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.



08

4.6.2 Natürliche Belüftung

4.6.2.1 Städtebauliche Positionierung

Die städtebauliche Positionierung der *Upper Ngau Tau Kok*-Wohntürme basiert erstens auf der Grundstücksform, zweitens auf der Orientierung der Gebäudekörper zum Meer und der parallelen Positionierung zum Berg und drittens auf der vorwiegenden Windrichtung zur Optimierung der natürlichen Belüftung.

1. Aufgrund der unförmigen und unregelmäßigen Grundstücksform wurden die Gebäudekörper nicht im orthogonaler Anordnung, sondern verdreht zueinander platziert. Die beiden schlangenförmigen Gebäude-Arrangements sind unterschiedlich ausgerichtet und der dritte Wohnturm ist jeweils aus der Fluchtachse herausgedreht.

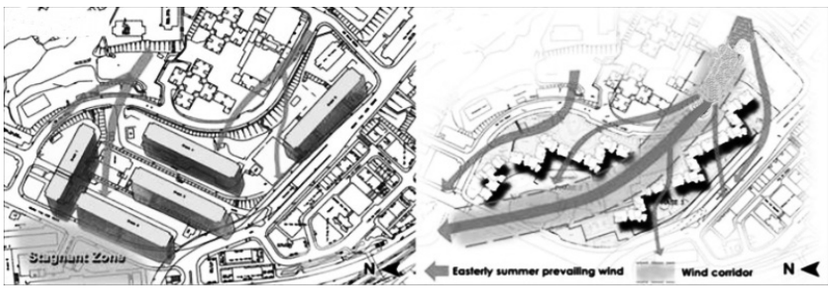
2. Durch die topografische Beschaffenheit, nämlich die Hanglange, sind die Gebäudekörper parallel zu den Höhenlinien des Berges positioniert. Dies bietet für die Mehrzahl der nach Westen orientierten Wohnungen auch einen freien Ausblick zur See bzw. zur Meeresbucht mit der *Kai Tak*-Landzunge.

3. In einer Windstudie der Hong Kong housing Authority sind die alte (links) und die neue (rechts) Bebauung von *Upper Ngau Tau Kok* zu erkennen. In diesem Szenario ist die Hauptwindrichtung aus Osten im Sommer dargestellt. Man erkennt den von Norden nach Osten verlaufenden Windkorridor zwischen den beiden schlangenförmigen Hochhaus-Ensembles aus jeweils 3 Wohnhochhäusern. Dies gibt dem Hauptwindstrom die Möglichkeit, ungehindert durch das Gebäude-Ensemble zu fließen. In diesen beiden Abbildungen ist gut

08 I Icon Upper Ngau Tau Kok Estate, Copyright: Hong Kong housing Authority, 2013, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.2 Natürliche Belüftung

zu erkennen, wie die städtebauliche Anordnung der Gebäude den Windfluss optimiert. Die alten *Mark V*-Wohnhochhäuser standen dagegen regelrecht quer zur Hauptwindrichtung, sodass nicht alle Gebäudeteile optimal natürlich belüftet werden konnten.



09

Die beiden Gebäudestränge sind also hinsichtlich der vorherrschenden östlichen Windrichtung angeordnet und bilden in der Mitte einen Korridor, durch den dieser Wind hindurchgeleitet wird, sodass der Freiraum im ebenerdigen Bereich und die Gebäude gut durchlüftet sind. Im weiteren Verlauf der Windstudie der Hong Kong housing Authority ist die natürliche Querbelüftung der Gebäudekörper bei vorherrschendem Ostwind nochmals im Detail dargestellt. Die zweithäufigste Windrichtung im Sommer ist von Südwesten. Auch bei diesem Wind aus der beinahe entgegengesetzten Richtung funktioniert das Hindurchfließen der Windströmung durch die Gebäudekörper gut. Dies ist in einer weiteren Grafik der Windstudie der Hong Kong housing Authority zu erkennen.

Im Winter beträgt die durchschnittliche Außentemperatur ca. 15 °C. Bei diesen niedrigen Temperaturen wird keine natürliche Belüftung zur Kühlung benötigt. Im Gegenteil werden die Fenster dann geschlossen, damit warme Luft im Innern der Wohnungen bleibt und nicht herausgelüftet wird. Im Winter ist die häufigste Windrichtung aus nördlicher Richtung (siehe dritte Abbildung). Die Gebäudekörper stehen dann tangential zur Windrichtung, der Wind fließt parallel zum Gebäude-Ensemble und die Querlüftung der Wohnkörper ist dementsprechend nicht so intensiv. Somit sind die Gebäudekörper hinsichtlich der jahreszeitenbedingten Windrichtungen und Anforderungen optimal positioniert.

09 | Windstudie mit Hauptwindrichtung aus Osten im Sommer in Upper Ngau Tau Kok: alte Mark V-Bebauung links und neues Site Specific Project rechts; Windstudie Hong Kong housing Authority, 2009; grafische Überarbeitung: Ferdinand Oswald, 2014.



10

4.6.2.2 Gebäudestruktur

Die Typologie der 5 identischen Wohnhochhaustürme ist für das *Upper Ngau Tau Kok Estate* neu entwickelt worden. Fünf der sechs Wohntürme sind identisch, um mit geringerem Planungsaufwand und durch Vorfertigung der Gebäudeelemente die Kosten gering zu halten. Lediglich der sechste Wohnturm unterscheidet sich in seiner Gebäudeform von den anderen. Die Gebäude-Schenkel sind für eine ideale Positionierung auf dem Bebauungsgrundstück etwas verdreht, sodass sie nicht vollständig im orthogonalen Raster stehen. Bei allen einzelnen Gebäudetürmen sind die L-förmigen Gebäudeflügel in der Mitte symmetrisch gespiegelt und kopiert, sodass ein S-förmiger Gebäudekörper entsteht: Jeder Gebäudeturm besteht also aus zwei L-Schenkeln, die identisch sind. In jedem Gebäudeschenkel befindet sich ein Erschließungskern mit 3 Aufzügen und Fluchttreppenhaus. In der Mitte der beiden Schenkel, also an der Spiegelachse, befindet sich ein drittes Treppenhaus. Auf einem Geschoss sind 20 Wohneinheiten untergebracht. Die Höhe der 6 Türme variiert zwischen 35 und 40 Geschossen. Das hier untersuchte Gebäude ist der Wohnturm Nr. 4 mit 40 Geschossen. Im Erdgeschoss, das in Hongkong als erstes Geschoss bezeichnet wird, befinden sich halböffentliche Aufenthaltsbereiche. Das Gebäude hat demnach also 39 bewohnte Geschosse mit insgesamt 780 Wohneinheiten. Es gibt einen zentralen Erschließungsgang, über den sich alle Wohneinheiten erreichen lassen.

10 | Windstudie mit Hauptwindrichtung aus Osten im Sommer (links), aus Südwesten im Sommer (Mitte) und aus Norden im Winter (rechts), Upper Ngau Tau Kok Estate; Windstudien: Hong Kong housing Authority, 2009; grafische Überarbeitung: Ferdinand Oswald, 2014

4.6.2 Natürliche Belüftung

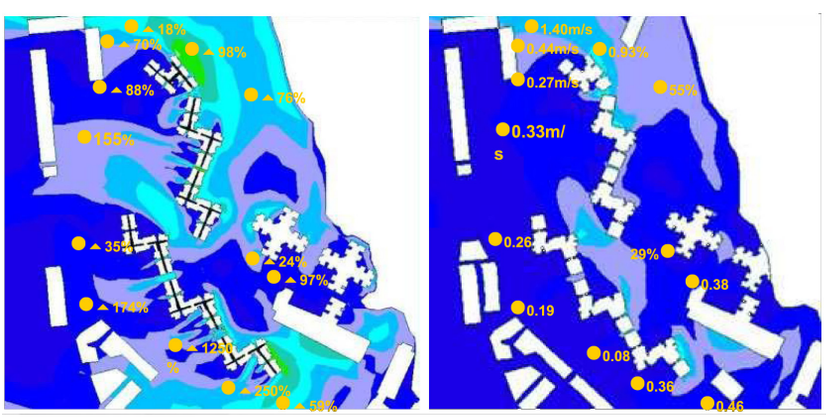


11

11 | Grundriss Wohnturm Nr. 4 des Upper Ngau Tau Kok Estate mit Wohneinheit Nr. 3202 (rot markiert), mit Spiegelachse, Messpunkten der Windgeschwindigkeitsmessungen, Windrichtung, Unter- und Überdruck (+ oder -) im 24-Stunden-Messzeitraum am 24./25. August 2013; CAD-basis-Daten von Hong Kong housing Authority, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.2.3 Fassade

Ein typisches Merkmal der Wohnhochhaus-Typologien der HKHA sind die Rücksprünge in der Fassade, die als vertikale Lüftungskorridore fungieren, um die Badezimmer und teilweise auch die Küchen zu be- und entlüften. Eine Besonderheit der *Upper Ngau Tau Kok*-Typologie ist die Ausführung dieser Einschnitte bis zu den Korridoren (Erschließungsgängen). In den beiden mittleren Schenkelbereichen durchstößt diese Aussparung die gesamte Grundrisstiefe. Dies ist ein wesentliches Merkmal der *Upper Ngau Tau Kok*-Wohnbebauung und macht sie so speziell. Die HKHA untersuchte die Wirkungsweise der natürlichen Querlüftung anhand von computerunterstützter Windsimulation, indem sie die Windgeschwindigkeiten am Gebäude mit geöffneten und geschlossenen Korridoren überprüfte. In den beiden Grafiken der Windsimulationen ist rechts die geringere Luftgeschwindigkeit in den dunkelblauen Flächen zu erkennen. Links ist die höhere Luftgeschwindigkeit in hellblauen bis hellgrauen Farbflächen dargestellt. Im Detail ist die intensive Durchströmung dieser beidseitig geöffneten Öffnungen der Erschließungsgänge in diesen Simulationsgrafiken zu erkennen.



12

Im Wohnhochhaus Nummer 4, dem *Sheung Wing House,* wurde im 32sten Stockwerk an 17 verschiedenen Fassadenöffnungen und im 41sten Stockwerk, auf dem Dachobergeschoss, die Windintensität in Form der Windgeschwindigkeit in einem Zeitraum von 24 Stunden mit einem einstündigen Messintervall aufgenommen. Der Grundriss zeigt die Messstellen, die Wind-Ein- und -Ausfluss-Richtungen sowie die Unter- und Überdruckverhältnisse

12 | Windsimulation: geöffnete Korridore (links) und geschlossene Korridore (rechts) mit Hauptwindrichtung aus Osten im Sommer im Upper Ngau Tau Kok Estate; Windsimulationen: Hong Kong housing Authority, 2009; grafische Überarbeitung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.2 Natürliche Belüftung

(+ oder -) im Messzeitraum am 24. und 25. August 2013. Zum Messzeitraum herrschte eine Windrichtung ausschließlich von Osten (siehe Pfeil „Wind Direction"). Interessanterweise verläuft der Windstrom an der Westfassade entgegengesetzt zur östlichen Windrichtung in das Gebäudeinnere hinein. Bei Betrachtung der Wohneinheit Nr. 02 (im Grundriss rot markiert), welche sich an dieser westlichen Fassade befindet, strömt der Wind in umgekehrter Richtung zur Windrichtung durch die Fassadenöffnungen hinein. Dies ist mit den Luftdruckunterschieden zu erklären, die bei der Betrachtung des gesamten Gebäudekomplexes ersichtlich werden – hier im Grundriss ist ein Überdruck jeweils mit (+) und ein Unterdruck mit (-) gekennzeichnet. Das hoch im Wind stehende Gebäude erzeugt bei verschiedenen Windrichtungen unterschiedliche Luftdruckzustände. An der windzugewandten Seite entsteht normalerweise ein Überdruck und auf der Rückseite, der windgeschützten Seite ein Unterdruck. An der Westfassade der untersuchten Wohneinheit verhält es sich jedoch anders: Obwohl sich die Fassade an der windabgewandten Seite befindet, herrscht hier ein Überdruck, der das Einströmen der Luft in die Wohneinheit bewirkt. Zu erklären ist dies, da sich die Wohneinheit direkt an der Außenecke des Gebäudes befindet, mit starken Verwirbelungen, die an den Ecken des Gebäudes entstehen. Dabei wird die Luft an der Kante des Gebäudes um die Ecke gepresst und so der positive Luftdruck erzeugt. Weiter gibt es auch Auf-und-Ab-Strömungsrichtungen der Luft. Diese sind zum Beispiel durch Erwärmungen der Luft verursachte aufsteigende Windströmungen. Solche Faktoren können ebenfalls zu Veränderungen der Luftdruckeigenschaften an der Fassade des Gebäudes führen.
Bei der Versuchsdurchführung mit Windgeschwindigkeitsmessungen an den Fassadenöffnungen wurden Spitzenwindgeschwindigkeiten von bis zu 3,1 m/s bei einer Außenluftgeschwindigkeit von 1,7 m/s gemessen. Die Außenluftgeschwindigkeit (Messpunkt 1^) wurde unabhängig vom Gebäudekörper im Freiraum zwischen den beiden Gebäudekomplexen ebenerdig aufgenommen. Eine Windgeschwindigkeit von 1,7 m/s entspricht der Windstärke 2. Eine Windgeschwindigkeit von 3,1 m/s entspricht einer Windstärke von 3. Aber auch niedrigere Windgeschwindigkeiten (0,8 m/s) können schon für einen ausreichenden Windfluss zur Herstellung einer Behaglichkeit in den Wohnräumen sorgen.
An den Korridoröffnungen (Messpunkte 7^ und 11^) wurden hauptsächlich hohe Luftgeschwindigkeiten zwischen 1,5 und 2,2 m/s gemessen.

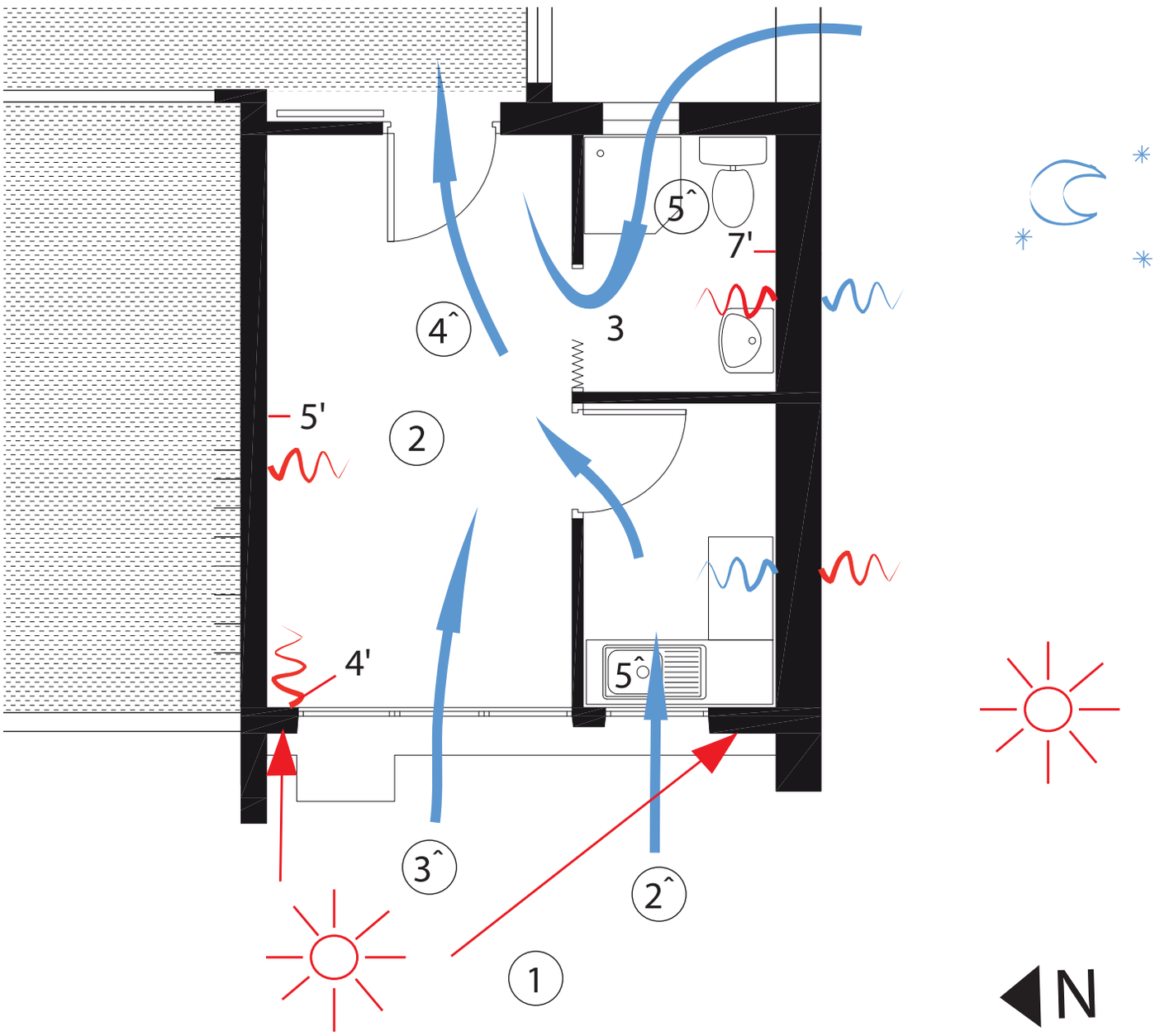
Diese Öffnungen im zentralen, mittleren Bereich des Gebäudekörpers sind demnach für die natürliche Querlüftung sehr wirksam positioniert.
Während des Messzeitraumes gab es auch eine Phase zwischen 17:00 und 1:00 Uhr, in der fast komplette Windstille herrschte und an vielen Messpunkten lediglich eine Windstärke von 0,0 bis 0,5 m/s gemessen werden konnte. Ohne Windbewegung wurden die hohe Luftfeuchtigkeit (90 %) und die hohe Temperatur (29,2 °C) als unbehaglich empfunden.

4.6.2.4 Grundrisse

Als Untersuchungsobjekt wurde die Wohneinheit Nr. 3202 von der HKHA für einige Tage zur Verfügung gestellt. Sie befindet sich im 32sten Stockwerk und ist die Wohneinheit Nr. 02 in dieser Etage. Dieser kleinste Wohnungstyp im *Upper Ngau Tau Kok Estate* wird als „small flat" bezeichnet, da er nur 18,27 m2 Nettofläche hat und für einen einzelnen Bewohner vorgesehen ist. Neben einem zentralen Zimmer mit Wohnungseingangstür gibt es eine kleine Küche, beide mit Fensteröffnung nach Westen. Ein kleines Badezimmer mit Dusche befindet sich zwischen der Küche und einem vertikalen Lüftungskorridor. Zu diesem nach Süden geöffneten Luftschacht gibt es im Badezimmer eine kleine Öffnung in der östlichen Außenwand, ersichtlich im Wohnungsgrundriss der Wohneinheit Nr. 3202.

Durch die beidseitigen Öffnungen in den Erschließungsgängen wird nicht nur die Querlüftung an dieser Stelle verursacht, sondern es wird auch ein erheblicher Windstrom durch das ganze Gebäude erzeugt, welcher die Querlüftung der gesamten Wohneinheiten unterstützt. Hierbei wird im Erschließungsgang ein Unterdruck erzeugt, der die Luft aus den Wohnungen förmlich herauszieht. Damit wird eine Querlüftung der Wohneinheiten über den Erschließungsgang ermöglicht. Die Bewohner des *Upper Ngau Tau Kok* Estate beurteilen die Möglichkeit einer Querlüftung der Wohnungen über den Erschließungsgang als sehr angenehm und nutzen diese, indem sie ihre Wohnungstüren öffnen. Hier wurden an den Messpunkten 14 ^ und 15 ^ Höchstluftgeschwindigkeiten von bis zu 2,6 m/s gemessen. Auch an der Wohnungseingangstür der Wohneinheit Nr. 3202 wurden an dieser Stelle (4 ^) hohe Luftgeschwindigkeiten von bis zu 2,9 m/s erfasst. Alle drei Messungen wurden zu einem ähnlichen Zeitpunkt durchgeführt, bei dem es

4.6.2 Natürliche Belüftung



13

13 | Grundriss Wohneinheit Nr. 3202 im Upper Ngau Tau Kok Estate, Hongkong, China, mit Querlüftung und thermischer Masse, tagsüber und nachts, mit Messpunkten der Luft- und Oberflächentemperaturmessungen sowie Windgeschwindigkeitsmessungen, CAD-basis-Daten von *Hong Kong housing Authority*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

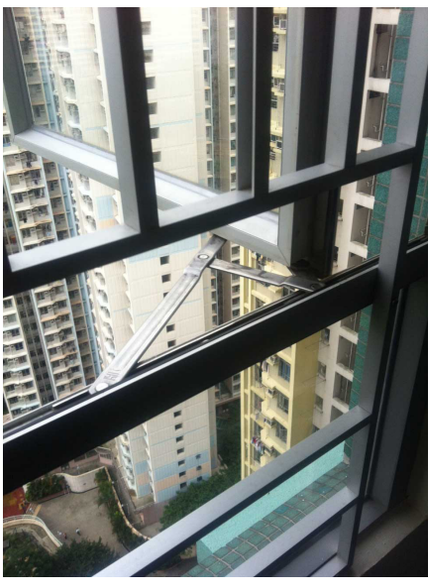
eine Außenluftgeschwindigkeit (Messpunkt 1^) von nur 1,5 m/s gab. Somit ist die Querlüftung durch die Wohnungseingangstüren sehr wirksam und stellt hier sogar eine höhere Luftgeschwindigkeit her als die der Außenluft. Dies kann damit begründet werden, dass die Querlüftung durch die weit entfernten Öffnungen im Erschließungsgang sehr wirksam funktioniert, weil der Luftdruck an der Fassade durch diese kleinen Öffnungen gepresst wird. Die Luftgeschwindigkeiten sind an den Eingangstüren der Wohnung höher als an den Fensteröffnungen der Fassade. An den beiden Öffnungen der Westfassade von Küche und Hauptraum wurden lediglich Luftgeschwindigkeiten von max. 2,4 m/s gemessenen. Dies ist damit zu begründen, dass die Querschnittsfläche der beiden Öffnungen in der Summe größer ist, als die der Wohnungseingangstüre und gleich viel Luft durch diese in der Summe größeren Fassadenöffnungen einströmen muss wie durch die kleinere Eingangstür, aus der Wohnung wieder herausfließt. Der Luftdruck ist an dieser Stelle also gleich groß und der Luftfluss wird durch die kleinere Öffnung schneller. Hinzu kommt, dass durch die Badezimmer-Öffnung noch zusätzlich Luft einströmt. Dieser Luftstrom fließt vom vertikalen Belüftungskorridor von Südosten her in das östlich positionierte Badezimmerfenster ein und durch das Badezimmer in den Wohnraum hinaus, wo die Luft gemeinsam mit dem Hauptluftwindstrom aus der Wohnungstüre hinausfließt. Diese Badezimmer-Öffnungen sind auf den beiden Fotos der vertikalen Lüftungskorridore ersichtlich.



14

14 | Vertikaler Lüftungskorridor mit Badezimmer-Öffnung und außenliegendes Rohrsystem für Wasserver- und -entsorgung im Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.2 Natürliche Belüftung



15



16

15 I Detail Wohnzimmerfenster von Wohneinheit Nr. 3202 im Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

16 I Wohnzimmerfenster von Wohneinheit Nr. 3202 im Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.2.5 Öffnungen

Fensteröffnungen:
Die Fenster der Öffnungsflügel und die Fensterrahmen sind aus Aluminium hergestellt. Dieses Material hat den Vorteil, dass es auch bei hoher Luftfeuchtigkeit witterungsbeständig ist und nicht korrodiert, was aufgrund der häufigen hohen Luftfeuchtigkeit in Hongkong von großer Wichtigkeit ist.
Die Fassadenöffnungen der Wohnungen mit verschieden verglasten Fenstern sind auf dem Foto ersichtlich. In der Mitte der größten Öffnung befinden sich zwei große, nach außen zu öffnende Fensterflügel. Oberhalb davon gibt es zwei kleinere Flügel im oberen Fensterbereich und unterhalb zwei Festverglasungen im Brüstungsbereich. Rechts oberhalb der großen Öffnung gibt es eine zusätzliche Öffnung, die für die Montage und Revisionierbarkeit der Split-Klimaanlage vorgesehen ist. Da sie bei Positionierung einer Klimaanlage verstellt ist, erlaubt sie in diesem Fall weniger Lufteinlass und Lichteinfall.
Alle diese Fenster, mit Ausnahme derer im Brüstungsbereich, lassen sich öffnen und sind mit einem Stellmechanismus bestückt, der die Fixierung in der gewünschten Position ermöglicht. Somit können die Bewohner den Öffnungsquerschnitt, den sie sich je nach den äußeren Witterungsbedingungen wie Windstärke, Lufttemperatur und -feuchte wünschen, exakt einstellen. Die



17

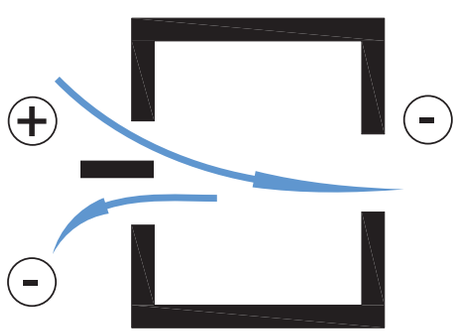
17 I Fassadenansicht mit Wohneinheit Nr. 02, Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Ferdinand Oswald, 2013

4.6.2 Natürliche Belüftung

eingestellte Position der Fensterflügel bleibt auch bei stärkerem Wind in der gleichen Stellung fixiert. Die unterschiedlichen Öffnungen sind in der Ansicht der Fassade mit Wohneinheit Nr. 02 (links außen) ersichtlich. Die Fenster sind hinsichtlich der natürlichen Belüftung und der Kontrollierbarkeit des Luftstroms für diesen Standort also gut geeignet und gut bedienbar.

Die Fensterflügel haben ihren Drehpunkt mit Scharnieren nicht am äußeren Fensterrahmen, sondern in ca. 10 cm Abstand zu diesem. Dadurch entsteht im geöffneten Zustand ein Spalt zwischen Rahmen und Öffnungsflügel. Durch diesen Schlitz können die Bewohner problemlos die Außenseite der Fensterglasscheiben reinigen, ohne sich weit aus dem Fenster herauslehnen zu müssen. Dies ist sehr sinnvoll, weil bei den enormen Geschosshöhen das Herausfallen hier eine erhebliche Gefahr darstellt.

Diese Positionierung der Fensterflügel mit ihrem Drehpunkt nicht am Seitenrand hat zur Folge, dass die Öffnung in mehrere kleinere Durchlässe aufgeteilt wird. Diese Aneinanderreihung von Durchlässen könnte, neben der Querlüftung, auch einer einseitige Belüftung Wirkung verleihen. Bei einem solchen vertikal herauskragenden Fensterflügel oder Wandelement entsteht auf der windabgewandten Seite ein Unterdruck. Wenn sich hier eine Öffnung befindet, kann die Luft im Windschatten (Unterdruck) aus dieser Öffnung hinausströmen. Schematisch ist dieses Prinzip in der Grafik dargestellt. Ob diese Möglichkeit der einseitigen Belüftung die Wirkung der Querlüftung abschwächt, ist bislang noch nicht wissenschaftlich untersucht worden.
Die Brüstungshöhe ist mit 1,10 m nach der Bebauungsrichtlinie in Hongkong ausgeführt. Es gibt allerdings noch ein zusätzliches Sicherheitsgitter, da Kleinkinder auf einen Stuhl, einen Tisch oder einen ähnlichen Gegenstand steigen



18

18 | Luftdruckniveaus bei auskragendem Wandelement in der Mitte einer Wandöffnung, Darstellung im Grundriss: Ferdinand Oswald, 2014.

könnten, um diese Barriere zu überwinden. Deshalb ist hier über die gesamte Höhe der Fensteröffnungen ein Sicherheitsgitter angebracht.

Türöffnungen:
Die wirksame Querlüftung funktioniert über die Wohnungseingangstüren. Hier stellt sich die Problematik der Gewährleistung der Intimsphäre und der Sicherheit vor unbefugtem Eindringen bei geöffneter Tür. Auch hierfür wurde eine gute Lösung gefunden: Es gibt an den Wohnungseingängen zwei Türenen: ein herkömmliches windundurchlässiges, opakes Holz-Flügeltürblatt, das beim Verlassen der Wohnung geschlossen wird. Die zweite Tür ist eine Holzgitter-Schiebetür, welche durch Zuschieben geschlossen werden kann. Durch die Gitterstruktur kann Luft hindurchfließen und gleichzeitig schützt sie vor unbefugtem Zutritt. Lediglich ein Hineinschauen durch die Holzgitterroststäbe ist möglich. Dieses wird von den Bewohnern teilweise durch das Anbringen von Textil-Vorhängen unterbunden, welche jedoch nicht die Nutzung der natürlichen Querlüftung verhindern.

19 20





19 I Geschlossene Wohnungseingangstüre von Wohneinheit Nr. 3202 mit Blickwinkel vom Erschließungskorridor im Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

20 I Geöffnete Wohnungseingangs- und Schiebetüre von Wohneinheit Nr. 3202 mit Blickwinkel aus der Wohnung im Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.3 Verringerung der solaren Energieeinträge

4.6.3.1 Orientierung und Direkteinstrahlung

Es wichtig und notwendig, am Klimastandort Hongkong zu untersuchen, ob eine Verschattung der Fassadenfläche durch in der Nähe stehende Gebäude die solaren Energieeinträge verringert. Dies sollte mit einem Computer-Sonnenstandsberechnungs-Programm untersucht werden. Hier werden die Gebäudekörper dreidimensional erstellt und die Einfallrichtung der direkten Sonneneinstrahlung zu unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten wird untersucht. Dies wurde bereits in Kapitel „3.4.2 Solare Energieeinträge" beschrieben und anhand des Projektes *Sau Mau Ping South Estate* durchgeführt, das ebenfalls von der HKHA erstellt wurde und sich ebenso in *Kwun Tong* befindet. Deshalb soll diese Methodik der Untersuchung hier nicht noch einmal detailliert aufgeführt werden. Vielmehr sollen hier nun die realen Direkteinstrahlungen aus den einzelnen Himmelsrichtungen untersucht und die daraus resultierenden notwendigen Anforderungen an die Fassaden aufgezeigt werden.

Wie schon anfangs beschrieben, liegt der Standort von Hongkong mit einem Breitengrad von 22,3° in der Nähe des nördlichen Wendekreises der Sonne (23,5°). Die Auswirkungen der solaren Direktstrahlung aus den unterschiedlichen Himmelsrichtungen und somit auf die verschieden Fassadenseiten des Gebäudes, sind in den Diagrammen gut zu erkennen. Im ersten Diagramm mit den blauen Balken zur Nord-Direkteinstrahlung ist zu sehen, wie sich die Sonneneinstrahlung aus dem Norden über das ganze Jahr verhält, wobei die Höhe der blauen Balken die Intensität der Direktstrahlung in kJ/m² angibt und auf der x-Achse die gesamten Stunden des Jahres 2013 (8760 Std.) abgebildet sind. Hier lässt sich erkennen, dass die Sonnenstrahlung von Norden das ganze Jahr hindurch gleichmäßig relativ gering ist mit einer max. Direktstrahlung von 1.200 kJ/m². Eine stärkere Sonneneinstrahlung gibt es von Osten und Westen. Im zweiten Diagramm lässt sich für Osten (hellblau) und Westen (orange) eine Direktstrahlung von maximal 3.000 kJ/m² erkennen. Die Südeinstrahlung variiert über das Jahr sehr stark; aus dieser Richtung gibt es im Winter wesentlich mehr Einstrahlung als im Sommer. Dies ist im dritten Diagramm mit den grünen Balken zu erkennen. In der heißen Jahreszeit in der

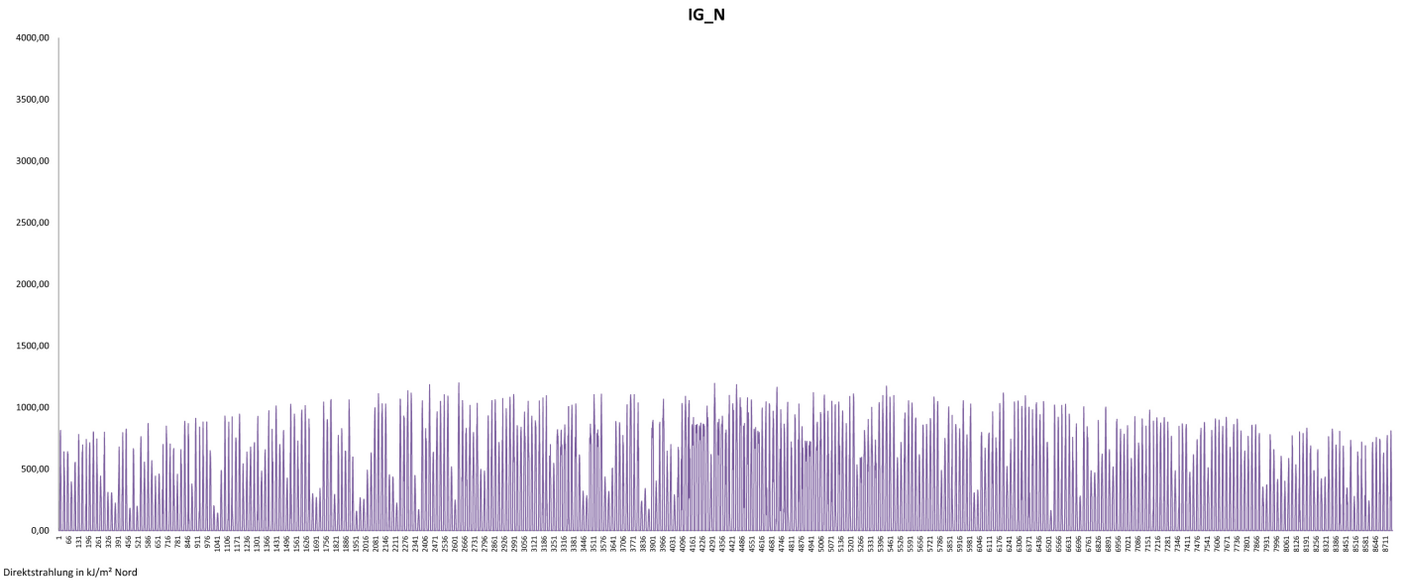
Mitte des Diagramms bilden die Balken eine Mulde und zum Jahreswechsel, in der kühleren Jahreszeit, sind die grünen Balken höher. Hier lässt sich im Winter eine Direktstrahlung von maximal 2.750 kJ/m² und im Sommer von nur maximal 1.250 kJ/m² erkennen.
Im vierten, roten Diagramm ist die horizontale Direktstrahlung dargestellt. Hier wird die auf eine 1 m2 große horizontale Fläche auftreffende Sonnenstrahlung gemessen. Es ist zu erkennen, dass die so gemessene Direktstrahlung sehr hoch ist, mit einer maximalen Direktstrahlung von 3.850 kJ/m². Das bedeutet das die horizontale Dachfläche die höchste Direkteinstrahlung erfährt.

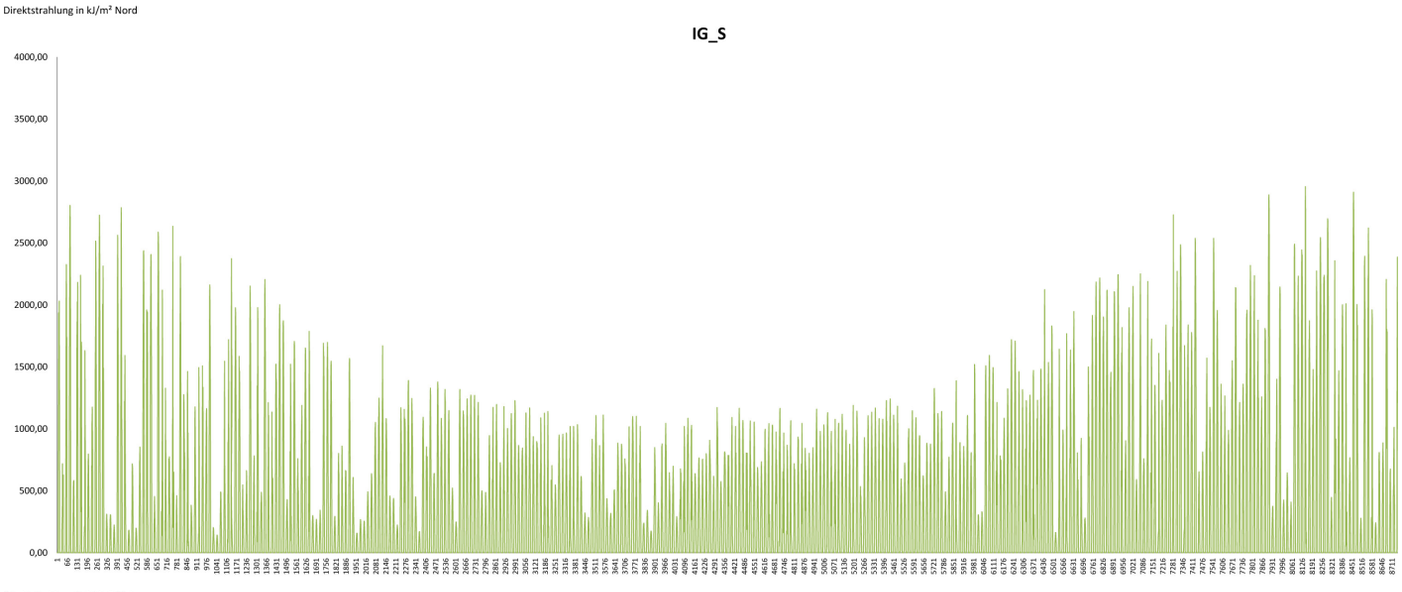


21

21 I Vogelperspektive Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Hong Kong housing Authority, 2013.

4.6.3 Solare Energieeinträge



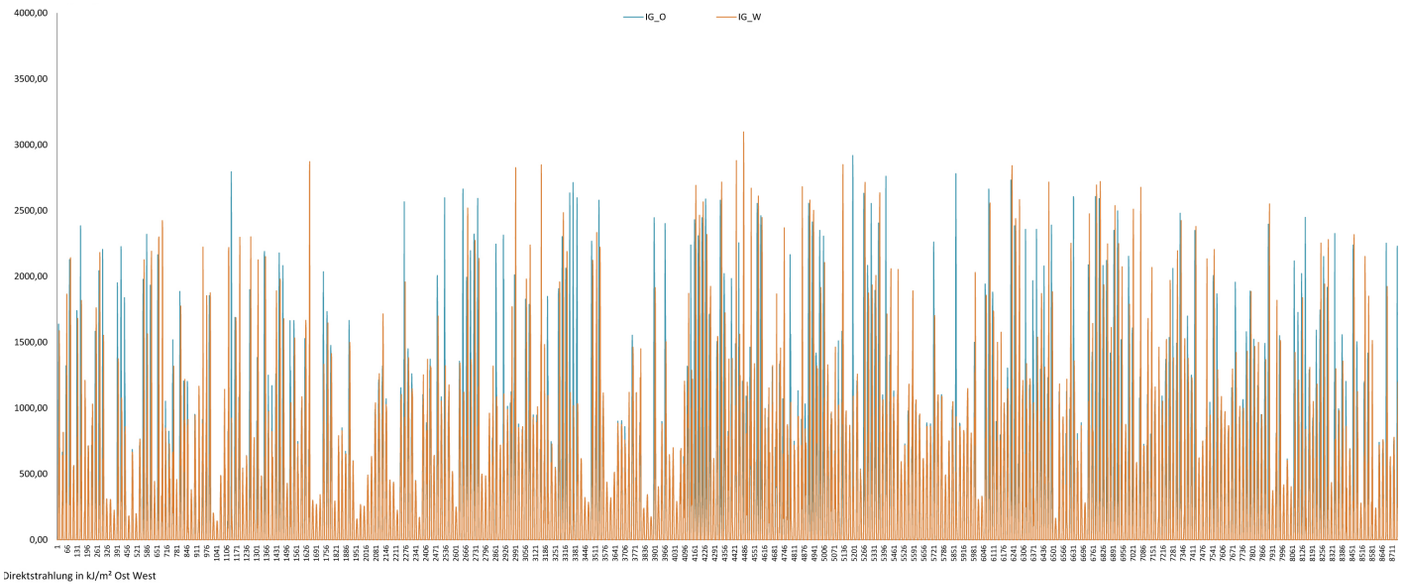


Hong Kong Observatory Standortname	22.3 Geogr. Breite [°N]	114.167 Geogr. Länge [°E]
450050 WMO	62 Höhe [m ü. M.]	V, 2 Klimazone

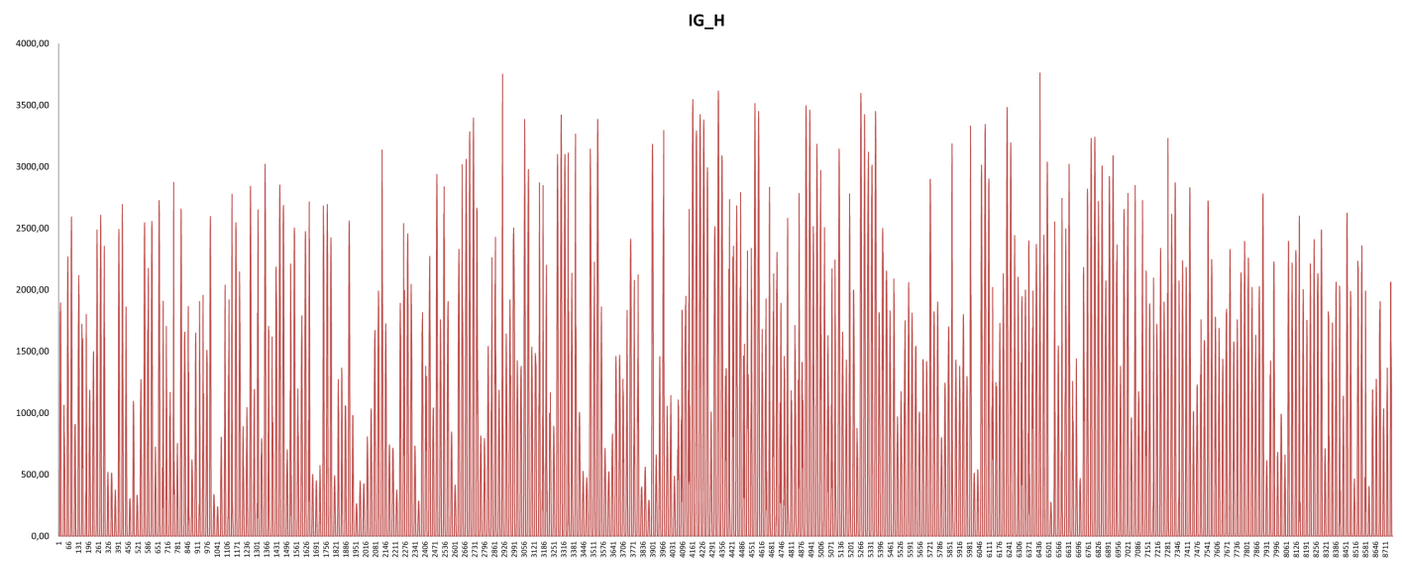
22

22 | Norden und Süden: Solare Direktstrahlung in kKJ/m² in Jahresstunden am Klimastandort Hongkong, China; Klimadaten accii-Datensätze von Dr. Heimrath, Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, 2014; Diagramme: Ferdinand Oswald, 2014.

4.6.3 Solare Energieeinträge



Direktstrahlung in kJ/m² Ost West



Direktstrahlung in kJ/m² Horizontal

Hong Kong Observatory
Standortname

450050	22.3	114.167
WMO	Geogr. Breite [°N]	Geogr. Länge [°E]
62	V, 2	
Höhe [m ü. M.]	Klimazone	

23

23 | Westen, Osten und Horizontale: Solare Direktstrahlung in kKJ/m² in Jahresstunden am Klimastandort Hongkong, China; Klimadaten accii-Datensätze von Dr. Heimrath, Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz, 2014; Diagramme: Ferdinand Oswald, 2014.

4.6.3 Solare Energieeinträge

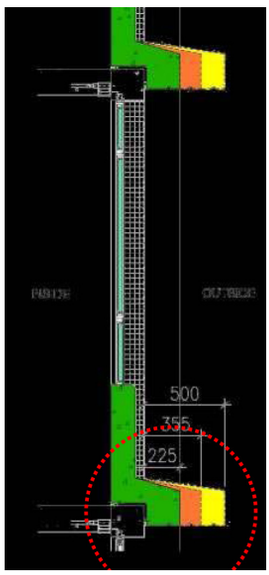


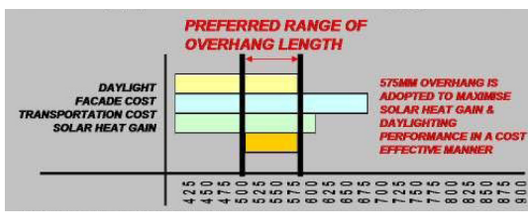
24

24 | Fassadenansicht mit dunkeltürkis gestrichenen Geschossen 20–40, jeweils Wohneinheit Nr. 02 des Upper Ngau Tau Kok Estate, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

Für die Wohnhochhäuser der HKHA ab den 1980er Jahren sind die horizontalen und vertikalen auskragenden Wandelemente an den Fassaden typisch. Sie bilden eine haptische Fassadenstruktur aus und können als Verschattungselemente fungieren. Somit bewirken sie einen Schutz vor solaren Energiegewinnen. Die HKHA stellte eine Untersuchung an, um die Tiefe dieser Überhänge zu optimieren. Hierbei wurden bei verschiedenen Auskragungslängen folgende vier Kriterien untersucht und ausgewertet: die Intensität des natürlichen Tageslichteinfalls, die Kosten des Fassadenmaterials, die Kosten für den Transport der Betonfertigteile auf die Baustellen und die Höhe der solaren Energieeinträge.
Im Diagramm ist grob dargestellt, dass die HKHA bei Berücksichtigung dieser Kriterien auf eine optimale Auskragungstiefe in einem Bereich zwischen 50 und 57,5 cm kommt. Allerdings sind die Kosten in dieser Studie ein wichtiges Kriterium und werden hier erstens als Herstellungs- und zweitens als Transportkosten gewertet, sodass sie in der Bewertung stark gewichtet sind. Im Ergebnis der Bewertung, werden die Überhanggrößen nun in allen Gebäudefassaden der HKHA identisch ausgeführt. Die Tiefe dieser Wandscheiben sollte jedoch nach dem jeweiligen Sonneneinfallwinkel und den Himmelsrichtungen optimiert ausgerichtet sein, um ihre Wirksamkeit zu verbessern. Dies würde allerdings bedeuten, dass eine größere Anzahl unterschiedlicher Bauteile für die Fertigteil-Fassadenelemente hergestellt werden müssten, was gleichfalls die Kosten steigern würde.
Um die solaren Energiegewinne zu reduzieren, hat die HKHA die solare Einstrahlung auf die Fassadenflächen nach dem HK-BEAM Credit System analysiert. In den Beispielgrafiken sind Fassadenabschnitte (links) des Projektes *Sau Mau Ping South Estate* mit unterschiedlichen solaren Energieeinträgen (rechts) zu sehen. Dieses OTTV- Diagramm (Overall Thermal Transfer Value) stellt eine Methodik dar, den Energiefluss durch die Hülle eines Gebäudes in Abhängigkeit von verschiedenen solaren Einstrahlungen (Sonnenverlauf) farbig darzustellen. Im Beispiel steht die Farbe orange für sehr hohe, gelb für mittlere und grün für geringe solare Energieeinträge. Die HKHA verwendet diese Diagramme dann für die Fassaden-Farbkonzepte: Die Fassaden werden an den Stellen mit hohen Energieeinträgen in helleren Farben gestrichen, welche die solaren Energiegewinne weniger absorbieren.

4.6.3 Solare Energieeinträge





25 26



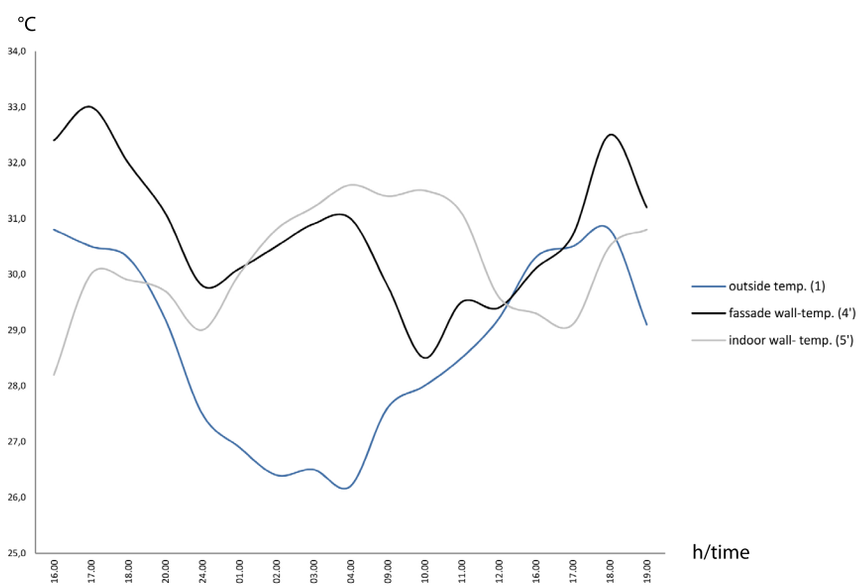
27

25 | Studie zur Auskragungstiefe der horizontalen Fassadenelemente (Maßeinheiten in mm); Studie: Hong Kong housing Authority, 2009; grafische Überarbeitung: Ferdinand Oswald, 2013.

26 | Analyse zur Auskragungstiefe der horizontalen Fassadenelemente, Maßeinheiten in mm; Analyse: Hong Kong housing Authority, 2009; grafische Überarbeitung: Ferdinand Oswald, 2013.

27 | Foto und Diagrammansicht der solaren Energieeinträge nach dem HK-BEAM Credit System, Sau Mau Ping South Estate; Copyright: Hong Kong housing Authority, 2009, Quelle: Dr. Nirmal Kishnani, Greening Asia, Emerging Principles for Sustainable Architecture, 2012, S. 226.

Zur Ermittlung der solaren Energieeinträge wurde an der Westfassade der Wohneinheit Nr. 3202 die Oberflächentemperatur innenseitig gemessen (Messpunkt 4'). Hierbei stellte sich heraus, dass sich diese Fassade trotz der auskragenden Fassadenelemente stark durch Westsonnen-Einstrahlung aufheizte und der dunkeltürkise Anstrich der massiven Fassadenbauteile dies noch verstärkte. Die Fassadenansicht mit den dunkeltürkis gestrichenen Geschossen 20–40 der jeweiligen Wohneinheiten Nr. 02 ist auf dem Foto zu sehen. Die Messung der Oberflächentemperatur der massiven Wohnungstrennwand, die mit der Außenfassade verbunden ist, zeigte, dass diese Wohnungswand die Wärme bis zu 4 Meter ins Wohnungsinnere hineinleitet und kontinuierlich ganzflächig Wärme abstrahlt (Messpunkt 5'). Im Diagramm der Fassaden-Oberflächentemperaturen der Westfassade ist an der schwarzen Linie (4') zu erkennen, dass sich die massive Fassadenwand bis zu 31 °C aufheizte. Die nächtliche kühlere Außentemperatur, die durch die blaue Linie (Messpunkt 1) dargestellt ist, kann die Temperatur der Fassade nur gering herunterkühlen. Die massive Innenwand leitet diese große Menge an solarer Wärmeenergie ins Innere weiter und hat dann in den Nachtstunden sogar eine höhere Temperatur als die Fassadenwand. Dies ist im Diagramm an der hellgrauen Linie (Messpunkt 5') erkennbar.



28

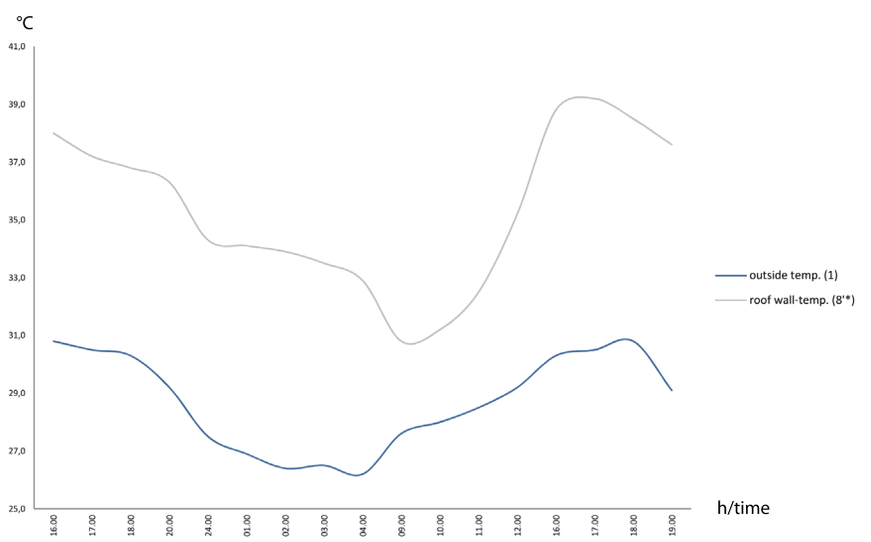
28 | Fassaden-Oberflächentemperaturen der Westfassade und Außenlufttemperatur aus 24-Stunden-Messungen, Upper Ngau Tau Kok Estate, Hongkong, China; Messungen vom 24. August 2013, 16:00 Uhr bis zum 25. August 2013, 19:00 Uhr; 1: Außentemperatur, 4': Fassaden-Oberflächentemperatur außen, 5': Fassaden-Oberflächentemperatur innen; eigene Darstellung Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.3 Solare Energieeinträge

4.6.3.3 Dachfläche

Die Messung der Oberflächentemperatur der massiven Stahlbeton-Dachplatte ergab eine starke Aufheizung durch solare Strahlung. Dies ist im Diagramm Dach-Oberflächentemperaturen ersichtlich. Das Flachdach heizte sich tagsüber auf bis zu 39 °C auf und kühlte sich in der Nacht bei der geringsten Außentemperatur von 26,2 °C nur bis auf 30,8 °C wieder ab. Das heißt, dass die massive Deckenplatte durch die solare Aufwärmung nie die nächtliche Außentemperatur annehmen kann und folglich kaum abkühlen. Sichtbar in dies an der hellgrauen Linie (Messpunkt 8') im Vergleich zur Außenlufttemperatur (Messpunkt 1'), die durch die blaue Linie dargestellt ist.
Damit diese größeren solaren Energieeinträge nicht ins Gebäudeinnere gelangen, sollten Dachflächen vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt werden.

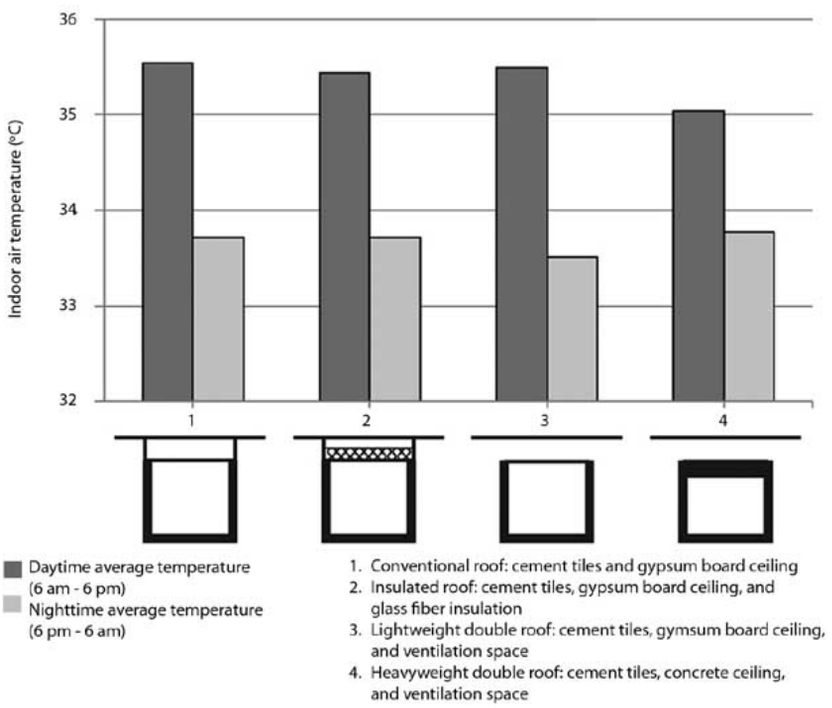
Um eine gegen solare Erhitzung wirksame Dachaufbau-Lösung aufzuzeigen, soll nun eine Studie der Universität Cambridge herangezogen werden. Hier wurden verschieden Dachaufbauten und deren Auswirkungen auf die Raumtemperatur des jeweils darunterliegenden Raumes gemessen und miteinander verglichen. Das Diagramm wurde mit dem Simulationsprogramm *PasCal* erzeugt und zeigt die durchschnittlichen Tag-/Nacht-Innenraumtemperaturen in einem Messzyklus von je 12 Stunden.



29

29 I Dach-Oberflächentemperatur und Lufttemperatur aus 24-Stunden-Messungen im Upper Ngau Tau Kok Estate, Hongkong, China; Messungen vom 24. August 2013, 16:00 Uhr bis zum 25. August 2013, 19:00 Uhr; 1: Außentemperatur, 8'*: Dach-Oberflächentemperatur; eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Dachaufbau-Variante 3 nachts die kühlsten Innenraumtemperaturen erzeugte. Hier wurde ein zusätzlicher Dachaufbau, der vor direkter Sonneneinstrahlung schützt, in Kombination mit einer darunterliegenden natürlichen Belüftung angewendet.
Die Studie zeigt weiter, dass tagsüber der gleiche Dachaufbau mit einer dickeren, massiven Dachplatte anstelle einer leichten die niedrigsten Innenraumtemperaturen erbrachte. Dies ist mit den Speichermasseneigenschaften der massiven Decke zu begründen, die wie eine verschattete, natürlich belüftete massive Wand die besten Voraussetzungen für die kühlste Innenraumtemperatur bietet: Die Wärme, die trotz der Verschattung in der massiven Decke gespeichert wird, kann durch die natürliche Nachtbelüftung wirksam fortgelüftet werden. Die daraus resultierende kühlere Temperatur der Deckenplatte kann dann tagsüber an den Innenraum abgegeben werden. Dieses Thema der Speichermassennutzung wird im nächsten Unterkapitel (Speichermasse) noch detaillierter betrachtet. Zur Untersuchung der Universität Cambridge ist zu bemerken, dass die Temperaturen in den Ergebnissen extrem geringe Differenzen aufweisen. Die Temperaturdifferenz zwischen Dachaufbau-



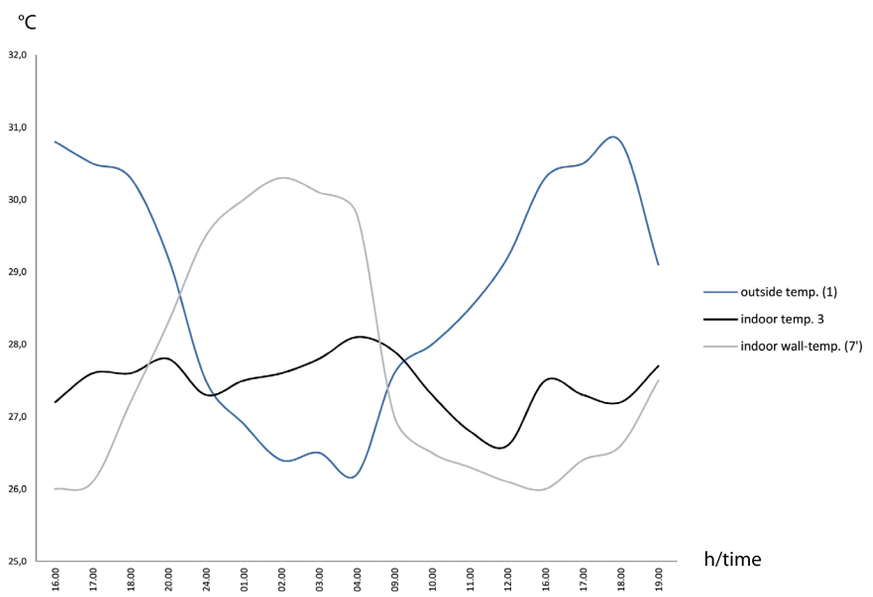
30

30 | Vergleich von unterschiedlichen Dachaufbauten zur Innenraumtemperatur tagsüber und nachts, Diagramm Simulationsprogramm PasCal (v.1.0), Quelle: C. Tantasavasdi, T. Chenvidyakarn, M. Pichaisak, Integrative Passive Design for Climate Change: A New Approach for Tropical House Design in the 21st Century; Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Thailand; Department of Architecture, University of Cambridge, UK; publiziert in: BUILT, 1(1), 2011, S. 14.

Variante 01 und 04 beträgt hier nur einen Unterschied von einem halben Grad Celsius. Dies ist damit zu begründen, dass die Ergebnisse immer von Versuchsmodellaufbau und Simulationsprogramm abhängig sind. Mess- und Sensibilitätsgrad einer Simulation können stark variieren, verfälschen die Erkenntnisse im Ganzen jedoch letztlich nicht.

4.6.4 Speichermasse

Um die Möglichkeit einer Speichermassenkühlung zur heißesten Jahreszeit in Hongkong zu überprüfen, wurde eine Untersuchung im Wohnhochhaus *Upper Ngau Tau Kok* durchgeführt. Diese wurde im Badezimmer der Wohneinheit Nr. 3202 vorgenommen, da sich das Badezimmer der Wohneinheit am äußersten Rand des Gebäudes an der Südfassade befindet und hier die Voraussetzungen für ein Funktionieren der Speichermassenkühlung theoretisch gegeben sind. Es wurden Oberflächentemperatur-Messungen an dieser Südaußenwand vorgenommen, um die Auswirkungen einer eventuellen Speichermassennutzung der massiven Außenwand zu testen und zu überprüfen. Bei der Messdurchführung für diese Evaluierung der Speichermasse wurden die Badezimmertür und die Fensterklappe des Badezimmers zum vertikalen

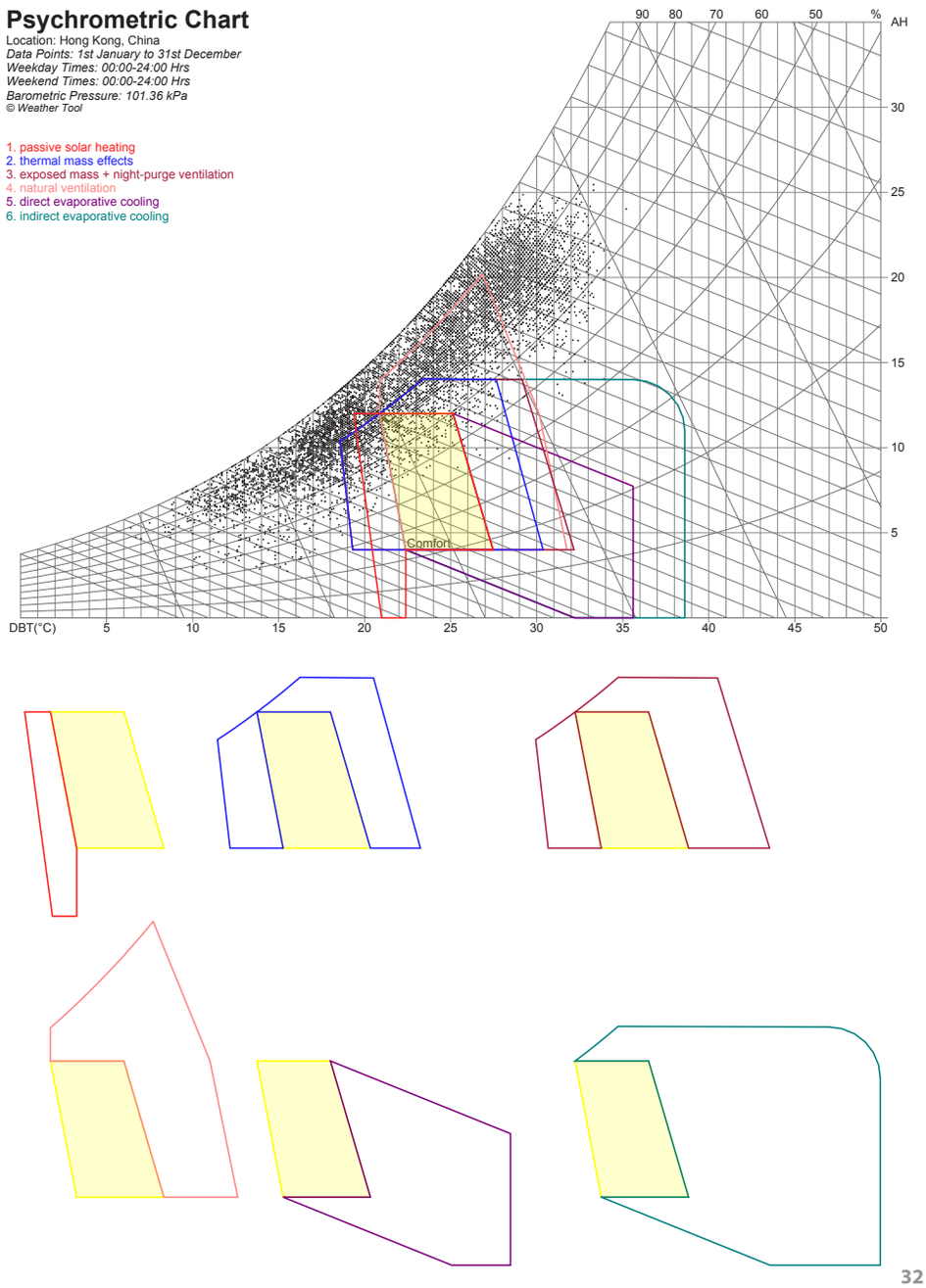


31

31 | Oberflächentemperaturen der Südfassade innen sowie Lufttemperaturen außen und innen im Badezimmer von Wohneinheit Nr. 3202 des Upper Ngau Tau Kok Estate, Hongkong, China; Messungen vom 24. August 2013, 16:00 Uhr bis zum 25. August 2013, 19:00 Uhr; 1: Außentemperatur, 3: Lufttemperatur Badezimmer-Innenraum, 7': Fassaden-Oberflächentemperatur innen; eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Lüftungskorridor geöffnet, damit die kühlere Nachtluft die gespeicherte Wärme der Außenwand fortlüften kann.
Innenraum- und Oberflächentemperatur der Badezimmer-Wand sind im Diagramm„Oberflächentemperaturen Südfassade – Badezimmer-Innenraum“ ablesbar und ergaben folgendes Ergebnis: Die Temperatur im Badezimmer-Innenraum lag tagsüber unter der Außentemperatur. Die Außenwand hat die Nachtkühle gespeichert und sie zeitversetzt an den Innenraum weitergeben. Dies ist damit zu begründen, dass die nach Süden orientierte massive Gebäudestirnwand im Sommer eine geringe solare Direkteinstrahlung erfährt, was in diesem Kapitel bereits im Diagramm zur solaren Direkteinstrahlung in Hongkong veranschaulicht wurde. Weiter ist die dickere tragende Außenwand zur Kühlung des Innenraumes deshalb gut geeignet, weil sich ihre Wandstärke für die Temperatur-Weiterleitung optimal eignet: Die 30 Zentimeter dicke Wand bewirkt eine zeitliche Phasenverschiebung von ca. 24 Stunden.
Somit verlaufen die Außentemperatur und Oberflächentemperatur an der Wandinnenseite in ihren Temperaturkurven zeitlich versetzt gegenläufig. Die Innenraumtemperatur des Badezimmers profitiert hiervon: Die Temperaturspitzen werden abgepuffert und es ergibt sich eine behagliche Temperatur, die zwischen diesen beiden extremen Temperaturen liegt. Die Charakteristika dieses Temperaturkurvenverlaufes sind sehr gut in im Diagramm ersichtlich.

4.6.5 Psychrometrie



32

32 | Psychrometrisches Diagramm mit Darstellung der Behaglichkeitszone sowie der passiven Kühl- und Heizmethoden sowie, Bereich der passiven solaren Energiegewinne und Behaglichkeitszone (oben links), Bereich der Speichermasse und Behaglichkeitszone (oben Mitte), Bereich der exponierten Speichermasse + Nachtdurchlüftung und Behaglichkeitszone (oben rechts), Bereich der natürlichen Belüftung und Behaglichkeitszone (unten links), Bereich der direkten Verdunstungskühlung und Behaglichkeitszone (unten Mitte), Bereich der indirekten Verdunstungskühlung und Behaglichkeitszone (unten rechts), von Hongkong, China, überarbeitet: Ferdinand Oswald mit Weather Tool 2001, © Autodesk, Inc. 2010.

4.6.5 Psychrometrisches Diagramm

4.6.5.1 Solare Energiegewinne im Winter

Der Bereich der passiven solaren Energiegewinne ist rot markiert und befindet sich links von der Behaglichkeitszone. Hier ist er noch einmal separat ohne Diagramm nur mit der Behaglichkeitszone abgebildet. Die am *Upper Ngau Tau Kok* durchgeführten Messungen wurden im heißen Sommer vorgenommen, sodass hier keine Messdaten für den Winter erfasst werden konnten. Die Simulation im psychrometrischen Diagramm sagt indes aus, dass auch die Nutzung von solaren Energiegewinnen im Winter am Klimastandort möglich ist. Eine gewisse Anzahl von Punkten (Tagen) in den kälteren Monaten im Bereich der passiven solaren Energiegewinne zeigt dies auf. Vor allem in den Himmelsrichtungen Westen, Osten und Süden könnten diese Energiegewinne genutzt werden. Es ist allerdings zu beachten, dass dadurch keinerlei Energieeinsparungen möglich sind, da die Wohnbauten in Hongkong ohnehin nicht mit Aggregaten zur Beheizung der Innenräume ausgestattet sind. Unabhängig hiervon könnte dies jedoch gleichwohl die Innenraumbehaglichkeit in den kälteren Monaten verbessern.

4.6.5.2 Speichermasse

Nach dem Simulationsprogramm im pschrometrischen Diagramm ist sowohl die Erwärmung als auch die Kühlung durch Speichermasse in Hongkong gut möglich. Die Wirksamkeit der Kühlung mit Speichermasse in der heißen Jahreszeit ist an der Anzahl der Tage innerhalb des linken Bereichs der blauen Linie zu erkennen. In einem erheblichen Zeitraum kann also dieser Simulation zufolge die Speichermasse zur Kühlung genutzt werden. Dies geht konform mit den Ergebnissen der Messungen im *Upper Ngau Tau Kok* im Sommer. Indes besteht sich im dunkelroten Bereich der Speichermassenkühlung mit Nachtventilation keine Möglichkeit der Verbesserung der Behaglichkeit, da sich dort für den Klimastandort Hongkong keine Punkte (Tage) befinden.
Dies entspricht nicht den Ergebnissen der vor Ort durchgeführten Messungen. Wie schon zuvor im Detail beschrieben, optimiert die Kühlung der Nachtventilation das Prinzip der Speichermasse mit der Methode der zusätzlichen Nachtauslüftung noch, indem die in der massiven Wand gespei-

cherte Wärme des Tages abends abstrahlen kann und später dann durch die Nachtventilation fortgelüftet wird. Dass dies im pschrometrischen Programm nicht dargestellt wird, ist wahrscheinlich damit zu begründen, dass die Tag-/Nacht-Temperaturdifferenz aus den meteorologischen Wetterdaten zu klein ist und somit ist die Nachtlufttemperatur nicht niedrig genug, um die Wärme aus der Speichermasse herauszunehmen. Nach den offiziellen Messungen der Hongkong-Wetterwarte waren am Tag der Messung (24. August) eine Höchsttemperatur von 31,1 °C und eine Tiefsttemperatur von 27,3 °C zu verzeichnen. Dies entspricht einer Tag-/Nacht-Temperaturdifferenz von lediglich 3,8 °C. Die vor Ort durchgeführten Messungen im gleichen Messzeitraum ergaben jedoch eine höchste Temperatur von 30,8 °C und eine tiefste von 26,2 °C. Hier ist die Tag-/Nacht-Temperaturdifferenz mit 4,3 °C größer. Wie oben mit der Messung zur Speichermassenkühlung aufgezeigt wurde, ist diese Tag-/Nacht-Temperaturdifferenz groß genug, um die Innenraumtemperatur auf eine Temperatur von immerhin 27 °C abzukühlen.

4.6.5.3 Natürliche Belüftung

Die natürliche Belüftung ist der Simulation zufolge die wirksamste Methode zur Verbesserung der Behaglichkeit am Klimastandort Hongkong. Dies ist an der Anzahl der Tage (Punkte) zu erkennen, die sich im Bereich der natürlichen Belüftung rosa umrandet befinden. Dieser Bereich befindet sich rechts und oberhalb von der Behaglichkeitszone. Im Hochsommer kann hier an fast allen Tagen die Behaglichkeit durch diese Kühlmethode verbessert werden. Die Messungen im *Upper Ngau Tau Kok* zur heißesten Jahreszeit im August zeigen ebenfalls auf, dass diese Kühlmethode sehr wirksam durchführbar ist.

4.6.5.4 Verdunstungskühlung

Im *Upper Ngau Tau Kok* ist in Hongkong keine Maßnahme zur Verdunstungskühlung auffindbar. Nach dem psychrometrischen Diagramm ist eine Steigerung der Behaglichkeit mit Verdunstungskühlung in Hongkong auch an keinem einzigen Tag im Jahr möglich. Dies zeigen die beiden Bereiche der direkten (violett) und indirekten (türkis) Verdunstungskühlung klar auf, welche sich im Simulationsmodell unterhalb, rechts und insbesondere oberhalb von der Behaglichkeitszone befinden. Die Verdunstungskühlung ist hier

deshalb nicht wirksam, weil die Luftfeuchtigkeit die meiste Zeit im Jahr sehr hoch ist. Somit ist die Luft bereits mit Feuchtigkeit gesättigt und kann keine weitere aufnehmen.

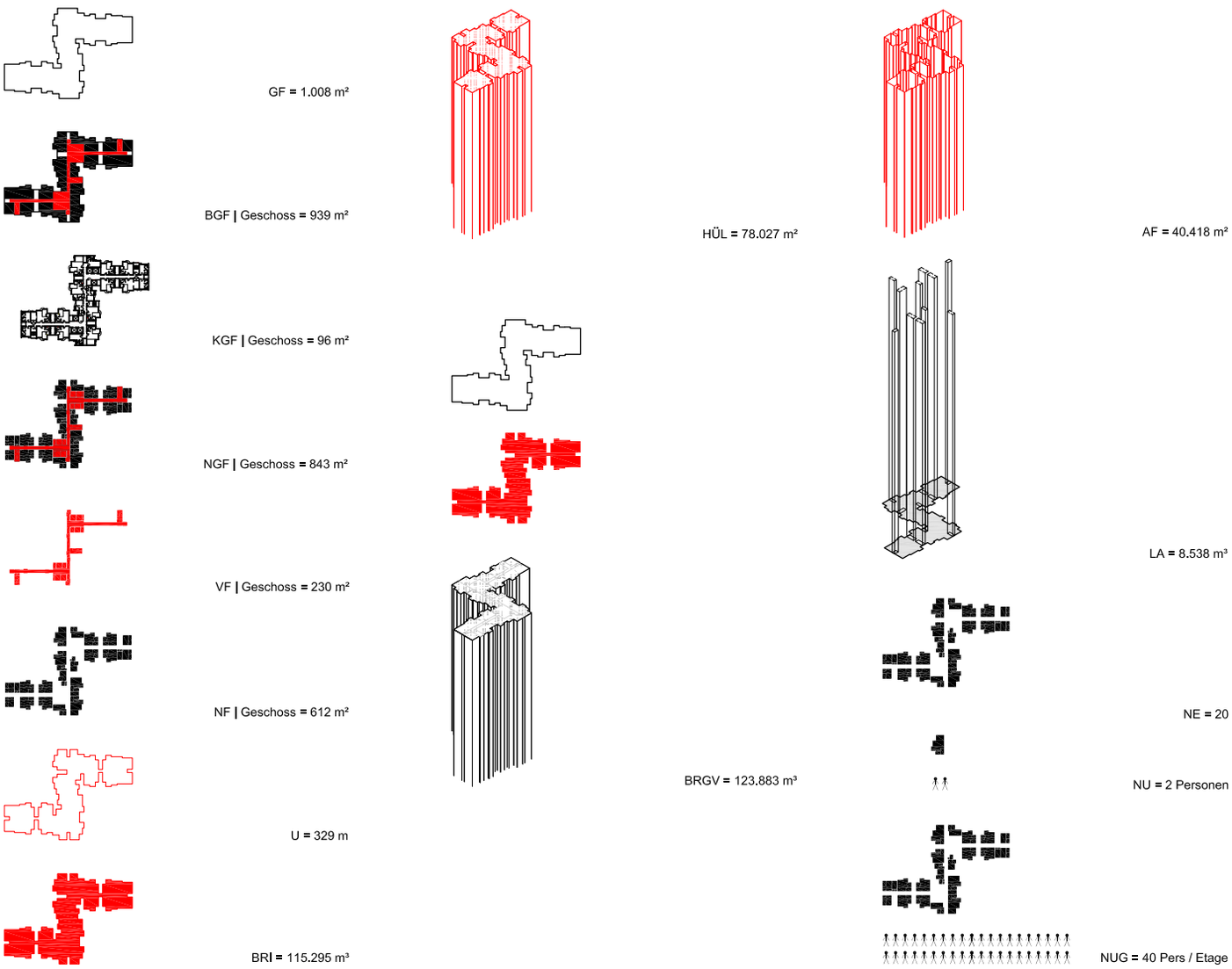
4.6.6 Bewertung des Ngau Tau Kok nach Kennwerten

In diesem Unterkapitel wird das Wohnhochhaus nach den unterschiedlichen Kennwerten bewertet. Zur Ermittlung der Kennwerte müssen die Kenngrößen bekannt sein. Diese sind die Flächenkennwerte Brutto-Grundfläche (BGF), Netto-Grundfläche (NGF), Konstruktions-Grundfläche (KGF), Nutzfläche (NF), Verkehrsfläche (VF) und Funktionsfläche (FF). Die Raumkenngrößen sind der Brutto-Rauminhalt (BRI), das Brutto-Raumgrundvolumen (BRGV) und der Luftanteil (LA). Die Hüllenkenngrößen sind der Umfang (U), die Geschosshöhe (GH), die Gebäudehöhe (GBH), die Außenwandfläche (AF), die Außengrundfläche (GF), die Dachfläche (DF) und die Hüllfläche (HÜL). Die Nutzungseinheitenkenngrößen sind: Nutzungseinheiten pro Geschoss (NE) und Nutzungseinheiten gesamt (NEG). Die Nutzerkenngrößen sind die Nutzeranzahl pro Wohneinheit (NU), die Nutzeranzahl pro Geschoss (NUG) und die Nutzeranzahl gesamt (NUA).In den Grafiken sind diese Kenngrößen veranschaulicht.

4.6.6.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)

Der Netto-Grundflächenquotient (NGFQ) beträgt beim *Ngau Tau Kok* 0,9 – es wird also nur ca. 1/10 der Fläche als Konstruktionsfläche aufgebracht. Der Netto-Grundflächenquotient spiegelt auch hinsichtlich der Gebäudehöhe und Anzahl der Geschosse die Quantität des Konstruktionsaufwandes wider. Bei Berücksichtigung der großen Höhe des Gebäudes (127 m) ist der Flächenanteil und damit der Aufwand der Konstruktion hier sehr gering. Die tragende Struktur des Gebäudes funktioniert mit einer Stahlbeton-Schottenbauweise, wobei die Dimensionen der Konstruktion in allen Geschossen gleich bleiben. Die verwendeten Stahlbeton-Schotten werden alle in gleichen Dimensionen vorfabriziert. Die Netto-Grundfläche eines Geschosses (NGFG) und die Brutto-Grundfläche eines Geschosses (BGFG) im *Ngau Tau Kok* sind in der Darstellung ersichtlich. Des Weiteren ist eine Isometrie dargestellt, die die Konstruktionsfläche (KGF) der einzelnen Geschosse ersichtlich macht.

4.6.6 Kennwerte

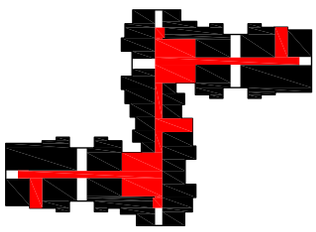


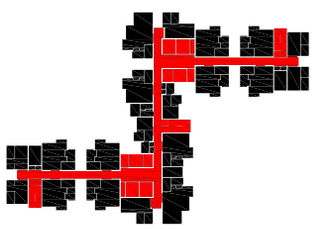
33 34 35

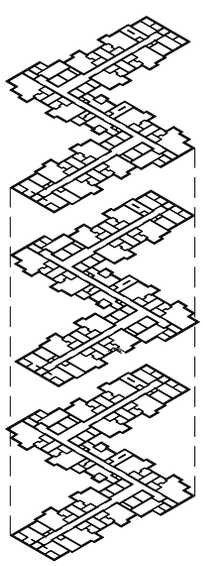
33 | Kenngrößen: Grundfläche (GF), Brutto-Grundfläche pro Geschoss (BGFG), Konstruktions-Grundfläche pro Geschoss (KGFG), Netto-Grundfläche pro Geschoss (NGFG), Verkehrsfläche pro Geschoss (VFG), Nutzfläche pro Geschoss (NFG), Fassaden-Umfang (U) und Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellungen: Ferdinand Oswald, 2013.

34 | Kenngrößen: Hüllfläche (HÜL) in isometrischer Darstellung, Grundfläche (GF) und Brutto-Rauminhalt in der Aufsicht und Teil des Brutto-Raumgrundvolumens (BRGV) in isometrischer Darstellung des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

35 | Kenngrößen: Teil der Außenwandfläche (AF) in isometrischer Darstellung, Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung, Nutzungseinheiten pro Geschoss (NE), Wohneinheit mit durchschnittlicher Belegung (NU) von 2 Personen, 20 Wohneinheiten pro Geschoss mit durchschnittlicher Belegungsziffer (NUG) von 40 Personen des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.







NGFQ = 0,90

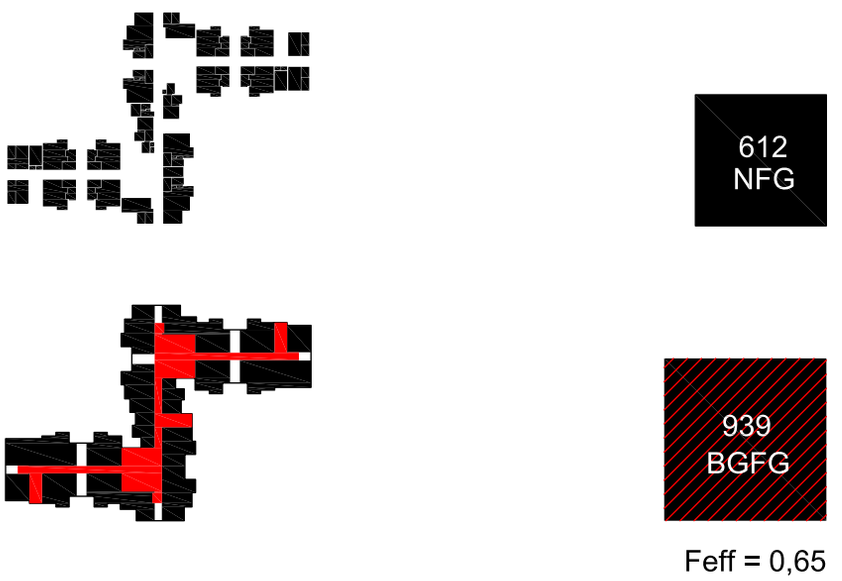
36

36 I Netto-Grundflächenquotient (NGFQ): Netto-Grundfläche (NGF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss, und abstrakte isometrische Darstellung der Konstruktionsfläche (KGF) des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.6 Kennwerte

4.6.6.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)

Der Flächeneffizienzkennwert des *Ngau Tau Kok* ist mit 0,65 gut. Dies ist mit der effizienten Konstruktion zu begründen. Wie soeben beschrieben, gibt es im jedem Geschoss identische tragende Stahlbetonschotten. Da das Gebäude aber eine große Verkehrsfläche besitzt (siehe nächstes Unterkapitel „Verkehrsflächenquotient"), fällt der Flächeneffizienzkennwert des *Ngau Tau Kok* nicht besonders günstig aus. In der Darstellung ist ein Regelgeschoss mit Nutzfläche (NF) und Brutto-Grundfläche (BGF) des *Ngau Tau Kok* abgebildet. Des Weiteren werden diese beiden Geschossflächen in quadratischer Form jeweils daneben im gleichen Maßstab dargestellt.

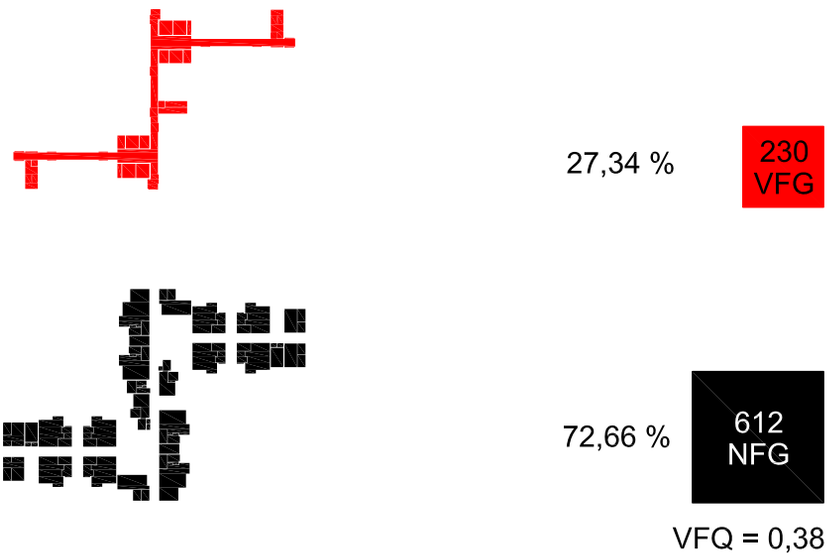


4.6.6.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ) 37

Der Verkehrsflächenquotient des *Ngau Tau Kok* ist mit 0,38 erstaunlicherweise niedrig und somit nicht gut. Die Verkehrsfläche nimmt 27,3 % der Nettogrundfläche ein, es wird also über ein Viertel der Nettogrundfläche für die Verkehrsfläche benötigt, obwohl das Gebäudevolumen kompakt ist und die Erschließung über einen Mittelgang im Innern des Gebäudes erfolgt. Dieser Mittelgang erstreckt sich jedoch über den gesamten Gebäudekörper und wird damit zur einer sehr langen und großen Erschließungsfläche. Auch die Aufwei-

37 | Flächeneffizienzkennwert (Feff): Nutzfläche (NF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des Ngau Tau Kok dargestellt, sowie die Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab (VFG und BGFG), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

tungen an den Aufzugskernen tragen zur Vergrößerung der Verkehrsfläche bei. In der Darstellung ist ein Regelgeschoss des *Ngau Tau Kok* mit Verkehrsfläche (VFG) und Nutzfläche (NFG) dargestellt. Des Weiteren werden diese beiden Geschossflächen daneben jeweils in quadratischer Form im selben Maßstab dargestellt. Neben der Quotienten-Kennzahl ist hier auch das Verhältnis von Verkehrsfläche und Nutzfläche in Prozent berechnet.



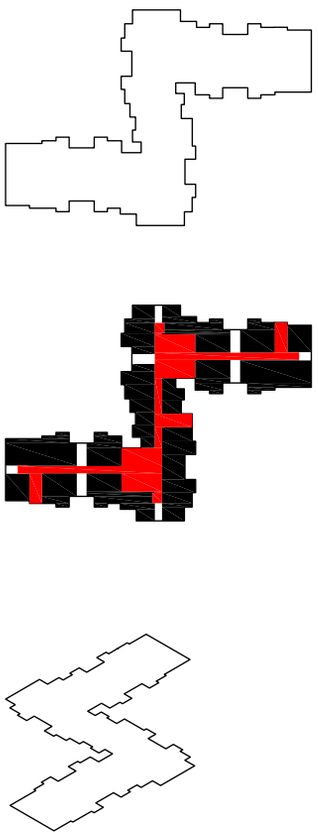
38

4.6.6.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)

Die Gebäudedichte-Kennzahl des *Ngau Tau Kok* ist mit einem Quotienten von 0,028 sehr niedrig und somit ist die Gebäudedichte sehr hoch, die direkt bebaute Fläche wird hier also sehr gut ausgenutzt. Dies ist mit der sehr hohen Bauweise (127 Meter) zu begründen, denn je höher das Gebäude ist, desto mehr Wohnfläche kann auf der Grundfläche untergebracht werden. Obwohl das *Ngau Tau Kok*-Projekt mit seinen 127 Metern Gebäudehöhe nur knapp in die Kategorie der Ultrawohnhochhäuser fällt, besitzt es eine sehr hohe Gebäudedichte. Diese Tatsache ist auf seine kompakte Gebäudeform zurückzuführen: Es gibt wenig nicht gebaute großmaßstäbliche Einschnitte im Gebäudekörper, also wenig Luftanteile. In der Darstellung sind die Grundfläche und die Brutto-Grundfläche eines Regelgeschosses des *Ngau Tau Kok* abgebildet. Des Weiteren ist die Grundfläche isometrisch dargestellt.

38 | Verkehrsflächenquotient (VFQ): Verkehrsfläche (VF)/Nutzfläche (NF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des Ngau Tau Kok dargestellt, sowie die Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab mit Prozentangabe (VFG und NFG), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.6 Kennwerte

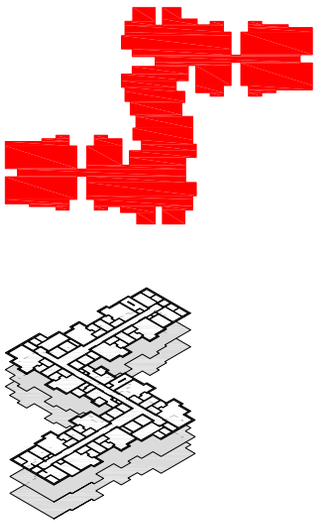


39

4.6.6.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)

Die Wohnungen im *Ngau Tau Kok* haben eine sehr geringe Raumhöhe, sodass der Brutto-Rauminhaltsquotient mit 3,51 ebenfalls sehr niedrig ist. Die Geschosshöhe beträgt lediglich 3,15 m. In der Darstellung sind die Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI, rot) und die Netto-Grundfläche (NGF) eines Regelgeschosses des *Ngau Tau Kok* abgebildet.

39 | Gebäudedichtequotient (GDQ): Grundfläche (GF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des Ngau Tau Kok dargestellt, sowie isometrische Darstellung der Grundfläche, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.



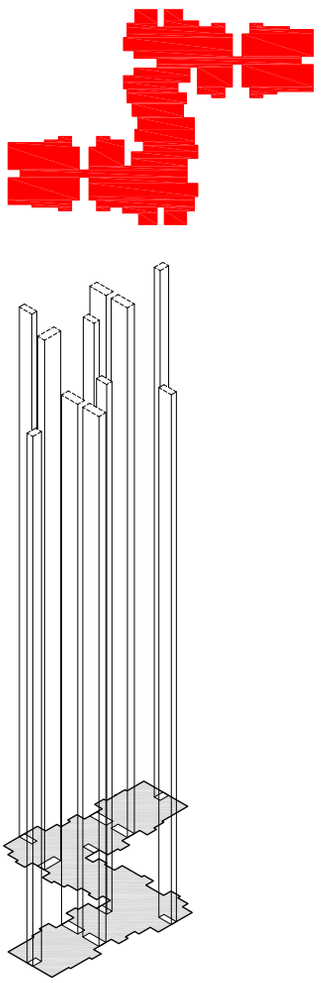
40

4.6.6.6 Luftanteilsquotient (LAQ)

Der Luftanteil des *Ngau Tau Kok* beträgt 8.538 m³. Dies ist angesichts der beträchtlichen Gebäudehöhe und des großen Gesamtvolumens im Vergleich zu den beiden Gebäudebeispielen *The Met* und *Skyville* ein sehr kleiner Wert. Der Quotient von 13,50 gibt zu erkennen, dass der Anteil des Luftraums am Bruttorauminhalt sehr gering ist. Dies ist damit zu begründen, dass es außer den Lücken zwischen den drei Wohntürmen keine weiteren größeren Lufträume gibt. Diese Gebäudespalten verkleinern die Angriffsfläche der Fassade für Windkräfte und die anfallenden Windlasten auf das Gebäude verringern sich, weil der Wind durch diese Zwischenräume hindurchfließen kann. Der Luftanteil des Gebäudes tritt in der Fassade in Erscheinung: Die Fassade macht Vor- und Rücksprünge, die nach den Grundrissen der Geschosse ausgebildet sind. Diese Faltung der Fassade zieht sich vertikal durch das ganze Gebäude. Die vertikalen Lufträume stellen den Luftanteil des Gebäudes dar. Mit diesen werden verschiedene Luftdruckverhältnisse erzeugt, welche die natürliche Belüftung forcieren. Gleichfalls bewirken sie eine Verschattung der darin befindlichen Fassadenöffnungen. In der Grafik ist der Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung des *Ngau Tau Kok* abgebildet.

40 I Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ): Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) /Netto-Grundfläche (NGF), in der Abbildung für ein Regelgeschoss des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.6 Kennwerte



LAQ = 13,5

41

41 I Luftanteilsquotient (LAQ), Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

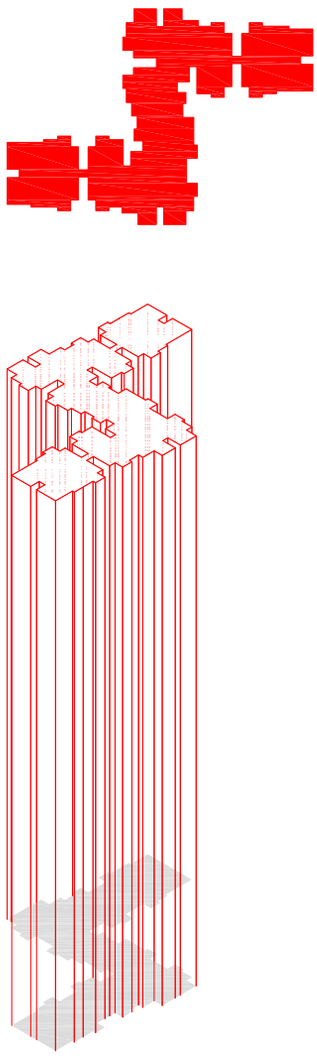
4.6.6.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis

Der Hüllflächenquotient und somit das A/V-Verhältnis des *Ngau Tau Kok* ist mit 0,68 erstaunlicherweise sehr hoch, was bedeutet, dass das Gebäude im Ganzen nicht sehr kompakt ist. Die drei nebeneinandergestellten Gebäudekörper sind zwar kompakt ausgeführt und die Erschließungskerne sind nicht wie beim *Skyville*-Wohnhochhaus separat im Freien aufgestellt, sondern befinden sich im Innern des Gebäudekörpers, wodurch wird die Außenwandfläche der Fassade noch verringert werden und das A/V-Verhältnis sogar noch kleiner wird. Die Fassade hat allerdings viele Vor- und Rücksprünge – es handelt sich um eine stark gefaltete Fassadenstruktur. Dadurch vergrößert sich die Fassadenoberfläche immens (AF = 40.418 m^2). Ein Grund für diese Faltung der Fassade ist die Angliederung der Räume, wie zum Beispiel der Badezimmer, zur natürlichen Belüftung an die Fassade. Eine mechanische Lüftungsanlage ist für das Wohnungsklientel der Hong Kong housing Authority nicht üblich und finanziell kaum erschwinglich. In der Mitte der Gebäudeflügel sind die Gebäudekörper bis zum Erschließungsgang offen ausgeführt; die Gebäude sind hier mit einem Steg miteinander verbunden. Dies ermöglicht eine effiziente Querlüftung der Wohneinheiten über die Wohnungseingangstür. In der Grafik ist ein Teil von Hüllfläche und Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung des *Ngau Tau Kok* abgebildet.

4.6.6.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten

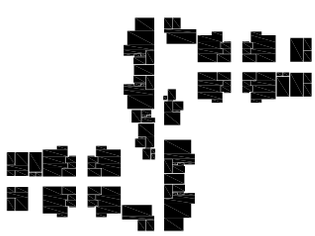
Die Größe der Wohneinheiten des *Ngau Tau Kok* Wohnhochhauses liegen mit ihrer durchschnittlichen Größe von 30,6 m^2 am Standard des staatlich geförderten Wohnungsbaus in der Sonderverwaltungszone Hongkong der Volksrepublik China. Es gibt vier verschiedene Wohnungsgrößen. In der Grafik sind die Nutzungseinheiten eines Regelgeschosses und auch die durchschnittliche Fläche einer Nutzungseinheit in der Grundfläche des *Ngau Tau Kok* im gleichen Maßstab isometrisch abgebildet.

4.6.6 Kennwerte



HÜLQ = 0,68

42



NEQ = 30,62 m²/NE

43

42 | Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis: Hüllfläche und Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

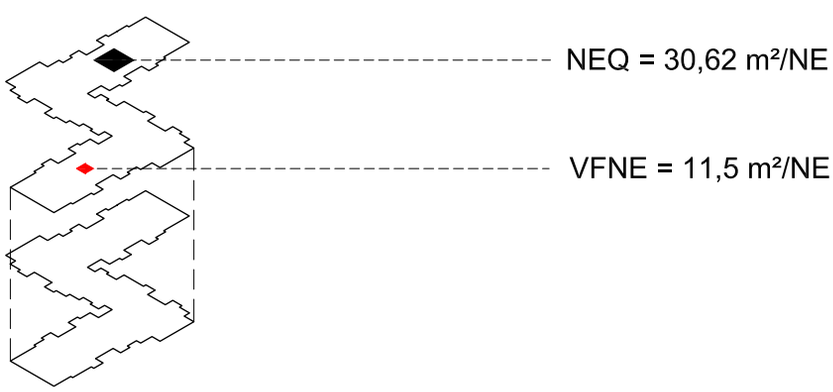
43 | Nutzungseinheitenquotient (NEQ): Nutzfläche (NF) durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG), in der Abbildung eines Regelgeschosses des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.6.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)

Die Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) des *Ngau Tau Kok* beträgt im Durchschnitt 11,5 m² pro Wohneinheit. Diese niedrige Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl resultiert aus der großen Anzahl von Wohneinheiten, die die Verkehrsfläche versorgen muss. Zudem hat das *Ngau Tau Kok* im Vergleich zu den drei anderen Wohngebäuden mit 230 m² die kleinste Verkehrsfläche pro Geschoss. In der Grafik sind die Verkehrsflächen eines Regelgeschosses und die durchschnittliche Verkehrsflächengröße des Gebäudes *Ngau Tau Kok* in der Grundfläche in gleichem Maßstab isometrisch abgebildet.



44

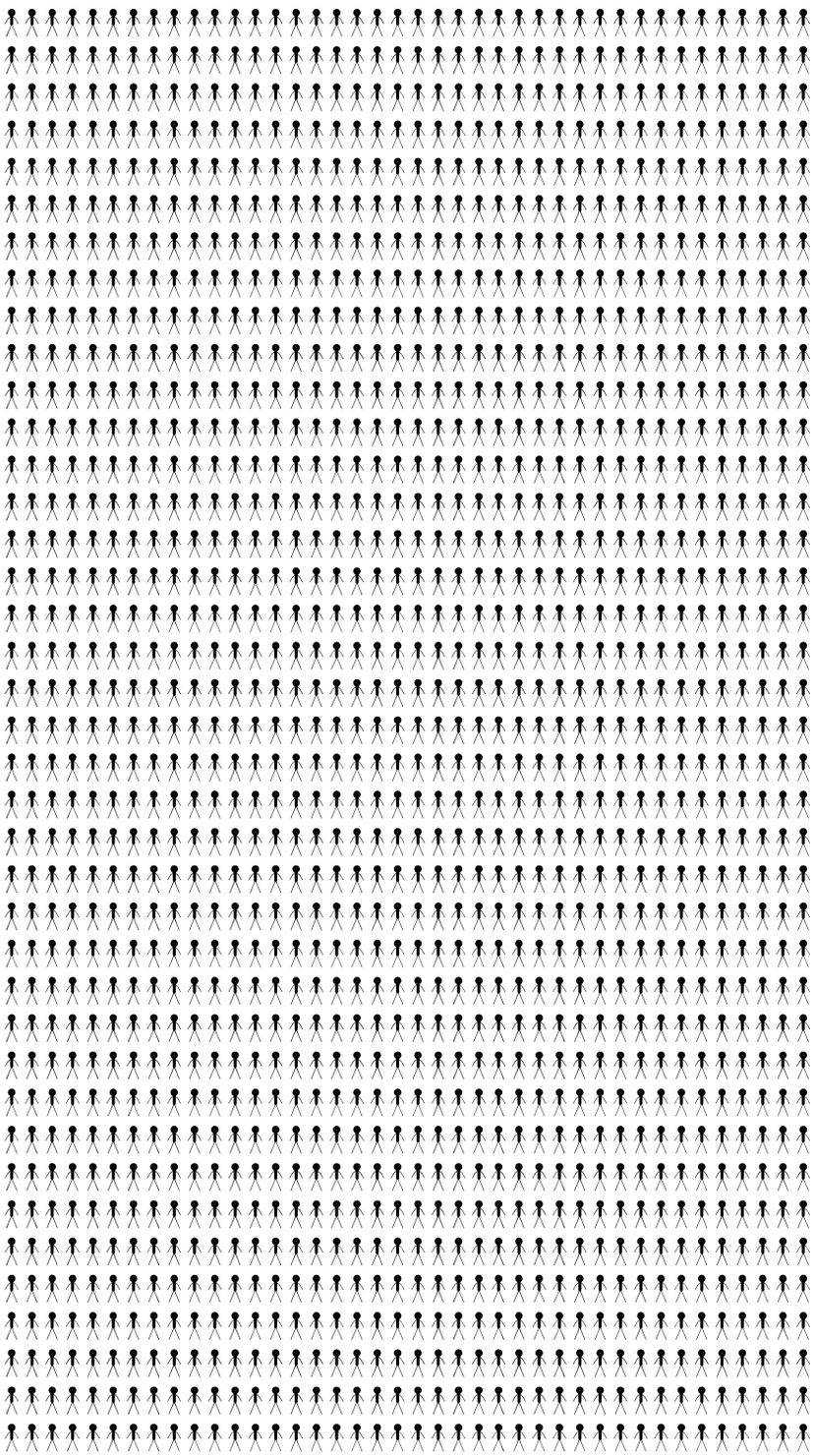


45

44 I Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE): Verkehrsfläche (VF) / Nutzungseinheiten gesamt (NEG) in der Abbildung eines Regelgeschosses des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

45 I Nutzungseinheitenquotient (NEQ) und Verkehrsflächen-Nutzungeneinheitenzahl (VFNE) in isometrischer Darstellung der Grundfläche sowie in quadratischer Darstellung im gleichen Maßstab des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.6 Kennwerte



46

46 | Gesamte durchschnittliche Belegungsziffer (NUA), Darstellung aller Personen im *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.6.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP)

Der Kennwert der Nutzfläche pro Person (NP) im m^2 ausgedrückt trifft eine direkte Aussage über die zur Verfügung stehende Wohnfläche pro Person und beträgt im *Ngau Tau Kok* 15,3 m^2/Pers. Dies ist ein niedriger Kennwert, womit ist Belegungsdichte hier sehr hoch ist. Für den Kennwert der Nutzfläche pro Person spielt die Belegungsziffer eine wichtige Rolle. Die Bewohnerzusammensetzung der einzelnen Wohnungen wurde im *Ngau Tau Kok* nach Umfragen folgendermaßen abgeschätzt: 75 % der Bewohner sind Paare nur mit einem Kind (1-Kind-Politik in China). Weiter gibt es ca. 25 % Single-Haushalte. Daraus ergibt sich eine Belegungsziffer von nur 2,5 Personen pro Wohneinheit. Trotz dieser gering angenommenen Belegungsziffer ist die Nutzfläche pro Person im *Ngau Tau Kok* mit 15,3 m^2/Pers. sehr hoch. In der Grafik ist die durchschnittliche Wohnfläche pro Person in quadratischer Form in der Grundfläche des Gebäudes *Ngau Tau Kok* im gleichen Maßstab abgebildet.



47

4.6.6.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA)

Obwohl die Nutzeranzahl des gesamten Wohngebäudes (NUA) keinen Kennwert darstellt, sondern eine Kenngröße, ist es interessant, die Anzahl der Bewohner des gesamten Wohngebäudes zu betrachten. Die Gesamtpersonenanzahl im *Ngau Tau Kok* ist mit 1.560 Personen sehr hoch. Im Vergleich zu anderen Wohnhochhäusern der HKHA ist dieser Wert jedoch eine durchschnittliche Größe. In der Grafik sind alle 1.560 Nutzer des *Ngau Tau Kok* dargestellt.

47 | Nutzfläche pro Person: Nutzungsfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA), in der Abbildung sind in isometrischer Darstellung die Grundfläche des *Ngau Tau Kok* sowie in quadratischer Form die durchschnittlich zur Verfügung stehenden Quadratmeter Wohnfläche pro Person im gleichen Maßstab abgebildet, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.6.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Person (GP)

Die Gebäudebewohnerquotient des *Ngau Tau Kok* liegt bei 1,55. Die Grundfläche pro Person, bezogen auf die bebaute Grundfläche und die gesamte Anzahl der Bewohner des Wohnhochhauses, ist 0,65 m^2. Die Grundfläche in Form von Personenunterbringung wird hierbei sehr gut ausgenutzt.
Die Hong Kong Housing Authority hat schon seit den 1950er Jahren die schwierige Aufgabe zu erfüllen, auf wenig Grundfläche möglichst viele Bewohner günstig unterzubringen.



48

4.6.7 Verbesserungspotential/Fazit

Die vor Ort durchgeführten Messungen zeigen auf, dass die natürliche Querlüftung im *Upper Ngau Tau Kok Estate* wirksam funktioniert. Elektrische Energie zum Betrieb der Split-Klimaanlagen lässt sich somit einsparen. Dennoch gibt es beim Wohnhochhaus *Upper Ngau Tau Kok* der HKHA noch Verbesserungspotential.

Fassadenstruktur

Das Potential zur Kühlung mit Speichermasse ist bei dieser Typologie vorhanden. Voraussetzung hierfür ist eine ausreichend große Tag-/Nacht-Temperaturdifferenz und eine Verringerung der solaren Energieeinträge in massiven Fassadenbauteilen. Die Gefahr der Aufheizung der Fassaden ist in nördlicher Himmelrichtung relativ gering und eine Verschattungsmaßnahme für die Fassadenflächen daher nicht notwendig. Die geringe Intensität der der Sonne ist im oben dargestellten Diagramm zur solaren Direkteinstrahlung aus dem Norden in blauer Farbe ablesbar.

48 I Grundfläche pro Person (GP): Grundfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA), In der Abbildung durchschnittliche zur Verfügung stehende Quadratmeter Grundfläche pro Person isometrischer Darstellung des *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

4.6.7 Fazit

Die Südseite der Fassade ist zur Nutzung der Speichermasse prädestiniert, da die solare Direktstrahlung in den heißen Sommermonaten schwächer und in den kühleren Wintermonaten intensiver ist (siehe obiges Diagramm zur solaren Direktstrahlung aus dem Süden in grüner Farbe). Hier können die äußeren Faktoren der Sonnenstrahlung ideal für die Verbesserung der Behaglichkeit innerhalb der Wohneinheiten genutzt werden: In den heißen Sommermonaten heizen sich die massiven Fassadenteile, bedingt durch die schwächere solare Direkteinstrahlung, nur wenig auf, sodass diese Wand die Nachtkühle speichern und im dahinterliegenden Innenraum zur Kühlung genutzt werden kann. Die Messungen im *Ngau Tau Kok* wurden im heißesten Monat des Jahres vorgenommen, im August, und die Ergebnisse zur Wirksamkeit dieser Speichermassenkühlung sind in den zuvor aufgezeigten Diagrammen zu den Messergebnissen ablesbar. In den kühleren Wintermonaten kann der Innenraum von den in der Fassadenwand gespeicherten solaren Energiegewinnen in Form von Wärmeweiterleitung profitieren. In den Wohnbauten der HKHA wird zwar keine Energie für Heizgeräte aufgewendet, aber dennoch könnte die durch solare Energiegewinne erzeugte Wärme die Behaglichkeit in den Innenräumen verbessern.
Am problematischsten stellen sich diesbezüglich die Himmelsrichtungen Osten und Westen dar: An den West- und Ostfassaden gibt es Handlungsbedarf beim *Ngau Tau Kok* und bei vielen weiteren Wohngebäuden in Hongkong, denn aus diesen beiden Himmelsrichtungen herrscht ganzjährig eine kontinuierlich intensive Sonneneinstrahlung. Dies ist im oben dargestellten Diagramm zur solaren Direktstrahlung aus Osten und Westen in oranger Farbe erkennbar. Die Gebäudefassaden müssten hier in den kühleren Wintermonaten unverschattet sein, um solare Energieeinträge gewinnen zu können – in den heißeren Sommermonaten sollten diese Fassaden aber vor solarer Überhitzung geschützt werden. Es bedarf also einem ausgeklügelten Fassadensystem, welches auf die verschiedenen Anforderung in den unterschiedlichen Jahreszeiten reagiert. Es könnte ein bewegliches System eingesetzt werden, das den Schutz vor Sonneneinstrahlung flexibel schließen und öffnen kann.
Die oben aufgezeigte Studie „Vergleich von unterschiedlichen Dachaufbauten" der Universität Cambridge kann für die Verringerung der solaren Energieeinträge auch bei vertikalen Fassadenflächen herangezogen werden. Diejenigen Aufbauten, die hinter dem in Leichtbauweise erstellten Verschattungselement einen Spalt zur Hinterlüftung besitzen, haben hier bessere Ergebnisse zum

4.6.7 Fazit

Schutz vor solaren Energieeinträgen erzielt als die anderen Lösungen. Jedoch muss bei solchen vorgehängten Fassadensystemen die Befestigung sehr sicher sein und daher einigermaßen aufwendig durchgeführt werden. Die Anforderungen an Fassadenelemente hinsichtlich Winddruck- und -sogkräften sind in Hongkong wesentlich größer als in Europa. Dies ist durch die höheren Windgeschwindigkeiten mit alljährlichen Hurrikanen begründet. Dadurch steigen die Kosten für ein solches Fassadensystem wie zum Beispiel für ein aufwendiges Agraffen-Profil.

Öffnungen

Die Öffnungen der Fassade sind ebenfalls vor solaren Energieeinträgen zu schützen. Hier sind größere Energieeinträge möglich, da an diesen Stellen keine massive Wand vorhanden ist, die den Wärmedurchgang puffern könnte. Eine Sonnenschutzmaßnahme an der Innenseite der Fenster kann von allen Bewohnern individuell vorgenommen werden. Dieser Sonnenschutz ist jedoch nicht so wirksam, da dessen Absorption der Sonnenstrahlung im Innenraum des Wohnraumes stattfindet und daher die Energie auch im Innenraum freigesetzt wird. Die innenliegende Verschattung ist also nicht so wirksam wie eine außenliegende. Im Kapitel „solare Energieeinträge“ wurde eine Untersuchung der „Effektivität von verschiedenen Sonnenschutzsystemen“ vorgestellt. Hier wurden zahlreiche Möglichkeiten zur Verschattung der Fensteröffnungen aufgezeigt. Die Realisierung solcher Systeme richtet sich nach deren Kosten. Bei Gebäuden der HKHA sind Ausgaben für solche Verschattungen nicht im Gesamtbudget enthalten, während hier wegen der Hurrikan-Problematik eine ähnliche sichere Befestigung gewährleistet sein müsste wie bei vorgehängten Fassaden.

Kennwerte

Die wesentlichen Erkenntnisse aus den Kennwerten für das *Ngau Tau Kok* können folgendermaßen zusammengefasst werden.
Die Geschosshöhe des *Ngau Tau Kok* beträgt lediglich 3,15 m. Damit ergibt sich die niedrigste Raumhöhe im Vergleich zu den anderen drei Wohnhäusern. Deshalb ist auch der Brutto-Rauminhaltsquotient mit 3,51 hier der niedrigste im Vergleich zu den anderen Fallstudien.

4.6.7 Fazit

Mit einem Gebäudedichtequotienten von 0,028 steht das *Ngau Tau Kok*-Wohnhochhaus an zweiter Stelle der untersuchten Wohngebäude. Obwohl das *Ngau Tau Kok*-Projekt mit einer Höhe von 127 m lediglich etwa halb so hoch ist wie das *The Met*, besitzt es einen ähnlichen Gebäudedichtequotienten. Diese Tatsache ist auf die kompakte Form des Gebäudekörpers des *Ngau Tau Kok* zurückzuführen. Es gibt nur wenige großmaßstäbliche Einschnitte im Gebäudekörper, also nur geringe Luftanteile. Das *Ngau Tau Kok* hat mit 15,31 m^2/Pers. die höchste Belegungsdichte im Vergleich zu den drei anderen Wohnhäusern – und dies obwohl die Belegungsziffer von 2,5 Personen pro Wohneinheit eher niedrig eingeschätzt wurde. Die Gebäudebewohnerdichte des *Ngau Tau Kok* liegt bei nur 0,65 m^2 Grundfläche pro Person. Im Vergleich zu den anderen drei Wohngebäuden hat das *Ngau Tau Kok* damit den niedrigsten Kennwert und somit die höchste Gebäudebewohnerdichte. Die Grundfläche wird hier sehr effektiv zur Personenunterbringung ausgenutzt.

Die natürliche Querlüftung im *Upper Ngau Tau Kok Estate* funktioniert wirksam. Mit dem hier aufgezeigten *Site Specific Project Upper Ngau Tau Kok* wird insbesondere deutlich, dass die Integration einer architektonischen Konzeption für eine standortspezifische Bauweise unumgänglich ist. Die HKHA hat die Wichtigkeit und Wirksamkeit der natürlichen Belüftung ihrer Wohnbauten inzwischen erkannt und integriert die natürliche Querlüftung in ihre Neubauten. Eine wesentliche Frage, die es zu beantworten gilt, ist jedoch, mit welchen Strategien bestehende Wohnhochhäuser der HKHA modifiziert werden könnten. Dieses Thema wird im Kapitel Forschungsbedarf fokussiert.

Inhaltsverzeichnis - Teil 05

Teil 05 Vergleich der Fallstudien und Forschungsbedarf

5.1 Vergleich der vier Fallstudien nach Kennwerten

5.1.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)
5.1.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)
5.1.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)
5.1.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)
5.1.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)
5.1.6 Luftanteilsquotient (LAQ)
5.1.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis
5.1.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten
5.1.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)
5.1.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP)
5.1.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA)
5.1.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Pers (GP)
5.1.13 Fazit

5.2 Modifikation von bestehenden Wohnhochhäusern – Hongkong

5.2.1 Projektbeschreibung
5.2.2 Windsimulation Bestand
5.2.3 Modifikation
5.2.4 Ergebnis
5.2.5 Konzeptoptimierung
5.2.6 Fazit

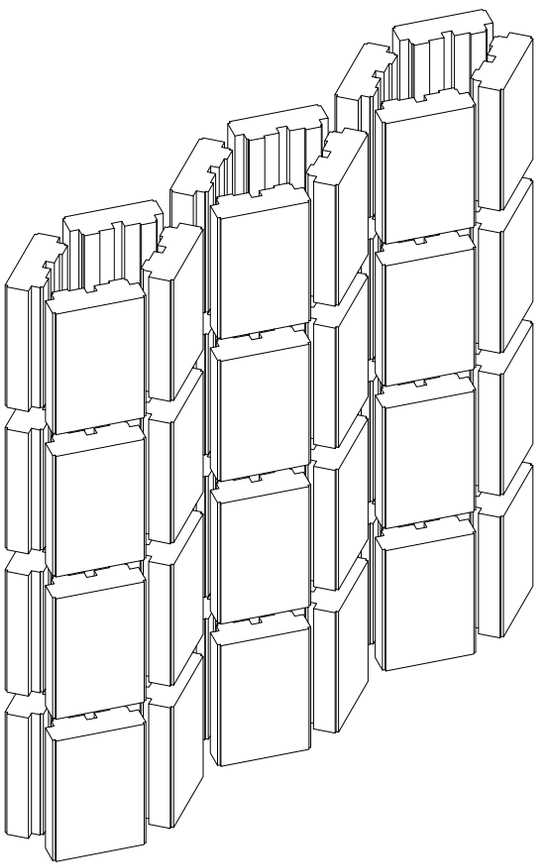
5.3 Verringerung der Lärmbelastung Wing Cheong Estate, Hongkong

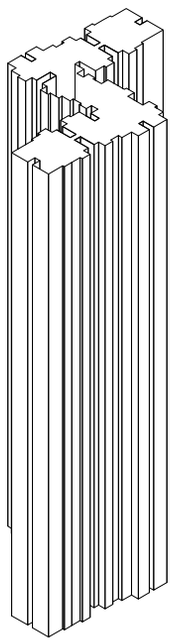
5.3.1 Projektbeschreibung
5.3.2 Messergebnisse
5.3.3 Verbesserungspotential/Fazit

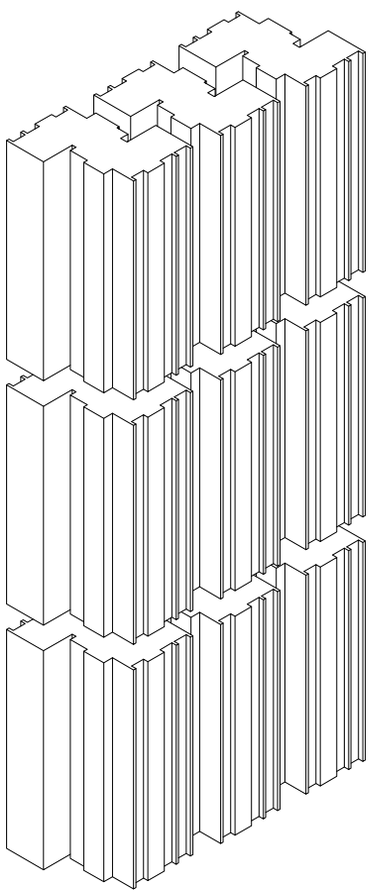
5.1.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)
5.1.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)
5.1.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)
5.1.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)
5.1.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)
5.1.6 Luftanteilsquotient (LAQ)
5.1.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis
5.1.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten
5.1.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)
5.1.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP)
5.1.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA)
5.1.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Pers (GP)
5.1.13 Fazit

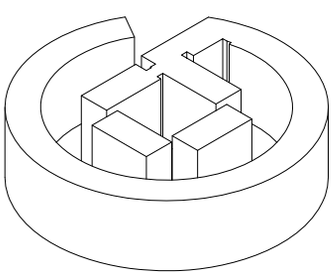
01 | Baukörpervolumen in isometrische Darstellung von *Skyville, Ngau Tau Kok, Urban Toulou* und *The Met*, eigene Darstellung; Ferdinand Oswald, 2013.

5.1 Vergleich der vier Fallstudien mit Kennwerten

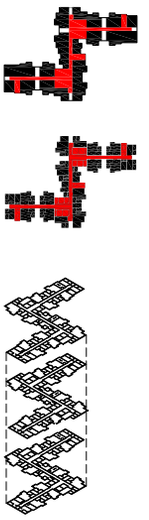






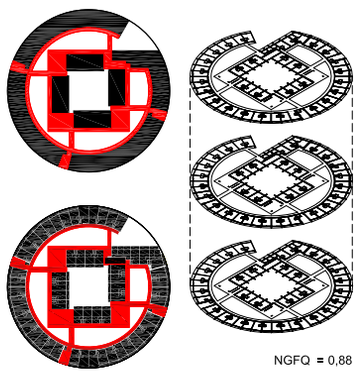


NGFQ



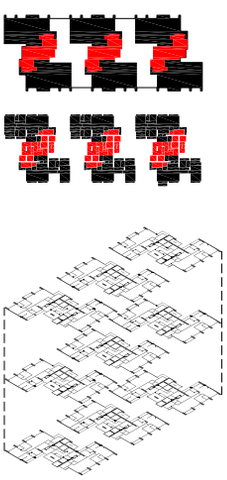
NGFQ = 0,90

Ngau Tau Kok



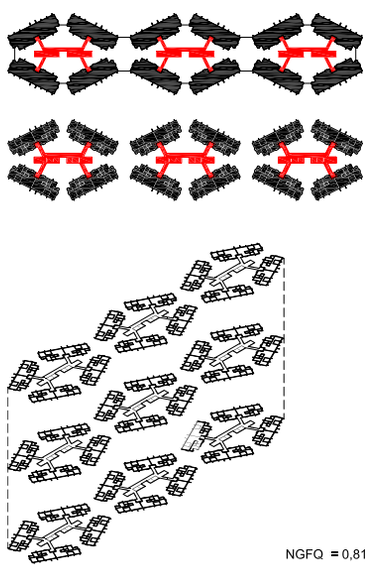
NGFQ = 0,88

Urban Tulou



NGFQ = 0,83

The Met



NGFQ = 0,81

Skyville

02

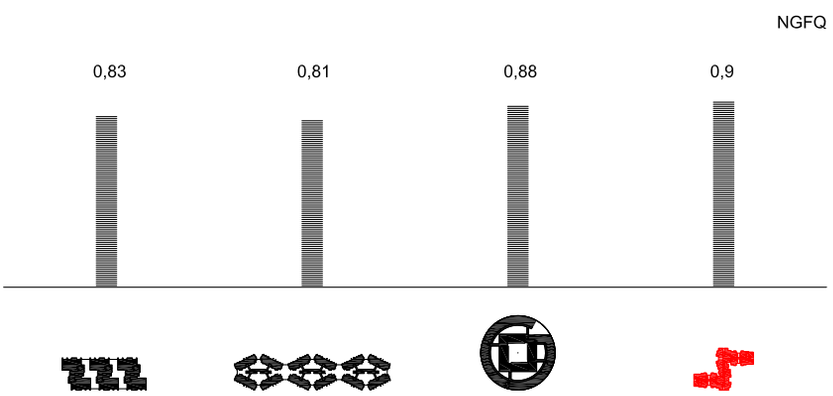
02 I Netto-Grundflächenquotient (NGFQ): Netto-Grundfläche (NGF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in den Abbildungen für jeweils ein Regelgeschoss, und abstrakte isometrische Darstellung der Konstruktionsfläche (KGF) des *Ngau Tau Kok* (0,9), des *Urban Tulou* (0,88), des *The Met* (0,83) und des *Skyville* (0,81), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

5.1.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ)

1. *Ngau Tau Kok* 0,9
2. *Urban Tulou* 0,88
3. *The Met* 0,83
4. *Skyville* 0,81

Der Netto-Grundflächenquotient (NGFQ) ist ein gängiger Kennwert zu Ermittlung der Effizienz des Konstruktionsaufwandes im Verhältnis zur Netto-Grundfläche des Gebäudes. Das Ergebnis trifft eine Aussage über die Netto-Grundfläche im Verhältnis zur derjenigen Fläche, die für die Gebäudetragstruktur und die Trennwände aufgebracht werden muss. Das *Ngau Tau Kok*-Wohnhochhaus hat mit einem Netto-Grundflächenquotienten von 0,9 den besten Wert und damit wegen seiner geringeren Höhe von 127 Metern einen höheren Netto-Grundflächenquotienten als das hier an dritter Stelle liegende *The Met* mit 0,83. Das *The Met* ist mit einer Höhe von 228 Metern das höchste der vier Gebäude, weshalb die Konstruktionsflächen nach unten hin zunehmen und die Dimensionen der Konstruktion wegen der größeren Tiefe der tragenden Wände breiter werden, wohingegen beim *Ngau Tau Kok* die tragenden Stahlbetonschotten in jedem Geschoss gleich bleiben und identische Dimensionen haben.

Den zweitbesten Wert im Vergleich der vier Projekte hat das *Urban Tulou* mit einem Netto-Grundflächenquotienten von 0,88. Da dieses Wohngebäude



03

03 I Diagramm Netto-Grundflächenquotient (NGFQ): Netto-Grundfläche (NGF)/Brutto-Grundfläche (BGF) des *Ngau Tau Kok* (0,9), des *Urban Tulou* (0,88), des *The Met* (0,83) und des *Skyville* (0,81), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2014.

NGFQ

nur 6 Geschosse besitzt, benötigt es nicht so viel Konstruktionsfläche, um die Last der oberen Geschosse abzutragen.

Das Wohnhochhausprojekt *Skyville at Dawson* hat mit 0,81 den niedrigsten Netto-Grundflächenquotienten dieser vier Projekte, was bedeutet, dass der Konstruktionsaufwand im Verhältnis zur Brutto-Grundfläche hier am größten ist. Das *Skyville* ist mit seinen 148 Metern Höhe zwar nicht das höchste Gebäude unter den vier Fallstudien, aber doch das zweithöchste und es benötigt daher ebenfalls viel Konstruktionsfläche. Des Weiteren liegt hier eine kleinteiligere Zimmeraufteilung vor als im *The Met*, sodass hier mehr raumabtrennende Wände erstellt wurden, was ebenfalls zu einem größeren Konstruktionsaufwand führt. Hinsichtlich der Verringerung der Klimaanlagennutzung ist bei einer größeren Gebäudestruktur-Porosität die natürliche Querlüftung wirksamer anwendbar. Es lässt sich allerdings schlussfolgern, dass der Wert des Netto-Grundflächenquotienten kaum Aussagen über den Grad der Gebäudestruktur-Porosität ermöglicht, da der Konstruktionsaufwand hiervon nicht direkt abhängig ist. So kann ein kompaktes Gebäudevolumen mit zahlreichen innenliegenden tragenden Wänden ausgestattet sein, wohingegen bei einem Wohnbau mit einer hohen Gebäudestruktur-Porosität diese tragenden Wände ebenso auch als außenliegende Fassadenwände angeordnet sein können. Beide Gebäudetypologien könnten deshalb einen ähnlichen Netto-Grundflächenquotienten haben.
Die Netto-Grundfläche eines Geschosses (NGFG) und die Brutto-Grundfläche (BGFG) je eines Geschosses der vier Beispiele *Ngau Tau Kok*, *Urban Tulou*, *The Met* und *Skyville* sind in der Darstellung ersichtlich. Des Weiteren sind Isometrien dargestellt, die die Konstruktionsfläche (KGF) der einzelnen Geschosse ersichtlich machen.
In Diagramm des Netto-Grundflächenquotienten (NGFQ) ist sichtbar, dass die Werte aller vier Fallstudien relativ ähnlich sind. Obwohl das Urban Tulou kein Hochhaus, sondern lediglich ein sechsgeschossiges Wohnhaus darstellt, hat es einen hohen Anteil an Konstruktionsfläche. Dies ist damit zu begründen, dass es eine kleinteiligere Raumaufteilung besitzt, also kleinere Wohneinheiten enthält.

5.1.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff)

1. *Skyville* 0,66
2. *Ngau Tau Kok* 0,65
3. *Urban Tulou* 0,64
4. *The Met* 0,63

Der Flächeneffizienzkennwert wurde für ein Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauen vom Bundesministerium für Bau und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland entwickelt. Dort geht es um die Steigerung der effizienten Nutzung bereits versiegelter Flächen: Innerhalb von Gebäuden ist eine wichtige Maßnahme zur Umsetzung dieses Ziels die Steigerung der Flächeneffizienz.[1] Sie wird aus dem Verhältnis von Nutzfläche und Brutto-Grundfläche ermittelt.

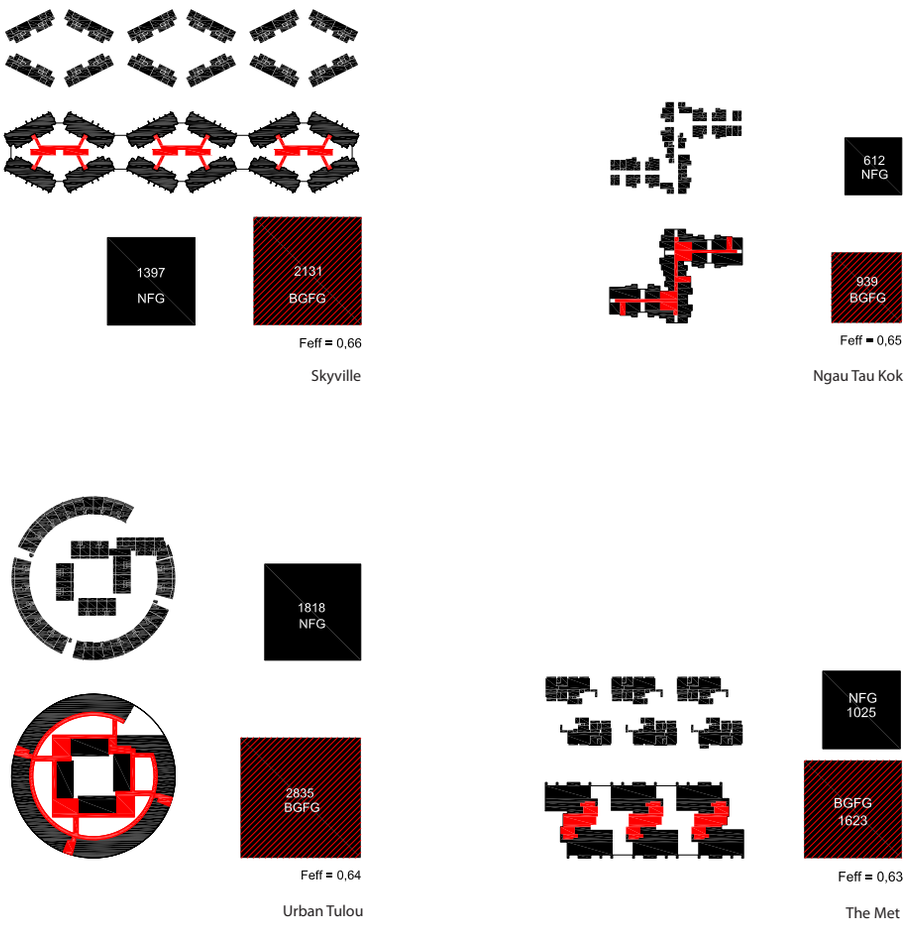
Alle vier Projekte haben einen ähnlichen Flächeneffizienzkennwert. Den höchsten und damit besten Wert hat das *Skyville*-Wohnhochhaus mit 0,66. Dies ist drauf zurückzuführen, dass dieses Gebäude im Vergleich der vier Fallstudien den besten Verkehrsflächenquotienten besitzt (0,23). Das Verhältnis von Nutzfläche und Verkehrsfläche ist hier sehr gut, d.h., es wird wenig Verkehrsfläche zur Erschließung der Wohneinheiten benötigt. Dies ist durch die zentralen Erschließungskerne bedingt, die jeweils 8 Wohnungen anbinden. Des Weiteren gruppieren sich die Wohneinheiten hier förmlich um die Erschließungskerne herum, sodass die Wegestrecken zu den Wohneinheiten kurz sind.

Das *Ngau Tau Kok*-Wohnhochhaus folgt mit seinem Flächeneffizienzkennwert von 0,65 an zweiter Stelle. Dies ist mit der effizienten Konstruktion zu begründen, da in jedem Geschoss identische tragende Stahlbetonschotten verwendet werden. Das *Ngau Tau Kok* steht im Ranking deshalb nicht an erste Stelle, weil es eine große Verkehrsfläche besitzt. Die Verkehrsfläche wird im nächsten Unterkapitel thematisiert.

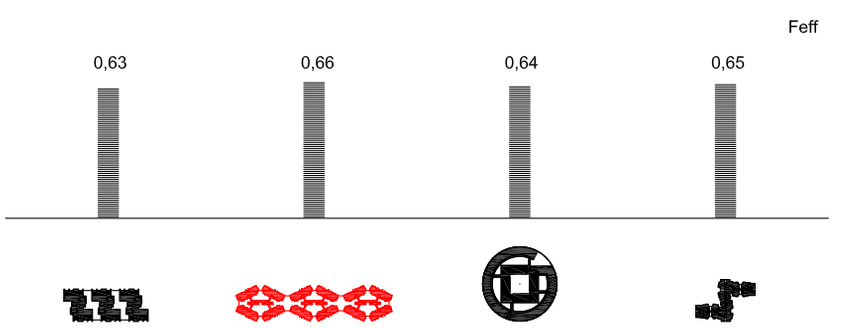
Das *Urban Tulou* liegt mit seinem Flächeneffizienzkennwert von 0,64 hier an dritter Stelle. Obwohl es einen sehr guten Netto-Grundflächenquotienten von 0,88 hat, also einen geringen Konstruktionsaufwand, verfügt es indes über eine große Verkehrsfläche. Beim Vergleich der Verkehrsflächenquotienten

[1] Vgl. Kerz, Nicolas, Dipl.-Ing.: Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2013, in: Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauens vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland (BMVBS), Veröffentlichung Informationsportal, 2013, S. 35.

Feff



04



05

04 I Flächeneffizienzkennwert (Feff): Nutzfläche (NF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in den Abbildungen für jeweils ein Regelgeschoss von *Skyville, Ngau Tau Kok, Urban Tulou* und *The Met* dargestellt, sowie die Geschossflächen NFG und BGFG in quadratischer Form im gleichen Maßstab, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

05 I Diagramm Flächeneffizienzkennwert (Feff): Nutzfläche (NF)/Brutto-Grundfläche (BGF), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

liegt das *Urban Tulou* mit einem Wert von 0,37 ebenfalls an dritter Stelle, wie im nächsten Unterkapitel noch genauer betrachtet wird.

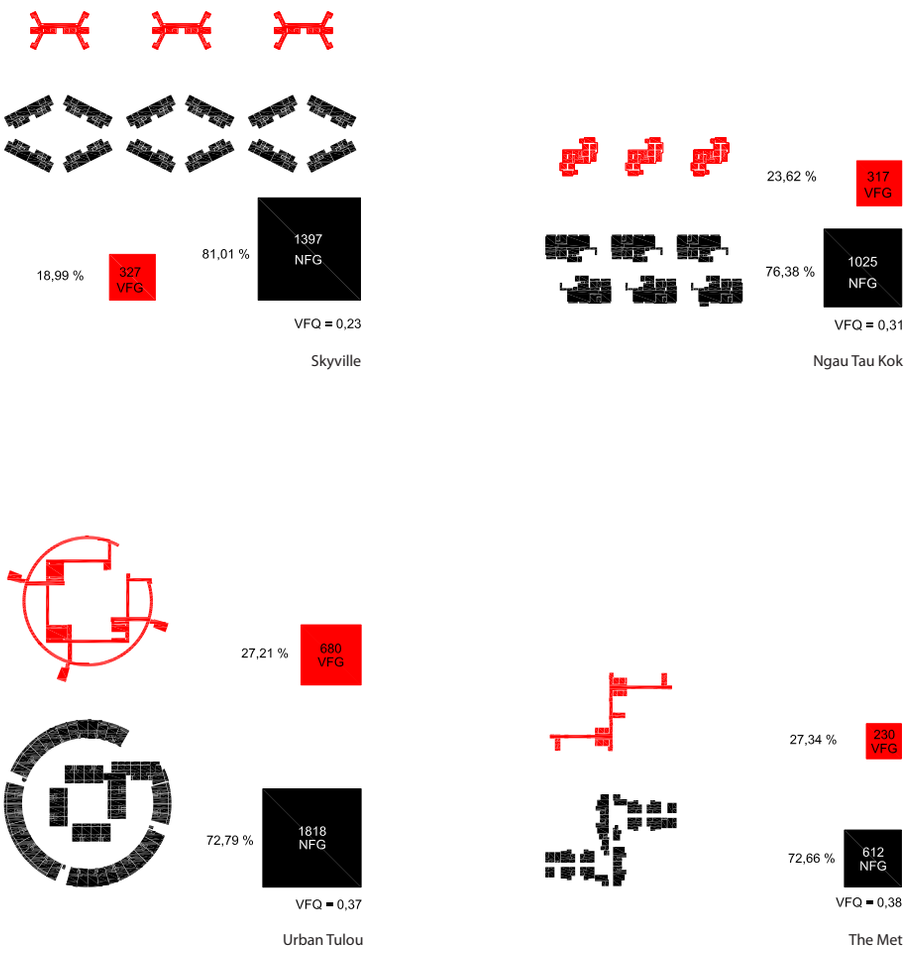
Das *The Met* schneidet in Sachen Flächeneffizienz mit einem Wert von 0,63 hier am schlechtesten hab. In den Darstellungen sind die jeweiligen Regelgeschosse mit Nutzfläche (NF) und Brutto-Grundfläche (BGF) von *Skyville*, *Ngau Tau Kok*, *Urban Tulou* und *The Met* abgebildet. Daneben werden diese beiden Geschossflächen jeweils in quadratischer Form im gleichen Maßstab grafisch nebeneinander dargestellt. In Diagramm des Flächeneffizienzkennwertes (Feff) ist sichtbar, dass die Werte aller vier Fallstudien relativ ähnlich sind. Alle vier Projekte haben einen ähnlichen Flächeneffizienzkennwert und somit eine ähnlich gute Effizienz der Nutzfläche im Verhältnis zur Brutto-Grundfläche. Es ist anzunehmen, dass in allen vier Ländern der Standorte dieser Wohnbauprojekte (Singapur, Hongkong, China und Thailand) die Bauträger bzw. die staatlichen Wohnbaugenossenschaften auf eine gute Flächeneffizienz achten. Mit dem Flächeneffizienzkennwert kommt jedoch lediglich das Verhältnis der beiden Kenngrößen zum Ausdruck; die Größen von Nutzfläche und Brutto-Grundfläche sind hier nicht von Bedeutung, was bei einer Betrachtung der sehr unterschiedlich großen Nutzflächenwerte z.B. von *Urban Tulou* (10.910 m2) und *The Met* (90.888 m2) deutlich wird.

5.1.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ)

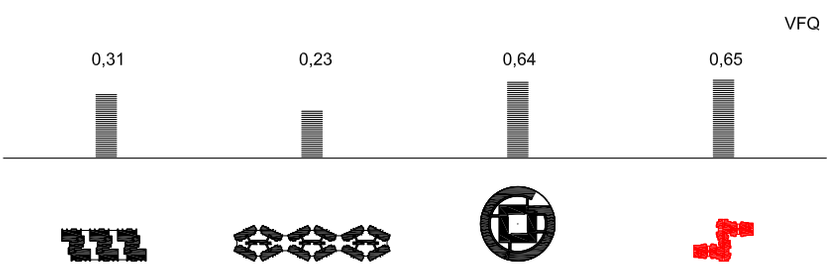
1. *Skyville* 0,23 – 18,99 %
2. *The Met* 0,31 – 23,6 %
3. *Urban Tulou* 0,37 – 27,21 %
4. *Ngau Tau Kok* 0,38 – 27,34 %

Das *Skyville at Dawson* hat mit seinem Verkehrsflächenquotienten von 0,23 den besten Wert im Vergleich zu den anderen untersuchten Projekten. Wie schon beim Flächeneffizienzkennwert angesprochen, wird beim *Skyville* wenig Verkehrsfläche zur Erschließung der Wohneinheiten benötigt: Die Verkehrsfläche des *Skyville* macht nur 18,99 % der Nutzfläche aus. Zudem sind die Wohneinheiten des *Skyville* im Vergleich zu denen des *Ngau Tau Kok* größer, was ebenso zur Reduzierung der Verkehrsflächen beiträgt. Dem niedrigen

VFQ



06



07

06 I Verkehrsflächenquotient (VFQ): Verkehrsfläche (VF)/Nutzfläche (NF), in den Abbildungen jeweils für ein Regelgeschoss von *Skyville, The Met, Urban Tulou* und *Ngau Tau Kok* dargestellt, sowie die Geschossflächen in quadratischer Form im gleichen Maßstab mit Prozentangabe (VFG und NFG), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

07 I Diagramm Verkehrsflächenquotient (VFQ): Verkehrsfläche (VF)/Nutzfläche (NF), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

VFQ

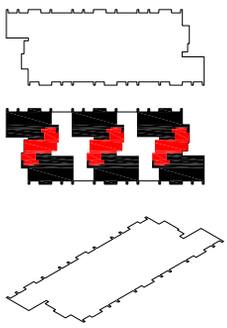
Wert des *Skyville* kommt außerdem noch zugute, dass die Erschließung hier offen ausgeführt ist: Es gibt keine einfassenden Außenwände der Erschließungsstege. Beim *The Met* und dem *Ngau Tau Kok* gibt es im Gegensatz hierzu eine innenliegende Erschließung mit raumumfassenden Wänden.

Der Verkehrsflächenquotient des *The Met* ist mit 0,31 effizient und das Projekt liegt damit im Vergleich der vier Fallstudien auf dem zweiten Platz. Dies ist mit der Wohngebäudetypologie des Zweispänners zu begründen sowie mit den relativ großen Wohneinheiten (durchschnittlich 171 Quadratmeter). Die Verkehrsfläche entspricht hier im Verhältnis zur Nettogrundfläche 23,6 %.

Das *Urban Tulou* hat mit einem Verkehrsflächenquotienten von 0,37 einen schlechteren Wert: Über ein Viertel der Nettogrundfläche (27,21 %) wird für die Verkehrsfläche benötigt, womit dieses Gebäude im Vergleich an dritter Stelle steht. Dies ist durch die großzügigen Terrassenflächen zwischen den Laubengängen bedingt, welche den Bewohnern viel Aufenthaltsfläche bieten, dabei aber das Verhältnis von Verkehrs- und Nutzfläche verschlechtern.

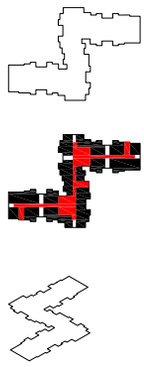
Erstaunlich ist der Verkehrsflächenquotient des *Ngau Tau Kok*, das mit einem Wert von 0,38 in diesem Vergleich am schlechtesten abschneidet. Obwohl die Mittelgang-Erschließung sehr flächeneffizient erscheint, ist das Verhältnis der Verkehrsfläche zur Nutzfläche hier nicht gut: Wie beim *Urban Tulou* wird über ein Viertel der Nettogrundfläche (hier 27,34 %) für die Verkehrsfläche benötigt. Ein Grund hierfür sind die langen Korridore, die in der Mitte des Grundrisses komplett durch das Gebäude hindurchlaufen. Auch die beiden großen Aufweitungen an den Aufzugskernen tragen zur Vergrößerung der Verkehrsfläche bei. In den Darstellungen sind die Regelgeschosse von *Skyville*, *The Met*, *Urban Tulou* und *Ngau Tau Kok* jeweils mit Verkehrsfläche (VFG) und Nutzfläche (NFG) dargestellt. Daneben werden diese beiden Geschossflächen jeweils in quadratischer Form im selben Maßstab grafisch dargestellt. Neben den Quotienten ist hier auch das Verhältnis von Verkehrsfläche und Nutzfläche in Prozent gerechnet. Im Diagramm des Verkehrsflächenquotienten sind die unterschiedlichen Werte visuell gut ablesbar.

GDQ



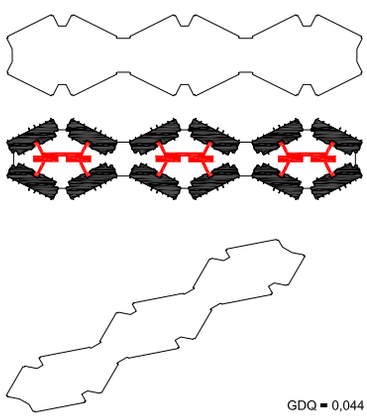
GDQ = 0,023

The Met



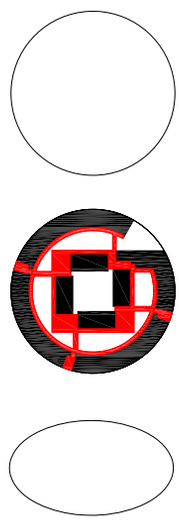
GDQ = 0,028

Ngau Tau Kok



GDQ = 0,044

Skyville



GDQ = 0,242

Urban Tulou

08

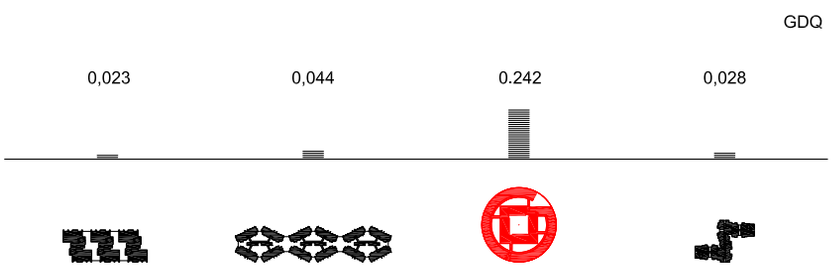
08 I Gebäudedichtequotient (GDQ): Grundfläche (GF)/Brutto-Grundfläche (BGF), in den Abbildungen jeweils für ein Regelgeschoss von *The Met, Ngau Tau Kok, Skyville* und *Urban Tulou* dargestellt, sowie isometrische Darstellungen der Grundflächen, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

5.1.4 Gebäudedichtequotient (GDQ)

1. *The Met* 0,023
2. *Ngau Tau Kok* 0,028
3. *Skyville* 0,044
4. *Urban Tulou* 0,242

Für den Kennwert Gebäudedichtequotient (GDQ) wird die Grundfläche im Erdgeschoss (GF) durch die Brutto-Grundfläche (BGF) geteilt. Bei allen vier Fallstudien wird die Außengrundfläche (GF) als Grundfläche im Erdgeschoss verwendet, also der Fußabdruck des Gebäudes. Prinzipiell spielt beim Gebäudedichtequotienten der Faktor der Gebäudehöhe eine erhebliche Rolle, denn je höher das Gebäude ist, desto mehr Wohnfläche kann auf der Grundfläche untergebracht werden und desto größer ist die Gebäudedichte. Für Investoren und Architekten ist die Baunutz-Flächenzahl eine oft verwendete Kennzahl. Hierbei wird die BGF auf die Grundstücksgröße bezogen. In der vorliegenden Dissertation ist zur Untersuchung der Gebäudetypologien jedoch die Betrachtung des Gebäudedichtequotienten, welcher auf die Grundfläche (GF) des Gebäudes bezogen ist, sinnvoller.

Aufgrund seiner großen Höhe von 228 Metern hat das *The Met* einen sehr niedrigen Gebäudedichtequotienten von 0,023 und steht im Vergleich der Fallstudien somit an erster Stelle, denn 56 Wohngeschosse sind hier auf einer sehr kleinen Grundfläche untergebracht.



09

09 I Diagramm Gebäudedichtequotient (GDQ): Grundfläche (GF)/Brutto-Grundfläche (BGF), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

GDQ

Das *Ngau Tau Kok*-Wohnhochhaus steht mit einem Gebäudedichtequotienten von 0,028 an zweiter Stelle der untersuchten Wohngebäude. Obwohl dieses Gebäude mit lediglich 127 m kaum mehr als halb so hoch ist wie das *The Met*, besitzt es einen ähnlichen Gebäudedichtequotienten. Diese Tatsache ist auf die kompakte Form des Gebäudekörpers zurückzuführen: Es gibt hier nur wenige nicht bebaute große Einschnitte im Gebäudekörper, also einen geringen Luftanteil. Im Verhältnis zur Grundfläche (GF) ist die Brutto-Grundfläche (BGF) hier sehr groß.

Die Gebäudedichte des *Skyville at Dawson* liegt mit einem Quotienten von 0,044 im mittleren Bereich und steht hier mit einem immer noch guten Wert an dritter Stelle. Das Verhältnis der Brutto-Grundfläche zur Grundfläche ist hier deshalb so gut, weil es sich um das zweithöchste Gebäude der vier Fallstudien handelt: Bei 148 m Höhe lassen sich in 40 Wohngeschossen zahlreiche Wohnungen unterbringen. Die direkt bebaute Fläche wird hier jedoch nur mittelmäßig gut ausgenutzt, weil es große Luftanteile innerhalb der Gebäudestruktur gibt: Diese großräumigen vertikalen Gebäudeeinschnitte vermindern die Brutto-Grundfläche, weshalb ist dieser Kennwert hier deutlich schlechter ist als beim *Ngau Tau Kok*, das in Sachen Gebäudehöhe am ehesten mit dem *Skyville* vergleichbar ist.

Das *Urban Tulou* hat mit einem Wert von 0,242 mit Abstand den höchsten Gebäudedichtequotienten. Diese geringe Dichte ist natürlich auf die geringe Gebäudehöhe zurückzuführen: Das *Urban Tulou* hat nur 6 Geschosse bei einer Gebäudehöhe von 19,2 m, sodass sich hier weniger Brutto-Grundfläche unterbringen lässt. In den Darstellungen sind die Grundflächen und die Brutto-Grundflächen der Regelgeschosse von *The Met*, *Ngau Tau Kok*, *Skyville* und *Urban Tulou* abgebildet. Des Weiteren sind die Grundflächen in isometrischen Darstellungen abgebildet. Im Diagramm des Gebäudedichtequotienten sind die unterschiedlichen Werte visuell wieder gut ablesbar. Ins Auge fällt besonders der höchste Gebäudedichtequotienten-Wert und somit die geringste Dichte des *Urban Tulou* (0,242): Es hat hier einen mehr als das Zehnfache betragenden Wert im Vergleich zu dem des *The Met* (0,023).

5.1.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ)

1. *Ngau Tau Kok* 3,51 (3,15 m Geschosshöhe)
2. *Urban Tulou* 3,63 (3,20 m Geschosshöhe)
3. *The Met* 3,99 (3,30 m Geschosshöhe)
4. *Skyville* 4,08 (3,30 m Geschosshöhe)

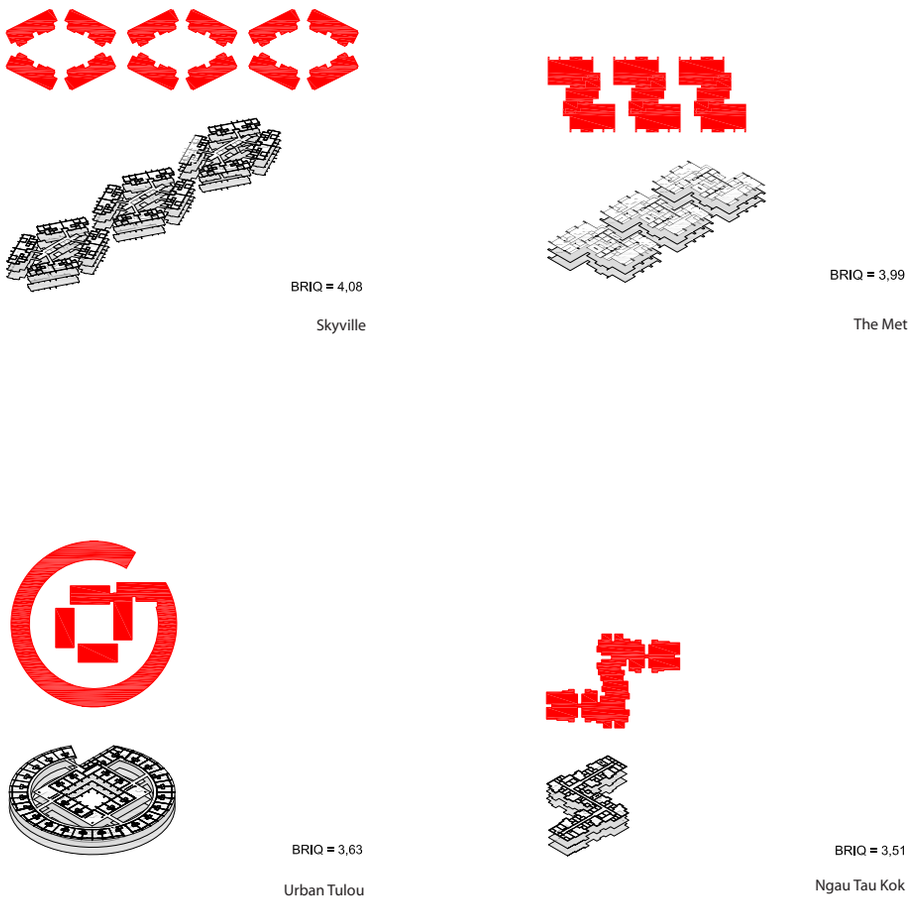
Nach ÖNORM wird zur Berechnung des Brutto-Rauminhaltsquotienten (BRIQ) der Brutto-Rauminhalt (BRI) zur Netto-Grundfläche (NGF) ins Verhältnis gesetzt (BRIQ = BRI/NGF)[2]. Der Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ) ermöglicht eine ähnliche Aussage wie der Netto-Grundflächenquotient (NGFQ), nur dass hier die räumliche Komponente mit einbezogen ist.[3] Auch hier wird die Effizienz des Konstruktionsaufwandes dargestellt, in diesem Fall im Verhältnis zum Brutto-Rauminhalt (BRI) des Gebäudes. Das Ergebnis ermöglicht eine Aussage über den Brutto-Rauminhalt im Verhältnis zu derjenigen Fläche, die für die Gebäudetragstruktur und die Trennwände aufgebracht werden muss. Die Höhe der einzelnen Geschosse hat also einen Einfluss auf diesen Wert: Mit den realen Geschosshöhen werden die Werte bei größeren Geschosshöhen schlechter, weil zwar mehr Rauminhalt zur Verfügung steht, die Netto-Grundfläche allerdings gleich bleibt. Die Effizienz des Konstruktionsaufwandes verringert sich bei mehr Bauvolumen, also bei größeren Geschosshöhen.

Die niedrigste Geschosshöhe hat das *Ngau Tau Kok* mit 3,15 m und dementsprechend zeigt sein Brutto-Rauminhaltsquotient mit 3,51 im Vergleich den geringsten Wert. Das *Urban Tulou* hat mit 3,20 m ebenfalls eine eher geringe Raumdeckenhöhe und deshalb ist auch hier der Brutto-Rauminhaltsquotient mit einem Wert von 3,63 relativ gering. An dritter Stelle steht hier das *The Met* mit einem Bruttorauminhaltsquotienten von 3,99. Das *The Met* hat zwar die gleiche Geschosshöhe wie das *Skyville*, aber weniger Konstruktionsfläche, sodass der Brutto-Rauminhaltsquotient hier besser ist. Das *Skyville* hat den schlechtesten Brutto-Rauminhaltsquotienten mit 4,08, was auf seine großzügige Raumdeckenhöhe von 3,30 m zurückzuführen ist.

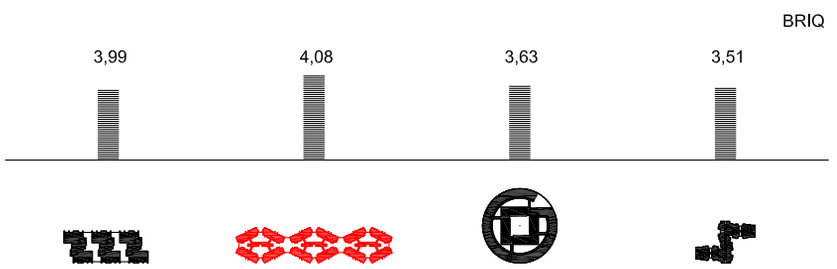
[2] ÖNORM B 1801-1: 2009, Bauprojekt- und Objektmanagement, Bild 7, Planungskennwerte, S. 24.

[3] Das Verhältnis der Brutto-Rauminhaltsquotienten bei gleichen Geschosshöhen entspricht dem Verhältnis der Netto-Grundflächenquotienten (NGFQ): Ngau Tau Kok 0,9, Urban Tulou 0,88, The Met 0,83 und Skyville 0,81. Bei einer einheitlichen Geschosshöhe von 3,15 m lägen hier folgende Werte vor: Skyville 4,08, The Met 3,99, Urban Tulou 3,63 und Ngau Tau Kok 3,51.

BRIQ



10



11

10 I Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ): Brutto-Rauminhalt (BRI)/Netto-Grundfläche (NGF), in den Abbildungen für jeweils ein Regelgeschoss von *Skyville, The Met, Urban Tulou* und *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

11 I Diagramm Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ): Brutto-Rauminhalt (BRI)/Netto-Grundfläche (NGF), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Eine größere lichte Raumhöhe ist für die Behaglichkeit in den Tropen und Subtropen vorteilhaft, weil die Strahlungswärme der Personen im Raum auf ein größeres Raumluftvolumen verteilt wird. Eine größere lichte Raumhöhe ermöglicht zudem auch größere Fassadenöffnungen zur natürlichen Belüftung. Gleichzeitig kann hier auch eine größere Kontaktfläche der Fassade zur Nutzung der Speichermassenkühlung genutzt werden. Allerdings muss dementsprechend pro Geschoss auch eine größere Fläche mit Verschattungsmaßnahmen gegen solare Energieeinträge geschützt werden. In der Darstellung sind jeweils die Grundfläche des Brutto-Rauminhaltes (BRI) rot und zudem isometrisch die Netto-Grundfläche (NGF) eines Regelgeschosses jeweils mit der Geschosshöhe von *Skyville*, *The Met*, *Urban Tulou* und *Ngau Tau Kok* abgebildet. Im Diagramm des Brutto-Raumquotienten ist die relativ große ähnlichkeit dieser Werte gut erkennbar. Das *Skyville* hat den schlechtesten Brutto-Rauminhaltsquotienten und ist hier rot markiert.

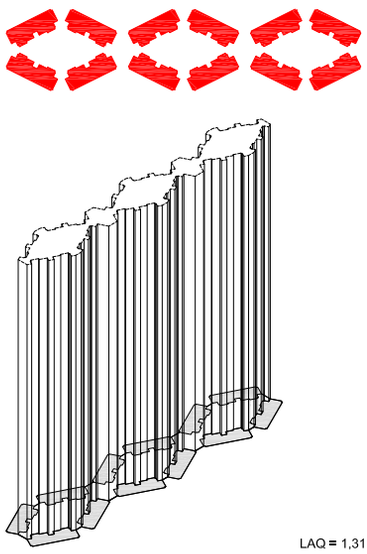
5.1.6 Luftanteilsquotient (LAQ)

1. *Skyville* 1,31
2. *Urban Tulou* 2,21
3. *The Met* 3,27
4. *Ngau Tau Kok* 13,5

Der Luftanteilsquotient (LAQ) ist ein Kennwert, der die Gebäude-Porosität ausdrückt: Je geringer der Wert des Luftanteilsquotienten (LAQ) ist, desto größer ist der Luftanteil des Gebäudes und somit die Gebäude-Porosität. Zur Berechnung des Luftanteilsquotienten (LAQ) wird der Brutto-Rauminhalt (BRI) durch den Luftanteil (LA) geteilt.

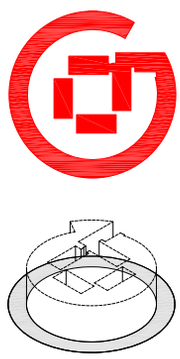
In den feuchtheißen Gebieten beinhaltet eine größere Porosität die Chance, die Wohneinheiten besser mit frischen Wind und natürlicher Belüftung zu versorgen. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Gebäudekörpern werden als Luftraum definiert und tragen durch die Unterstützung der Luftzirkulation erheblich zur Verbesserung der Behaglichkeit innerhalb der Wohneinheiten bei. Wegen des Ziels einer verringerten Klimaanlagennutzung wird ein höherer Luftanteil hier als positiv bewertet.

LAQ



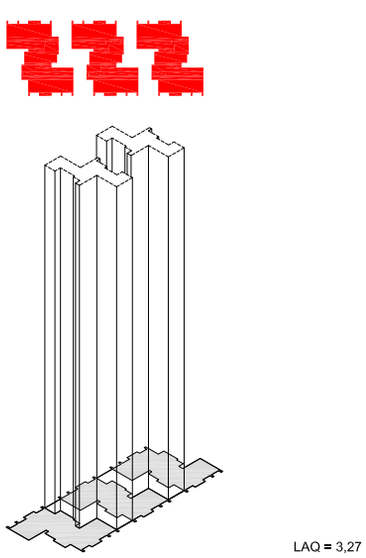
LAQ = 1,31

Skyville



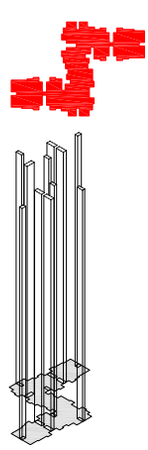
LAQ = 2,21

Urban Tulou



LAQ = 3,27

The Met



LAQ = 13,5

Ngau Tau Kok

12

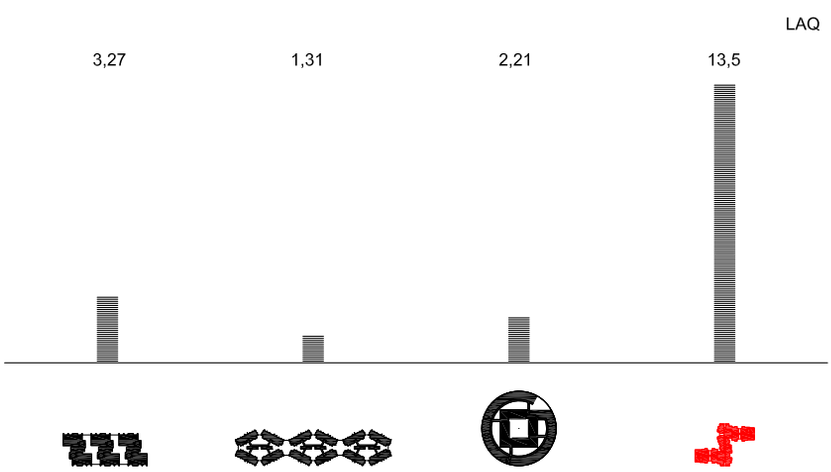
12 I Luftanteilsquotient (LAQ): Brutto-Rauminhalt (BRI)/Luftanteil (LA), in den Abbildungen der Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung von *Skyville, Urban Tulou, The Met* und *Ngau Tau Kok*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

LAQ

Die beiden Projekte *Skyville* und *The Met* gleichen sich in ihrer Gebäudetypologie und -struktur. So sind sie beide aus einzelnen zusammengesetzten Wohntürmen erstellt. Trotzdem unterscheiden sich ihre Werte des Luftanteilsquotienten deutlich voneinander (*Skyville* 1,31, *The Met* 3,27). Das *Skyville* hat aufgrund seiner Positionierung der Gebäudekörper in größeren Abständen größere Luft-Zwischenräume, wohingegen die Baukörper beim *The Met* wesentlich enger zusammenstehen, sodass hier weniger Luftanteil vorhanden ist. Zudem sind beim *The Met* die Gebäudekörper weniger zergliedert, sie sind kompakter.

Obwohl sich diese beiden Wohnhochhäuser stark ähneln und das *Urban Tulou* eine völlig andere Gebäudestruktur aufweist, hat das *Urban Tulou* einen Luftanteilsquotienten, der zwischen diesen beiden liegt (2,21). Das *Urban Tulou* verfügt mit seiner Anordnung der Gebäudekörper über großzügige Zwischenräume, die innerhalb des runden Gebäudekörpers in Form von Innenhöfen wahrnehmbar sind. Daraus resultiert eine Windzirkulation und Verschattung, die erheblich zur Behaglichkeit in den Wohneinheiten beiträgt. Andererseits ist die Gebäudestruktur hier allerdings noch kompakter als die des *The Met*-Wohnhochhauses.

Der Luftanteil des *Ngau Tau Kok* beträgt 8.538 m^3. Dies ist angesichts der beträchtlichen Gebäudehöhe und des großen Gesamtvolumens im Vergleich zu den beiden Gebäudebeispielen *The Met* und *Skyville* ein sehr kleiner Wert. Der Quotient von 13,5 gibt zu erkennen, dass der Anteil des Luftraums im



13

13 I Diagramm Luftanteilsquotient (LAQ): Brutto-Rauminhalt (BRI)/Luftanteil (LA), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

LAQ

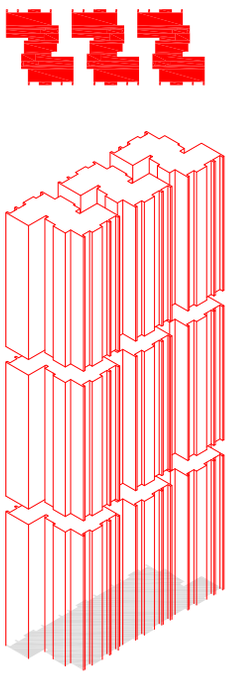
Verhältnis zum Bruttorauminhalt sehr gering ist. Dies ist damit zu begründen, dass es außer den Lücken zwischen den drei Wohntürmen keine weiteren größeren Lufträume gibt. Die Wohnturmkörper sind hier sehr dicht aneinandergestellt, sodass sich nur ein kleiner Spalt zwischen ihnen ergibt. Offene, nicht umbaute Geschosse wie beim *The Met* und beim *Skyville* gibt es hier gar nicht. Der geringe Luftanteil des Gebäudes tritt vor allem in der Fassade in Erscheinung: Während die Fassadenstrukturen von *Skyville* und *The Met* glatt und kompakt sind, macht die Fassade des *Ngau Tau Kok* Vor- und Rücksprünge und weist damit eine Faltung der Fassade auf. Trotz des Fehlens von großen Luftanteilen bietet damit auch das *Ngau Tau Kok* die Möglichkeit einer guten natürlichen Belüftung, wenn auch mit geringeren Luftgeschwindigkeiten als beim *The Met*. Die intensive Faltung der Fassade forciert hier die Verschattung und die natürliche Belüftung der Bäder und Korridore. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Gebäudekörpern werden als Luftraum definiert und tragen durch die Unterstützung der Luftzirkulation erheblich zur Verbesserung der Behaglichkeit innerhalb der Wohneinheiten bei. Wegen des Ziels einer verringerten Klimaanlagennutzung mit passiven Kühlmethoden wird ein höherer Luftanteil hier als positiv bewertet. In der Grafik ist der Luftanteil (LA) in isometrischer Darstellung von *Skyville*, *Urban Tulou*, *The Met* und *Ngau Tau Kok* abgebildet.
Das Diagramm des Luftanteilsquotienten (LAQ) zeigt noch einmal visuell die großen Unterschiede der einzelnen Projekte auf. Das *Ngau Tau Kok* ist hier rot markiert: Es hat mit 13,5 hier mit Abstand den größten Wert und somit die geringste Gebäude-Porosität.

5.1.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis

1. *The Met* 0,28
2. *Skyville* 0,39
3. *Urban Tulou* 0,60
4. *Ngau Tau Kok* 0,68

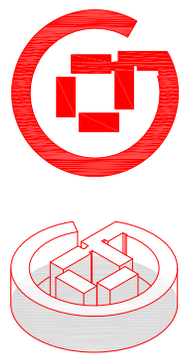
Der Hüllflächenquotient (HÜLQ) ist ein Kennwert, der die Gebäude-Kompaktheit ausdrücken soll: Je kleiner der Hüllflächenquotient (HÜLQ), desto kleiner ist der Hüllflächenanteil im Verhältnis zum Gebäudevolumen. Zur Berechnung des Hüllflächenquotienten (HÜLQ) wird die Hüllfläche (HÜL) durch den Brutto-Rauminhalt (BRI) geteilt.
In kalten moderaten Klimaregionen ist eine kompakte Gebäudestruktur vorteilhaft, da hier die Gebäudehülle vor kalter Witterung im Winter geschützt werden muss. In tropischen Gebieten ist an der Kontaktfläche eine Außendämmung nicht unbedingt erforderlich. Bei einer größeren Außenhüllfläche von Gebäuden in feuchtheißen Klimagebieten steigen allerdings ebenfalls der Konstruktionsaufwand und die Kosten zur Erstellung der Außenhaut, denn auch hier muss eine Oberfläche mit Witterungsbeständigkeit, z.B. gegen Feuchtigkeit, erstellt werden. Für die Wärmeübertragung gibt es in Asien bisher keine Vorgabe in Form von Normen etc. Eine größere bzw. verschachtelte Außenhautfläche eines Gebäudes kann in feuchtheißen Gebieten den Wirkungsgrad für eine Luftkühlung erhöhen, denn die Außenfassade hat somit mehr Kontakt mit kühlendem Wind und zudem können die Räume besser mit einer Luftbrise versorgt werden. Mit einer verschachtelten Fassadentypologie (gefaltete Fassade) oder zergliederten Gebäudeform kann auch entsprechend mehr Schatten erzeugt werden. Doch zugleich ist eine größere Außenhautfläche auch stärker der Sonneneinstrahlung ausgesetzt, was den Eintrag von solaren Energiegewinnen in das Gebäude erhöht. Prinzipiell ist in tropischen und subtropischen Klimaregionen also ein hoher Hüllflächenquotient und damit eine wenig kompakte Gebäudestruktur vorteilhafter, weil dadurch die natürliche Belüftung und Speichermassenkühlung mit Nachtdurchlüftung wirksamer genutzt werden können.
Wie schon erwähnt, gleichen sich die drei Projekte *The Met*, *Skyville* und *Ngau Tau Kok* in ihrer Gebäudetypologie: Alle drei bestehen aus einzelnen zusammengesetzten Wohntürmen. Die wesentlichen Unterscheidungen

HULQ



HÜLQ = 0,28

The Met



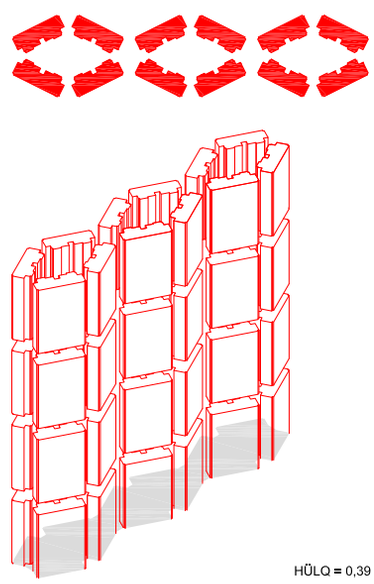
HÜLQ = 0,60

Urban Tulou



HÜLQ = 0,68

Ngau Tau Kok



HÜLQ = 0,39

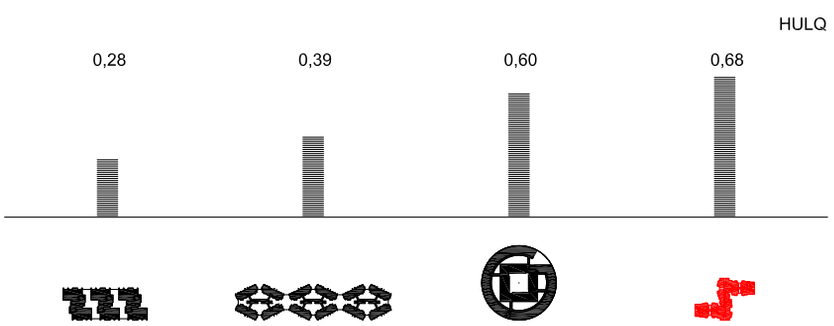
Skyville

14

14 I Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis: Hüllfläche (HÜL)/Brutto-Rauminhalt (BRI), in den Abbildungen die Grundrisse sowie Hüllfläche und Baukörpervolumen teilweise in isometrischer Darstellung von *The Met, Urban Tulou, Ngau Tau Kok* und *Skyville*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

HULQ

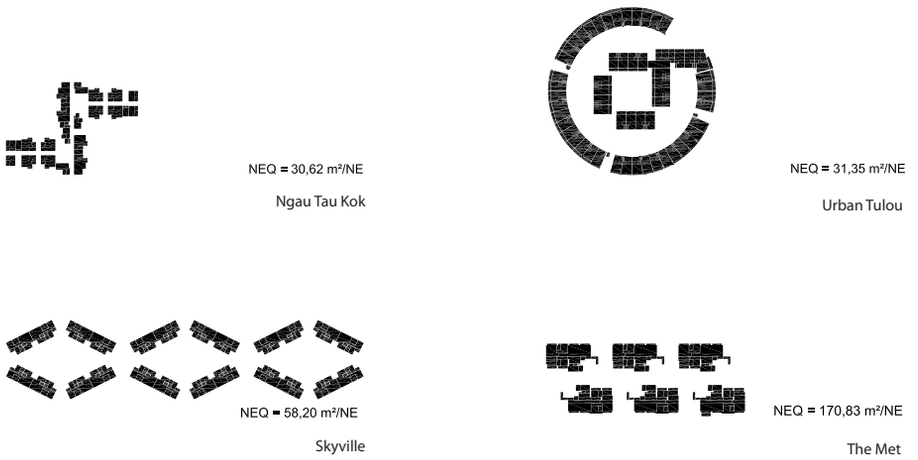
sind die unterschiedliche Zergliederung und die verschiedene Aufteilung der jeweiligen Wohnturmkörper: Beim *The Met* sind die Gebäudekörper kompakt in größerem und beim *Skyville*-Projekt in kleinerem Volumen ausgebildet. Wenn man nur die Nutzfläche unabhängig von der Verkehrsfläche betrachtet, ähnelt sich die Nutzenflächengröße der beiden Projekte sehr (*The Met* 57.398 m^2, *Skyville* 55.872 m^2). Diese Nutzfläche ist beim *Skyville* in 12 und beim *The Met* in nur drei Gebäudekörper zergliedert und zerteilt. Daher ist es logisch, dass das Verhältnis der Hüllfläche zum Volumen beim *Skyville* schlechter ist und demzufolge der Hüllflächenquotient größer (0,39) als beim *The Met* (0,28). Allerdings muss auch die Gebäudehöhe mit berücksichtigt werden: Das *The Met* (228 m) ist 80 Meter höher als das *Skyville* (148 m), sodass hier entsprechend mehr Volumen ins Verhältnis zur Dach- und Grundfläche gesetzt wird. Der Hüllflächenquotient des *Ngau Tau Kok* ist mit 0,68 erstaunlicherweise sehr hoch und macht hier den höchsten Wert aus. Die 115.295 m^3 Bruttorauminhalt werden hier in drei Wohntürme aufgegliedert, wobei diese Aufgliederung allerdings kaum ersichtlich ist, da die Türme so eng beieinander stehen. Hier liegt pro Wohnturm ein Bruttorauminhalt von 38.431 m^3 vor – beim *The Met* sind es im Vergleich dazu 99.977 m^3, womit das *The Met* etwa dreimal so groß ist wie das *Ngau Tau Kok*. Das *Ngau Tau Kok* ist mit 127 Metern Gebäudehöhe ungefähr gleich hoch wie das *Skyville* mit 148 Metern. Beide haben aber unterschiedliche A/V-Verhältnisse (*Ngau Tau Kok* 0,68 und *Skyville* 0,39). Das schlechtere A/V-Verhältnis des *Ngau Tau Kok* ist damit zu begründen, dass die Gebäudekörper des *Ngau Tau Kok* viele Vor- und Rücksprünge haben. Wie schon erwähnt, handelt es sich hierbei um eine stark gefaltete Fassadenstruktur (Außenwandfläche). Dadurch vergrößert sich die Fassadenoberfläche immens (AF = 40.418 m^2).



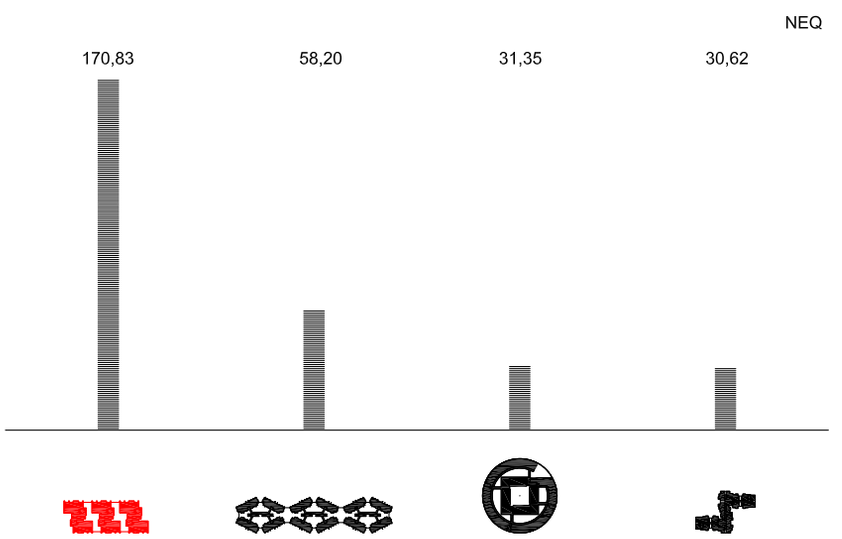
15

15 I Diagramm Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis: Hüllfläche (HÜL)/Brutto-Rauminhalt (BRI), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

NEQ



16



17

16 I Nutzungseinheitenquotient (NEQ): Nutzfläche (NF)/Nutzungseinheiten (NEG), in den Abbildungen jeweils für ein Regelgeschoss von *The Met, Urban Tulou, Ngau Tau Kok* und *Skyville,* eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

17 I Diagramm Nutzungseinheitenquotient (NEQ): Nutzfläche (NF)/Nutzungseinheiten (NEG), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

Das *Urban Tulou* hat einen guten Hüllflächenquotienten (0,60) und liegt im Vergleich mit den anderen Wohnhäusern an dritter Stelle. Bei der Typologie des *Urban Tulou* handelt es sich um kreisförmig aneinandergereihte Wohneinheiten. Im runden äußeren Gebäudekörper ist diese Aneinanderreihung nahezu durchgängig; sie wird nur vom Eingang und von drei Treppenhäusern unterbrochen, sodass vier kompakte Gebäudekörper entstehen. In den Grafiken sind Hüllfläche und Baukörpervolumen in isometrischer Darstellung von *The Met*, *Urban Tulou*, *Ngau Tau Kok* und *Skyville* abgebildet. Im Diagramm des Hüllflächenquotienten (HÜLQ) sind der kleinere Wert und damit die große Kompaktheit des *The Met* klar zu erkennen. Weiter lassen sich der hohe Wert des Hüllflächenquotienten und die damit geringe Kompaktheit des *Ngau Tau Kok*, die durch die Fassadenfaltung verursacht werden, im Diagramm gut ablesen.

5.1.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten

Ngau Tau Kok 30,62 m^2/NE
Urban Tulou 31,35 m^2/NE
Skyville 58,20 m^2/NE
The Met 170,83 m^2/NE

Mit Nutzungseinheit ist im Wohnungsbau eine Wohnungseinheit gemeint. Der Nutzungseinheitenquotient (NEQ) gibt die durchschnittliche Wohnungsflächengröße eines Wohngebäudes in Quadratmetern an. Zur Berechnung des Nutzungseinheitenquotienten (NEQ) wird die Nutzfläche (NF) durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG) geteilt. Die Reihung nach der Größe der Wohneinheiten lässt hier das Nutzerklientel der vier Wohnbauten erkennen: Die sehr großen Wohnungen des *The Met* mit durchschnittlich 170,83 m^2 entsprechen dem sehr wohlhabenden Klientel dieses Wohnhochhauses und die Wohnungsflächengröße des *Skyville* (58,20 m^2) entspricht dem staatlichen Wohnen auf einem höheren Qualitätsniveau. Dies ist mit der Wohnungspolitik in Singapur zu begründen: Die Regierung fördert das staatliche Wohnen großzügig und auch in einer hohen Quantität. Die Wohnungsgröße des *Urban Tulou* (31,35 m^2) in Guangzhou entspricht dem Standard des staatlich geförderten Wohnungsbaus innerhalb der Volksrepublik China und das Projekt *Ngau Tau Kok* in Hongkong entspricht mit seiner

NEQ

durchschnittlichen Wohnungsgröße von 30,62 m^2 dem Standard des staatlich geförderten Wohnungsbaus in der Sonderverwaltungszone Hongkong der Volksrepublik China. Selbstverständlich ist eine solche Wertung auch abhängig von der Belegungsziffer der einzelnen Wohnungseinheiten. Diese wird im übernächsten Unterkapitel „Belegungsdichte" noch thematisiert.

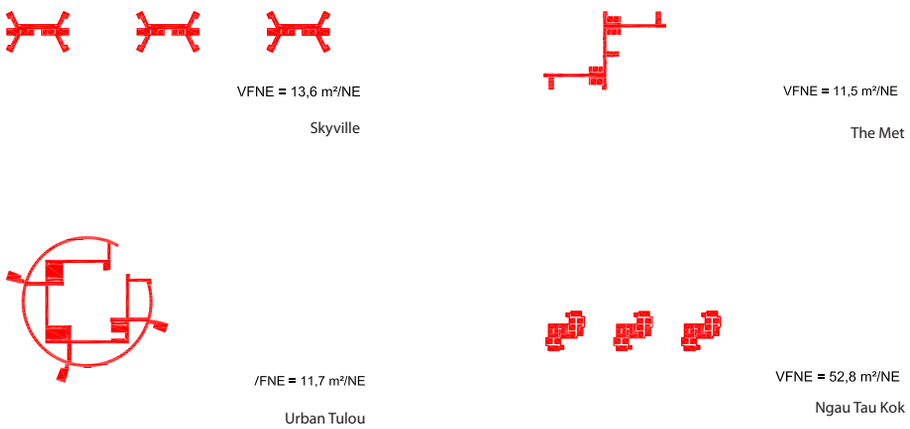
Im *Ngau Tau Kok* gibt es vier unterschiedlich große Wohnungstypen mit einer durchschnittlichen Wohnungsflächengröße von 30,62 m^2. Im *Urban Tulou* gibt es nur zwei Wohnungstypen mit durchschnittlich 31,35 m^2 Wohnfläche: einen kleineren im runden außenliegenden Gebäudetrakt, wo die Wohnungen als Einraumwohnungen konzipiert sind, und einen größeren im Inneren der runden Gebäudetypologie, wo sich die Wohnfläche in mehrere Zimmer unterteilen lässt. Die durchschnittliche Größe der Wohneinheiten im *Skyville* von 58,20 m^2 kommt durch Wohnungstypen zustande, die alle ähnlich sind und in der Wohnungsgröße nicht modifizierbar. Im *The Met* sind die meisten Wohneinheiten gleich groß, eine Ausnahme bildet hier aber die seltener vorkommende zweigeschossige Wohntypologie und zudem ist der Wohnungstyp hier allgemein in Form von Anpassungen der Zimmergrößen modifizierbar. In den Grafiken sind die Nutzungseinheiten jeweils eines Regelgeschosses abgebildet und im nächsten Unterkapitel (VFNE) die durchschnittliche Fläche einer Nutzungseinheit als schwarzes Quadrat in der Grundfläche im jeweils gleichen Maßstab in isometrischer Darstellung. Im Diagramm sind die wesentlich größeren Wohneinheiten des *The Met* und die ähnlichen Wohnungsgrößen von *Urban Tulou* und *Ngau Tau Kok* visuell deutlich zu erkennen.

5.1.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE)

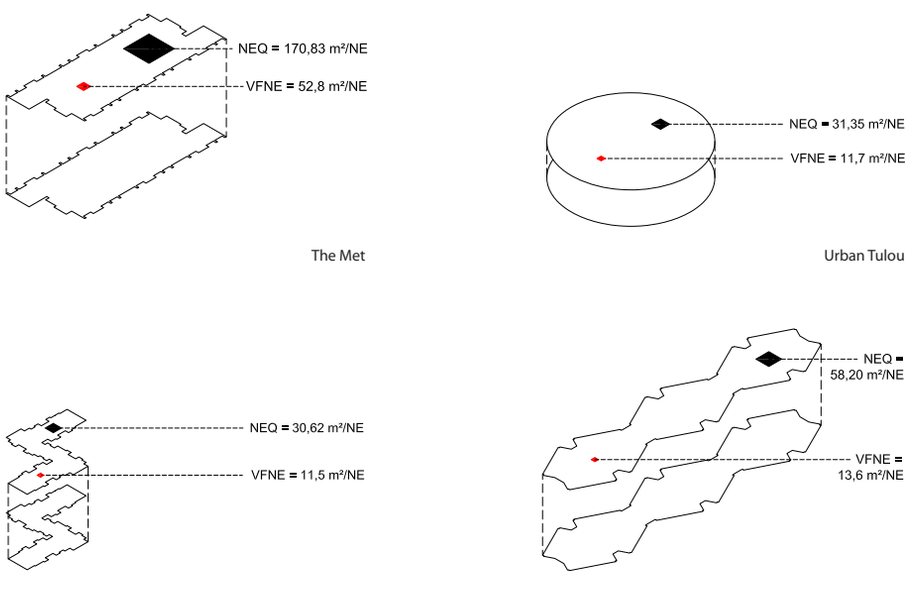
1. *Ngau Tau Kok* 11,5 m^2/NE (8.986 m^2 VF gesamt, 230 m^2 VF/Geschoss)
2. *Urban Tulou* 11,7 m^2/NE (4.078 m^2 VF gesamt, 680 m^2 VF/Geschoss)
3. *Skyville* 13,6 m^2/NE (13.094 m^2 VF gesamt, 327 m^2 VF/Geschoss)
4. *The Met* 52,8 m^2/NE (17.749 m^2 VF gesamt, 370 m^2 VF/Geschoss)

Die Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) gibt die durchschnittliche Verkehrsflächengröße pro Nutzungseinheit in Quadratmetern an. Zur Berechnung der Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) wird die gesamte Verkehrsfläche (VF) des Gebäudes durch die gesamte Anzahl der Nutzungseinheiten (NEG) geteilt.
Die kleinste Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl der vier Beispiele hat das *Ngau Tau Kok* mit nur 11,50 m^2/NE. Beim Vergleich der Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahlen von *Ngau Tau Kok* und *Urban Tulou* fällt auf, dass sie mit 11,50 m^2/NE (*Ngau Tau Kok*) und 11,70 m2/NE (*Urban Tulou*) sehr ähnliche Werte haben, obwohl das *Ngau Tau Kok* mehr als die doppelte Verkehrsfläche (8.986 m^2) des *Urban Tulou* (4.078 m^2) besitzt. Dies ist damit zu begründen, dass das *Ngau Tau Kok* mehr als doppelt so viele Wohneinheiten besitzt: *Ngau Tau Kok* 780 Nutzungseinheiten gesamt (NEG) und *Urban Tulou* 348 NEG. An dritter Stelle steht das *Skyville*. Das prozentuale Verhältnis der Verkehrsfläche zur Nutzfläche beläuft sich beim *Skyville* auf eine Verkehrsfläche von nur 18,99 %. Damit ist dies das einzige Gebäude in den vier Fallstudien das eine Verkehrsfläche unter 20 % besitzt. Zu begründen ist der daraus resultierende gute Wert der VFNE (13,6 m^2/NE) damit, dass die Erschließung der Wohneinheiten in Form von schmalen Fußstegen realisiert ist, wodurch sich die Erschließungsfläche sehr stark verringert. Einen erheblich anderen Wert weist das *The Met*-Wohnhochhaus auf: Die Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl ist mit 52,80 m^2/NE fast fünfmal so hoch wie die der drei anderen Projekte. Bei Betrachtung nur eines Geschosses ist die Verkehrsfläche allerdings nur 370 m^2 groß – im Vergleich dazu hat das *Urban Tulou* eine Verkehrsfläche von 680 m2 pro Geschoss, also fast doppelt so viel. Das *Urban Tulou* versorgt mit seiner Verkehrsfläche allerdings 58 Wohneinheiten pro Geschoss, das *The Met* nur 6. Deshalb ist die Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl des *The Met* mit 52,80 m^2/NE sehr hoch. Diese große Nutzfläche entspricht den Ansprüchen der Klientel, die für ihre 170 m^2

VFNE



18



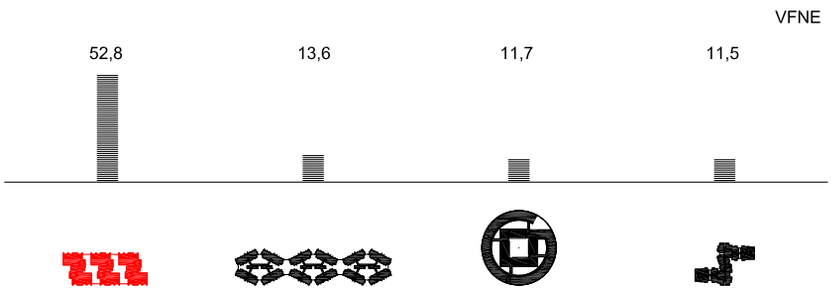
19

18 I Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE): Verkehrsfläche (VF) durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG), in den Abbildungen jeweils eines Regelgeschosses von *The Met, Urban Tulou, Ngau Tau Kok* und *Skyville*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

19 I Nutzungseinheitenquotient (NEQ) und Verkehrsflächen-Nutzungeneinheitenzahl (VFNE) in isometrischer Darstellung der Grundfläche von The Met, Urban Tulou, Ngau Tau Kok und Skyville mit Nutzungseinheitenquotient (NEQ) und Verkehrsflächen-Nutzungeneinheitenzahl (VFNE) jeweils in quadratischer Darstellung im gleichen Maßstab, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

NUQ

großen Wohneinheiten einen großzügigen privaten Eingangsbereich haben. In den Grafiken sind die Verkehrsflächen eines Regelgeschosses von *Skyville*, *Ngau Tau Kok*, *Urban Tulou* und *The Met* abgebildet und in den folgenden Abbildungen in der Grundfläche isometrisch die durchschnittlichen Größen von Verkehrsfläche und Nutzfläche pro Wohneinheit in jeweils gleichem Maßstab. Im Diagramm der Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) ist der wesentlich höhere Wert des The Met gut ablesbar; die Verkehrsflächen der anderen drei Fallstudien haben ein ähnliches Größenverhältnis.



20

5.1.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP)

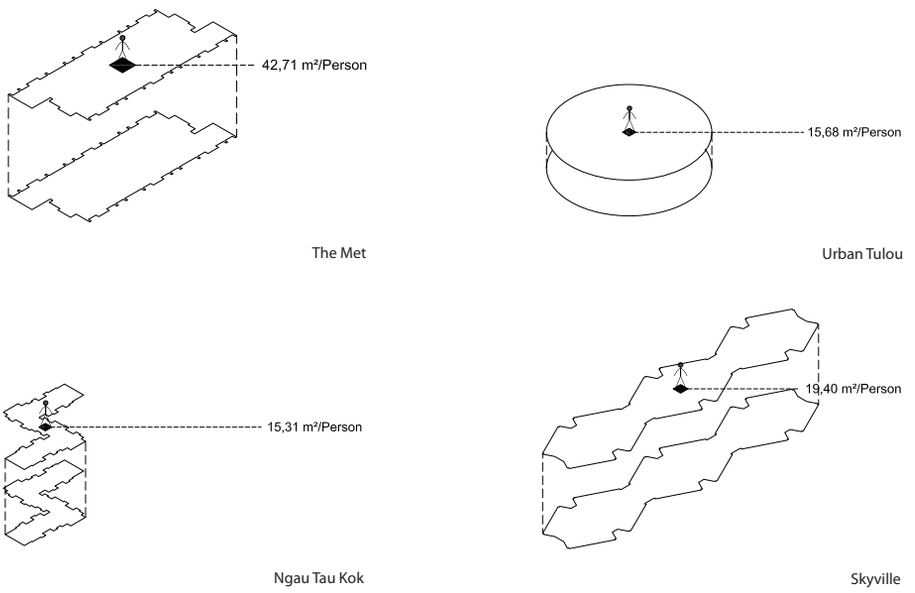
Ngau Tau Kok 0,07; 15,31 m^2/Pers
Urban Tulou 0,06; 15,68 m^2/Pers
Skyville 0,05; 19,40 m^2/Pers
The Met 0,02; 42,71 m^2/Pers

In der ÖNORM wird empfohlen, in diesem Zusammenhang den Nutzerquotienten (NUQ) zu verwenden. Dieser Quotient kann auch als Belegungsdichte bezeichnet werden.[4] Zur Berechnung des Nutzerquotienten (NUQ) wird die Gesamtbewohneranzahl (NUA) durch die Nutzungsfläche (NF) geteilt. Das Ergebnis ist ein abstrakter Wert wie zum Beispiel 0,06 beim *Urban Tulou*. Werden bei der Berechnung die beiden Kennwerte Gesamtbewohneranzahl (NUA) und Nutzungsfläche (NF) vertauscht (NF/NUA), dann ist das Ergebnis die Nutzfläche pro Person (NP): Sie gibt die durchschnittlich zur Verfügung stehenden Quadratmeter Nutzfläche pro Person an, bezogen auf die gesamte Nutzfläche des Gebäudes – beim Beispiel des *Urban Tulou* sind dies 15,68 m^2/Pers. Je höher der Nutzerquotient und je kleiner die Nutzfläche pro Person ist,

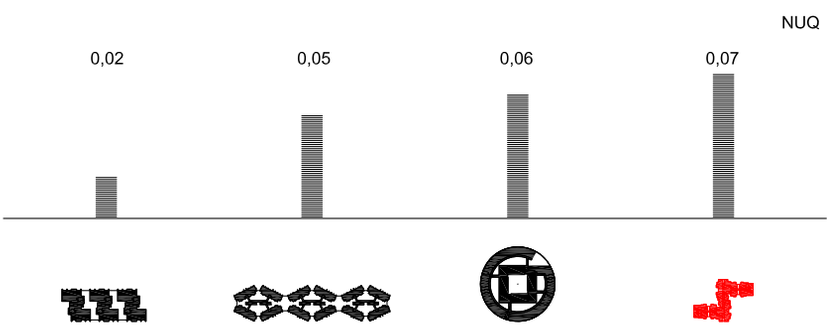
20 I Diagramm Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE): Verkehrsfläche (VF) durch die gesamten Nutzungseinheiten (NEG), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

[4] Vgl. ÖNORM B 1801-3:1999, Bauprojekt- und Objektmanagement – Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

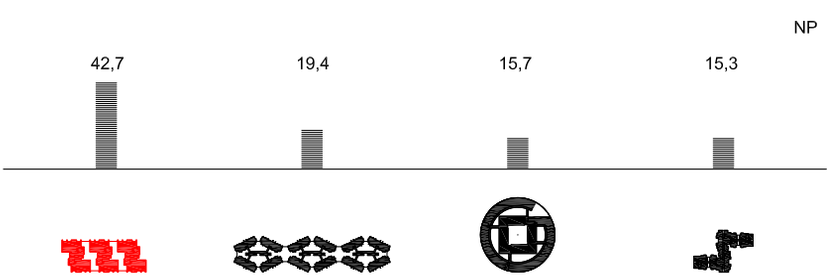
NUQ



21



22



23

21 | Nutzfläche pro Person (NP): Nutzungsfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA); in den Abbildungen sind in isometrischer Form die Grundflächen von *Ngau Tau Kok, Urban Tulou, Skyville* und *The Met* dargestellt sowie jeweils in quadratischer Form die durchschnittlich zur Verfügung stehenden Quadratmeter Wohnfläche pro Person im gleichen Maßstab, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013

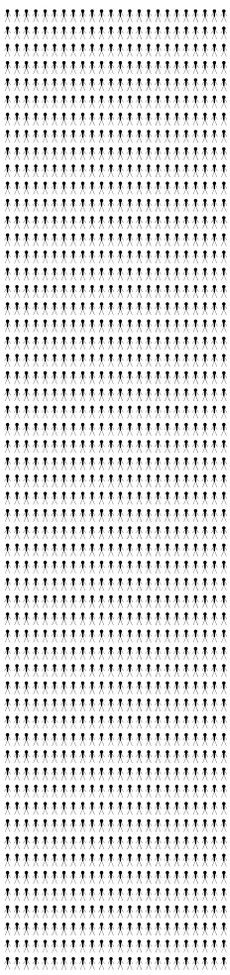
22 | Diagramm Nutzerquotient (NUQ): Gesamtbewohneranzahl (NUA)/Nutzungsfläche (NF), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

23 | Diagramm Nutzfläche pro Person (NP): Nutzungsfläche (NF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

NUQ

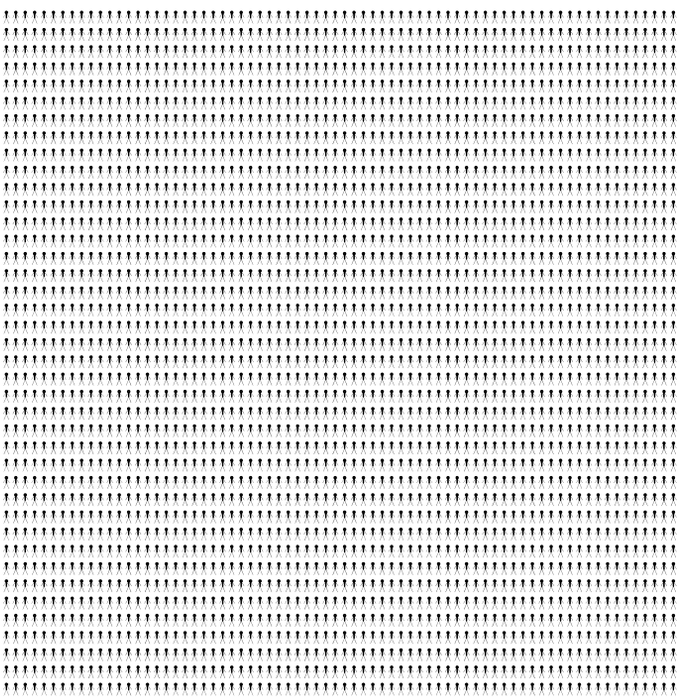
desto mehr Strahlungswärme wird von den Bewohnern an die jeweiligen Räume abgeben. Dementsprechend sinkt die Behaglichkeit und folglich müssen die beschriebenen passiven Kühlmethoden mehr leisten. Im Falle des Ist-Zustandes der meisten Wohnhochhäuser in tropischen und subtropischen Klimagebieten (nämlich ohne ausreichende passive Kühlmethoden) ist der Betrieb der Klimaanlage bei kleiner Nutzfläche pro Person in größerem Maße erforderlich, um eine angenehme Behaglichkeit herzustellen. Diese Quadratmeter-Zahlen pro Person veranschaulichen die Wohnsituation besser als die abstrakteren Werte des NUQ (Personen pro Quadratmeter) und sind gut zur visuellen Vergleichbarkeit geeignet, wie in den Grafiken ersichtlich ist. Im *Ngau Tau Kok* beträgt die Nutzfläche 15,31 m^2/Pers und das Gebäude hat mit einem Nutzerquotienten von 0,07 die höchste Belegungsdichte unter den vier Wohnhäusern, obwohl die Belegungsziffer mit 2,5 Personen pro Wohneinheit hier eher niedrig geschätzt wurde. Die Gründe für die Annahme dieser niedrigen Belegungsziffer wurden zuvor im Kapitel „Fallstudie *Ngau Tau Kok*" bereits beschrieben. Das *Urban Tulou* ist mit einer Belegungsdichte von 0,06 (NP = 15,68 m^2/Pers) ähnlich dicht belegt wie das *Ngau Tau Kok*. Beide Ergebnisse sind damit zu begründen, dass das Klientel der beiden Wohnhäuser der armen Arbeiterklasse und unteren Mittelschicht angehört und sich nur wenig Wohnraum leisten kann. Bei den wohlhabenden Bewohnern des *The Met* ist die Belegungsdichte mit 0,02 (NP = 42,7 m^2/Pers) entsprechend gering. Dieses Gebäude bietet seinen Bewohnern mit Abstand die größte Nutzfläche pro Person unter den vier untersuchten Fallbeispielen – mehr als doppelt so viel wie das *Skyville* mit 19,40 m^2/Pers bzw. einer Belegungsdichte von 0,05. In der Grafik sind die durchschnittlichen Nutzflächen pro Person jeweils in gleichem Maßstab in quadratischer Form innerhalb der isometrisch dargestellten Grundflächen der Gebäude *Ngau Tau Kok*, *Urban Tulou*, *Skyville* und *The Met* abgebildet. In zwei Diagrammen wird einmal der Nutzerquotient (NUQ) und sodann die Nutzfläche pro Person (NP) visuell verglichen. Beim Nutzerquotienten hat das *Ngau Tau Kok* den höchsten Kennwert und ist dementsprechend am dichtesten belegt. Deswegen ist es hier rot markiert. Bei der Nutzfläche pro Person hat das *The Met* die größte Nutzfläche pro Person (NP = 42,7 m^2/Pers). Es hat die gerinste Belegungsdichte und ist hier entsprechend rot markiert.

NUA



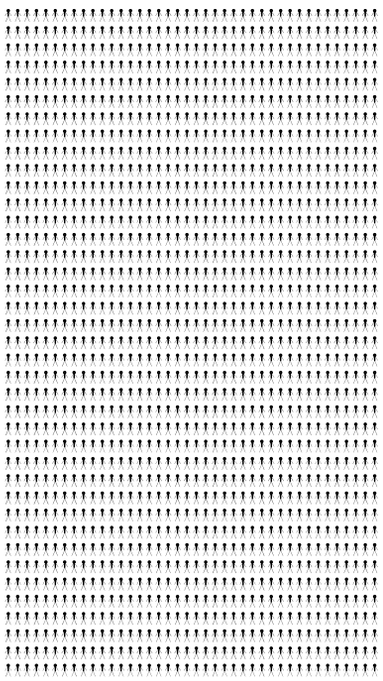
NUA = 1344 Personen gesamt

The Met



NUA = 2880 Personen gesamt

Skyville



NUA = 1560 Personen gesamt

Ngau Tau Kok



NUA = 696 Personen gesamt

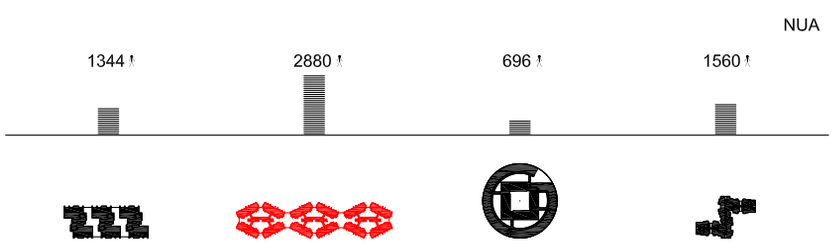
Urban Tulou

24 I Gesamte durchschnittliche Belegungsziffer = Nutzeranzahl gesamt: (NUA) *Skyville* (2.880 Pers), *Ngau Tau Kok* (1.560 Pers), *The Met* (1.344 Pers) und *Urban Tulou* (696 Pers), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013

5.1.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA)

Skyville 2.880 Pers
Ngau Tau Kok 1.560 Pers
The Met 1.344 Pers
Urban Tulou 696 Pers

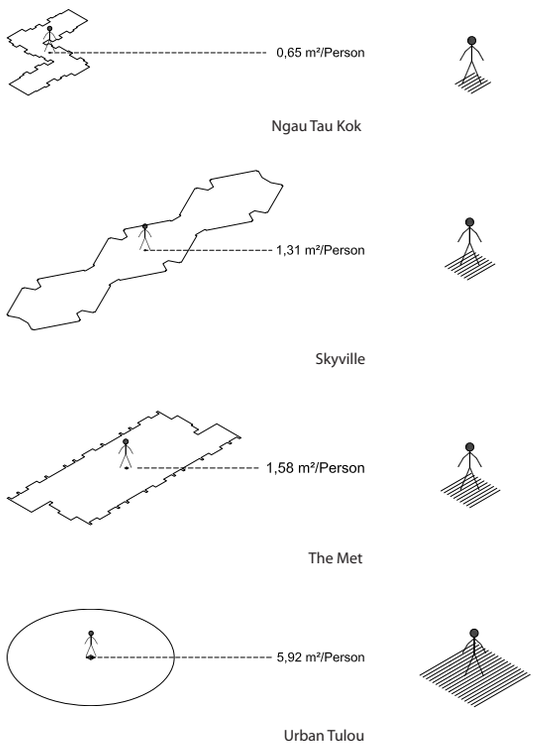
Die Nutzeranzahl des gesamten Wohngebäudes (NUA) stellt keinen Kennwert, sondern eine Kenngröße dar. Zur Berechnung der Nutzeranzahl des gesamten Wohngebäudes (NUA) wird die Nutzeranzahl pro Geschoss (NUG) mit der Anzahl der Geschosse (GA) multipliziert. Es ist interessant, die Anzahl der Bewohner der gesamten Wohngebäude zu vergleichen. Mit 696 Personen hat das *Urban Tulou* die wenigsten Bewohner der vier untersuchten Gebäude. Im Verhältnis zur geringen Anzahl der Geschosse dieses Gebäudes ist diese Personenanzahl jedoch ein sehr hoher Wert. Würde man das *Urban Tulou* auf die Wohngeschossanzahl des *The Met* extrudieren, dann würden im *Urban Tulou* theoretisch 8.004 Personen unterkommen (69 Geschosse des *The Met* multipliziert mit 116 Personen pro Geschoss des *Urban Tulou* = NUA 8.004 Personen). Im Diagramm zur Nutzeranzahl des gesamten Wohngebäudes (NUA) ist die wesentlich größere Nutzer-Menge des *Skyville* gut ablesbar. Das *Skyville* ist hier rot markiert. In der nächsten Grafik sind alle Nutzer von *Skyville* (2.880 Pers), *Ngau Tau Kok* (1.560 Pers), *The Met* (1.344 Pers) und *Urban Tulou* (696 Pers) mit den Einwohnern pro Geschoss dargestellt.



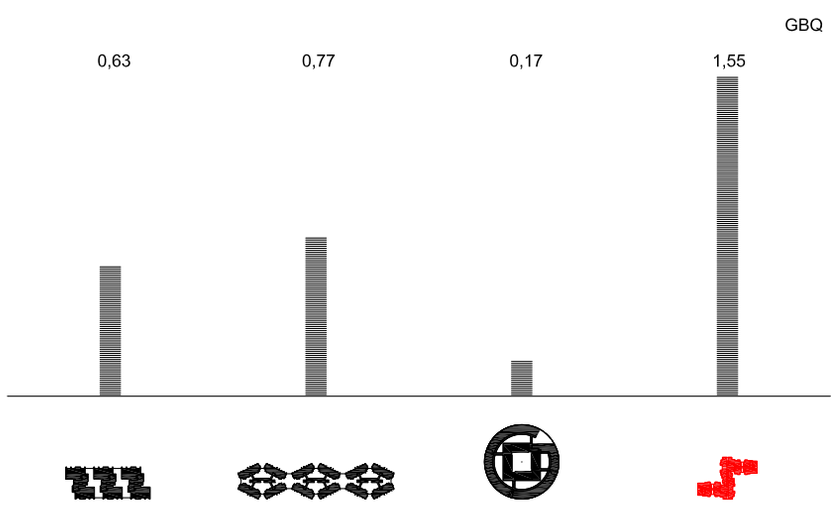
25

25 I Diagramm Gesamte durchschnittliche Belegungsziffer = Nutzeranzahl gesamt: (NUA) *Skyville* (2.880 Pers), *Ngau Tau Kok* (1.560 Pers), *The Met* (1.344 Pers) und *Urban Tulou* (696 Pers), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

GPQ + GP



26



27

26 | Grundfläche pro Person (GP): Grundfläche (GF)/Gesamtbewohneranzahl (NUA) = durchschnittlich pro Person benötigte Quadratmeter Grundfläche in isometrischer Darstellung von *Ngau Tau Kok, Urban Tulou, Skyville* und *The Met*, eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

27 | Diagramm Gebäudebewohnerquotienten (GBQ) Gesamtbewohneranzahl (NUA)/Grundfläche (GF), eigene Darstellung: Ferdinand Oswald, 2013.

5.1.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Person (GP)

1. *Ngau Tau Kok* 1,55; 0,65 m^2/Pers
2. *Skyville* 0,77; 1,31 m^2/Pers
3. *The Met* 0,63; 1,58 m^2/Pers
4. *Urban Tulou* 0,17; 5,91 m^2/Pers

Der Wert des Gebäudebewohnerquotienten (GBQ) spiegelt die Personendichte (Gebäudebewohnerdichte) auf dem Fußabdruck des Gebäudes wider. Dieser Kennwert ist mit dem der Belegungsdichte (Nutzerquotient NUQ) vergleichbar, nur dass hier nicht die Nutzfläche innerhalb des Gebäudes betrachtet wird, sondern die Grundfläche des Gebäudes. Um den Gebäudebewohnerquotienten (GBQ) zu berechnen, wird die Gesamtbewohneranzahl (NUA) durch die Grundfläche (GF) geteilt. Werden bei der Berechnung die beiden Kennwerte Gesamtbewohneranzahl (NUA) und Grundfläche (GF) vertauscht (GF/NUA), dann ist das Ergebnis die Grundfläche pro Person (GP): – beim Beispiel des *Urban Tulou* sind dies 5,91 m^2/Pers. Auch hier eignen sich die letztgenannten Werte besser zur visuellen Veranschaulichung in Verbindung mit den Grundflächen der Projekte, wie in den ersten Grafiken ersichtlich ist. In der zweiten Abbildung sind die Gebäudebewohnerquotienten (GBQ) im Diagramm dargestellt, die sich in dieser diagrammatischen Form sehr gut vergleichen lassen.
Im Vergleich zu den anderen drei Wohngebäuden benötigt das *Ngau Tau Kok* mit 0,65 m^2/Person am wenigsten Grundfläche pro Person und hat somit die höchste Gebäudebewohnerdichte (1,55) aller vier Projekte. Die Grundfläche wird hier also sehr effektiv zur Personenunterbringung ausgenutzt. Das *Skyville* (0,77; 1,31 m^2/Person) und das *The Met* (0,63; 1,58 m^2/Person) haben hier recht ähnliche Werte. Beim *The Met* wird diese hohe Gebäudebewohnerdichte (0,63) trotz der geringen Belegungsdichte (0,02) und der dementsprechend großen Nutzfläche pro Person (42,71 m^2/Pers) mit der großen Anzahl von 69 Wohngeschossen erreicht. Beim *Skyville* ist es umgekehrt: Hier sorgt die höhere Belegungsdichte von 0,05 (19,40 m^2 Nutzfläche pro Person) für diese hohe Gebäudebewohnerdichte trotz der relativ geringen Wohngeschossanzahl von nur 40 Geschossen. Die Bewohnerdichte des *Urban Tulou* ist mit 0,17 (GP = 5,91 m^2/Person) im

GPQ + GP

Vergleich zu den drei Wohnhochhäusern mit Abstand am geringsten. Die Geschossfläche wird hier zwar gut zur Personenunterbringung ausgenutzt, aber durch die geringe Höhe des Gebäudes (nur sechs Geschosse) können deutlich weniger Personen auf der Grundfläche untergebracht werden. Wie oben bereits erwähnt, wäre es interessant, diesen Wohngrundriss zu einem Wohnhochhaus zu extrudieren: Wenn es möglich wäre, das Gebäude bei gleicher Belegungsziffer pro Geschoss entsprechend zu erhöhen, würde dies zu einer sehr hohen Gebäudebewohnerdichte führen. Ebenso würde sich dies positiv auf die natürliche Belüftung auswirken. Dies wird im Kapitel 6.2.2 „Das Hochhaus als Chance zur Verbesserung der Behaglichkeit" noch ausführlicher beschrieben. In der Grafik ist die durchschnittlich pro Person benötigte Grundfläche in quadratischer Form jeweils innerhalb der isometrisch abgebildeten Grundfläche der Gebäude *Ngau Tau Kok*, *Urban Tulou*, *Skyville* und *The Met* im gleichen Maßstab dargestellt. Im Diagramm sind die Gebäudebewohnerquotienten (GBQ) dargestellt. Das *Skyville* ist mit seiner höchsten Gebäudebewohnerdichte von 1,55 rot markiert.

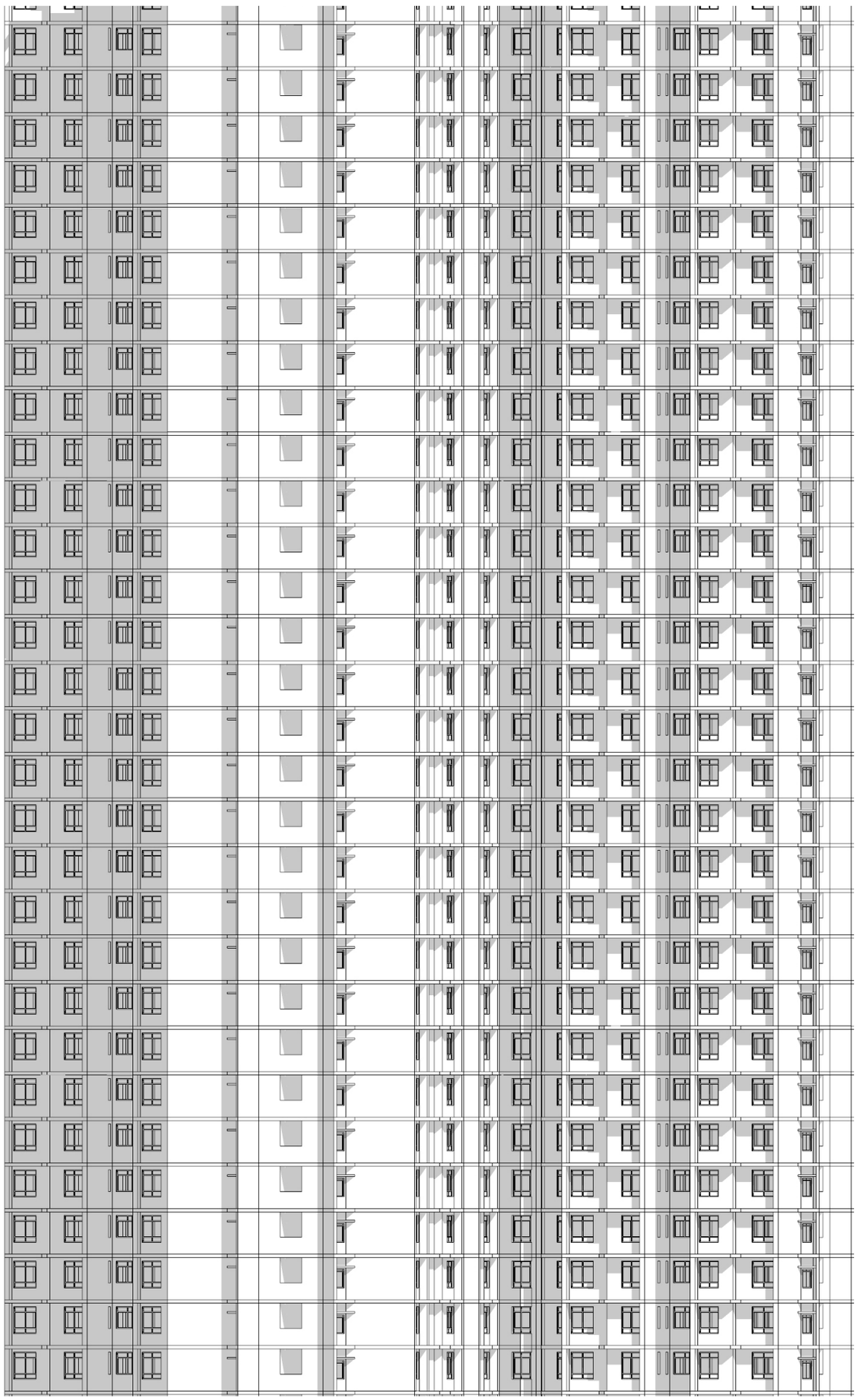
5.1.13 Fazit

In den feuchtheißen Gebieten birgt eine größere Porosität der Gebäudestruktur die Chance, die Wohneinheiten besser mit frischem Wind in Form von natürlicher Belüftung zu versorgen. Zudem sind die Luftanteile hinsichtlich der solaren Energieeinträge als positiv zu bewerten. Sie befinden sich, außer beim *Ngau Tau Kok*, innerhalb der Gebäudestruktur und werden somit von den Gebäudevolumen verschattet, was zur Reduzierung der Lufttemperatur beiträgt. Auch die Speichermassenkühlung kann hier durch die Verschattung der Außenwände wirksamer genutzt werden. Eine zusätzliche Verschattungsmaßnahme ist dann nicht mehr notwendig, da die direkte solare Einstrahlung in die Zwischenräume größtenteils nicht eindringt. In den Innenräumen des *Ngau Tau Kok* hingegen erhöhen sich die Lufttemperaturen, weil die massiven Außenwände der direkten Sonneneinstrahlung ungeschützt ausgesetzt sind: Hier gelangt die Wärme durch die massiven Bauteile ins Innere der Wohnungen und wird dort von den Wänden in die Räume abstrahlt. Verschattungsmaßnahmen wie eine vorgesetzte Fassadenhaut würden hier eine wesentliche Verbesserung der Behaglichkeit ermöglichen. Offene, nicht umbaute Geschosse wie beim *The Met* und beim *Skyville* gibt es hier gar nicht. Der geringe Luftanteil des Gebäudes tritt vor allem in der Fassade in Erscheinung: Während die Fassadenstrukturen von *Skyville* und *The Met* glatt und kompakt sind, macht die Fassade des *Ngau Tau Kok* Vor- und Rücksprünge und weist damit eine Faltung der Fassade auf. Trotz des Fehlens von großen Luftanteilen bietet damit auch das *Ngau Tau Kok* die Möglichkeit einer guten natürlichen Belüftung, wenn auch mit geringeren Luftgeschwindigkeiten als beim *The Met*. Das *Skyville* hat den größten Luftanteil aller Fallbeispiele. Dies ist mit dem größeren Abstand zwischen den Wohntürmen zu begründen, der zu einer größeren Grundfläche führt, was einige der Kennwerte erheblich verschlechtert. Das Konzept des *Skyville* bietet eine größere Aufenthaltsqualität im Außenraum, da zwischen den Gebäudekörpern und auf den durchgehenden halböffentlichen Etagen am meisten Freiraum bereitgestellt wird. Inwieweit dieses Konzept hinsichtlich einer ausreichenden Belichtung und guten Aufenthaltsqualität in der Realität funktioniert, wird sich nach Fertigstellung des Gebäudes und nach Bezug der Wohnungen herausstellen.

5.2.1 Projektbeschreibung
5.2.2 Windsimulation Bestand
5.2.3 Modifikation
5.2.4 Ergebnis
5.2.5 Konzeptoptimierung
5.2.6 Fazit

01 I Fassadenansicht Tung Lam-Wohnhochhaus, Hongkong, China, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013.

5.2 Modifikation von bestehenden Wohnhochhäusern





02

02 I Wohnhochhäuser in Kowloon im Vordergrund und Hong Kong Island hinten rechts, Foto: Ferdinand Oswald, 2011

In diesem Kapitel soll das nachträgliche Ermöglichen einer natürlichen Querlüftung der Wohneinheiten in einem bereits bestehenden Wohnhochhaus untersucht werden. Die Studie wurde an einem Haus der bereits sehr häufig gebauten HARMONY-Wohnhochhaustypologie der HKHA vorgenommen. Am Institut für Architekturtechnologie wurden Konzepte für die HKHA entwickelt, um mit Hilfe von Umbaumaßnahmen die natürliche Querlüftung zu optimieren. Diese Konzepte wurden anschließend mit dem computerunterstützten Windsimulationsprogram VASARI überprüft. Die Ergebnisse dieser Überprüfung und eine Studie zur Umsetzung der Optimierungen sollen hier nun vorgestellt werden.

5.2.1 Projektbeschreibung

Als Untersuchungsobjekt der Studie wurde das *Tung Lam*-Wohnhochhaus in Hongkong gewählt. Es befindet sich auf Hong Kong Island im Stadtbezirk Shau Kei Wan in unmittelbarer nähe der U-Bahn Haltestelle Sai Wan Ho in der Yiu Hing Road 63. Auf der Karte von Hong Kong Island sind der Stadtbezirk Shau Kei Wan und die U-Bahn-Haltestelle *Sai Wan Ho* erkennbar. Alle Wohneinheiten wurden vom staatlichen Bauherrn, der Hong Kong Housing Authority, geplant und realisiert und sie werden von dieser Institution auch verwaltet. Der Tung Lam Court welcher aus nur einem Wohnhochhaus besteht, wurde 1997 fertiggestellt und hat 43 Geschosse mit je 16 Wohneinheiten. Das Gebäude ist 120 Meter hoch und pro Etage befinden sich jeweils vier Wohnungen in den vier Gebäudeflügeln. In dem Wohnhochhaus der HARMONY-Typologie gibt es damit insgesamt 688 Wohneinheiten. Es gibt einen zentralen Erschließungskern mit sechs Aufzügen und zwei Treppenhäusern. An diesem Kern sind vier identische Gebäudeflügel sternenförmig angeordnet. Ein solcher Gebäudeflügel-Trakt beinhaltet pro Geschoss vier Wohneinheiten mit einem Flur in der Mitte, von dem aus die Wohneinheiten, je zwei rechts und zwei links, erschlossen werden.

Die tragende Struktur eines solchen Gebäudeflügels besteht im Wesentlichen aus parallel nebeneinanderstehenden Betonwandscheiben. Diese begünstigen prinzipiell die Möglichkeit der Nutzung der natürlichen Belüftung, da sie mit ihren Öffnungen orthogonal zu den Fassadenseiten orientiert sind. Die Stirnseiten der Gebäudeflügel sind, mit Ausnahme ei-

5.2.1 Projektbeschreibung



03

03 I Zwei kombinierte HARMONY-Wohnhochhäuser, Hongkong, China, Foto: Ferdinand Oswald, 2011.

ner Öffnung am Ende des Erschließungsganges, verschlossen ausgeführt. Die Möglichkeiten für eine gut funktionierende Querlüftung sind bei dieser Wohnhochhaustypologie nicht gegeben: Eine Querlüftung wird nicht konsequent unterstützt, da aufgrund dieser Grundrisstypologie eine Wind-Ein- und Ausströmungsöffnung nicht besteht. Die Luft kann zwar an den Fassadenöffnungen in die Wohnungen hineinströmen, sie kann aber auf der anderen Seite nicht über den Korridor wieder herausströmen. Die Ausströmungsöffnungen fehlen also, sodass die natürliche Querlüftung durch die Wohneinheiten im *Tung Lam*-Wohnhochhaus und auch in allen anderen Wohnhochhäusern der HARMONY-Typologie nur in geringem Maße möglich ist.

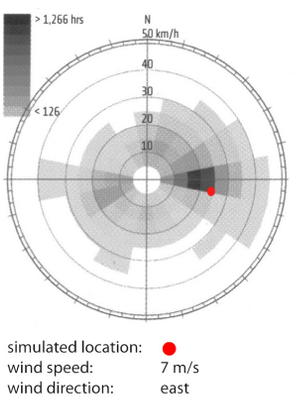


04

04 I Kartenausschnitt Hong Kong Island unten und Kowloon, Bezirk Shau Kei Wan rechts unten, Copyright: Baedeker, Ostfildern-Kemnat, 2013.

5.2.2 Windsimulation Bestand

Um die tatsächliche Wirkungsweise der natürlichen Belüftung an der HARMONY-Wohnhochhaustypologie zu evaluieren, wurde diese mit dem Computerprogramm VASARI untersucht. Hierzu wurde ein dreidimensionales Modell des kompletten Turms mit AutoCAD erstellt und die Windeinwirkung an einem Gebäudeflügel simuliert. Die 2D-CAD-Daten hierfür wurden von der HKHA zur Verfügung gestellt. Auf Höhe des 20. Stockwerkes wurden die Windgeschwindigkeiten an der Fassade und innerhalb des Gebäudes simuliert. Untersucht wurde ein Gebäudeflügel mit vier Wohneinheiten und Erschließungsgang.
Die äußeren Windbedingungen wurden aus der vorwiegenden Windrichtung Osten und bei der häufigsten Windgeschwindigkeit des Jahres 7 m/s (25 km/h) angenommen. Diese Windgeschwindigkeit herrscht an diesem Standort nach der Windrose des Wetteramtes von Hongkong über 1.266 Stunden pro Jahr. Bei Auswertung der Ergebnisse stellte sich heraus, dass der von Osten auftreffende Wind zwar über die Fassadenöffnungen einseitig in die östliche Wohneinheit eindringt, die Luftströmung diese Wohneinheit jedoch nicht wieder verlassen kann. Damit kann dieser Luftstrom auch nicht die gegenüberliegende westliche Wohneinheit erreichen. Der mittlere Erschließungskorridor erweist sich hier durch seine beidseitigen abschließenden Wohnungstrennwände als Barriere, die der Luftstrom nicht überwinden kann. Wie die Luftströmung am Erschließungsgang blockiert wird, ist in Grundriss und Schnitt der Computersimulation ersichtlich. Hier sind sehr geringe Windgeschwindigkeiten blau, mittlere rot und große gelb dargestellt. Anhand der



05

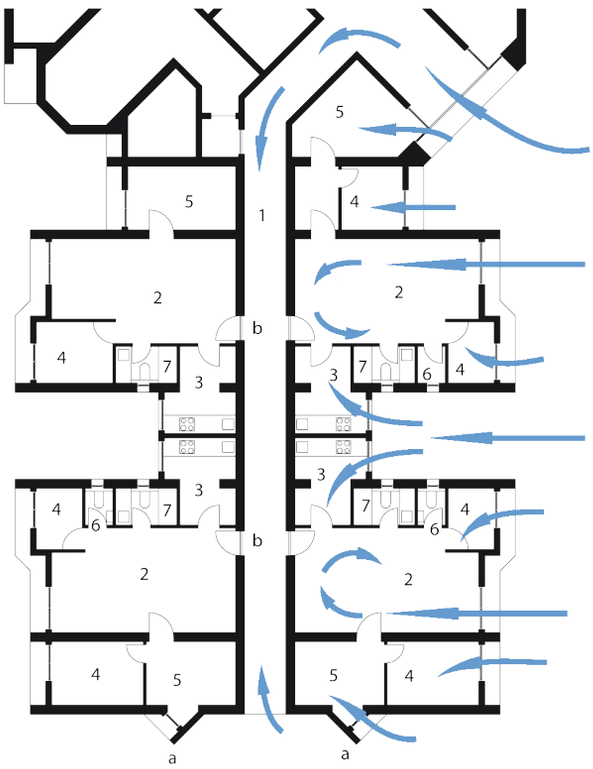
05 I Windrose, Standort Hongkong, China, mit Windhäufigkeit in Stunden, Hauptwindrichtung und Windgeschwindigkeiten in km/h, Quelle: Dr. Nirmal Kishnani, Greening Asia, Emerging Principles for Sustainable Architecture, 2012, S. 232.

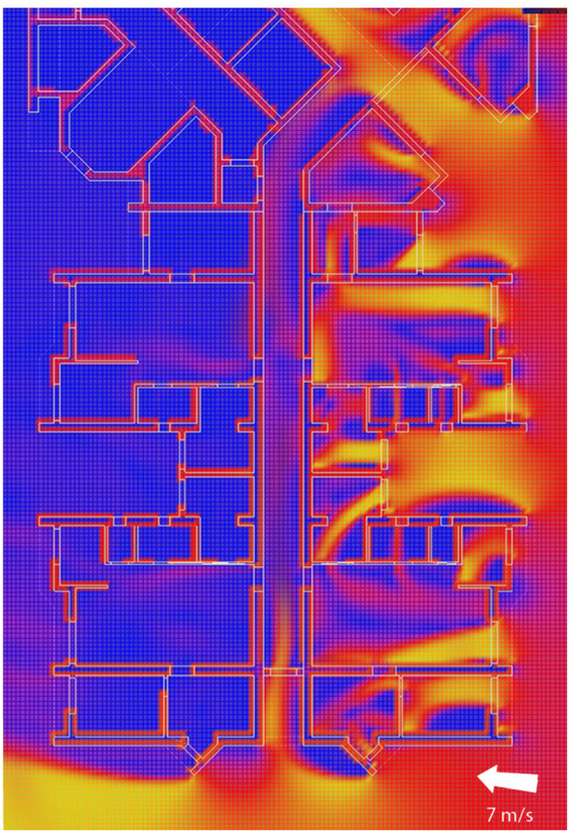
blauen Windpfeile in Grundriss und Schnitt lässt sich erkennen, dass durch die Öffnung am Korridorende und über den Erschließungskern zwar Wind eindringt, dieser dort aber stoppt, weil er nicht wieder hinausfließen kann (1). An den Stirnseiten der Gebäudeflügel (hier im Süden), sind an den jeweiligen Wohnungen Öffnungen vorhanden (a). Diese sogenannten *wind catcher* (Windfänger) sind in einem Winkel von 45° angebracht, sodass der Wind hier eigentlich gut einströmen sollte. An der östlichen Wohneinheit (rechts) sind die *wind catcher* nach Osten orientiert, also in Richtung des ankommenden Windes. Daher kann der Wind hier wirksam in die Öffnung hineinströmen. Die gleiche Öffnung in der westlichen Wohneinheit (links) ist gespiegelt angebracht, sie orientiert sich demnach mit ihrer Öffnung nach Westen. Dies hat den großen Nachteil, dass die Einströmung des Windes zur natürlichen Belüftung mit dem *wind catcher* immer nur in einer Richtung funktioniert. Im Falle eines Windes von östlicher Richtung, wie in der Simulation dargestellt, dringt in den *wind catcher* der westlichen Wohneinheit kein nennenswertes Luftstromvolumen ein. In der östlich orientierten Öffnung fließt zwar eine Windströmung ein, sie kann aber auch hier nirgends wieder hinausströmen. Somit ist die Wirksamkeit der natürlichen Belüftung stark eingeschränkt. Durch das 45° herausgedrehte Windschwert entsteht an der zum Wind gerichteten Öffnung, ein zu hoher Überdruck, um dem Wind die Möglichkeit zu geben, hier wieder herauszuströmen. Ebenso verhält es sich auch mit allen anderen Öffnungen der Ostfassade: Der Winddruck ist an den Öffnungen zu stark, um ein Wiederherausfließen der Luftströmung zu ermöglichen.

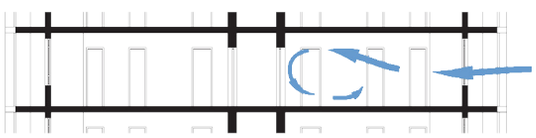
5.2.3 Modifikation

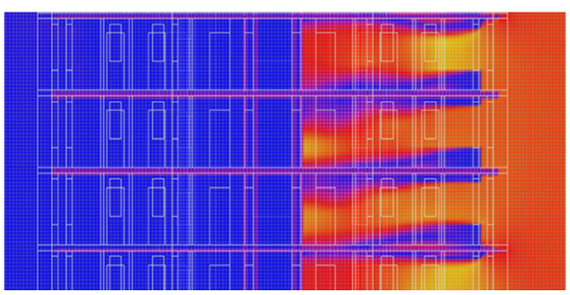
Das Problem ist also die fehlende Bereitstellung einer Luft-Ausströmungsöffnung aus den Wohnungen hinaus, damit ein durchgehender Windstrom erzeugt werden kann und die Querlüftung sowie auch die einseitige Belüftung überhaupt funktionieren können. Dies kann einerseits durch eine Modifikation der Lüftungsöffnungen in der Fassade und andererseits durch Modifikation der Lüftungsöffnungen im Innern der Gebäudestruktur erreicht werden. In einem ersten Ansatz wurde ein Konzept entwickelt, welches eine natürliche Querlüftung durch die jeweils gegenüberliegenden Wohneinheiten ermöglicht, wie aus den beiden Piktogrammen der bestehenden Situation und des Konzepts der Querlüftung hervorgeht.

5.2.3 Modifikation





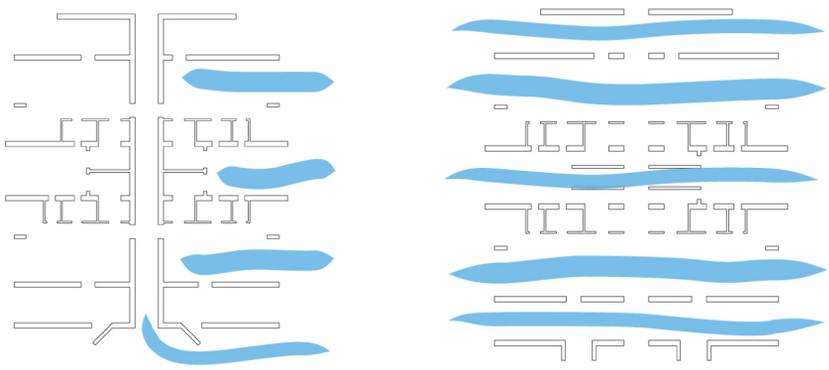




06 07

06 I Windstudie der bestehenden Situation, Grundriss und Schnitt eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie, *Tung Lam*-Wohnhochhaus, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013.

07 I Windsimulation der bestehenden Situation, Grundriss und Schnitt eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie, *Tung Lam*-Wohnhochhaus, Windsimulationsprogramm VASARI, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013.



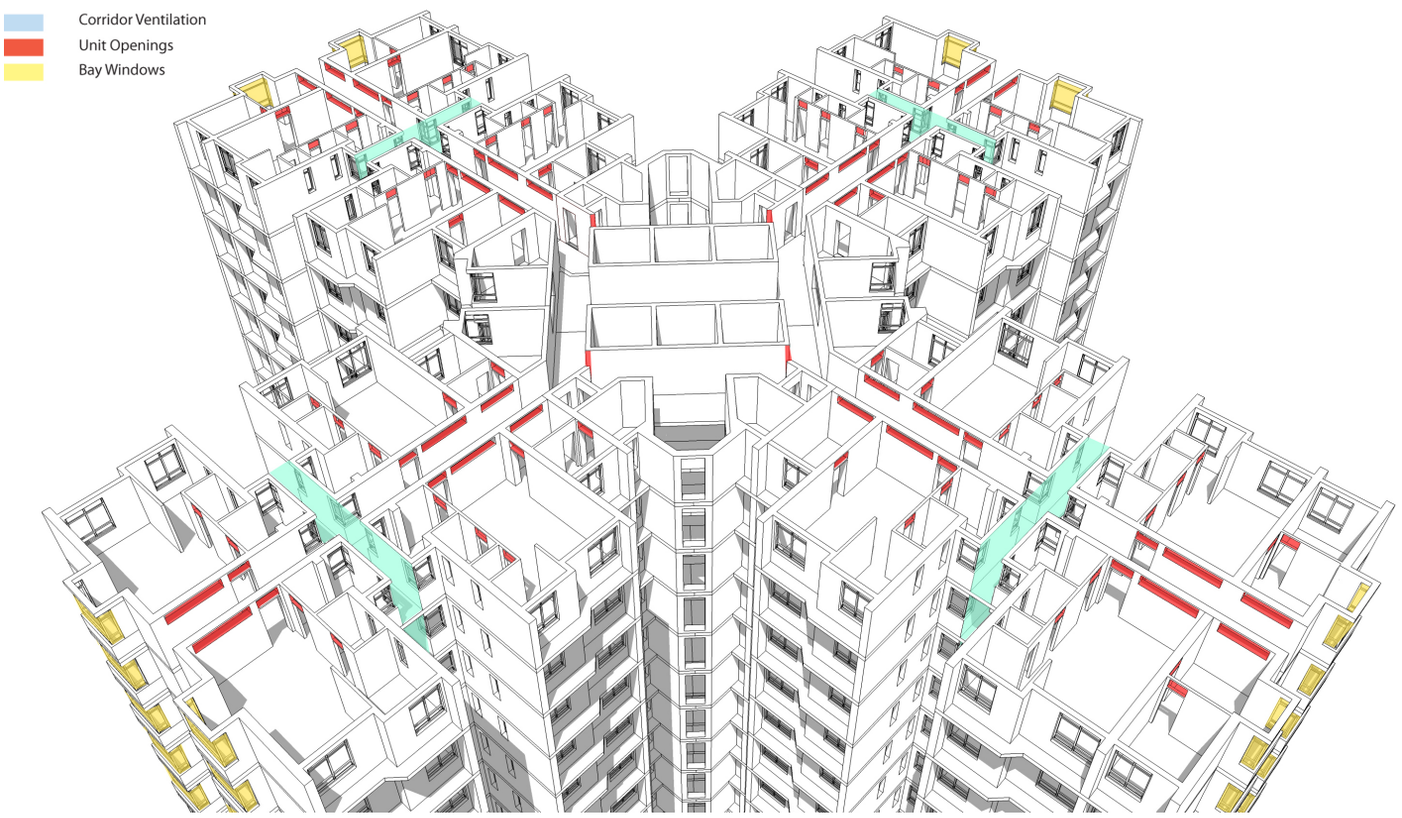
08 09

Die blauen Linien zeigen die Luftströmung innerhalb der Gebäudestruktur auf. Zur Belüftung der Wohnungen sollen Öffnungen zum mittleren Erschießungskorridor geschaffen werden, damit der Wind von den Wohnungen in den Korridor fließen kann. Die Umsetzung dieser Querlüftung soll über die Wohnungseingangstüren sowie mit Oberlichter-Fensterbändern in der Wohnungstrennwand zum Erschließungskorridor realisiert werden. In der isometrischen Darstellung der HARMONY-Typologie sind diese zusätzlichen Wohnungsöffnungen (*Unit Openings*) rot dargestellt. Die in den Wohnungen angebrachten Fensterbänder haben sich bereits im *Urban Tulou* als wirksame Lösung zu Ermöglichung der natürlichen Querlüftung erwiesen. Sie können vom Bewohner flexibel auf und zu geschoben werden. Mit solchen Fenster-Schiebeelementen kann auch eine beliebige Öffnungsgröße hergestellt werden, sodass die Bewohner, abhängig von den äußeren Windgeschwindigkeiten, die passende Öffnung für eine starke oder leichtere Briese innerhalb der Wohnung exakt einstellen können.
Um die Wirksamkeit der Querlüftung an der Südfassade (Stirnseite des Gebäudeflügels) parallel zur Windrichtung zu verbessern, wurden hier herkömmliche *Bay Windows* angebracht. Diese erkerartigen Fenster sind an den allen drei Seiten teilweise verglast, um einen Ausblick zu gewährleisten. Wenn diese seitlichen Fensterteile zu öffnen sind, kann der Wind hier sowohl von östlicher als auch von westlicher Windrichtung besser hineinströmen. Diese Modifikation ist in der Isometrie der Gebäudestruktur gelb dargestellt (*Bay Windows*).

08 I Bestehende Situation der natürlichen Lüftung (blau), Grundriss eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013.

09 I Lüftungskonzept: Querlüftung durch die gegenüberliegenden Wohneinheiten, Grundriss eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013.

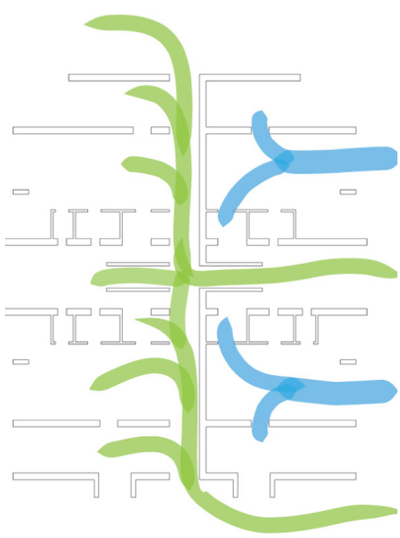
5.2.3 Modifikation



10

10 I Isometrie der Gebäudestruktur der HARMONY-Typologie mit Darstellung der Modifikationen: Belüftung des Erschließungsganges türkis (corridor ventilation), Wohnungsöffnungen rot (unit openings), Angliederung von Fenstererkern gelb (Bay Windows); CAD-Daten von der Hong Kong Housing Authority, überarbeitet: Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013.

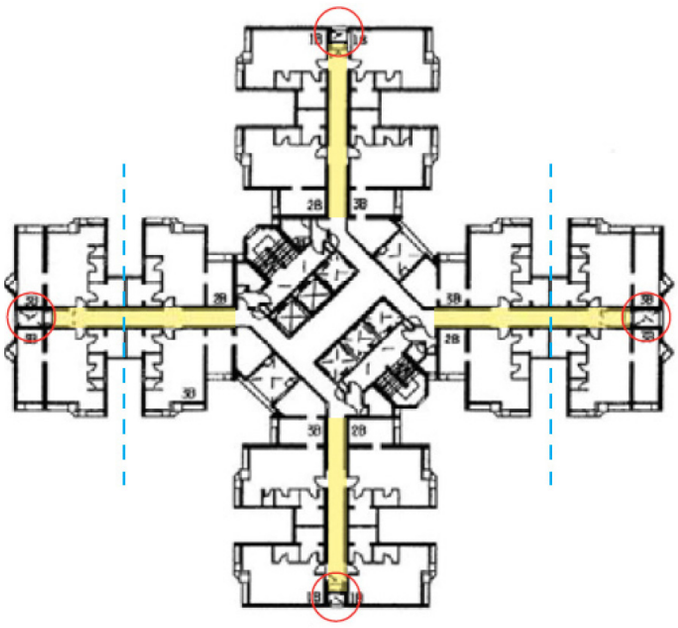
Eine dritte und sehr bedeutsame Modifikation besteht in der Änderung des Grundrisses: In der Mitte der Gebäudeflügel soll eine Öffnung hergestellt werden. Im Grundriss mit bestehender Situation und Konzept zur Öffnung des Zwischenraumes ist dies mit den gestrichelten blauen Linien dargestellt. An diesen Stellen sind zwischen den Wohneinheiten die Küchen der jeweiligen Wohnungen angegliedert. Hier wird nun vorgeschlagen, die beiden Küchen zu verkleinern, um einen offenen Zwischenraum herzustellen. 120 cm breite Spalt bildet eine durchgehende offene Verbindung durch die Mitte der Gebäudeflügel. Im Grundriss des Modifikationskonzeptes mit Öffnung der Zwischenräume und Darstellung des Windflusses ist anhand der Windpfeile erkennbar, wie der Windfluss hier das Gebäude über den Erschießungskorridor ungehindert passieren kann. In der Isometrie der Gebäudestruktur sind diese Modifikationen türkis dargestellt (corridor ventilation). Im Grundriss eines Gebäudeflügels mit vier Wohneinheiten und Windstudie ist erkennbar, wie durch die Öffnungen zwischen den Wohneinheiten die Luft im Korridor eine bessere Zirkulation erfährt (rote Pfeile). Als weitere Folge hiervon kann damit auch die Querlüftung der Wohneinheiten besser funktionieren (grün gestrichelte Pfeile).



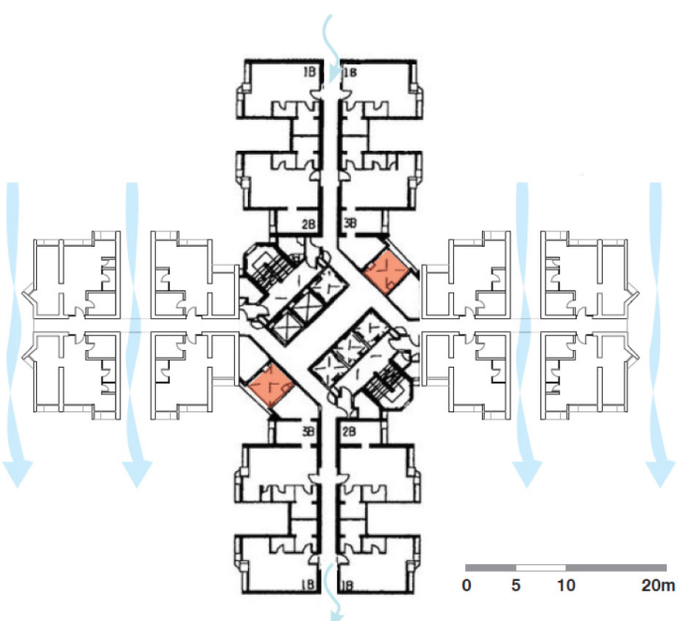
11

11 I Lüftungskonzept: Querlüftung durch den Erschließungsgang (grün), Grundriss eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013

5.2.3 Modifikation



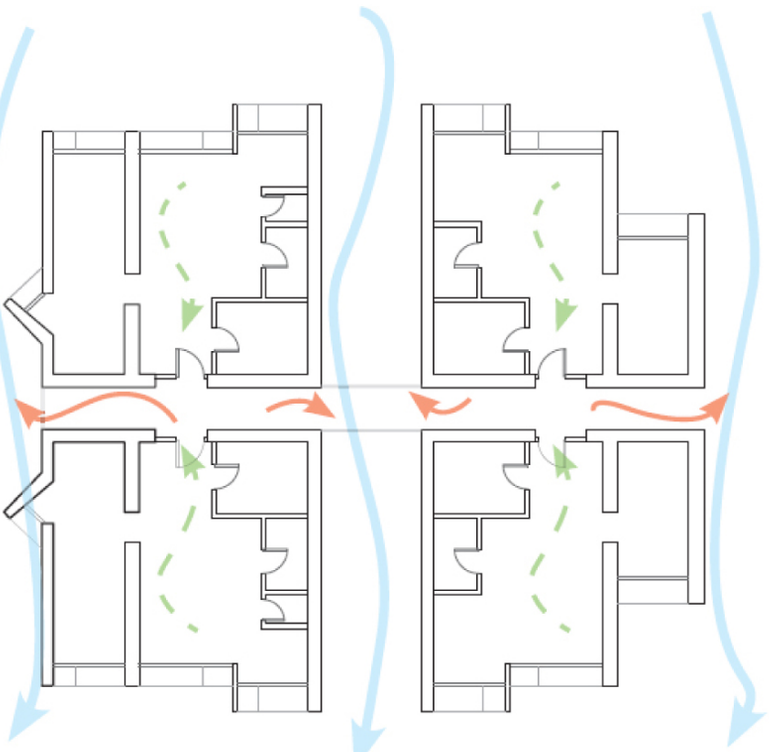
12



13

12 I Bestehender Grundriss eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie mit Konzept zur Öffnung des Zwischenraumes (blau gestrichelte Linie) und mittlerer Erschließungsgang (gelbe Flächen), Matthew Leung von der School of Architecture, Chinese University of Hongkong, im Zuge des Masterseminares Structure and Facade am Institut für Architekturtechnologie, Technische Universität Graz, Betreuung und Leitung: Ferdinand Oswald, 2012.

13 I Modifikationskonzept zum Grundriss eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie mit Öffnung der Zwischenräume und Darstellung des Windflusses (blaue Pfeile), Matthew Leung von der School of Architecture, Chinese University of Hongkong, im Zuge des Masterseminares Structure and Facade am Institut für Architekturtechnologie, Technische Universität Graz, Betreuung und Leitung: Ferdinand Oswald, 2012.



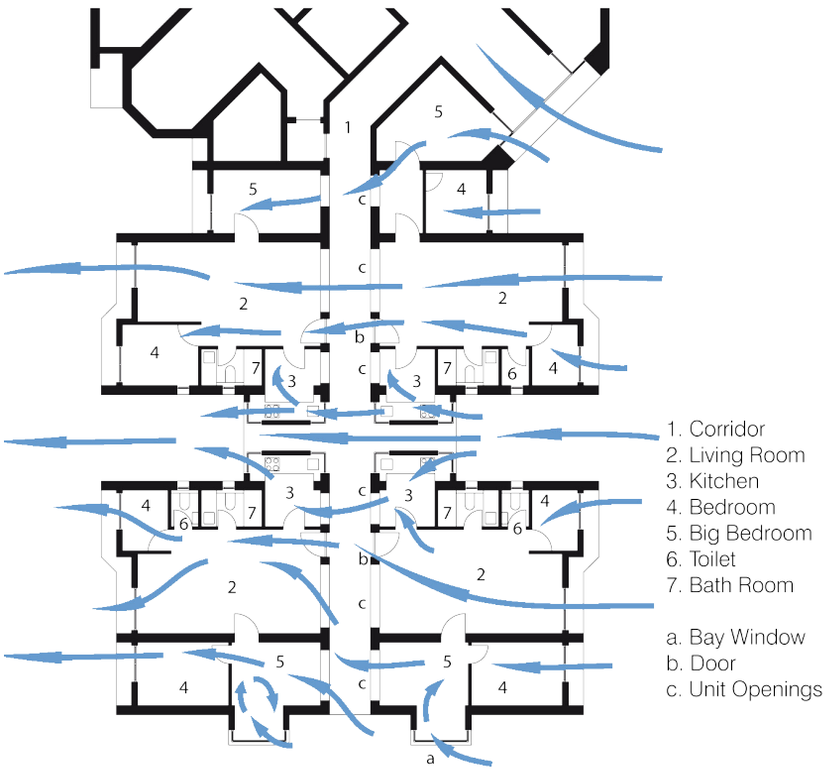
14

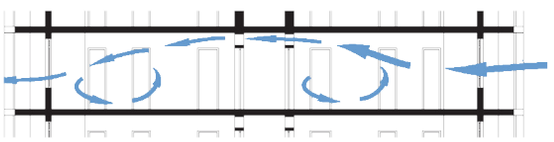
5.2.4 Ergebnis

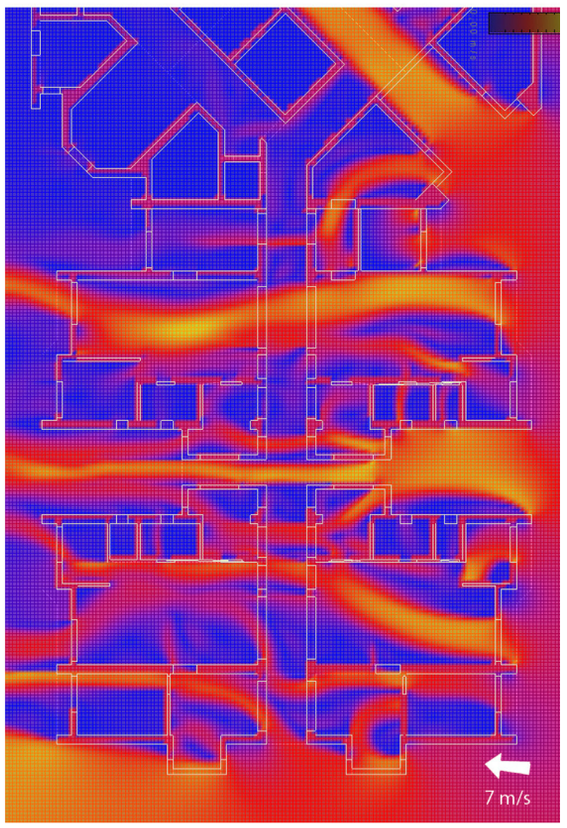
Um die verbesserte Wirksamkeit der Querlüftung durch diese drei Modifikationen zu überprüfen, wurden abermals computerunterstützte Windsimulationen durchgeführt. Hierfür wurden die spezifischen neuen Querschnittsöffnungen im dreidimensionalen Modell konfiguriert. Bei dieser zweiten Windsimulationsserie wurden dieselbe Windrichtung und -stärke angenommen wie in den vorherigen Simulationen. Im Grundriss ist erkennbar, wie der Wind mit unverminderter Geschwindigkeit (rote Farbflächen) durch die Wohneinheiten hindurchfließt. An machen Stellen innerhalb der Wohnungen und des Erschließungsganges nimmt die Luftgeschwindigkeit im Vergleich zur äußeren Windgeschwindigkeit sogar noch zu (gelbe Farbflächen). Dies ist damit zu Begründen, dass der Wind mit einem gewissen Luftdruck an die Fassade anfällt und durch die Fassadenöffnungen hindurchgedrückt wird. Die

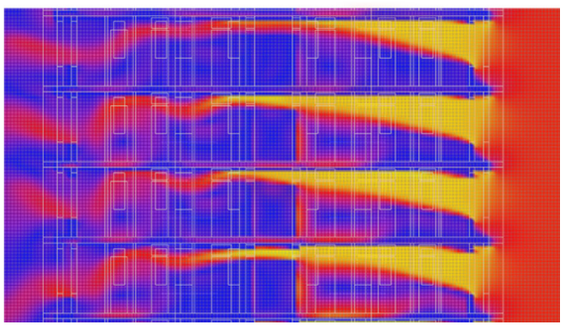
14 I Grundriss eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie mit vier Wohneinheiten und Windstudie: Modifikationskonzept mit Öffnung der Zwischenräume (blaue Pfeile), Windfluss im Korridor (rote Pfeile) und innerhalb der Wohnungen (grün gestrichelte Pfeile), Matthew Leung von der School of Architecture, Chinese University of Hongkong, im Zuge des Masterseminares Structure and Facade am Institut für Architekturtechnologie, Technische Universität Graz, Betreuung und Leitung: Ferdinand Oswald, 2012.

5.2.4 Ergebnis









15 16

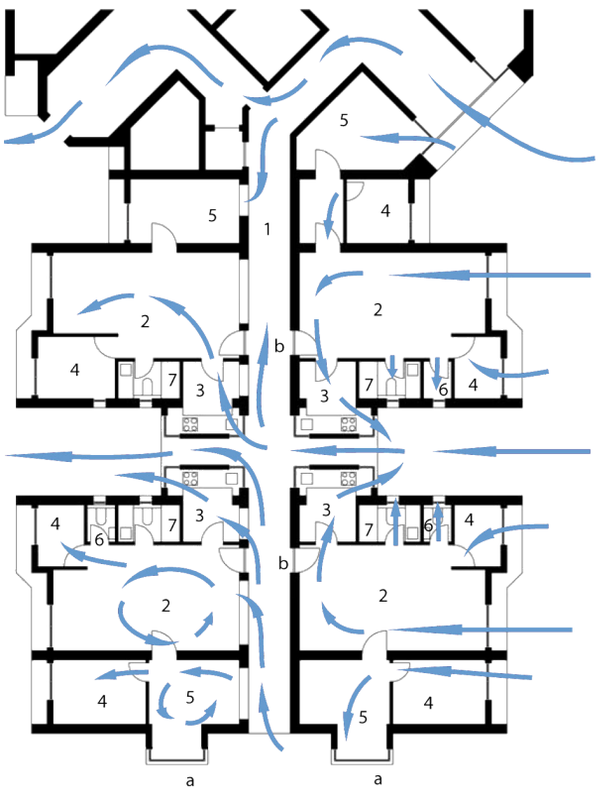
15 l Windstudie im modifizierten Grundriss und Schnitt eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie, *Tung Lam*-Wohnhochhaus, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013.

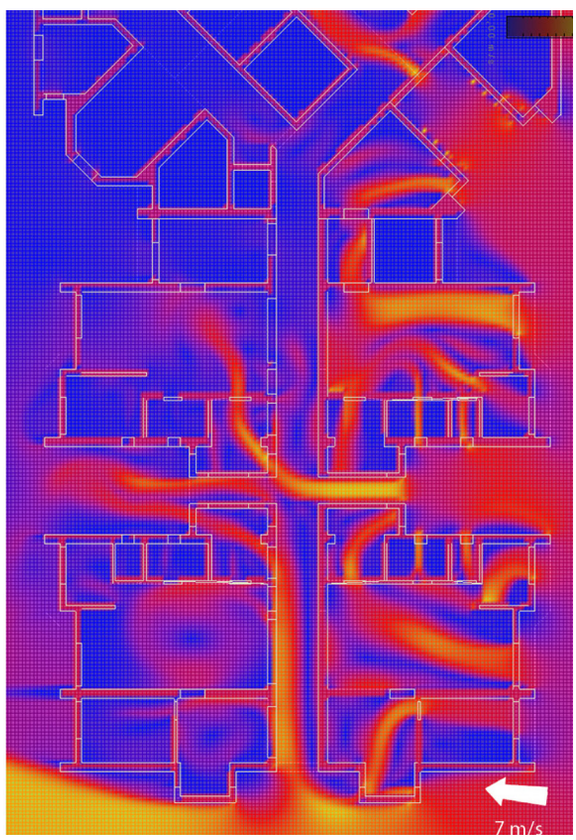
16 l Windsimulation im modifizierten Grundriss und Schnitt eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie, *Tung Lam*-Wohnhochhaus; Windsimulationsprogramm VASARI, Ferdinand Oswald, Institut für Architekturtechnologie, TU Graz, 2013.

Luftgeschwindigkeit erhöht sich hier durch den Venturi-Effekt. Auch durch die oben angebrachten Wohnungsöffnungen (c) fließt der Wind mit hoher Geschwindigkeit über den Korridor in die gegenüberliegende Wohnung und dann durch diese wieder hinaus. Im Schnitt der Windsimulation ist zu erkennen, wie sich der Wind in der Wohnung an der windabgewandten Seite (links) trotz kleiner Einströmöffnungen gut im Raum verteilt und ebenfalls eine hohe Geschwindigkeit beibehält. Die Verwirbelungen innerhalb der Wohneinheiten sind im Schnitt der Windstudie mit den blauen Windpfeilen dargestellt. Durch die neu angebrachten *Bay Windows* fließt der Wind hier auch in die Wohnung auf der windabgewandten Seite (links). In beiden Grundrissen, der Windstudie und der Windsimulation, ist zu erkennen, dass die Luft an diesen Stellen nicht nur hinein-, sondern auch wieder hinausfließt.

Die Luft kann also gut in die Wohnungen hineinströmen, überquert den Korridor und strömt dann durch die gegenüberliegende Wohneinheit wieder heraus. Das Ergebnis dieses Modifikationskonzeptes ist hinsichtlich des Funktionierens der natürlichen Querlüftung durch die Wohneinheiten sehr gut. Es ergeben sich hierdurch jedoch auch einige ungünstige Aspekte:
Damit die natürliche Querlüftung durch die windabgewandten Wohneinheiten funktioniert, muss der Nachbar der gegenüberliegenden, windzugewandten Wohnung zu einer bestimmten, gewünschten Zeit seine Wohnung zur Querlüftung zur Verfügung stellen, indem er seine Wohnungstür oder die Wohnungsoberlichter öffnet. Diese Abhängigkeit vom jeweiligen Wohnungsnachbar ist für die Bewohner nicht zumutbar und könnte leicht zu Streitigkeiten unter den Mietern führen.
Ein weiterer Aspekt ist die Qualität der Luft: Man kann davon ausgehen, dass der von außen ankommende Wind in Hongkong einer guten Frischluftqualität entspricht. Durch das Hindurchfließen des Luftstroms durch die Wohnung an der windzugewandten Seite könnte sich die Luftqualität jedoch verschlechtern, da die Luft hier mit den normalen, alltäglichen Wohnungsgerüchen aus Küchen oder Toiletten versetzt werden kann. Diese mit Gerüchen versetzte Luft würde dann in die gegenüberliegende Wohnung der windabgewandten Seite hineinströmen – auch dieses Szenario ist fraglich und für die Mieter wahrscheinlich unzumutbar.

5.2.4 Ergebnis





17 18

17 | Windstudie mit optimiertem Lüftungskonzept im Grundriss eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie, *Tung Lam*-Wohnhochhaus, Ferdinand Oswald, 2013.

18 | Windsimulation mit optimiertem Lüftungskonzept im Grundriss eines Gebäudeflügels der HARMONY-Typologie, *Tung Lam*-Wohnhochhaus; Windsimulationsprogramm VASARI, Ferdinand Oswald, 2013.

5.2.5 Konzeptoptimierung

Das erste Konzept der Modifikation zur Verbesserung der natürlichen Querlüftung der Wohnungen ist also mit einigen Nachteilen verbunden. Deshalb wurde nun eine Konzeptoptimierung entwickelt, die diese zuvor beschriebenen Nachteile eliminiert.
In diesem Zuge wurden die zusätzlichen oben angeordneten Wohnungslüftungsöffnungen zum Erschließungsgang an den windzugewandten Wohnungen verschlossen und jene zur windabgewandten Seite geöffnet.
Um die Wirksamkeit der Wohnungsbelüftung mit dieser neuen Optimierung zu überprüfen, wurde eine dritte Windsimulationsserie durchgeführt. Hierfür wurde das 3D-Modell in AutoCAD mit den neuen spezifischen Querschnittsöffnungen versehen. Bei dieser dritten Windsimulation wurden wieder dieselbe Windrichtung und -stärke angenommen wie in den vorherigen Simulationen. Die Oberlichter-Öffnungen zum Erschließungsgang sind hierbei in der Wohneinheit auf der windzugewandten Seite verschlossen. Die Belüftung dieser Wohneinheiten funktioniert mit der Einströmung durch die Ostfassade und die Luftausströmung erfolgt durch die Küchen-, Toiletten- und Badfenster sowie das *Bay Window*.
Die Ausströmung durch die Küchenfenster geschieht hier aufgrund dieser neuen Konfiguration und der Nähe des Einschnittes zum Korridor zwischen den Wohneinheiten. Bei vollständig geöffneten Oberlichter-Öffnungen gibt es diese Luftströmung aus den Küchen-, Toiletten- und Badfenstern nicht, weil der Luftdruck innerhalb der Wohnungsräume geringer ist, wenn die Luft durch die Oberlichter abfließt. Zudem bewirkt der starke Luftstrom durch den Einschnitt zwischen den Wohneinheiten an seinen Rändern, nämlich an den Küchenfenstern und den Seitenwänden der Toiletten und Bäder, einen Sogeffekt, der den Luftaustritt aus den Wohnungen hier zusätzlich begünstigt.
In der Windsimulation im Grundriss ist sichtbar, dass sehr hohe Ausströmungsgeschwindigkeiten erreicht werden (gelbe Farbflächen) und im Grundriss der Windstudie ist diese wirksame Belüftung anhand der blauen Windpfeillinien zu erkennen. Ersichtlich ist hier ebenso, dass an der gegenüberliegenden Südfassade die Luft mit hoher Geschwindigkeit hinausströmt. An dieser Stelle hilft die modifizierte Öffnung des *Bay Window* mit seinen seitlichen Öffnungsklappen, eine Ausströmung der Luft zu ermöglichen: Die Luft strömt durch das Fenster der Ostfassade und durch die Schlafzimmer und kann

dann an der linken seitlichen Öffnung des *Bay Window,* im Windschatten des Hauptwindstromes, über Ecklüftung wieder hinausströmen.
Die Belüftung der vom Wind abgewandten Wohneinheiten funktioniert über eine Querlüftung durch die Oberlichter-Öffnungen und den Erschließungsgang: Durch den Einschnitt zwischen den Wohnungseinheiten entsteht ein starker Luftstrom, der den Erschließungskorridor in der Mitte überquert. Deshalb entsteht an beiden Seiten der Querluftströmung im Korridor ein hoher Luftunterdruck. Dieser Unterdruck des Erschießungskorridors saugt die Außenluft an den Stirnseiten des Ganges förmlich an und ermöglicht damit eine bessere Belüftung dieses Mittelgangs. Hier kann der Luftstrom nun durch die Oberlichter-Öffnungen der Wohnungen in diese eindringen, sie durchqueren und an den Fensteröffnungen der Westfassade wieder herausströmen. Somit entsteht auch hier eine wirksame Querlüftung, die für eine verbesserte Behaglichkeit während der feuchtheißen Sommermonate sorgen kann.

5.2.6 Fazit

Die hier vorgestellten Modifikationsbeispiele zeigen Lösungsansätze zur Unterstützung der natürlichen Belüftung der Wohnräume in bereits bestehenden Gebäuden. Die Konfiguration in Form von Grundrissveränderungen hat verschiedene Konsequenzen:
Um die Querlüftung über den Erschließungsgang zu ermöglichen, müssen die Küchen verkleinert werden, was allerdings als realistisch eingeschätzt werden kann, da lediglich die Küchen etwas kleiner werden und das Funktionieren der Wohngrundrisse dadurch nicht eingeschränkt wird.
Eine wesentlich größere Herausforderung ist es allerdings, die bestehende statische Struktur des Gebäudes nicht zu gefährden. Es stellt sich durchaus die Frage, mit welchem Aufwand und in welchem Umfang eine solche Modifikation überhaupt vorgenommen werden kann, da beim Öffnen des Einschnittes tragende Wände entfernt werden müssen. Hierfür könnte die Neuberechnung der statischen Struktur des gesamten Gebäudes erforderlich sein. Um die hundertprozentige Standfestigkeit und damit die Sicherheit des Gebäudes zu gewährleisten, müssten eventuell zusätzliche statische Maßnahmen ergriffen werden. Dies könnte ein Neueinfügen von zusätzlichen Unterzügen oder Wandscheiben bedeuten, was einen großen

Planungs- und Kostenaufwand nach sich ziehen könnte. Auch das Einfügen der Oberlichter-Öffnungen an den Wohnungen könnte Konsequenzen für die statische Stabilität des Gebäudes haben. Auch dies müsste unter gebäudekonstruktiven Aspekten noch genauer betrachtet werden. Für eine Realisierung dieser Modifikationen müssten zunächst diese statischen Aspekte in Zusammenarbeit mit der HKHA untersucht und überprüft werden. Im Vergleich hierzu sind die Öffnungsmodifikationen an den Stirnseiten der Gebäudeschenkel mit relativ geringem Aufwand realisierbar. Es wurde festgestellt, dass die Einfügung eines *Bay Window* bereits eine wirksame Alternative wäre. Hierfür müsste lediglich der Öffnungsmechanismus an den Seiten des *Bay Window* gegeben sein. Beim optimierten Lüftungskonzept dient diese Fassadenöffnung dem Ausströmen der Luft. Die Wirksamkeit einer solchen Ausströmungsöffnung könnte mit einem mittig vor der Öffnung angeordneten Windschwert sogar noch weiter optimiert werden. Wie im vorherigen Kapitel „Fallstudie *Ngau Tau Kok*" beschrieben, optimiert eine solche Öffnung Luftunter-und Überdruck und macht somit die Wind-Ein- und -ausströmung an dieser Stelle noch wirksamer. Allerdings ist die Wirksamkeit dieser Maßnahme bis jetzt noch nicht exakt wissenschaftlich untersucht worden. Dies soll im geplanten Forschungsprojekt „Optimierte Natürliche Belüftung"1 am Institut für Architekturtechnologie gemeinsam mit dem Institut für Strömungslehre an der TU Graz vorgenommen werden. Projektspezifisch stellt sich hier noch die Frage, ob im Rahmen des optimierten Lüftungskonzepts für das *Tung Lam*-Wohnhochhaus auch die Ausströmungsöffnungen an den Küchen mit Windschwertern optimiert werden können. Die Wohnhochhaus-Typologien der HKHA wie HARMONY oder *CONCORDE* sind in der Regel ungerichtete Gebäudetypologien. Die Grundrisse sind hier zumeist punktsymmetrisch aufgebaut, sodass die sternförmigen Gebäudegrundrisse vier identische Gebäudeschenkel haben. Die Gebäude sind daher nach allen Seiten gleich aufgebaut und die Fassaden orientieren sich weder am spezifischen Sonnenstand noch an den unterschiedlichen Windrichtungen. Diese Typologien sind städtebaulich ungerichtete, „runde" Typologien, die sich überall unabhängig von äußeren Einwirkungen

[1] Riewe, Roger, Prof. / Oswald, Ferdinand (Institut für Architerturtechnologie, TU Graz) Brenn, Walter, Prof. / Meile, Gunther, Dr. (vom Institut für Strömungslehre und Wärmeübertragung, TU Graz): Forschungsprojekt: Optimierte Natürliche Belüftung – Entwicklung von konzeptionellen und grundlegenden Lösungsansätzen zur Verbesserung der natürlichen Querlüftung im Wohnhochhausbau in den Subtropen (Optimized Natural Ventilation – Development of conceptual and fundamental solutions to optimize natural ventilation in high-rise apartment buildings in sub-tropical regions); Fonds zur Förderungder wissenschaftlichen Forschung (FWF), Wien , Oktober 2014.

5.2.6 Fazit

platzieren lassen. Ein solches Konzept hat bei Standorten mit gleichmäßig wechselnden Windrichtungen den Vorteil, dass alle Wohnungseinheiten in gleichem Maße von diesen äußeren Windbedingungen profitieren. In Hongkong gibt es jedoch zwei vorwiegende Hauptwindrichtungen, eine im Sommer und eine im Winter. Deshalb profitieren hier einige Gebäudeteile von der Windrichtung und andere erfahren dadurch einen Nachteil. Im bestehenden Zustand ohne Modifikationen ist in der HARMONY-Typologie keine wirksame Querlüftung möglich. Lediglich eine einseitige Belüftung ist hier theoretisch möglich und könnte hier – je nach Windrichtung bzw. Lage der Wohnung – eventuell funktionieren. Bei Auswertung der Ergebnisse der hier vorgenommenen Windsimulationen am nicht modifizierten Bestandsgebäude erwies sich diese einseitige Belüftung jedoch als nicht existent. Bei dieser Simulation ist allerdings zu berücksichtigen, dass hier nur eine spezifische Windrichtung (Osten) und nur ein Gebäudeflügel untersucht wurden. Inwieweit die Belüftung der anderen drei Gebäudeflügel und bei unterschiedlichen Windrichtungen funktioniert, sollte noch weiter untersucht werden und bedarf weiterer Simulationen.

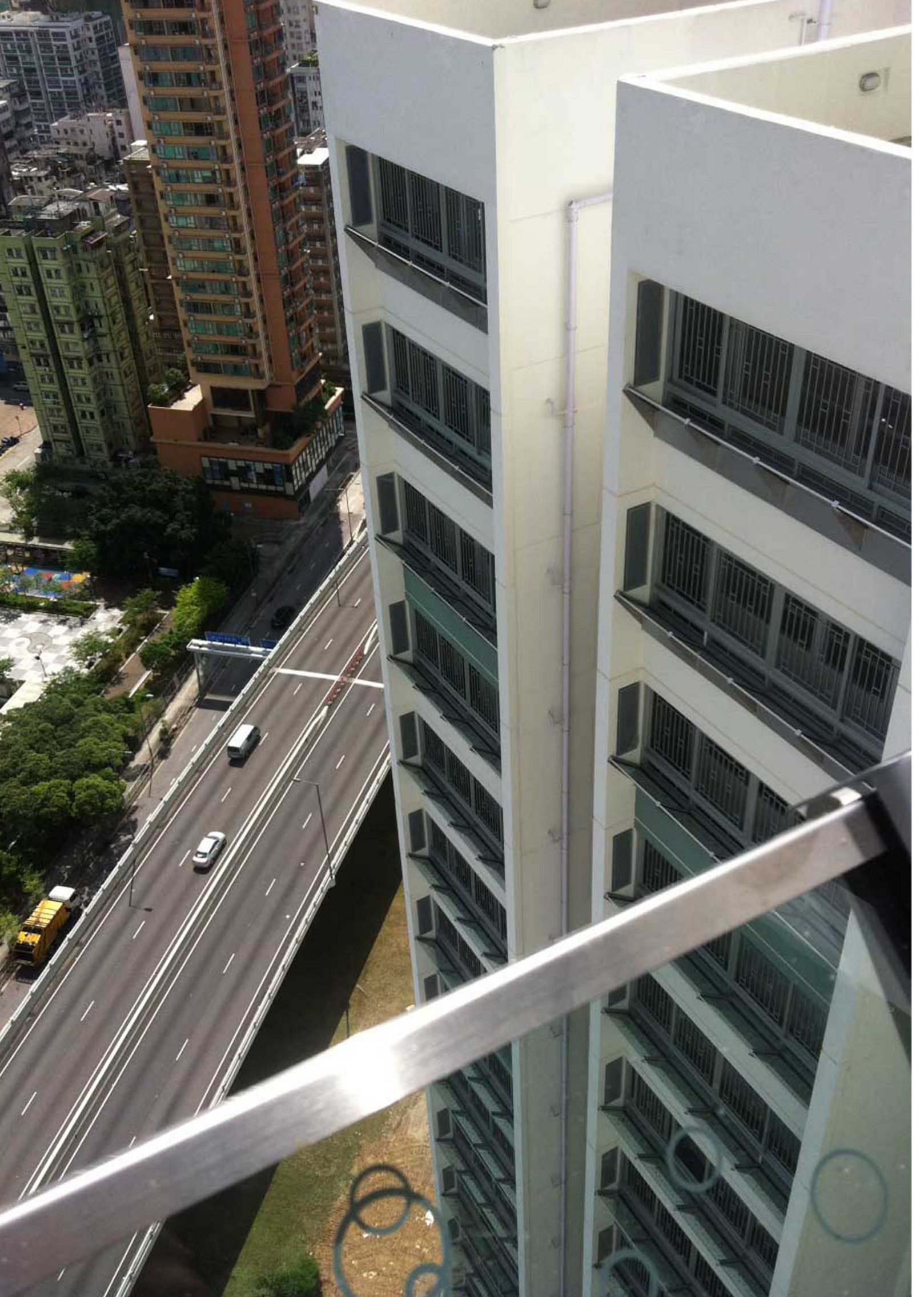
5.2.6 Fazit

5.3.1 Projektbeschreibung
5.3.2 Messergebnisse
5.3.3 Verbesserungspotential/Fazit

01 | Wohnhochhäuser, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

5.3 Verringerung der Lärmbelastung, Wing Cheong Estate, Hongkong





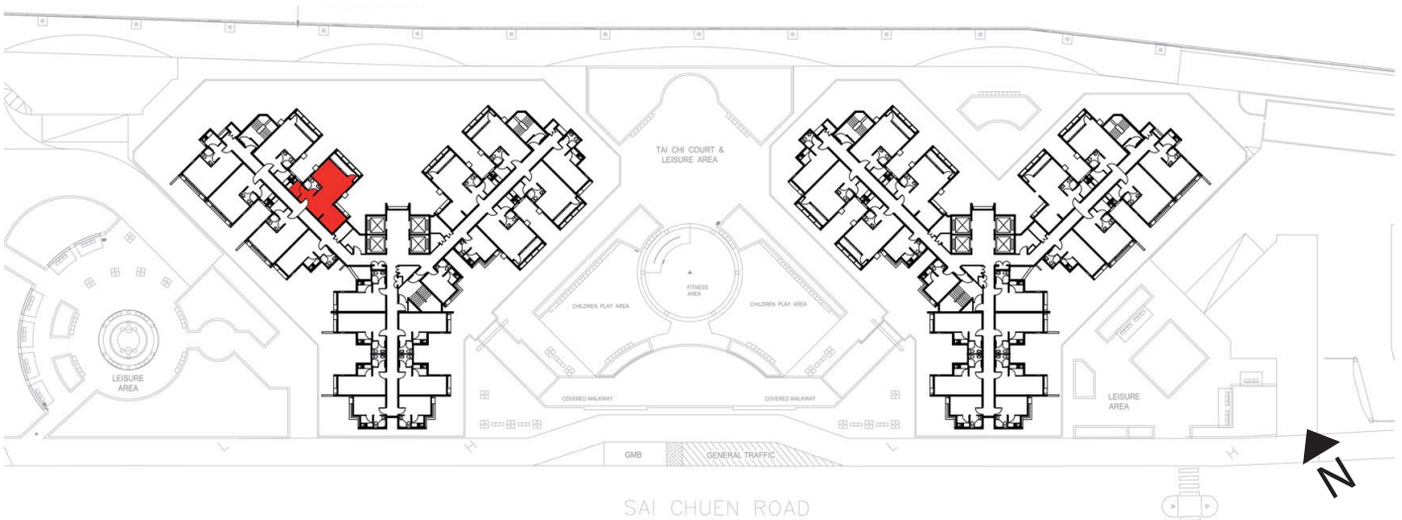
5.3.1 Projektbeschreibung

Aufgrund der an manchen Wohngebäuden in Hongkong anfallenden starken Lärmbelastung durch Straßenverkehr hat die *Hong Kong Housing Authority* eine architektonische Lösung zur Lärmminderung innerhalb von Wohnräumen entwickelt. Dieses Konzept soll die Lärmemission im Innenraum reduzieren und es gleichzeitig ermöglichen, die Fassadenöffnungen offen halten zu können, um eine natürliche Querlüftung für die Behaglichkeit der Wohnräume zu gewährleisten. Diese Lärmschutzmaßnahme mit der englischsprachigen Bezeichnung *Acoustic Balcony* ist eine Loggia mit innen angebrachten schallabsorbierenden Paneelen und einem außen befestigten Schallschutzschwert. Ziel der Untersuchung in diesem Kapitel ist es, mit Hilfe von Dezibel-Messungen die Wirksamkeit dieser Lärmschutz-Maßnahme zu eruieren.

Das *Wing Cheong Estate* befindet sich in im nordwestlichen Teil von *Kowloon*, im Stadtbezirk *Sham Shui Po* zwischen der *Sai Chuen Road* und der Stadtautobahn *West-Kowloon Corridor*. Der Standort ist auf der Karte an der U-Bahn-Haltestelle *Sham Shui Po* zu erkennen. Sichtbar ist hier auch die Stadtautobahn. Das Gebäudeensemble des *Wing Cheong Estate* beinhaltet acht Wohnhochhäuser – das neueste davon ist das *Wing Kit House*, welches nach nur 28-monatiger Bauzeit zum Zeitpunkt der Messungen vor Ort im August 2013 fertiggestellt wurde. Es gehört zur Typologie der *TRIDENT*-Wohnhochhäuser und wurde von der HKHA erstellt. In einem Geschoss befinden sich hier 20 Wohneinheiten. Allerdings sind die drei Gebäudeschenkel unterschiedlich hoch: Zwei von ihnen haben 39 Wohngeschosse mit je 6 Wohnungen und der dritte, etwas niedrigere, hat in nur 30 Geschossen jeweils 8 Wohnungen. Somit beinhaltet das *Wing Kit House* insgesamt 708 Wohneinheiten. Die beiden höheren Wohntürme des *Wing Kit House* sind zur Stadtautobahn ausgerichtet. Dadurch sind vier der 20 Wohneinheiten pro Geschoss (mit den Wohnungsnummern 1, 2, 19 und 20), also insgesamt 156 Wohnungen des *Wing Kit House*, direkt zur Stadtautobahn orientiert und dementsprechend mit je einem *Acoustic Balcony* ausgestattet. Zusätzlich sind auch die beiden Wohnungen mit den Nummern 4 und 5, die den Wohnungen 1 und 2 gegenüberliegen, jeweils mit einem *Acoustic Balcony* bestückt.

02 | Fassadenansicht mit *Acoustic Balcony* und Stadtautobahn, *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

5.3.1 Projektbeschreibung



03



04

03 I Lageplan *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate,* Hongkong, China, mit Wohneinheit Nr. 20 (rot markiert), CAD-Basis-Daten von der *Hong Kong Housing Authority*, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2013.

04 I Blick von der Stadtautobahn *West-Kowloon Corridor* auf das *Wing Cheong Estate*, *Wing Kit House* noch im Bau, Hongkong, China, Foto: *Street View, Google Maps*, Stand: Juli 2012.



05

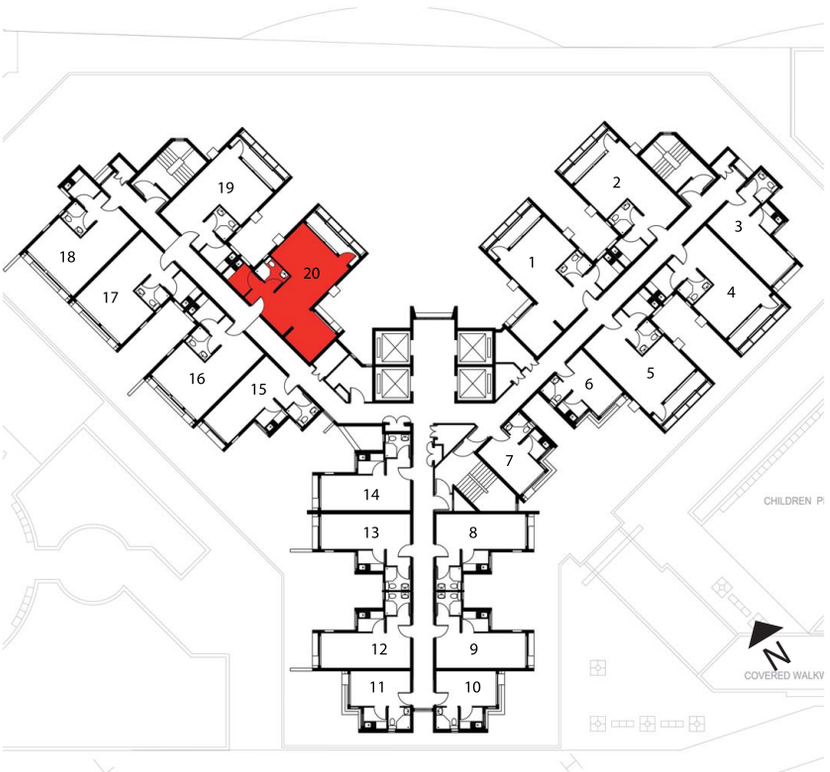
Aufgrund der zu erwartenden Lärmbelastung durch die vierspurige Verkehrsstraße hat die Hong Kong Housing Authority in Kooperation mit dem *Environmental Protection Department* (EPD), der *Hong Kong Polytechnic University* und *Arup* die *Acoustic Balconies* zur Lärmminderung am Pilotprojekt des *Wing Kit House* entwickelt.

Ein auskragendes, in einem 137°-Winkel geneigtes Glasschwert, welches an der Brüstung der Loggia befestigt ist, bildet einen Schutzschirm vor direkter Schalleinwirkung des Verkehrslärms, indem der Schall von diesen Glas-Paneelen reflektiert wird. Um fliegende Vögel vor einer Kollision mit dem transparenten Glasschwert zu schützen, sind auf dem Glas runde Grafikmuster aufgeklebt. Der *Acoustic Balcony* selbst ist eine mit Glasschiebefenstern verschließbare Loggia. Sie ist an den Seiten geschosshoch und nach vorn brüstungshoch in massivem Stahlbeton ausgeführt. Der obere Teil lässt sich vorn mit zur Seite verschiebbaren, in Alurahmen eingefassten Fensterelementen öffnen und schließen. Um die Lärmbelastung weiter zu reduzieren, sind 25 mm dicke Fiberglas-Paneele[1] mit einem Gewicht von 48 kg/m^3 deckenseitig und an den Seitenwänden der Loggia-Innenseite befestigt. Die perforierte Oberfläche dieser Fiberglas-Paneele absorbiert den Schall. An der raumseitig orientierten Seite sind Fensterklappen und eine Austrittstür

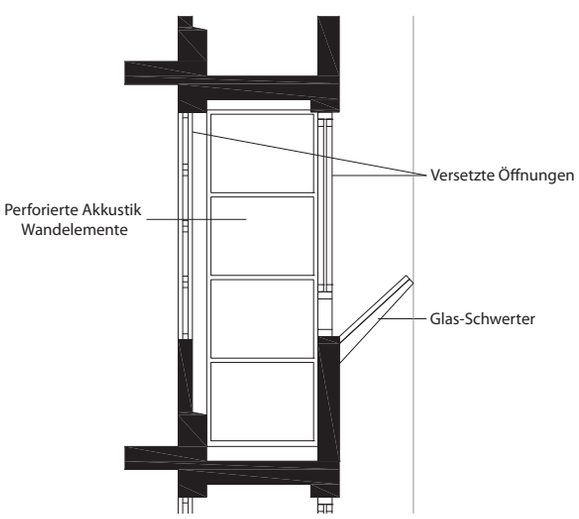
05 I Kartenausschnitt *Hong Kong Island* und *Kowloon,* Bezirk *Sham Shui Po*, Copyright: Baedeker, Ostfildern-Kemnat, 2013.

[1] Tsoi, S. / Lai, C. / Lau, K. / Wong, K. H.: Innovative arc screen development for adaptive traffic noise mitigation of housing development using full scale prototype testing, in: Journal of the Acoustical Society of America 131/4 (2012) , S. 3530.

5.3.1 Projektbeschreibung



06

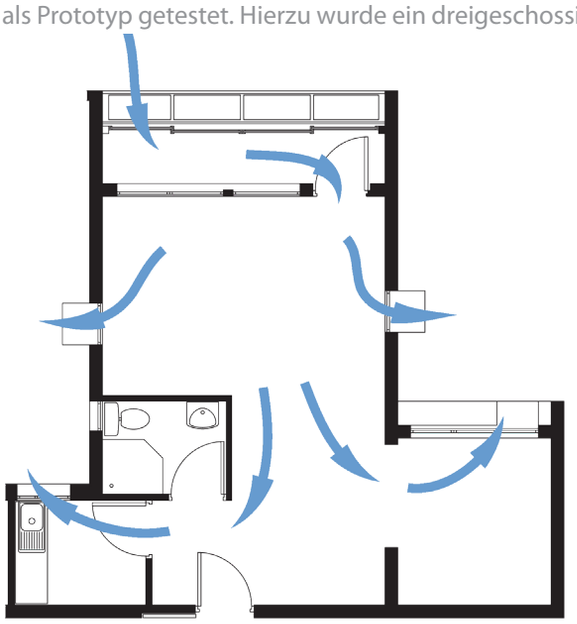


07

06 I Grundriss eines Regelgeschosses des *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China; CAD-Basis-Daten von der *Hong Kong Housing Authority*, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2013.

07 I Schnitt *Acoustic Balcony*, *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China; CAD-Basis-Daten von der *Hong Kong Housing Authority*, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2013.

konzipiert. Mit diesen verschiedenen Öffnungsarten lässt sich eine natürliche Belüftung der Wohnung gut kontrollieren und eine Diagonalbelüftung innerhalb des *Acoustic Balcony* ist ebenfalls möglich. Im Grundriss von Wohneinheit Nr. 20 mit einer Studie zur natürlichen Belüftung ist zum Beispiel eine Variante mit Öffnung des linken außenliegenden Schiebeelements und der Austrittstür (rechts) zu erkennen. Der Luftstrom durchquert somit zuerst die Loggia und danach den Wohnraum, bevor er an den Seitenöffnungen der Wohnung wieder herausströmen kann. Es handelt sich also um eine Übereck-Lüftung. Eine solche Öffnungskonfiguration mit versetzten und nicht direkt hintereinanderliegenden Fensteröffnungen reduziert die Schallweiterleitung des Verkehrslärmes nach innen, da der Schall keine direkte, geradlinige Strecke durchlaufen kann: Der Schallpegel wird hierbei durch eine wiederholte Reflexion durch im Weg stehende Wände abgeschwächt. Mit Umsetzung dieser drei Prinzipien der Schallreduzierung (Glasschwerter, schallabsorbierende Paneele und versetzte Lüftungsöffnungen) hofft man, die Lärmbelastung innerhalb der Wohnräume so weit zu minimieren, dass eine natürliche Belüftung ohne einen starken Geräuschpegel von außen ermöglicht werden kann. Um diese Prinzipien in der Realität zu überprüfen, wurde der *Acoustic Balcony* vorab in einem 1:1-Versuchsaufbau von der HKHA als Prototyp getestet. Hierzu wurde ein dreigeschossiger *Acoustic Balcony* in



08

08 I Grundriss der Wohneinheit Nr. 20 mit Studie zur natürlichen Belüftung, *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China; CAD-Basis-Daten von der *Hong Kong Housing Authority*, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2013.

5.3.1 Projektbeschreibung



09

09 I Fassadenansicht mit *Acoustic Balconies* des *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

einem Mock-up aufgebaut, um die Wirksamkeit des *Acoustic Balcony* anhand der hier gemessenen Lärmreduzierung zu evaluieren. Dieser Test ergab eine Lärmreduzierung von 5 dB allein durch das Glasschwert.[2] Bei den vom Autor durchgeführten akustischen Messungen am 26.08.2013 wurde die Wirksamkeit des *Acoustic Balcony* zum ersten Mal an einem gebauten Wohnbauprojekt untersucht.

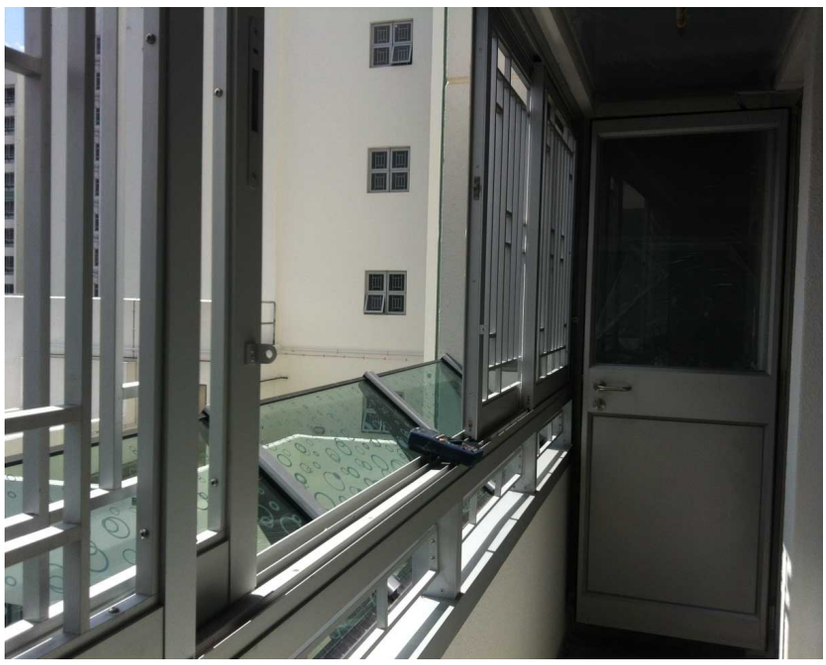
5.3.2 Messergebnisse

Die Messungen wurden am 26.08.2013 am gerade fertiggestellten *Wing Kit*-Wohnhochhaus vorgenommen und führten zu aufschlussreichen Ergebnissen. Die akustischen Tests wurden in vier unterschiedlichen Geschossen (3.,8., 16. und 31. Etage) der Wohneinheit Nr. 20 des jeweiligen Geschosses an jeweils vier Messpunkten vorgenommen. Die Wohneinheit Nr. 20 ist zur lärmverursachenden Stadtautobahn hin orientiert. Die vier Messpunkte der Dezibel-Messungen (A, B, C und D) sind im Wohnungsgrundriss der Wohneinheit Nr. 20 im 16. Obergeschoss dargestellt.
Der Messstandort A befand sich außerhalb der Loggia vor dem Glasschwert. An dieser Stelle sind die größten Schall-Werte zu erwarten, die nicht durch das Glasschwert reduziert werden. Die Ergebnisse aus diesen Messungen sind in den vier Schnitten der *Acoustic Balconies* der Geschosse: 3, 8, 16 und 31 an den Messpunkten A jeweils in Dezibel dargestellt. Hier ist eine Lärmminderung um 9,5 dB zwischen dem 3. Geschoss (85,5 dB) und dem 31. Geschoss (76,0 dB) erkennbar. Diese ist damit zu erklären, dass die akustische Belastung mit zunehmender Geschosshöhe abnimmt, weil sich die Distanz zur Lärmquelle vergrößert.

Ein für die vorliegende Untersuchung interessanteres Ergebnis ist die Lärmreduzierung durch die Glasschwerter. Die Dezibel wurden hierfür in einer zweiten Messreihe in denselben Wohneinheiten in den vier verschiedenen Geschossen jeweils vor (Messpunkt A) und dieses Mal auch hinter dem Glasschwert (Messpunkt B) gemessen, also außerhalb und innerhalb der Loggia. Die Differenzen dieser Messergebnisse (Δ AB) zeigen die Lärmreduzierung durch die *Arc-Screens* auf. Die hier gemessenen Werte kommen den Ergebnissen der Mock-up-Versuchsdurchführung der HKHA gleich. Die Lärmreduzierung variiert jedoch zwischen 4,0 dB im achten Stockwerk und 8,3 dB im 31. Stockwerk.Diese schlechtere Lärmreduzierung in den unteren

[2] Vgl. ebda.

5.3.2 Messergebnisse



10





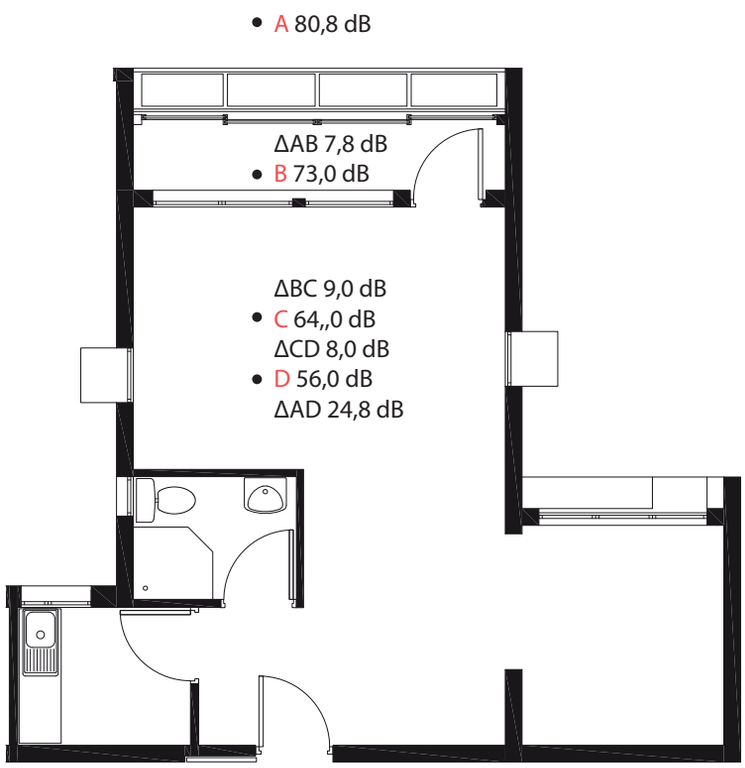
11 12

10 | Loggia-Bereich des *Acoustic Balcony*, *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China, Foto: Ferdinand Oswald, 2013.

11 | Glasschwert des *Acoustic Balcony*, *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China, Foto: *Hong Kong Housing Authority*, 2013.

12 | Schallabsorbierende Fiberglas-Paneele, *Acoustic Balcony*, *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China, Foto: *Hong Kong Housing Authority*, 2013.

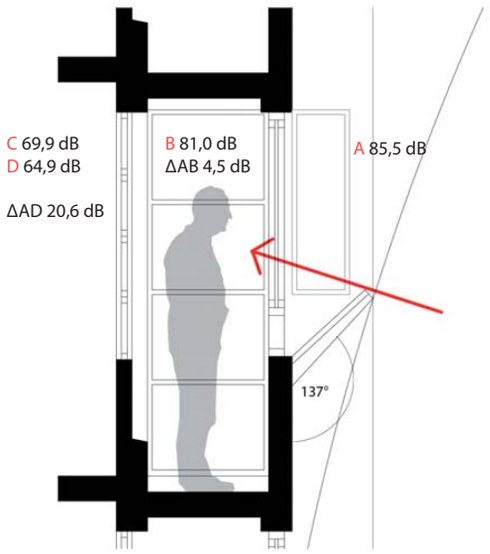
Geschossen ist mit dem gleichbleibenden 43°-Winkel der Glasschwerter und den unterschiedlichen Einfallwinkeln der Schallwellen bei Standorten in unterschiedlicher Höhe zu begründen. Grafisch ist dies gut im „Gesamtschnitt *Acoustic Balcony*, vier Geschosse der Dezibel-Messungen (rot markiert) und Winkel zur Verkehrslärmquelle“ zu erkennen: Im ersten Geschoss, auf Höhe der Stadtautobahn, laufen die akustischen Schallwellen von der Straße fast horizontal an die Hausfassade und treten damit beinahe ungehindert in die Loggia-Öffnungen ein. Im dritten Geschoss haben die Schallwellen einen Einfallwinkel von ca. 73° und das Glasschwert kann nur wenig gegen das Eindringen des Schalls ausrichten. Im 31. Geschoss stellt sich die Situation wesentlich anders dar: Der Einfallwinkel des Schalls ist hier wesentlich steiler (11°), sodass der *Arc-Screen* den ankommenden Schall reflektiert und die Loggia-Öffnungen vor dem Eindringen des Schalls schützt. Hier liegt die Lärmreduzierung bei 8,3 dB, was eine sehr viel größere Lärmreduzierung zwischen Innen und Außen darstellt.



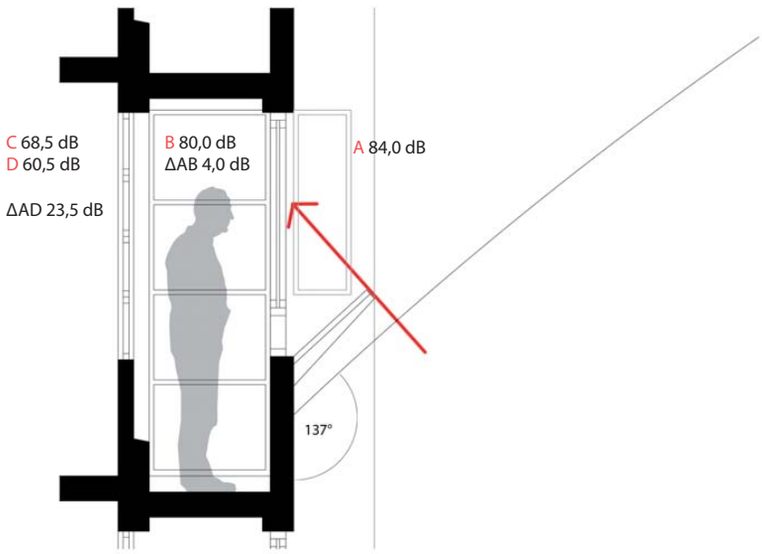
13

13 | Wohnungsgrundriss der Wohneinheit Nr. 20 mit den Messpunkten der Dezibel-Messungen (A, B, C und D) und den Messergebnissen am Beispiel des 16. Obergeschosses des *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China; CAD-Basis-Daten von der *Hong Kong Housing Authority*, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2013.

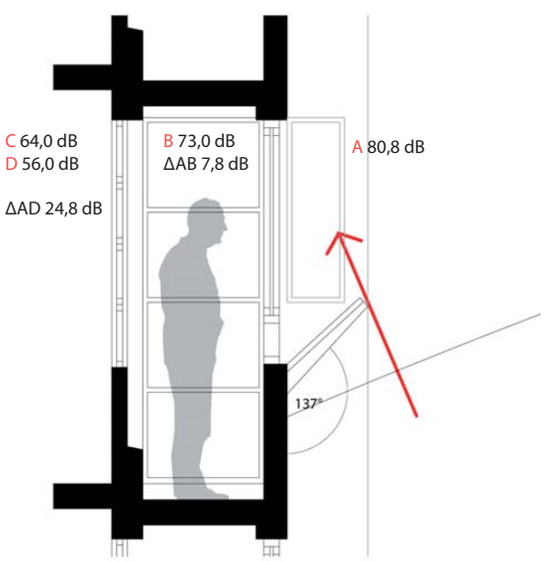
5.3.2 Messergebnisse



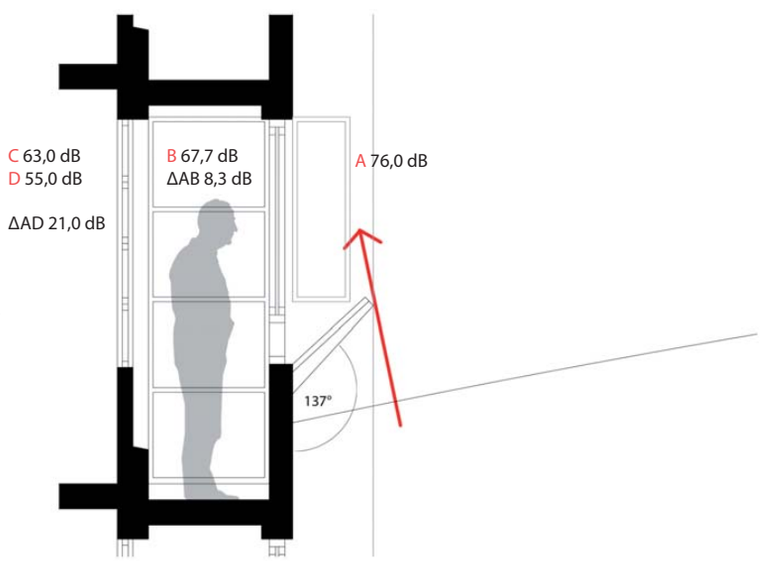
Section Acoustic Balcony
3rd Floor



Section Acoustic Balcony
8th Floor



Section Acoustic Balcony
16th Floor



Section Acoustic Balcony
31st Floor

14

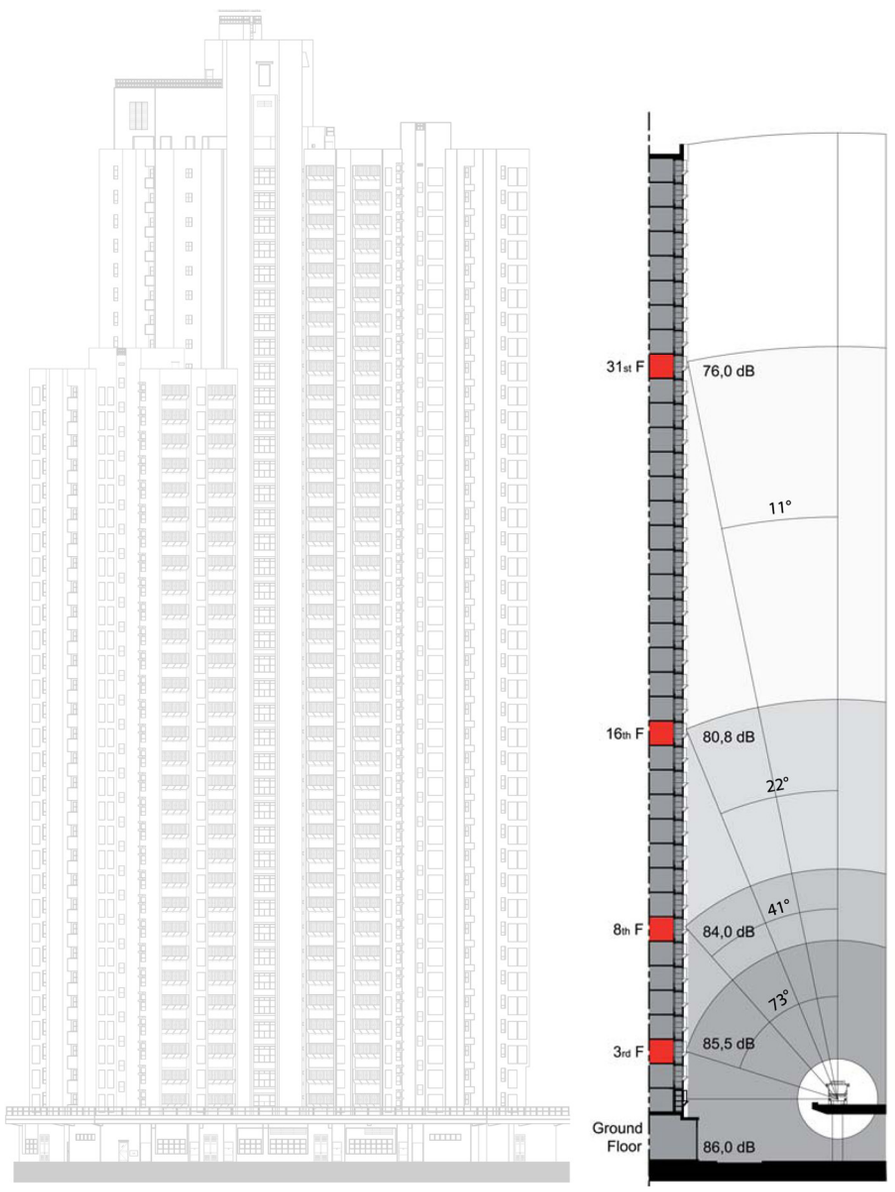
14 | Vier Schnitte der *Acoustic Balconies* der Geschosse 3, 8, 16 und 31 mit Dezibel-Messergebnissen (A, B, C und D) und grafisch dargestellten Einfallwinkeln des Verkehrslärms (rote Pfeile), *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China; CAD-Basis-Daten von der *Hong Kong Housing Authority*, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2013.

Die dritte Messung erfolgte, um die Wirksamkeit der Lärmreduzierung innerhalb des *Acoustic Balcony* zu evaluieren. Hierbei spielen die schallabsorbierenden Paneele und die Diagonallüftung mit der oben beschriebenen Öffnungskonfiguration eine wesentliche Rolle. Die Messungen erfolgten innerhalb der Wohnung mit Öffnung des linken außenliegenden Schiebeelements und der Austrittstür (rechts) und ergaben Messwerte zwischen 63,0 und 69,9 dB am Messpunkt C. Diese Ergebnisse entsprechen einer starken Lärmreduzierung von bis zu 11,5 dB im 8. Stockwerk. Die Lärmbelastung von 65 dB entspricht in der Akustikskala „geringem Straßenverkehr".
Die vierte Messreihe wurde innerhalb der Wohnung bei geschlossenen Fenstern durchgeführt (Messpunkt D). Dieses Ergebnis repräsentiert die geringstmögliche Schallimmission in die Wohnräume des *Wing Kit*-Gebäudes. Hier ist zugleich keine natürliche Belüftung gegeben, da alle Öffnungen in der Fassade hierbei geschlossen sind. Der Lärmpegel liegt hierbei zwischen 55,0 und 64,9 dB, was ein akzeptables Ergebnis ist, doch würde sich durch das Anbringen von Schallschutzverglasung ein erheblich besserer Wert erzielen lassen.

5.3.3 Verbesserungspotential/Fazit

Die Verringerung der Lärmemission bei gleichzeitiger Durchführung einer natürlichen Belüftung wird durch die Lärmschutzmaßnahmen der *Acoustic Balconies* wirksam unterstützt. Bei Wohnhochhäusern an großen, lauten Verkehrsstraßen kann auf diese Weise die natürliche Belüftung ermöglicht werden. Die Maßnahmen erzielen eine gute Wirksamkeit der Verkehrslärmreduzierung bei gleichzeitiger Erhaltung der Behaglichkeit in den Wohnräumen durch natürliche Querlüftung.
Bei genauerer Betrachtung gibt es dennoch Verbesserungspotential für die Wirksamkeit der *Acoustic Balconies*: Der Schall trifft mit zunehmender Höhe des Standortes in einem anderen Winkel auf das Gebäude auf, aber die Schallschwerter haben alle den gleichen Winkel von 43°. Eine Optimierungsoption wäre daher, den Auskragungswinkel der *Arc-Screens* entsprechend der jeweiligen Geschosshöhe an die Position der Lärmquelle anzupassen. Die Glasschwerter müssten in den oberen Stockwerken flacher und in den unteren steiler angebracht sein. Gleichzeitig würde auch eine Modifikation der Länge des Glasschwertes die Lärmreduzierung optimieren: Insbesondere in

5.3.3 Fazit



15 16

15 l Ansicht, *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China; CAD-Basis-Daten von der *Hong Kong Housing Authority*, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2013.

16 l Gesamtschnitt *Acoustic Balconies* (die vier Geschosse der Dezibel-Messungen sind rot markiert) und Winkel zur Verkehrslärmquelle, *Wing Kit House*, *Wing Cheong Estate*, Hongkong, China; CCAD-Basis-Datenvon der *Hong Kong Housing Authority*, überarbeitet: Ferdinand Oswald, 2013.

den unteren Stockwerken wäre ein längeres, weiter auskragendes Glasschwert wirksamer, um die Öffnung besser vor eindringendem Schall zu schützten. Im dritten Geschoss würde eine Verringerung des Winkels von 43° auf ca. 20° und eine Vergrößerung des Glasschwertes auf die doppelte Länge zu einer wirksamen Verbesserung der Lärmreduzierung im Wohnbereich führen.
Mit diesen leichten Modifikationen des Winkels und der Länge der Glasschwerter könnte also der in den Innenraum eindringende Lärm noch weiter reduziert werden. Die Nachteile einer solchen Modifikation wären ein größerer Materialbedarf bezüglich des Glases in den unteren Etagen und damit verbunden ist ein größerer Kostenaufwand. Auch die Realisierung von individuellen Winkeln der Glasschwert-Befestigung würde mehr Kosten verursachen, da die Metallhalterungen für die verschiedenen Etagen unterschiedlich produziert werden müssten. Zudem könnte die Zulassung der Anwendung dieser längeren auskragenden Glasschwerter am Bau mit erheblichem Aufwand verbunden sein: Es müsste zunächst eine Zertifizierung zur Einhaltung aller Sicherheitsrichtlinien am Bau vorgenommen werden. Bei den hohen Anforderungen in Bezug auf Windsog- und Druckkräfte wegen der jährlich auftretenden Hurrikans in Hongkong wäre dies kein leichtes Unterfangen. Zu diesen Nachteilen kommt noch ein weiterer hinzu: Nach der soeben beschriebenen Winkel- und Längenänderung würde das Glasschwert auch das Blickfeld der Bewohner reduzieren: Bei Aufenthalt auf der Loggia würde es durch dieses Glasschwert verdeckt sein.
Die vierte Messreihe wurde innerhalb der Wohnung bei geschlossenen Fenstern durchgeführt. Wie zuvor schon aufgezeigt, repräsentiert dieses Ergebnis die niedrigste mögliche Schallimmission in die Wohnräume des Gebäudes. Dieser Wert wurde mit Einscheiben-Verglasung in den Fenstern erzielt. Durch das Anbringen von Schallschutzverglasung ließe sich ein noch besserer Schallschutz-Wert erzielen. Deshalb stellt sich die Frage, weshalb hier nicht Glasmaterialen mit besseren Schallschutz-Werten verwendet werden. Prinzipiell werden im asiatischen Raum nur wenig hochwertige Gläser verwendet. Grund hierfür sind die wesentlich höheren Kosten für diese hochwertigeren Fenstergläser. Zwar sind der Aufwand und die Kosten einer guten Schallisolierverglasung im Verhältnis zu denen des *Acoustic Balcony* wesentlich geringer, doch ist das Ziel dieser neuen Lärmschutzmaßnahme ja nicht die Reduzierung des Schalls bei geschlossenen Fenstern, sondern bei geöffneten Fenstern während der Nutzung der natürlichen Belüftung. Dahingehend erfüllen die *Acoustic Balconies* auch mit den zuvor beschriebenen Verbesserungspotentialen ihren Sinn und Zweck und tragen zur Verringerung des Straßenverkehrslärms innerhalb der Wohnungen wirksam bei.

Inhaltsverzeichnis - Teil 06

Teil 06 Fazit und Ausblick

6.1 Makroebene - Städtebaulicher Handlungsbedarf standortspezifisch und standortunspezifisch

6.2 Mesoebene – Gebäudetypologie

6.2.1 Architektonische Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit
6.2.2 Das Hochhaus als Chance zur Verbesserung der Behaglichkeit

6.3 Mikroebene – Öffnungen und Fassadenstrukturen

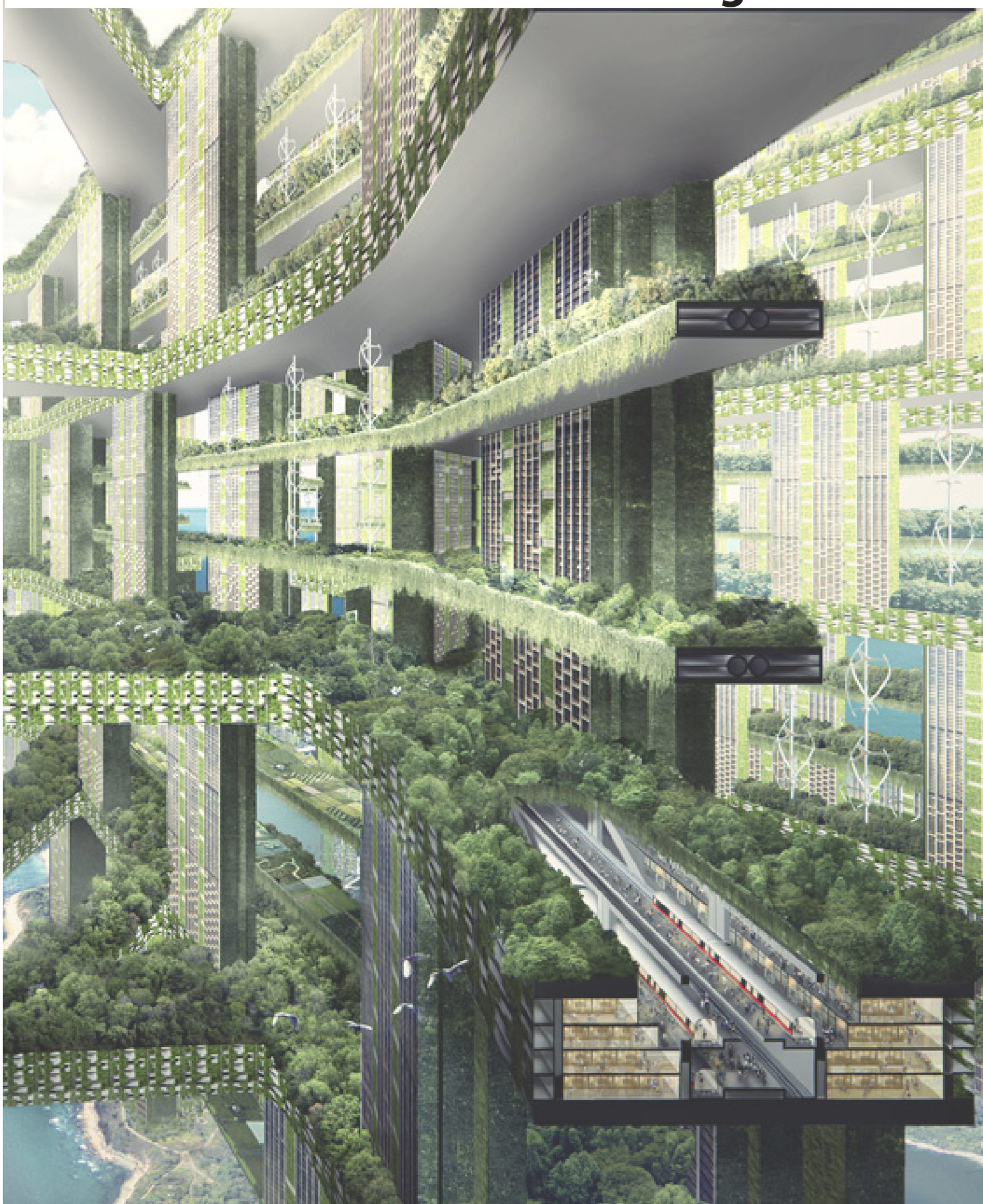
6.3.1 Forschungsbedarf: Die Notwendigkeit der Entwicklung von neuen Fassadenöffnungen
6.3.2 Forschungsbedarf: solare Energieeinträge
6.3.3 Hightech versus Lowtech

6.4 Metaebene – alternative und traditionelle Konzepte

6.5 Schluss

01 I Städtebauliche Studie von WOHA - Architects, Quelle: WOHA Pte. Ltd, 2013.

6.1 Makroebene - Städtebaulicher Handlungsbedarf



Wie im Kapitel 3.4. „Kühlmethoden“ beschrieben, sollten bei der städtebaulichen Positionierung der Wohngebäude Windverhältnisse und Sonnenverläufe unbedingt berücksichtigt werden. Wetterbedingte Windverhältnisse und Frischluftschneisen im urbanen Kontext sind für die Anordnung der Gebäude sehr wesentlich. Windverhältnisse wie Windrichtung, -stärke und -häufigkeit sind im städtebaulichen Kontext auch deshalb in der Planung mit zu berücksichtigen, weil für die Innenräume der Häuser eine natürliche Belüftung zur Verfügung zu stellen ist.

Hierbei spielt auch die Nachbarbebauung eine große Rolle, da diese einen erheblichen Einfluss auf den Wind und dessen Einwirkung auf das zu planende Gebäude hat. Städtische Gebiete verursachen durch das bebaute urbane Umfeld Verwirbelungen und die verwirbelungsfreie Grenzschicht befindet sich dann weiter oben. Die Wohnhochhäuser *Skyville* und *The Met* sind jedoch quasi freistehende Gebäudekörper mit großen Abständen zu den Nachbargebäuden. Durch ihre Gebäudehöhe und die Entfernung zu Nachbarbebauungen werden sie von diesen kaum beeinträchtigt und sie tangieren ebenso auch selbst die anderen Gebäude hinsichtlich der Windflusseigenschaften kaum.

Die Möglichkeit einer effizienten natürlichen Belüftung optimiert sich bei zunehmendem Abstand der Gebäudekörper zueinander: „Das Optimum für eine gute Durchlüftung der Gebäudezwischenräume wird erreicht, wenn der Gebäudeabstand größer als die dreifache Gebäudehöhe ist“[1], gibt Hegger et al. in ihrer Publikation über äußere Rahmenbedingungen der Stadtstruktur an. Im dichteren Wohnhochhaus-Konglomerat sind diese Themen sehr bedeutsam und gleichzeitig lassen sich diese Rahmenbedingungen hier nur schwierig umsetzen.

Die Fallstudie des *Ngau Tau Kok* in Hongkong zeigt als standortspezifisch konzipiertes und positioniertes Projekt einen guten Lösungsvorschlag für diese Problematik. Hier sind die Möglichkeiten einer natürlichen Belüftung durch ein intelligentes Gebäudearrangement gut erkennbar: Bei einer Positionierung der Gebäudekörper in engem Abstand zueinander ist das städtebauliche Arrangement auf die Hauptwindrichtungen abgestimmt und die Windstudien der HKHA zeigen, dass durch einen Luftkorridor zwischen den Gebäudevolumen ganzjährig für eine ausreichende Luftströmung gesorgt ist. Dieses Beispiel zeigt in beindruckender Weise, welchen großen Einfluss die Anordnung der Gebäudekörper auf passive Kühlmethoden haben kann und welche deutlichen Auswirkungen auf die Innenraumbehaglichkeit die

[1] Quelle: Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 33.

Orientierung der Fassaden und der dahinterliegenden Wohnräume nach unterschiedlichen Himmelsrichtungen hat. Daher ist es wichtig, nicht nur Typologie und Gebäudeform der Nutzung und dem Standort anzupassen, sondern auch die Positionierung innerhalb der Umgebung gut zu planen. Die Mehrzahl der Wohnhochhäuser der HKHA sind ungerichtete Typologien, also standortunspezifisch entwickelt, und können dementsprechend überall in der Stadt positioniert werden. Eine solche gleichförmige Orientierung zu allen Himmelsrichtungen ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn es keine Hauptwindfluss-Richtungen gibt. Dies trifft auf die hier vorgestellten *Tulou*-Typologien zu: Das traditionelle *Tulou* in der Fujian-Region und das *Urban Tulou* in Guangzhou sind für eine gleichmäßige Verteilung der Windrichtungen auf alle Himmelsrichtungen gebaut, denn an diesen Standorten ist die gleichförmige, ungerichtete runde Gebäudeform sinnvoll.

Die Sonnenstände und ihr Einfluss auf die Wohngebäude an den verschiedenen Klimastandorten sind auf der städtebaulichen Ebene der Stadtstruktur in Form der Abstände von Wohngebäuden ebenfalls unbedingt zu berücksichtigen. In den subtropischen und tropischen Regionen muss vor allem in den heißen Sommermonaten eine Überhitzung der Wohnräume vermieden werden, was durch eine Verringerung der solaren Energieeinträge erreicht werden kann: Eine Verschattung der Fassadenfläche durch in der Nähe stehende Gebäude kann sich hier positiv auswirken, wobei gleichzeitig jedoch spezifische Gebäudeverordnungen für die Regelungen des Tageslichts in den Innenräumen eingehalten werden müssen. Zudem können Verschattungen durch Nachbargebäude auch die Wirksamkeit einer Nutzung der Speichermassen wesentlich verbessern, da sie eine Überhitzung der massiven Außenwände verhindern können. Damit das Prinzipi der Speichermassenkühlung funktionieren kann, muss der wesentliche Faktor der spezifischen klimatischen Wetterbedingungen berücksichtigt werden, denn die Speichermassenkühlung ist maßgeblich von diesem äußeren Umwelteinfluss abhängig. Im städtebaulichen Wohnhochhaus-Konglomerat kann es zudem durch den „Hitzeinseleffekt" zu einer Verringerung der Nachtabkühlung und somit zur Reduzierung der Speichermassenkühlung kommen. Werden alle diese Anforderungen und Problemlagen im städtebaulichen Planungsprozess berücksichtigt, dann können die passiven Kühlmethoden wirksam funktionieren und die Nutzung der Klimaanlage kann verringert werden.

6.2.1 Architektonische Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit
6.2.2 Das Hochhaus als Chance zur Verbesserung der Behaglichkeit

01 | Rendering der Hofsituation von Skyville at Dawson, Copyright: WOHA Pte Ltd. Singapore.

6.2 Mesoebene – Gebäudetypologie



6.2.1 Architektonische Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit

Die Klimaanlage scheint oft die einzige Antwort auf die äußeren Faktoren Hitze, Feuchtigkeit, Lärm und Luftverschmutzung zu sein. Die Nutzung der Klimaanlage ist inzwischen insbesondere in Asien zu einem tief verwurzelten Standard geworden, der mit großer Selbstverständlichkeit die Bedürfnisse nach Behaglichkeit auf einfache Weise erfüllt. Die Erfindung der dezentralen Split-Klimaanlage hat die Typologien des tropischen und subtropischen Wohnungsbaus in den letzten 50 Jahren völlig verändert. Die Wohnverdichtung der asiatischen Städte, die in dieser Zeit erfolgte, ist aber nicht nur aufgrund der Nutzung der Klimaanlage möglich gewesen und oft können die beschriebenen Harmony-Typologien der Hong Kong Housing Authority gar keine ausreichende Innenraumbehaglichkeit bieten. Eine Reduzierung der Nutzung von Split-Klimaanlagen wäre nicht nur angesichts der globalen Klimaveränderungen und im Sinne der Einsparung von Energien, sondern auch für das Klima innerhalb der Großstädte sowie für die Geräuschkulisse in Wohnvierteln vonnöten. Diese Reduzierung ist nur durch Modifikation der bestehenden Gebäudestrukturen möglich. Architekten müssen nun beweisen, dass neue architektonische Konzepte für subtropische und tropische Wohnhäuser möglich sind, mit denen die gewünschte Wohnbehaglichkeit in Wohninnenräumen auch ohne die Nutzung von Klimaanlagen erreicht werden kann.

Die Gebäude der hier behandelten Fallstudien *The Met*, *Skyville, Urban Tulou* und *Ngau Tau Kok* sind Vorreiter für eine innovative Architektur, die eine Verringerung der Nutzung des Kälteaggregats im Wohnungsbau in tropischen und subtropischen Regionen ermöglicht. Wie hier in einer der Vorstudien aufgezeigt wurde, ermöglichen auch traditionelle chinesische *Tulou*-Bauten in ihrer Grundrisskonzeption und mit ihren Öffnungen eine Querlüftung, die für die Erzeugung einer Behaglichkeit im Wohnraum insbesondere an tropischen und subtropischen Standorten immens wichtig ist. Als Bindeglieder zwischen Innen und Außen spielen die Gebäudehülle und deren Öffnungen im Sinne einer Porosität bei der Klimaregulierung eine ganz erhebliche Rolle. Doch nicht nur intelligente Proportionen und die räumliche Anordnung von Fassaden-Elementen sind maßgeblich für eine natürliche Belüftung, wesentlich für die Querlüftung ist auch die Positionierung der Innenwände.

Damit ist die gesamte Grundriss- und Gebäudestruktur relevant für ein gut funktionierendes natürliches Belüftungssystem.
Im Kapitel „Natürliche Belüftung" wurde anhand der Grafiken von Klaus Daniels aufgezeigt, welche Gebäudeformen im Sinne des Verhältnisses zwischen Länge und Breite für unterschiedliche Klimaregionen optimal sind. Das *The Met* ist zur Verringerung der solaren Energieeinträge als Wandscheibe konzipiert, sodass die Ost- und Westseiten des Wohnhochhauses nur als schmale, geschlossene Stirnseiten ausgebildet sind. Diese Stahlbetonwände sind hier mit Fassadenplatten verkleidet, um eine Erhitzung der tragenden Stirnwände zu verhindern. Klaus Daniels empfiehlt diesbezüglich sogar, die Erschließungstrakte an diese schmalen Ost- und Westseiten anzugliedern. Allerdings ist hierfür natürlich immer auch der Standort von großer Bedeutung: Je näher die Position dem Äquator ist, desto steiler steht die Sonne und desto stärker ist die Bestrahlung von Osten und Westen. In den Subtropen nördlich des Äquators ist der Sonnenverlauf anders und dementsprechend müssen hier auch die optimalen Gebäudetypologien anders konzipiert sein.
Alle Fallbeispiele sind in massiver Bauweise erstellt. Eine Konstruktion in Leichtbauweise hätte hier hingegen den Vorteil, dass sich die Gebäudeteile nicht so stark erhitzen und die Wärme nicht so lange speichern. Diese Stahlbeton-Bauweise kann sich negativ oder positiv auf die Ermöglichung einer Verringerung der Klimaanlagennutzung auswirken. Je nach Standort und Klimaregion kann bei größeren Tag-Nacht-Temperaturunterschieden durch den Einsatz von Materialien mit Speichermasseneigenschaften die Speichermassenkühlung mit unterschiedlicher Wirksamkeit genutzt werden. Gleichzeitig müssen die massiven Bauteile hier aber auch besonders gut vor solarer Erhitzung geschützt werden.

6.2.2 Das Hochhaus als Chance zur Verbesserung der Behaglichkeit

Als einzige der vier Fallstudien bezieht sich die des *Urban Tulou* in Guangzhou nicht auf ein Hochhaus: Das *Urban Tulou* besitzt lediglich 6 Geschosse. Neben dem Vorteil der Unterbringung einer größeren Anzahl von Bewohnern in Wohnhochhäusern hat die Gebäudehöhe auch einen erheblichen Einfluss auf die natürliche Belüftung: Die Windgeschwindigkeit beschleunigt sich schnell mit zunehmender Höhe und je stärker die Windgeschwindigkeit ist, desto besser kann der Wind in die Gebäude eindringen, was die Luftwechselrate innerhalb derselben erhöht. Bei Wohnhochhäusern kann die natürliche Belüftung in den oberen Geschossen also wesentlich besser genutzt werden und bei Ultra-Wohnhochhäusern (ab 100 Metern) steigt die Windstärke noch weiter an. Dies spricht für die Realisierung von Ultra-Wohnhochhäusern mit über 100 Metern Höhe. Peter Cochala-Schmal, Direktor des DAM, formuliert als weiteren Vorteil der Wohnhochhäuser, „dass in den dicht bevölkerten Großstädten Asiens die Umweltbedingungen in der Höhe denen in Bodennähe vorzuziehen sind – oben gibt es mehr Privatsphäre, schönere Ausblicke, weniger Feuchtigkeit, stärkere Brisen, mehr Sicherheit, weniger Lärm und weniger Staub."[1] Der Architekt von *The Met* und *Skyville*, Richard Hassell, formuliert die Vorteile von Wohnhochhäusern ähnlich positiv: „The benefits of high rises with fresher air, less dust, less noise, better breeze, more privacy and lower humidity all ensure easier living in the heart of a city without sealing up the home and turning on the air-conditioning."[2] Tatsächlich wurden bei den Untersuchungen vor Ort diese positiven Aspekte in solchen großen Höhen gemessen und wahrgenommen. Auch deshalb stellt sich die Frage, ob es ein sinnvoller Ansatz wäre, das *Urban Tulou* zu einem Hochhaus zu modifizieren und ob dies in der Praxis überhaupt realisierbar wäre.

Das Extrudieren dieses Hauses zu einem Wohnhochhaus sollte prinzipiell möglich sein, obwohl das *Urban Tulou* nicht wie die anderen drei Gebäude eine stapelbare Typologie darstellt. Gleichzeitig würde allerdings auch der Bedarf an vertikalen Erschließungswegen sowie größeren Dimensionierungen von tragenden Wänden und Versorgungsschächten steigen, wodurch die vermietbare Fläche eines jeden Geschosses verringert würde. Trotz einem Vergrößern der tragenden Wände für diesen Hochhausbau würde die statische

[1] Busenkeller, M. / Cochala-Schmal, P.: WOHA Breathing Architecture, DAM Deutsches Architektur Museum, Frankfurt am Main, Prestel Verlag München, London - New York 2011, S. 80.

[2] Interview mit Richard Hassell: India, as a society, is highly sustainable with a small ecological footprint, Online unter: Construction Update – India's No. 01 Construction Portal, http://www.constructionupdate.com (Stand: 16.10.2012).

Struktur allerdings nicht unbedingt weiterhin funktionieren. Mit Experten für Tragstrukturen müsste zunächst ein neues statisches Konzept für diese Gebäudetragstruktur erarbeitet werden. Hierbei müssten Erdbebensicherheit und größere Windlasten durch Stürme mit berücksichtigt werden, Aufzüge müssten integriert werden und auch der Brandschutz mit Fluchtwegen und Notausgängen müsste selbstverständlich in einem solchen neuen Konzept gewährleistet sein. Bestehende Gebäude-Charakteristika des *Urban Tulou* müssten in die neue Hochhaustypologie adaptiert werden, so die großen Gebäudeöffnungen am Eingang und die Baukörperaussparungen für die Aufenthaltsbereiche an den Ecken in den inneren Bereichen des Gebäudes. Um den derzeitigen Grad der natürlichen Belüftung beizubehalten, müssten noch weitere zusätzliche Gebäudeöffnungen geschaffen werden. Ebenso verhält es sich mit der Bereitstellung von ausreichendem Tageslicht in den Wohneinheiten: Eine Porosität der Gebäudestruktur wie die des *The Met* und des *Skyville* zur Gewährleistung einer gewissen Tageslichthelligkeit zwischen den Baukörpern müsste auch beim *Urban Tulou*-Hochhaus geben sein. Beim Extrudieren des *Urban Tulou* müsste der tonnenförmige Gebäudekörper im runden Gebäudetrakt also zahlreiche größere Aussparungen erfahren. Durch all diese Modifikationen würde die Wohnnutzfläche geringer werden und die Bewohneranzahl wäre nach Extrudierung dann doch nicht ganz so hoch wie ursprünglich angenommen (8.004 Personen[3]). Diese verschiedenen Faktoren müssten für einen neuen Gebäudeentwurf zunächst erarbeitet werden. Dies wäre lohnenswert, beinhaltet aber noch großen Forschungsbedarf.

[3] Vgl. Kapitel „Vergleich der Kennwerte" 5.1.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA): Würde man das Urban Tulou auf die Wohngeschossanzahl des The Met extrudieren, dann würden im Urban Tulou theoretisch 8.004 Personen unterkommen (69 Geschosse des The Met multipliziert mit 116 Personen pro Geschoss des Urban Tulou = NUA 8.004 Personen).

6.3.1 Forschungsbedarf: Die Notwendigkeit der Entwicklung von neuen Fassadenöffnungen
6.3.2 Forschungsbedarf: solare Energieeinträge
6.3.3 Hightech versus Lowtech

01 | Fassadenansicht *The Met*, Quelle: WOHA Pte. Ltd, 2012.

6.3 Mikroebene – Öffnungen und Fassadenstrukturen



6.3.1 Forschungsbedarf: Die Notwendigkeit der Entwicklung von neuen Fassadenöffnungen (Öffnungsanforderungen für die natürliche Belüftung)

Eine Grundlage für die effektive Anwendbarkeit der natürlichen Belüftung ist im vorliegenden Kontext die Entwicklung spezifischer Fassadenöffnungen für Großstädte. Die besonderen Anforderungen durch Luftverschmutzung und Lärmemissionen sind in diesem Zusammenhang speziell zu berücksichtigen. Optimale Öffnungstypologien, Fassadenstrukturen und Grundrisskonfigurationen müssen hierfür noch optimiert werden, um das bestmögliche Strömungsverhalten und eine möglichst hohe Luftwechselrate unter Miteinbeziehung der Öffnungs- und Fassadenabschnitte eines Wohnhochhauses zu erreichen. In Windkanalexperimenten und mit numerischen Strömungssimulationen sollten weitere Konzepte evaluiert, die Ergebnisse miteinander verglichen und die bestmöglichen Kombinationen ermittelt werden. Das Öffnen der Fassade zum Wohninnenraum ist aufgrund der Luftverschmutzung in vielen Metropolen – vor allem in China, aber auch in europäischen Großstädten – oft schwierig umsetzbar, denn eine Luftfilterung als Maßnahme zur Reduzierung der Schadstoffbelastung lässt eine durch den Luftwiderstand des Luftfilters bedingte Verringerung der Frischluftzufuhr erwarten.[1] Es besteht die Gefahr, keine ausreichende Luftwechselrate zu erhalten, um die Behaglichkeit gewährleisten zu können. Im Gegensatz zur mechanischen Belüftung sind bei der natürlichen Belüftung die Luftströmungsdruckverhältnisse nur durch architektonische Elemente wie Öffnungsart, Fassadenstruktur und Grundrisskonfiguration beeinflussbar. Die Notwendigkeit diesbezüglicher Untersuchungen wird in zahlreichen wissenschaftlichen Arbeiten explizit ausgewiesen, Ergebnisse liegen bisher noch nicht vor.[2] So werden wesentliche Fragestellungen in zukünftigen Untersuchungen noch beantwortet werden müssen – diese sind beispielsweise: Wie müssen derartige Filter ausgelegt sein, damit sie trotz ihrer Filterwirkung den Luftwechsel im Wesentlichen gestatten? Welche Öffnungstypen erlauben die Integration von Fil-

[1] DIN EN 1822-1:2011-01, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) – Part 1: Classification, performance testing, marking; German version EN 1822-1:2009, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2014.

[2] Yin, W. / Zhang, G. / Yang, W. / Wang, X.: Natural ventilation potential model considering solution multiplicity, window opening percentage, air velocity and humidity in China, in: Journal of Building and Environment Nr.45 (2010), S. 338–344.

tersystemen (poröse Lochwände oder große Öffnungen)?[3] Wie müssen Fassadenöffnungen modifiziert werden, damit ein optimierter Luftwechsel auch mit Luftfilterapplikationen und dem durch sie erhöhten Luftwiderstand gut wirksam ist? Hierfür müssen Tests durchgeführt werden, deren Ergebnisse Planer und Architekten dann als Expertenwissen in Wohntypologien, Fassadenstrukturen und Öffnungssystemen einsetzen können. Neue Öffnungssysteme sollten von Fenster- und Filterherstellern in Kooperation mit Forschungseinrichtungen entwickelt werden. Es sollten Perspektiven gegeben sein, um mit Forschungseinrichtungen solche Projekte realisieren zu können, deren Ergebnisse in Serienproduktion zu bringen und die Produkte dann in Europa, den Tropen und den Subtropen zu vermarkten. Dies kann und soll nach Abschluss der Grundlagenforschung erfolgen.
Die Ergebnisse einer solchen weiterführenden Untersuchung sind nicht nur für die Klimaregionen der Tropen und Subtropen gültig, sondern auch für die Anwendung in der mitteleuropäischen Klimaregion adaptierbar. So sind beispielsweise Luftverschmutzung und Feinstaubbelastung auch in mitteleuropäischen Großstädten wie Paris, Graz und Wien ein Problem. Die Konditionierung mit natürlicher Querlüftung ist auch in moderaten Klimaregionen ratsam. Auch hier kann in den heißen Sommermonaten Juli und August mit natürlicher Querlüftung der Wohninnenräume bei Reduzierung der Nutzung von Klimaanlagen zur Behaglichkeit beigetragen werden.

6.3.2 Forschungsbedarf: solare Energieeinträge

Wie in der vorliegenden Arbeit besonders am Beispiel des *Ngau Tau Kok* aufgezeigt werden konnte, sorgen solare Energieeinträge für eine erhöhte Innenraumtemperatur und führen damit in heißen Klimaregionen oder Jahreszeiten zu Unbehaglichkeit in den Wohnräumen. Ein Farbanstrich, der sich in seinem Farbton den Umgebungstemperaturen anpasst, könnte hierfür eine Lösung darstellen: Bei kühleren Temperaturen würde sich der Farbanstrich selbstständig dunkel einfärben, um die solare Energie-Absorption zu verstärken und mehr Wärme in die Wände vordringen zu lassen. Zu den heißeren Tageszeiten sollte sich die Farbe auf der Fassade in eine helle, reflektierende Oberfläche verwandeln, um die solare Energie weniger zu absorbieren. Leider ist eine solche Farbe bis jetzt noch nicht auf dem Markt erhältlich und müsste in Zusammenarbeit mit einem spezialisierten Industrie-Partner noch entwickelt werden.

[3] Um Antworten auf diese Fragen zu finden, beantragte der Autor im Oktober 2014 beim FWF in Wien eine Förderung für das Forschungsprojekt „Optimized Natural Ventilation".

6.3.3 Hightech vs. Lowtech

Die Fensterverglasungen der Wohnhochhäuser sind ebenfalls ein großer Angriffspunkt für die Erwärmung der Gebäude durch solare Energieeinträge. Die Verglasung wird an den Standorten der hier vorgenommenen Fallstudien im Wohnungsbau meist als Einscheibenverglasung realisiert. Eine Verglasung mit wirksamerem Schutz vor den solaren Energieeinträgen scheitert meist an den höheren Kosten, die diese verursachen würde. Diesbezüglich wäre es interessant, diese Kosten mit den Nachteilen zu vergleichen, die durch den verstärkten Einsatz von Split-Klimaanlagen entstehen. Wahrscheinlich würde sich auf längere Sicht eine Investition in Wärmeschutzgläser rentieren. Hierbei ist zu erwähnen, dass es bezüglich der Qualität der Verglasung von Wichtigkeit ist, nicht nur die Eigenschaft der Wärmedämmung, sondern auch die Infrarotdurchlässigkeit der Scheibe zu beachten. Die Fenster sollten beides erfüllen: Wärmedämmung (z.B. Ug = 0,5–0,7) mit Wärmeschutzglas und gleichzeitig eine geringe Infrarot-Durchlässigkeit.

6.3.3 Hightech versus Lowtech

„Der Hochhausbau in tropischen Entwicklungsländern kopiert zumeist die in kalten Klimazonen ausgearbeiteten Modelle, die mit ihren versiegelten Fassaden vollkommen von Klimaanlagen und mechanischer Belüftung abhängig sind. Doch in den Tropen machen leichte Winde, ein ganzjährig mildes Klima, geringe Temperaturschwankungen und hohe Luftfeuchtigkeit das Leben im Freien wünschenswert."[4] Auch die Untersuchungen der vier Fallstudien in dieser Arbeit zeigen, dass die Problemlösung nicht nur in der Entwicklung neuer, intelligenter und energiesparender Hightech-Fassadensysteme zu suchen ist, sondern vielmehr auch in einem Paradigmenwechsel liegen könnte: in der Entwicklung neuer Architekturkonzepte mit sorgsamer und durchdachter Handhabung von städtebaulicher Positionierung, Grundrissen und Fassadenstrukturen als Optionen zur Klimaregulierung ohne energieaufwendige Klimaaggregate. Die Bezeichnung „Lowtech" sagt nichts über die hinter der Technologie stehende Intelligenz aus und bezieht sich in der Architektur auf die Art der praktischen Umsetzung verschiedener Prinzipien in den unterschiedlichen Maßstabsebenen. Aufgrund der bestehenden und immer weiter entwickelten Hochtechnologien werden „einfache" Lösungsansätze oft unterschätzt. Eine hochtechnisierte Bautechnologie kann sich hinsichtlich Herstellungsenergie, Wartungsaufwand

[4] Busenkeller, M. / Cochala-Schmal, P.: WOHA Breathing Architecture, DAM Deutsches Architektur Museum, Frankfurt am Main, Prestel Verlag München, London - New York 2011, S. 16, 80.

und Haltbarkeit auch negativ auf die Gesamtenergiebilanz auswirken. Zudem können solche Technologien, wenn ihnen große architektonische Relevanz zukommt, die Behaglichkeit der Stadtbewohner nachteilig beeinflussen. Architekten sollten sich intensiv damit auseinandersetzen, welche Kombinationen von Hightech und Lowtech in der Architektur jeweils zielführend sind, um Behaglichkeit ohne großen Energieaufwand wirksam zu ermöglichen. Richard Hassell, Gründer des Architekturbüros WOHA in Singapur, verdeutlicht seinen Entwurfsansatz folgendermaßen: „In Industriestaaten sind Gebäude technologisch anspruchsvoller, verfügen über hochtechnisierte Fassaden und zentral gesteuerte Kontrolleinheiten. Wir versuchen jedoch, nachhaltige und wartungsfreundliche Hochhäuser zu bauen, indem wir weniger mit modernen Technologien, sondern mit der Architektur selbst arbeiten. Zum Beispiel ziehen wir ein Sonnenschutzelement oder einen Balkon einer Hochleistungsverglasung vor. Anstatt für computergesteuerte Belüftungssysteme entscheiden wir uns für natürliche Belüftung durch Fenster“[5].

Neben den bereits diskutierten Verfahren der natürlichen Belüftung, der passiven Kühlung mit Nutzung der Speichermasse und der Verdunstungskühlung gibt es einige weitere energetische Optimierungsmöglichkeiten, die den Verzicht auf die Klimaanlage unterstützen können. Aktive Verfahren wie zum Beispiel Luft/Wasser-Rückkühlsysteme in Kombination mit Betonkernaktivierung könnten an den sechs beschriebenen Standorten ebenfalls angewendet werden. Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen und da der Fokus der Arbeit auf passiven Kühlmethoden liegt, wurden solche Kühlmethoden hier nicht genauer untersucht. Es wäre also zu prüfen, ob in subtropischen und tropischen Regionen Verfahren wie das der Feuchtespeicherung[6] Einsatz finden können. Die Herausforderung besteht dann darin, diese Technologien ohne großen technischen Aufwand unter den klimatischen Bedingungen der Subtropen und Tropen einsetzbar zu machen. Standort, Bauplatz, Windrichtung und die spezifische Wohnnutzung sind keine konstanten Kriterien: Bewohner und Bauherren haben unterschiedliche Anforderungen und Wünsche und schließlich sind die Budgetgrößen zeitabhängige Faktoren, die sich projektweise ändern. Diese Faktoren und

[5] Interview mit Richard Hassell: India, as a society, is highly sustainable with a small ecological footprint, Online unter: Construction Update – India’s No. 01 Construction Portal, http://www.constructionupdate.com (Stand: 16.10.2012), Übersetzung aus dem Englischen ins Deutsche von Eva Paulusberger, Graz, 2013.

[6] Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 75.

6.3.3 Hightech vs. Lowtech

Kriterien müssen mit den formalen, funktionalen und bauphysikalischen Anforderungen im Gesamtentwurfsprozess zusammengeführt werden und sollten so auch zu völlig neuen Gebäudekonzepten und -Entwürfen führen. Aus diesem Grund sollte auf starre Architekturkonzepte mit immer gleichen Wohntypologien eher verzichtet werden, da sie stets auch ein Minus für die Nutzung standortbedingter Vor- und die Vermeidung standortbedingter Nachteile bedeuten. Beim Planungsprozess ist also insbesondere Flexibilität wichtig, um über die richtige Kombination von Hightech- und Lowtech-Lösungen projektbezogen entscheiden zu können.

6.4.1 Alternative Wege zur Reduzierung der A/C-Nutzung
6.4.2 Learning from the past?

01 I Fassadenansicht Wohnhochhaus Moulmein Rise, Singapur, mit Monsoon Window, Quelle: WOHA Pte. Ltd, 2011.

6.4 Metaebene – alternative und traditionelle Konzepte



6.4.1 Alternative Wege zur Reduzierung der A/C-Nutzung

Der Standard für einen angenehmen Innenraumkomfort hat sich in den letzten Jahrzehnten mit Erfindung der Klimaanlage in tropischen und subtropischen Metropolen erhöht: Die Menschen haben sich dort inzwischen daran gewöhnt, einen sehr kühlen Innenraum mit geringer Luftfeuchtigkeit zu haben. Einige asiatische Bewohnerinnen und Bewohner kühlen den Innenraum sogar so sehr herunter, dass Menschen aus Europa dies als unbehaglich kalt empfinden. Ein klassisches Beispiel ist das Besteigen eines Taxis: Während draußen beispielsweise eine Temperatur von 30 °C herrscht, kühlt der Taxifahrer die Innenraumluft auf 18 °C herunter. Diese Temperatur empfinden die meisten Europäerinnen und Europäer als zu kalt und frieren dabei. Eine Temperatur von 20–23 °C wäre ihnen hier angenehm. Typisch ist in solchen Situationen das Anlegen von warmer Kleidung, um eine Erkältung zu vermeiden. Dies ist für uns ein kaum nachvollziehbares Verhalten und es stellt sich die Frage, weshalb viele Menschen in den feuchtheißen Klimaregionen die Innenräume so intensiv mechanisch herunterkühlen. Eine Annahme ist, dass sie stolz darauf sind, eine gut funktionierende Klimaanlage zu besitzen: Es ist ein Statussymbol, eine teure Klimaanlage zu besitzen und bei intensivem Betrieb hierfür auch eine hohe Stromrechnung begleichen zu können. Ein zweiter Aspekt ist, dass die Bewohner der feuchtheißen Klimaregionen die klimabedingte Winterkälte, wie sie in moderaten Klimaregionen herrscht, gar nicht kennen: Das Gefühl, aufgrund von äußeren Wetterbedingungen unfreiwillig zu frieren, ist der Mehrzahl dieser Menschen völlig unbekannt, sodass sie ein Frieren nicht als unangenehm, sondern eher als behaglich empfinden. Beides sind Mutmaßungen, die sich wissenschaftlich nur schwer belegen lassen, da es sich hier um individuelle und psychologische Aspekte handelt. In jedem Fall haben sich die Menschen an diese neue, für sie gute Behaglichkeit gewöhnt. Dies zeigt, dass der Mensch sich schnell an neue Behaglichkeitsformen anpassen kann. Es ist bekannt, dass der Mensch über eine stark ausgeprägte Anpassungsfähigkeit an verschiedene Umgebungen, Lebensbedingungen und Umwelteinflüsse verfügt. Diese Anpassungsfähigkeit könnte auch im Sinne von Energieeinsparungen architektonisch genutzt werden.

Edward Ng führt an, dass die Menschen in heißeren Klimazonen eine abgedunkelte Innenraum-Atmosphäre in Wohnräumen bevorzugen, weil dies psychologisch mit einem kühleren Raum in Verbindung gebracht wird.[1] Es läge also an den Architekten, auch solche psychologischen Wahrnehmungsformen des Menschen in architektonischen Konzepten geschickt mit auszunutzen.

Die Idee, zur passiven natürlichen Klimatisierung zurückzukehren ist in tropischen und subtropischen Metropolen in der aktuellen Ausgangslage derzeit schwer zu realisieren: Die Strompreise sind noch immer relativ gering, sodass sich der Betrieb der Kälteanlagen ohne große Kosten durchführen lässt. Würden die Strompreise etwas ansteigen, dann würde die Bevölkerung auch hier umdenken. Eine von der Politik verordnete Strompreiserhöhung könnte hier eine wesentliche Veränderung schaffen. Aber Lobbyismus, Konzerninteressen und andere Einflussfaktoren verhindern solche Maßnahmen vonseiten der Politik. Hinzu kommt, dass Klimaanlagen einfach zu bekommen und unkompliziert zu installieren sind. Meistens werden sie vom Bauträger bzw. Betreiber des Gebäudes schon von vornherein angebracht, weil dies ohnehin dem Wunsch der Klientel entspricht. Diese Problematik verdeutlicht die Schwierigkeit, zugleich aber auch die Wichtigkeit, der Bevölkerung alternative architektonische Lösungsansätze anzubieten. Zudem stellt sich die Frage, welche weiteren Wege neben architektonischen Konzepten es geben könnte, um die Nutzung von Klimaanlagen zu reduzieren.

Ein wesentliches Werkzeug wäre ein politisches, indem Richtlinien zur Begrenzung des Energieverbrauchs von Kühlanlagen im Wohnungsbau ausgesprochen werden.

Dies könnte eine mit der Energieeinsparverordnung in Deutschland vergleichbare Verordnung sein, denn diese zeigt bei Sanierungsmaßnahmen und beim Bau von neuen Wohnhäusern große Wirkung. Zu bemerken ist hierzu allerdings auch, dass die nach dieser Verordnung einzuhaltenden U-Werte[2] auch negative Auswirkungen wie die vermehrte Verwendung von EPS-Dämmmaterialien in Kombination mit der Anwendung von

[1] Ng , Edward (Hg.): Designing High-Density Cities: For social & Environmental Suatainability, Earthscan, London 2010, S. 186.

[2] ENEV 2014, Richtwerte für den maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten einer neu gebauten Außenwand: U-Wert = 0,28 W/(m2-K); Quelle: ENEV-Anforderungen, DIN 4109-2, o. O. 2014, S. 39.

6.4.1 Alternative

WDVS[3] nach sich ziehen. Eine solche Verordnung in tropischen und subtropischen Regionen müsste also nicht nur sehr exakt an die lokalen Gegebenheiten angepasst, sondern auch mit großer Umsicht erstellt werden, um solche negativen Auswirkungen zu vermeiden. Sind diese Rahmenbedingungen gegeben, dann könnte sie allerdings zusätzlich zur Regulierung des Stromkonsums durch Kühlaggregate auch eine Reglementierung von Bauteilen wie Außenwänden, Fenstern und Dachaufbauten beinhalten. Bauherren, Planer und Bauträger wären dann gezwungen, gewissen Anforderungen gerecht zu werden, womit weitere Kühlenergie-Einsparungen erzielt werden könnten. Allerdings entspräche eine Dämmung der Außenwände in den Tropen und Subtropen eher einer Förderung der weiteren Nutzung von Klimaaggregaten, weil hiermit die Isolierung von Innen- und Außenraum forciert würde. Ein Beispiel hierfür ist der Kühlschrank: Dieser wird mit viel mechanischer Energie künstlich heruntergekühlt, daher ist sein Gehäuse mit Dämmmaterialien ausgestattet. Die Vorstellung, Wohngebäude der Tropen und Subtropen zu Kühlschränken zu transformieren, erscheint grotesk. Zudem muss gesagt werden, dass eine Dämmung der Außenwände in tropischen und subtropischen Gebieten wesentlich inadäquater ist als in moderaten Klimaregionen, da die Temperaturdifferenzen zwischen Außenluft und Innenraumluft hier wesentlich geringer sind.[4]

Neben der Erstellung von Richtlinien könnten auch die jeweiligen Energieministerien mehr entsprechende Kampagnen veranlassen. Eine politische Handlung führte zum Beispiel in Chile 2011 zur Aufhebung der Krawattenpflicht in staatlichen Büros, um den Einsatz von Klimaanlagen zu verringern: Der chilenische Energieminister Rodrigo Álvarez wollte mit dieser Kampagne mehr Energieeffizienz einführen, denn mit Schlips werde mehr kühle Luft in Form von Klimageräten benötigt, um eine Behaglichkeit zu schaffen. Die hierdurch verursachten Einsparungen an elektrischer Energie berechnete das Energieministerium in der Größenordnung von umgerechnet 7,7 Millionen Euro pro Sommer.[5] Leider hat man seitdem

[3] WDVS = Wärmedämmverbundsystem.

[4] In Berlin im Winter: Außentemperatur -15 °C, Innentemperatur +22 °C = Temperaturunterschied 37 °C; in Bangkok im Winter: Außentemperatur +15 °C, Innentemperatur +22 °C = Temperaturunterschied 7 °C.

[5] Miller Llana, Sara / Ingwerson, Marshall (Hg.) : The Christian Science Monitor Magazine – NOOK Magazine, Boston 2011.

nichts mehr von der Wirksamkeit dieser Kampagne gehört und es ist zu vermuten, dass das soziale Statussymbol einer Krawatte ein stärkerer Handlungsimpuls ist als das Einsparen von Energie. Es liegt auf der Hand, dass es trotz der Vielfalt der möglichen Ansatzpunkte zur Reduzierung der Klimaanlagennutzung in erster Linie den Architekten gegeben ist, ihren erheblichen Einfluss auf Gebäudekonzepte geltend zu machen und damit einen sehr wesentlichen Beitrag zur Energieeinsparung zu leisten.

6.4.2 Learning from the past?

In der Publikation „Tropical Architecture: Critical Regionalism in the Age of Globalization" stellen die Autoren fest, dass oft vergessen werde, über welche wichtigen Elemente traditionelle Architekturkonzepte verfügen. In den meisten traditionellen Architekturkonzepten sei eine gute Balance zwischen den Wohnbedürfnissen der Bewohner, der Umwelt, den Material-Ressourcen und Ideen zur Raumausnutzung gefunden worden.[6] Die Architekten sollten also einen stärkeren Fokus auf traditionelle Architektur richten und diese analysieren, um dort enthaltene Details zu extrahieren und sie in Konzepte für neue Gebäude mit einzubeziehen. Die Autoren des Buches „Vernacular Modernism: Heimat, Globalization, and the Built Environment" gehen noch weiter und bemerken, dass ein Ignorieren der lokalen traditionellen Architekturkonzepte eine Gefahr für die zeitgenössische Architektur darstelle: „Contemporary architecture is frequently seen as the example of an internationalism, which eradicates local traditions and transforms the globe into a faceless urban sprawl."[7] In vielen tropischen und subtropischen Klimaregionen lässt sich feststellen, dass bei der Planung zeitgenössischer Wohnhausarchitektur nur selten auf die Kühlung mit energieaufwendigen Klimaanlagen verzichtet wird. Paruj Antarikananda von der Architekturfakultät an der Universität Portsmouth in Großbritannien stellt fest, dass sich während der letzten Jahrzehnte der Einfluss sozialökonomischer Aspekte in diesem Bereich immer mehr verstärkt habe und ein kultureller Wandel weg vom traditionellen Umfeld immer deutlicher werde. Der zeitgenössische Wohnungsbau sei inzwi-

[6] Tzonis, A. / Lefaivre, L. / Stagno, B.: Tropical Architecture. Critical Regionalism in the Age of Globalization, Wiley-Academy, 2001, S.1.: „It is often forgotten and even ignored that architectural traditions are rich in content, given that they have found the right harmony between the necessities of living, the environment, material resources and ideas on the use of space.".

[7] Umbach , M. / Huppauf, B.: Vernacular Modernism: Heimat, Globalization, and the Built Environment, in: Stanford University Press, 2005.

6.4.2 Traditionell

schen abhängig von mechanischen Klimaanlagen, um eine Behaglichkeit im Innenraum zu erhalten, weshalb der Energiekonsum elektronischer Klimageräte jährlich größer werde.[8] In diesem Zuge werden immer mehr von der äußeren Umwelt isolierte Typologien errichtet, wie Peter Cochala-Schmal richtig erkennt: „In dichten tropischen Metropolen wie Bangkok oder Singapur werden zumeist Bauten und Hochhäuser nach westlichen Vorbild errichtet, mit hermetisch geschlossenen Fassaden und klimatisierten Innenräumen. Die luftigen pavillonähnlichen Räume traditioneller Wohnbauten […] sind durchlässig und darauf ausgerichtet, jeglichen Luftzug zur natürlichen Klimatisierung in das Innere zu leiten.“[9] Einige Beispiele für die Adaption traditioneller Konzepte wurden in der vorliegenden Arbeit bereits aufgezeigt und untersucht. Ein inzwischen klassisches Beispiel für den Aufgriff traditioneller Architekturkonzepte ist das *Monsoon-Window* der WOHA-Architekten, das mittlerweile als Inbegriff für die Transformation traditioneller in zeitgenössische Architektur gelten kann, da das Beispiel viele Nachahmer gefunden hat. Hier wurde eine Fassadenöffnung aus einer alten, traditionellen malaysischen Holzarchitektur übernommen und von der vertikalen in die horizontale Position gedreht. Damit kommt bei Öffnung einer Klappe die frische Luft für eine natürliche Belüftung ins Wohnungsinnere, der starke Monsunregen allerdings nicht. Dieses Beispiel zeigt, dass neue Gebäudekonzepte stets klimastandortspezifisch und mit starkem Fokus auf alte traditionelle Architekturkonzepte entwickelt werden sollten. Planer und Architekten können also von traditionellen Architekturkonzepten lernen und dort aufzufindende Details für die zeitgenössische Wohnarchitektur adaptieren. Hier sind nun also die Architekten gefragt, durch die Adaption und Neuinterpretation von traditionellen Wohntypologien für neue Wohngebäude die Wohnbehaglichkeit zu optimieren.

[8] Antarikananda , Paruj / Douvlou, Elena / McCartney, Kevin: Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand, in: PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6–8 September 2006, School of Architecture, University of Portsmouth, Großbritannien 2006, S.1.: „During the last decades the impact of current socio-economic and cultural changes on traditional environments has become obvious; contemporary design is depending increasingly on mechanically controlled environments in order to maintain comfort, hence increasing energy consumption“.

[9] Busenkeller, M. / Cochala-Schmal, P.: WOHA Breathing Architecture, DAM Deutsches Architektur Museum, Frankfurt am Main, Prestel Verlag München, London - New York 2011, S. 16.

6.5 Schluss

Die hier in der Arbeit vorgenommenen Untersuchungen der Fallbeispiele mit Erkenntnissen zum Funktionieren der Kühlmethoden in Kombination mit architektonischen Mitteln und Anwendungsweisen dienen zur Umsetzung neuer Konzeptentwicklungen. Mit Hilfe der drei Betrachtungsebenen können standortbezogene städtebauliche, gebäudetypologische und fassadenstrukturelle Strategien herausgelesen werden. Auch die vierte, die Metaebene, soll zum Aufgreifen von Anregungen aus dieser Arbeit dienen, hier insbesondere von traditionellen Architekturkonzepten. Ebenso sollen die Überlegungen zur Möglichkeit einer Transformierung des *Urban Tulou* oder zur Modifikation von bestehenden Wohngebäuden der Housing Authority in Hongkong aufzeigen, wie die Ergebnisse dieser Arbeit in weiteren Gebäudeentwürfen verwendet werden können und an welchen Punkten es noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf gibt. Die Miteinbeziehung von vorhandenen wissenschaftlichen Studien, Simulationsmethoden und vor Ort vorgenommenen Messungen geben den Resultaten Sicherheit – ebenso das Vergleichen der Fallstudien untereinander und die Überprüfung der Ergebnisse. Weitere Ergebnisse aus der Forschung am Institut für Architekturtechnologie tragen zur Erkenntniserweiterung bei und zeigen noch bestehenden Forschungsbedarf auf. Die Untersuchung von sechs unterschiedlichen Klimastandorten ermöglicht ein großes standortbezogenes Anwendungsspektrum der Erkenntnisse. Für Architekten bietet sich somit die Chance, die Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit an unterschiedlichen Klimastandorten anzuwenden und sie zur Reduzierung der Klimaanlagennutzung durch architektonische Mittel zur Verbesserung der Behaglichkeit umzusetzen. In diesem Sinne soll die vorliegende Arbeit als Leitfaden dienen, um Neuentwicklungen von Wohnhaustypologien in tropischen und subtropischen Klimaregionen zu unterstützen.

Die dadurch erzielte Reduzierung der Nutzung von Split-Klimaanlagen soll dazu beitragen, der Problematik des hohen Energieverbrauchs und des damit verbundenen hohen CO_2-Ausstoßes angemessen begegnen zu können. Die in dieser Arbeit beschriebenen architektonischen Anwendungen stellen damit auch einen Lösungsansatz für das weltweite Umweltverschmutzungsproblem dar. Die Ergebnisse der Untersuchungen dieser Arbeit sollen eine Grundlage bieten, um sich der Herausforderung stellen zu können, neue Wohnalternativen für die Subtropen und Tropen zu entwickeln. Und so sind es letztendlich die Architekten, die nun gefordert sind, Bewohner, Bauherren und Auftraggeber von neuen, mutigen Wohnkonzepten und -typologien zu überzeugen.

Inhaltsverzeichnis - Teil 07

Teil 07 Anhang

7.1 Interview WOHA-Architects
7.2 Tabellenverzeichnis
7.3 Literaturquellen
7.4 Detailliertes Inhaltsverzeichnis



01 | Sarang House, Jalan Sejarah, Singapore, Copyright: Patrick Bingham - Hall

7.1 Interview WOHA - Architects





02

02 | Moulmein Rise, residential high rise completed in 2003, Singapore, location: no.1 Moul mein Rise, Singapore 308143, Singapore, Copyright: Patrick Bingham - Hall

CEOs of WOHA Architects:
Wong Munn Sum: WS
Richard Hassell: RH
Interviewer: Ferdinand Oswald: FO
Date: 04th January 2012

FO: Thank you very much for your warm welcome here at your WOHA office. It's my first time in Singapore.

WMS: It's a pleasure.

RH: You are welcome Ferdinand.

CLIMATE RESEARCH

FO: Thank you. I will start with the first question which is concerned with the topic of research. If we look at your projects it seems that your opinion regarding the profession of an architect is not only concerned with a planning of knowledge that already exists. You understand an architect as a researcher who can change things. If we look at your realised buildings and projects, for example in Singapore, Bangkok, and Mumbai, we see successful typologies resulting from research work of many years. What is your definition of research?

WMS: Research by project. A lot of these things are very hard to propose in an abstract sense, because I think architecture is always involving economics and efficiencies and marketing. You do need a real project to embed them in before you can test whether an idea works out. And a solution always scale and dimension. We might have a series of research by project but as we work on a particular project, the different ways of exploring it often leads to new ideas that might be developed further in other projects. In this sense, the research ideas start by project and then continues across projects.

RH: You build up a catalogue of patterns, modules and solutions such that when the next project comes along, you've already done some of the ground work. Then you test them again which stimulates more ideas for a future project. An example would be the development of our very first high rise. At the time when we were asked to do a competition for Moulmein Rise, we only



03

03 I The Met, redsidential high rise completed in2009, Bangkok Thailand, Location: 125 South Sathorn Road, Bangkok 10120, Thailand, Copyright: Kirsten Bucher

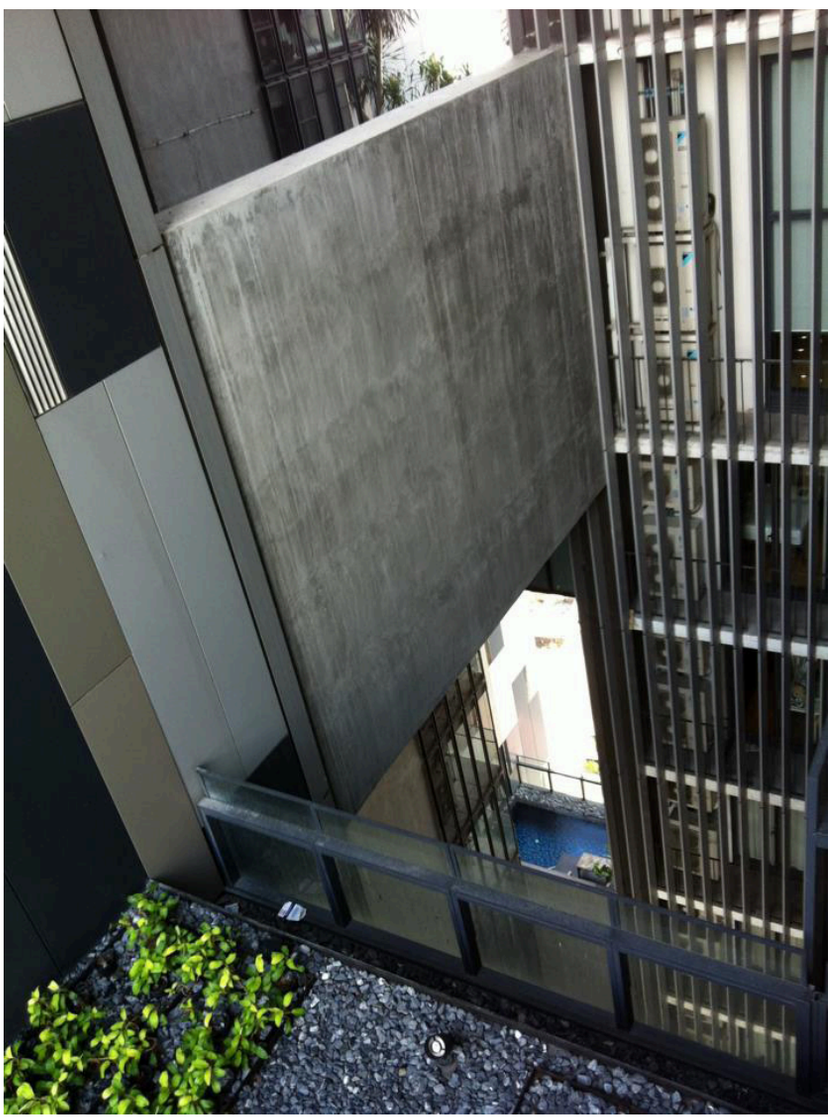
had low rise experience. However, we were familiar with the way high rises evolved in tropical regions, and there were some issues that we felt needed to be addressed. For instance, one problem of public housing apartments in Singapore is that you want the wind, but it often comes with rain, so we looked into how to bring in the wind without the rain. Our approach was therefore to investigate design solutions to tropical high rises.

WMS: That led to our developing a high rise form that is more suitable for the tropics by simultaneously addressing the issues of sun shading and using less energy instead of adopting temperate zone high rise models that are not appropriate for our climate For Moulmein Rise we evolved the idea of the monsoon window. Soon after, we took part in the Pinnacle competition which we were keen to win as we felt it was a very important project. We had researched and developed a lot of ideas for tropical high rises and high density solutions during that time, which we had the opportunity to subsequently test out in a lot of our other projects downstream. These design ideas were also carried over into other areas such as the study of urban density including Vertical Cities Asia, a university project in which we studied the extreme density of new Asian cities.

FO: As you mentioned before, you've done that Pinnacle competition project in Singapore and then you transformed your ideas to Bangkok into *The Met* project where you realised these ideas. Was there a problem due to climatic conditions, given that the conditions of climate in Singapore and Bangkok are different? And how is the research proceeding for the Mumbai projects? In that case, the climatic conditions are also different. How did you meet your research aims in Mumbai? Seeing that you had offices in Singapore and Bangkok, would you need another office in Mumbai to conceive the climatic condition there as well?

RH: No, in fact we closed the office in Bangkok after we finished *The Met* and the Hansar project.

FO: Yes, and Punpong Wiwatkul and Puiphai Khunawat have been the office leaders. Now they have founded their own office in Bangkok called Somdoon Architects. They are very successful and we can see the influence of WOHA in



04

04 I The Met, redsidential high rise completed in2009, Bangkok Thailand, Copyright: photos Ferdinand Oswald

their works. But the climate in Singapore is more challenging than in Bangkok because there is no cooling during night time, right? Do you have this positive condition in Mumbai as well?

RH: Yes, Mumbai's climate is more similar to Bangkok than to Singapore. It is a little bit seasonal and they have a cooler period and a warmer period, but the difficult part of the project is the season that is similar to Singapore which is very hot and humid. The rest of the time, it is more pleasant.

WMS: Yes, I think it's more challenging. If we worked in Europe, many of our strategies would have to be adjusted in order to create comfort. For instance, when we were in Germany, we realised that no one liked the wind. When we spoke about how we design to bring the wind through our buildings, everyone assumed coldness.

RH: The topic of scale, greenery, and community were ideas that people liked. But this is only one aspect.

WMS: Our strategy is not wind. Our approach is to create comfortable external conditions in high rises which can be applied to any climatic zone. Therefore, we need some research about the city, such as the sort of spaces people like



05

05 I Hansar, mixed used, completed 2011, Bangkok Thailand, Location: 3 Soi Mahadlekluang 2, Rajadamri Road Bangkok 10330 Thailand - interieur, Copyright: Patrick Bingham - Hall



06

06 I Hansar, mixed used, completed 2011, Bangkok Thailand, Location: 3 Soi Mahadlekluang 2, Rajadamri Road Bangkok 10330 Thailand, Copyright: Patrick Bingham - Hall



07

07 I New Cuffe Parade, project in progress, Location: Wadala, Mumbai, India, Copyright: WOHA

gathering in. If it is in a nice sunny corner that is not windy, then you have to create that kind of condition with your architecture.

RH: Concerning the project at New Cuffe Parade in Mumbai, while we do not have an office there, we did go to Mumbai several times as we were invited by many project developers. The first few projects under discussion did not work out, for various reasons. But through the visits, we got familiar and then we had the opportunity to talk to the New Cuffe Parade developers. They have done a lot of research on local housing conditions. We exchanged knowledge and learnt about the preferences and requirements of Mumbai's citizens and inhabitants. We went through quite a few meetings and city visits to get enough information in order to try some ideas and determine which ones were applicable. We are still learning as we do the projects.

WMS: There are a few things happening in our research work in this case. One is indeed our firsthand experience in India. Another one is the wind tunnel testing of our design, which is currently being done in Canada. To address concerns that it might be too windy for the stormy season, they are verifying the wind speeds through the building. In this way, there is some modelling, and there is some of our own experience. Other factors include asking our clients as well as studying other buildings. When you drive around the city, you see so many building concepts. You are passing a building every few seconds, and if you're looking - for example at the balconies and how these are being inhabited - you can get a good sense of what idea works and how people live.

INSULATION IN THE TROPICS

FO: From the context of inhabitant behaviour and the building's functionality, we can move to another topic – the insulation of buildings in the tropics. In Germany and Europe, we have very hard building regulations such as insulated buildings skins in order to fulfil the U-Value. I read one interview of Richard, where you said that for the New Cuffe Parade project in Mumbai, it was possible to insulate the office buildings. This is very interesting for us, because we have to work out this topic. But I thought that in hot, humid areas such as in Asia, it makes no sense to insulate the outer building walls. Do you think that this could be an additional concept, another strategy for energy efficient buildings in Asia as well? Can you imagine applying insulation? You have already found a very good solution for Asian residential houses. Your

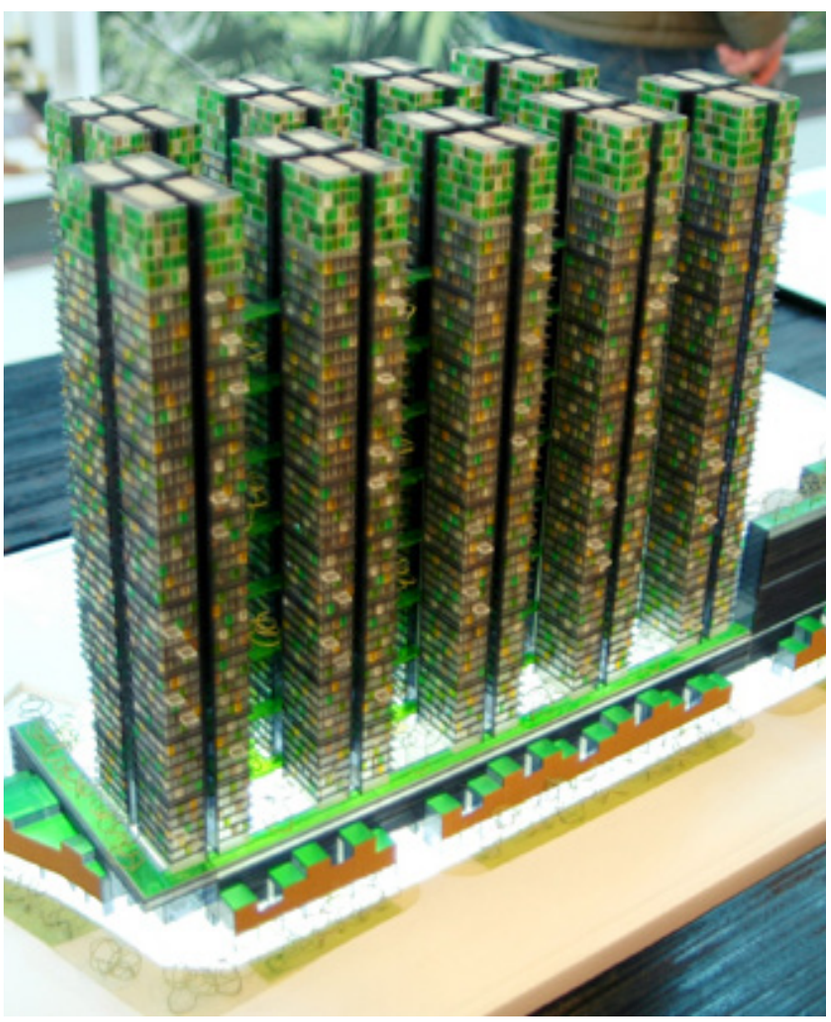
concept works. But in office buildings, the governmental regulations regarding working atmosphere or thermal comfort are much stricter. It is difficult to open the windows for cross ventilation. If you allow for strong natural ventilation in the office papers on the desk would blow out of the windows. I read one interview where Richard suggested sealing up the office buildings and insulating their facades.

RH: Yes, however, I think that once you decide that a particular building is not going to be naturally ventilated, then you need to pay a lot of attention to the efficiency of the envelope's basic layer. If you're trying to keep the heat out, then it is exactly the same problem as trying to keep the cold out, just the other way around. That's where you really need to know how the building is going to be used. If there are residential buildings where perhaps 80% of the time the air conditioning is not on, then it makes sense to design for that 80%, without worrying too much about the 20% of the time where the air conditioning is on. For if you design for air conditioning, it could turn out that the building doesn't work the remainder 80% of the time, and residents will end up using air conditioning 100% of the time. With offices, however, because of computers and other electronically controlled units, you really don`t have much choice but to air condition the place. And then perhaps a more standard solution can be adopted, one that supports energy efficiency of the building envelope. I think that the other aspect that can be explored is the creation of outdoor spaces where people can have meetings. A lot of office activities actually don't need to be in such highly controlled environments. So creating some of these spaces offer people options on how they wish to work and what sort of air they want to work in.

FO: I see. So you think if you use insulations in office typologies in Asia, they will reduce the heat income. But still there is the need for thermal comfort and the necessity for air conditioning, right?

RH: Yes.

FO: Okay. The low-rise residential buildings in Asia are often massive constructions. This has a great impact on the heat transmission as well. But I didn't see any insulated buildings in Asia climate-zones like tropics and subtropics. Would it make sense to insulate the office towers?

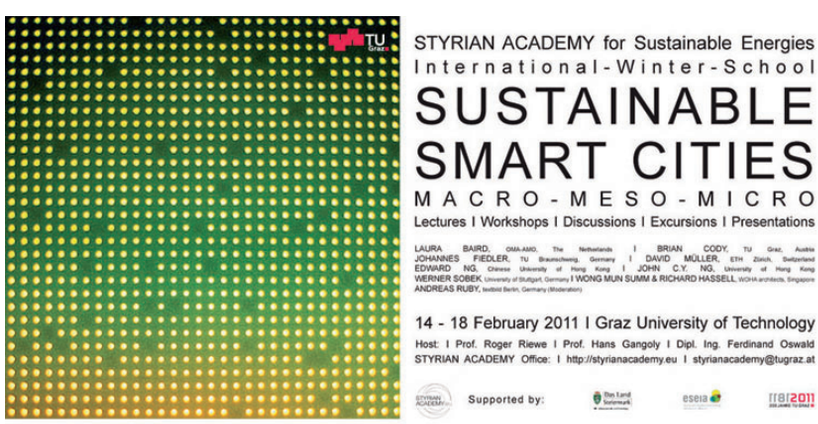


08

08 I Pinnacle@Duxton or Duxton Plain Public Housing Residential Highrises, WOHA competition 2001, completed in 2004 by ARC Studio Architecture, Singapore

RH: The office buildings in Asia are fully air-conditioned, so they use similar high performance glass, and double-glazing, but the requirements are not as strict as in Germany. Looking at the office buildings in Frankfurt, they are similar to the office buildings here, and they are all insulated. You just end up spending all the money on the glass to get it to perform better. I am always interested in external shading, so physical shading in addition to double-glazing. I think it is much easier to keep the sun off the glass in the first place than trying to make the glass get rid of all the heat. There are tropical solutions even to a sealed building, which might work better than just a very high performance curtain wall.

FO: Yes. And I think Asian architects and planners have to be careful about this topic. Starting in Germany and then all over Europe, people have started to consider insulation as a new idea. The trend moves towards an insulation of the whole building using External Thermal Insulation Composite Systems (ETICS) which often results in a passive house. Due to the insulation and the fresh air that gets in via the heat exchanger, this typology no longer needs heating. Therefore, you need sealing strips (moisture barrier) to seal it up completely, which makes the detail planning extremely complicated and also difficult to realise during the construction process. Now however we have a debate about energy balance which you heard about at the last podium discussion in Graz. It tackles the matter of needing a lot of energy to produce all these insulation materials. In most cases the insulation is made of styrolene





09

09 I Henninger Tower Competition Frankfurt am Main, WOHA Architects, acknowledgement prize, March 2012, forest - summer, Copyright: WOHA

materials being produced of mineral oil. Using ETICS is not sustainable at all because the different material components are glued together and no longer separable. After the long life period which is extremely short in the case of ETICS, you cannot correctly organise the different materials. So it is impossible to recycle or reuse them. Currently, this is a huge problem for Europe. Through our IAT research, we are trying to find solutions together with big companies who sell this façade system. Moreover, these big companies in Europe try to enter the Asian market. If they start to insulate each building in Singapore with ETICS, it might be dangerous and problematic for Asia. What do you think about this topic?

WMS: I guess that the insulation requirements are quite different. We don't have such extremes of temperature between inside and outside. Because inside you get 24 to 26 °C, outside the temperature is around 25 to 33 °C. The difference is only maximum 6 °C, which does not drive a lot of thermal movement through the facade. It is not like there is a difference of 30 °C difference between inside and outside. The central topic is keeping the heat out and a lot of that heat is coming in through the windows and not so much through the walls.

FO: Okay. So I don't need to worry. That's nice to hear. You have done projects in Asian countries and you participated in a competition in Frankfurt - the Henninger Tower . Frankfurt has a completely different environmental

COMPETITION FRANKFURT



10

10 I Henninger Tower Competition Frankfurt am Main, WOHA Architects, acknowledgement prize, March 2012, interieur - autumn, Copyright: WOHA

condition regarding its moderate climate, and you will need to consider the topic of below zero and ice. We are very keen to hear about your design results. But let's stay in Asia. If we look at China, what is your first idea when you think about traditional Chinese architecture in subtropical regions? Can you imagine planning the typology of residential towers using natural ventilation by subsequently decreasing the use of air conditioning in China as well? Especially when considering the aspect that China is really different in its climatic condition because of its huge land area. They have moderate and cold areas in the north and the south-western part it is subtropical.
In contrast, the south tropical climate of Singapore involves a temperature decrease during the night. In subtropical Hong Kong, Shenzhen, and Guangzhou it cools down during the night. Is it easier to plan there?

WMS: At present we are doing a project in Guangzhou. Guangzhou is actually where my ancestors come from. I am Chinese from that point of view. I am quite familiar with Chinese architecture and the Chinese way of thinking. The temperatures there do vary a bit more. It is actually hot and humid, but you also get colder weather. In fact, conditions are actually nicer than in Singapore. Here it is always really hot and humid. There they have spring and autumn, which are quite nice. And in the winter, it is a bit cold, but I find it pleasant. They try to wear coats but they overheat themselves when wearing them. I just wear a sweater in the city and you get by with it.

The problem with the Chinese at the moment - which was quite interesting for us to find out while working on this project – is that China sees itself as one country and one location. But you have the northern cities, in comparison to the southern cities, which are subtropical. Guangzhou is actually quite subtropical. We decided to do our first residential project in the subtropical region because we are more familiar with it. Another problem with China is that because it is one government and one party, they try to implement policies from the north to the south, as if there is no climatic difference. This is a big problem for us when we deal with the regulations.

When we presented our scheme, I highlighted to our client that it is a major issue that the buildings in the southern cities were not being designed with sun shading. And this is because the rules did not permit any sun shading

exceeding half a meter, which made them ineffective and undesirable in the southern cities. The rules are uniform because the authorities needed something that could be applied homogenously across the whole of China. However, that doesn't work in some areas. It is actually quite interesting to realise how the Chinese view everything as one. At the same time, however, our client acknowledged this as a real problem and said, "Let's go and tell the officials that they need to change the rules!" No one had ever reacted to the regulations or highlighted that it is a problem, but as soon as we did, they realised that some things need to change. In this project, we also designed a lot of gardens and community spaces and our client realised that these areas are actually very good for residential buildings because their housing situation is getting very dense. The obstacle, however, is that the current government regulations count community areas as gross floor area. In view of the fact that these are good areas for community use and for providing relief from high density living, our client was very keen to convince the authorities that this should be excluded from gross floor area computations, which would incentivise more developers to provide likewise and collectively create a more liveable city. Now our clients want to advocate change of the government rules! That is very interesting.

BUILDING REGULATIONS

FO: Let's talk about these building regulations. You won a lot of awards for your projects. Do you like to have changes or stricter rules in, for example, Singapore? Stricter regulations so that architects need to plan more sustainable and more energy-efficient houses? Or do you say it's ok that people can choose now and in the future about their own forms of sustainable houses because this might be beneficial for the free market?

RH: Well, for us, if the rules are good, it's actually essential to have them because in a civil society rules protect the common good. In Singapore, we have a very good framework where architects can influence building rules, help to change and improve the rules to make them more suitable. We have one project in Dhaka, for instance - the SID project where they are about to implement a new rule, which says that the site coverage for any property must be reduced to no more than 30%. It is a blanket policy that forces everything to go high-rise, with no regard as to the size or type of the project. A situation like this is not very good because if forces verticality in buildings types that

would benefit from a lot of horizontal connectivity as well. This is not good regulation. I would say there are good and bad rules as well as changes for better or for worse.

FO: Yes, everything has positive and negative aspects. What might be the best regulation for Singapore? In Germany, as well as in middle Europe, we have the tight regulation that you have to insulate your outer building skin very well. We have to adapt to specific high U-values[1]. The heat transfer must be very low. The purpose is to save energy in winter. Here in Singapore, the climatic conditions are different. The thermal comfort should be created by cooling down the interior and by natural cross ventilation. Then there is less usage of air conditioning, and it is possible to save electric energy. Moreover, there is less waste of heat energy using air conditioning, which reduces the so-called heat island effect. What regulation would reinforce this positive method in Singapore?

WMS: Actually, what the government has started doing here, which is good, is setting the right objective for the regulations. These are performance-based. If you strictly adhere to the established rules regulations, you will have a fully compliant solution. However, you can also submit an alternative solution, if you are able demonstrate that you have met the objective/spirit of the regulations. I think that this is a very good way of developing building regulations. Take for instance, the design of railings. The objective of a railing is to prevent people from falling from height and hurting themselves. You can follow the rules and design a typical railing. However, if you want to propose some other forms of physical barriers, you are welcome to do so as long as it performs the same essential safety function.

Such a performance-based system of regulations only works in transparent non-corrupt countries though. I think that in developing countries, they have very draconian regulations. No public servant is going to accept alternatives to the rules for it will appear as if you paid them off. What works for Singapore can't be applied to every other city, because each country has got different building regulations and there are too many variables involved. There is a socio-economic regulatory framework that is different in every case.

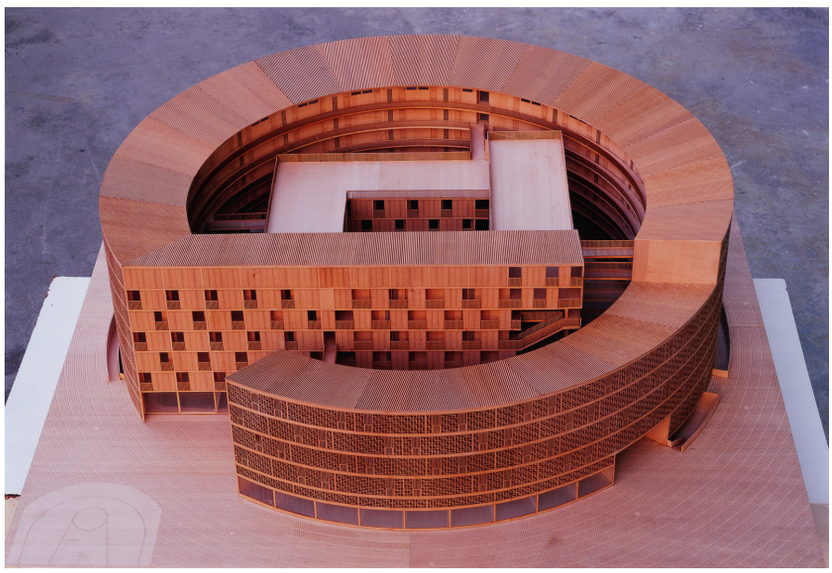
[1] Energy Conversation Act (ENEV 2014), Richtwerte für den maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten einer neu gebauten Außenwand: U-Value = 0,28 W/(m2-K); Source: ENEV-Anforderungen, DIN 4109-2, 2014, S. 39.

When we first started out, we were very concerned about complying with all regulations in our projects. Early in our careers, we did not know too many people, and we were always afraid of the rules and regulating authorities. We thought we had to follow the rules all the time. But as we gained experience and became more established in the field, we got to know more people, and we could directly speak to the chief regulators and tell them, "Your rules are not right." There is an avenue for professionals to help improve the system and I think that is the good thing about Singapore. The system here is very transparent and there is a very good feedback framework as well. For instance, all (building) planning rules must be reviewed every two years. They are not permanently cast in stone. There is also a guideline that 5% of the rules must be replaced every year. So they remove old rules and sometimes create new ones. If you only create new rules, you will end up with more and more till at the end of the day, there is nothing but rules. So there is a need to remove irrelevant rules. In this aspect, Singapore has a very good system concerning regulations.

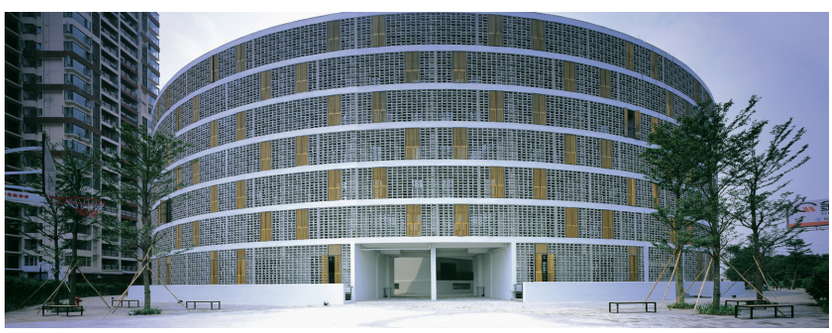
RH: Concerning your question on building regulations, I think that if you rely solely on the market, the development can be quite slow. If the government rules are right, and they implement them, you can drive innovation or force the city in a direction much quicker than if you simply rely on the market alone. Concerning the western system, they keep making up rules, but they don't take out the old ones which are ineffective, and then there are too many rules. What I really like is the getting rid of unsuitable rules.

FO: Yes, I think building regulations are one way to bring us and the world forward to become more sustainable. On the other hand they can hinder the creation of new ideas. That is why it is also important to be brave, to scrutinize and try to redevelop those regulations.

Another issue to achieve more energy-efficient buildings is perhaps the social aspect. For example, in Guangzhou, there is the Urban Tulou project made by Urbanus architects. Xiaodu Liu - one of the CEOs of Urbanus - was actually at our Institute for Architecture Technology at TU Graz for a public podium discussion. The Tulou housing typology is a traditional old typology from the 17th century built from earth materials. Urbanus transformed these



11



12



13

11 I
12 I Urban Tulou, low cost housing, Guangzhou China completed in 2010, Urbanus Architects.

13 I Hakka Tulou, Chengqilou Tulou built in 1709, Gaotou Village, Yongding district, Fujian region of China. Copyright: photo Ferdinand Oswald

old typologies into a modern urban typology. It is very interesting that you can put this typology everywhere, because it is a non-orientated round house structure. They built the first one just beside a highway and it works. There are no problems with noise pollution of car traffic. A very important aspect is that the inhabitants don't use air conditioning. That's amazing. It's quite hot in Guangzhou at times. The big question is, why don't they use it? What's the reason? Certainly, it's an architectural solution. The massive outer wall works as a thermal mass and is simultaneously a perforated concrete shell. The building skin is some kind of filter, which provides sun shading and allows the fresh air to enter the inside of the building. How much value does the social aspect have here? It is a low cost building for poor workers. The low income people are not used to have such a high thermal comfort quality and they can't afford the electricity bill for the air conditioning. There is the same social structure in Hong Kong. The majority of social housing projects are made by the Housing Authority in Hong Kong. They definitely all have air conditioning, they use split-air-conditionings and they all need to pay for the electricity. Is there a possible way for architects to plan natural ventilated housing typologies to reduce the use of air conditioning even for low income habitants?

WMS: Yes, I'm sure. It is the same situation in Singapore with public housing. 85% of Singaporeans live in public housing and 60% actually do not have air conditioning, even if they could afford it. The utility charges here are quite high, so some choose not to have it. Well-considered, naturally-ventilated apartments are practically all you need in Singapore. Most of the housing we do is middle class housing, so our clients typically can afford and often want the provision of air conditioning. Hong Kong is a city that is a lot richer than Singapore though, so most people there can afford air conditioning. It actually has got to do with affordability, because air conditioning is still seen as a luxury, which makes it desirable. Hong Kong people are very conscious of social status, so perhaps air conditioning is perceived as a symbol of social status.

RH: Yes, and the other factor is actually pollution. Hong Kong is a very polluted city, and if you don't have air conditioning, it is actually bad for your health. Noise pollution is another factor. In Singapore, pollution is actually quite ok.

We only have high air pollution when there are forest fires in Indonesia. Otherwise, the air here is quite good. So that's why Singaporeans don't necessarily air condition their homes. The apartments here are quite large, the vehicles are quieter and the highways are not too close. Everywhere in Hong Kong, however, there is a lot of noise from the harbour and the highways. But the pollution from the industrial megapolis of the Pearl River Delta is the main problem. It is really quite bad. You can smell it.

FO: Yes, the Hong Kong location is more challenging. Yet it also depends in which area and quarter you live in Hong Kong. There are also places with good air quality. The air can come from the seaside and is than unpolluted and fresh. The architects maybe do not emphasize the problem of air and noise pollution. They do not create typologies for natural ventilation. It is easier to provide apartments where people can adjust the air condition. This offers choice to all inhabitants in Hong Kong. Window manufacture companies do not develop openings which can protect from noise and air pollution.
Moreover, I can imagine that urban concepts might solve the problem, the arrangement of the building volumes. I believe it is high time for urban planners and architects to act! Another project in Singapore, which is already under construction, is the Skyville@Dawson project. The Skyville@Dawson is a public housing project commissioned by the Housing and Development Board of Singapore. Therefore, the inhabitants belong to the middle or low-income clientele. If I understand correctly, people can choose here between air conditioning and no air conditioning.

WMS: Correct. There is a provision in place where residents can choose to install air conditioning.

RH: But it is not provided. And in public spaces, there is no air conditioning because it is a luxury item. All private apartments come with air conditioning as a basic provision though, because it has become an essential item.

FO: Let's change the topic from residential housing to office and also public buildings. Do you know a public building in Singapore which uses the concept of energy-efficient air-cooling?

WMS: Yes, there is an interesting school design. It is a Singapore-American School's Tampines
Campus - the United World College (UWC), isn't it?

FO: Yes, an Austrian engineering company has delivered, installed and operated a solar heating and cooling insulation at the UWC.

WMS: Yes. It was done by mechanical engineers who designed the air conditioning. This is rare, mechanical engineers are not taught to do it in university. They are taught to specify equipment. No university teaches you how to design the air conditioning. The engineers in this case were given this task of designing the campus and they had to achieve a very low level of energy usage. So they designed a system that uses hot water (solar) tubes to get the energy. They then convert it through heat exchangers to run the absorption-chillers. The crucial innovation was that the school was designed around the air system. Classrooms were designed with access from a large internal corridor. The classrooms are air conditioned, but the return air does not go back into the rooms. It goes out as cooled spill-over air into the corridor. Normally a corridor isn't air-conditioned, but they used the waste air to cool it, so it is a semi-conditioned area, and it meant they only used fresh air as makeup air for the classrooms. This was a health standard the campus wanted. This technology is not new. It is actually used in hospitals and clean rooms. They never recycle the air. But it is not such a simple case to analyse - they actually are conditioning a much larger area than most other schools, they have shifted what are normally open air corridors to enclosed, semi-conditioned corridors. It appears to be very efficient because they use a larger area to divide the airconditioning energy into.

Another important aspect they worked with is with perceived coolness, which is felt on your skin through air movement, and not so much through defining comfort as simply air temperature. They have fans outside, to provide air movement and, combined with the mixed waste cool air, it creates good comfort. This is a great solution.

The design was great in that it was based on first principles regarding energy and airconditioning, and is a good case study to learn from, but there are

many aspects which influence the organisation of a school, some of which may conflict with the organisation driven by the airconditioning design.

RH: This solution enhances human comfort instead of merely thinking about mechanical engineering in technical terms of humidity and temperature, and designing for the worst corner of the room, which then results in everywhere else being too cold, which is what we often see in Asia, it can be winter inside and summer outside! I am very interested in this design from first principles. It is even better not to aircondition - our School of the Arts does not use airconditioning in the classrooms or corridors at all.

FO: But this is your philosophy. You say less technology, more architecture, particularly regarding *The MET* project. Is that right? The porous building typology facilitates better thermal comfort without using high-tech. What are your thoughts on less technology and less high-tech?

RH: Well we shouldn't say less technology. We feel that technology needs to fit the project, the client, the location and culture. Passive technologies are the most robust, you don't need to maintain them them, they can't break or fail when the power goes off. If the budget allowed us to have more technology, we would use cutting edge technologies in some cases, but we often do not have the budget. If we spent all the money on technology, it is not even visible, and the architecture can be very boring because all the money went into the building systems. You can achieve the same effect using innovative architectural solutions which has all of these other advantages.

FO: I think this is a good way, because the architect has to incorporate the climatic conditions of the location. First, the architecture gets more specific and individual. Second, the architecture could become more sustainable. The opposite are these office high rises from western countries that are built in Asia. They are placed without considering the environment or area. Some are glass towers that get hot due to the solar radiation. Then it is necessary to facilitate thermal comfort artificially. You have to create an artificial indoor environment which requires not only cooling energy, but the high-tech constructed facades are also definitely not sustainable, because excessive energy is needed for producing these high end product materials.

WMS: Yes, and we have to rebuild them every ten years or earlier and replace the architecture too often. It is not a long-term way of thinking.

FO: That's why I think you have chosen a really good way.

RH: Yes, we use simple materials with forms, figures, shadow, and wind. I guess we are very old fashioned!

FO: Yes, but that's good! You pick up traditional architecture concepts, which have already worked in the past. These architecture ideas have been developed for hundreds of years. Using them makes sense.

WMS: It's not so much old fashioned as first principles. It's a good old way of doing things rather than depending on technology to solve all our problems. I think there is the tendency to allow materials and technology to solve our problems and not addressing the issues architecturally. I think that in the last decade or more, architecture has been determined by sexy forms, shapes, and aesthetics. It has little to do with designing for improved human comfort or high performance. High technology allowed architects freedom to make buildings that only satisfy one of the Vitruvian trinity of commodity, firmness and delight. Fossil fuels compensate for everything else.

RH: Architecture has a fundamental problem if architects don't have to think about climate, comfort and interaction with the environment. These sealed boxes just need styling. And then, due to fashionable trends, very building around the world looks the same.

WMS: Most of these buildings that prioritise form were built in the last 10 to 15 years. The height of it was Zaha Hadid's and Frank Gehry's buildings.
FO: Yes, in my opinion it is the wrong motivation. They say their buildings are sculptures.

WMS: They are art rather than architecture. Beautiful, but not really a model for most kinds of buildings.

RH: If you look at Dubai, it is promoting very imageable architecture, it is about internet consumption of design through photographs, rather than human environments.

FO: I agree. The environmental context needs to be involved in the planning on three different scales. The micro scale considers openings and details. For example, in Asia there is a control of the airflow for natural ventilation of the rooms. Second, there is the medium level which regards the creation of floor plans which allow for cross ventilation and building typologies which force air flow buoyancy and wind circulation. Third, there is the macro level. According to this urban planning scale, the composition and arrangement of the buildings is important due to sunlight and wind conditions. For example, *The Met* in Bangkok is perfectly orientated towards sun position and wind direction. Additionally, the location of *The Met* is not surrounded by many other close standing high rises.

Hong Kong is the densest city in the world. Does this degree of density make sense? I have already had many discussions about high density housing typologies. And many people think it is better to live in a single-family house than increasing the floor numbers. They say high density is not good because there is increasing demand for more privacy. I think the three of us share the same opinion that it is necessary to reinforce density in order to find solutions to the increasing population of many metropolises. The most crucial point is that traditional Asian buildings are located on a bigger land area. The distance between them is huge and they are surrounded by greenery. Therefore the one storey buildings have good environmental conditions. In the high density cities, the conditions are different. Your opinion about high rise buildings in high density cities is that these high rises create living and thermal comfort because you have less noise, less dust, fresher air, a better breeze, and more privacy. I totally agree with these aspects, but you also say that there is a lower humidity at this height too. Is this true? How would this work?
WMS: Yes. I used to live in a terrace house, single storey. And all through the wet season, all my leather things including shoes and belts got completely mouldy. Books too. All the pages are stuck together because of moisture.
Now, I live on the 24th floor and I have never had any mould at all. It has to do with the air movement and distance from the ground. There is less air

movement on the ground, and the lush tropical plants constantly pump out huge quantities of water vapour, increasing the humidity around them. So when you're in the tree zones from four to six storeys, it's really very humid. You go above the tree zone, and the humidity drops down by 20%.

FO: Okay, I see. That is why most WOHA high rise projects have car-parking on the first five floors?

RH: Yes. In fact, our storage room is at the back of a garage on the ground floor. When we were asked to do the DAM exhibition, we opened the doors to check on which architectural models we could use for the exhibit. But the airconditioning in the store had broken down for two weeks without anyone noticing, and all the models were completely covered by mould - a kind of green architecture we did not want! Peter Cachola-Schmal said, "Don't bring these to Germany, the fungus will infect all DAM's models!". So we had to throw out the models we had collected for 17 years and remake the models. It was terribly sad. However, at higher levels, you don't get that much humidity.

FO: Yes, I think in Hong Kong it is also difficult. There is a air-humidity amounts to 95% right now. Clothes in the wardrobe are totally wet. Do you have the same problem in Singapore?

WMS: Sometimes, before it rains it gets close to 100% air humidity. That's when there is the possibility of wet clothes in your wardrobe, but not if you live in a high rise tower.

FO: Ok. So I have one last question. WOHA architects were found in 1994 - 17 years ago. You have had your 17th anniversary this year. What are your plans for the next 17 years?

WMS: That is a long time. But it goes fast, because every project only lasts about four or five years. So it is going on for three or four generations of projects.

RH: And then we are going to have a big rest.

FO: Dear Richard, dear Wong, thank you very much for the exciting and efficient interview! And thank you for your time.

WMS: You are welcome Ferdinand.

RH: And now we are going to introduce you to the best places in Singapore!



14

14 I WOHA - Wong Mun Summ + Richard Hassel, Copyright: Mark Teo

WOHA CV

Wong Mun Summ formed WOHA as a partnership with Richard Hassell in 1994. Since then, the partnership has won a large number of local awards, and an unprecedented amount of international awards. WOHA won the Aga Khan Award for Architecture in 2007, they collected two awards each at the 2011 and 2010 RIBA International Awards, as well as the prestigious 2011 Lubetkin Prize from the RIBA. WOHA released their second monograph, "WOHA Selected Projects Vol. 1" in 2011 by Pesaro Publishing, following their first monograph in 2009. In 2006, an exhibition featuring WOHA's work – entitled 'More on Less – was held at the Aedes Gallery in Berlin. WOHA also staged a traveling solo exhibition at the acclaimed Deutsches Architekturmuseum (DAM) in Frankfurt Germany in December 2011. A third monograph, „WOHA: Breathing Architecture" was published in conjunction with the exhibition.

Wong Mun Summ was born in 1962 and graduated with Honours from the National University of Singapore in 1989. He is a board member of the Singapore Land Authority and the Board of Architect's Design Panel. He was a board member of Singapore's Urban Redevelopment Authority (URA) from 1999 to 2005. He also served on the International Design Consultancy for the Waterfront at the Downtown at Marina Bay, and as a member of URA design advisory panels for such projects as the Singapore Sports Hub, the Marina Barrage, and the Integrated Resort at Marina Bay.

Richard Hassell was born in 1966 and graduated from the University of Western Australia in 1989. He was awarded a Master of Architecture degree from the RMIT University, Melbourne, in 2002. He is currently a board member of Singapore's Urban Redevelopment Authority's (URA) Design Advisory Committee and the Housing and Development Board (HDB) Architectural Design Panel. He has served as a board member of the Building and Construction Authority of Singapore, as well as committees for the URA and the DesignSingapore Council. He is currently an adjunct professor at the University of Western Australia.[2]

[2] Lebensläufe von Wong Mun Summ und Richard Hassell, Quelle: http://woha.net/#about (Stand: 17.02.2015).

7.2 Tabellenverzeichnis

2.1 Behaglichkeit

Beaufort	Knoten	km/h	m/s	Bezeichnung
0	unter 1	unter 1	unter 0,3	**Windstille**
1	1–3	1–5	0,3–1,5	**Leiser Zug**
2	4–6	6–11	1,6–3,3	**Leichter Wind**
3	7–10	12–19	3,4–5,4	**Schwacher Wind**
4	11–15	20-28	5,5–7,9	**Mäßiger Wind**
5	16-21	29-38	8,0-10,7	**Frischer Wind**
6	22-27	39-49	10,8-13,8	**Starker Wind**
7	28-33	50-61	13,9-17,1	**Steifer Wind**
8	34-40	62-74	17,2-20,7	**Stürmischer Wind**
9	41-47	75-88	20,8-24,4	**Sturm**
10	48-55	89-102	24,5-28,4	**Schwerer Sturm**
11	56-63	103-117	28,5-32,6	**Orkanartiger Sturm**
12	über 64	über 118	über 33	**Orkan**

Umrechnung
1 kn = 1,852 km/h = 0,5144 m/s
1 km/h = 0,2778 m/s = 0,54 kn
1 m/s = 1,944 kn = 3,6 km/h

01

01 | Tabelle zur Umrechnung der Windgeschwindigkeit in Beaufort, m/s, Knoten und km/h, Quelle: Deutscher Wetterdienst (DVD), Offenbach 2015.

The Met

Berechnungsgrundlagen Kenngrößen nach ÖNORM oder DIN

GF_Außengrundfläche		**2.119**	m²
BGF_Brutto-Grundfläche	BGFG * GA	**90.888**	m²
(**BGFG**_Brutto-Grundfläche Geschoß)		**1.623**	m²
NGF_Netto-Grundfläche	NGFG * GA	**75.148**	m²
(**NGFG**_Netto-Grundfläche Geschoß)		**1.342**	m²
KGF_Konstruktionsgrundfläche	KGFG * GA	**15.740**	m²
(**KGFG**_Konstruktions-Grundfläche Geschoß)	BGF-NGF	**281**	m²
NF_Nutzfläche	NFG * GA	**57.398**	m²
(**NFG**_Nutzfläche Geschoß)		**1.025**	m²
VF_Verkehrsfläche	VFG * GA	**17.749**	m²
(**VFG**_Verkehrsfläche Geschoß)	NGF-NF	**317**	m²
LA_Luftanteil	BRGV-BRI (m³/m³)	**91.661**	m³
U_ Fassaden Umfang	66m * 3	**437,4**	m
GH_Geschoßhöhe		**3,3**	m
GBH_Gebäudehöhe Wohngeschoße	GA*GH	**184,8**	m
GBHA_Gebäudehöhe alle Geschoße		**228,0**	m
(**AFG**_Außenwandfläche / Geschoß)	U * GH	**1443,42**	m²
HÜL_Hüllfläche	AF + DF + GF	**84.574**	m²
DF_Dachfläche		**1.623**	m²
AF_Außenwandfläche	U * GH*GA	**80.832**	m²
BRI_Bruttorauminhalt	BGFG*GBH	**299.930**	m³
BRGV_Brutto-Raumgrundvolumen	GF*GBH	**391.591**	m³
GA_Geschoßanzahl Wohnen		**56**	Wohngeschoße
GG_Geschoßanzahl Gesamt		**69**	Geschoße
NE_Nutzungseinheiten/Geschoß		**6**	NE
NEG_Nutzungseinheiten gesamt	GA * NE	**336**	NEG
NU_Nutzer Wohneinheit		4	Personen
NUG_Nutzer Geschoß	NE * NU	24	Pers/Etage
NUA_Nutzeranzahl Gesamt	GA * NUG	1344	Pers / Gesamt

Ermittlung der Kennwerte nach ÖNORM, DIN oder EnEV

BRIQ_Brutto-Raumquotient	BRI/NGF (m³/m²)	3,99	Quotient
NGFQ_Netto-Grundflächenquotient	NGF/BGF (m²/m²)	0,83	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient	VF/NF(m²/m²)	0,31	Quotient
F_eff_Flächeneffizienzfaktor	NF/BGF (m²/m²)	0,63	Quotient
HÜLQ_Hüllflächenquotient = A/V-Verhältniss	HÜL/BRI (m²/m³)	0,28	Quotient
(**KG**_Kompaktheitsgrad)	HÜL/ NF (m²/m²)	1,41	Quotient
GDQ_Gebäudedichtequotient	GF/BGF (m²/m²)	0,023	Quotient
LAQ_Luftanteil Quotient	BRI/LA (m³/m³)	3,27	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient in %	(VF / NGF) * 100	**23,62**	%
(**VFQ_Verkehrsflächenquotient Geschoß** in %)	(VFG / BGFG) * 100	**19,53**	%
NEQ_Nutzungseinheitsquotient	NEG / NF (Pers/m²)	0,01	Quotient
NEQ_Nutzungseinheitsquotient Größe WE	NF / NEG (m²/WE)	**170,83**	m²/NE
VFNE_Verkehrsflächen- Nutzungseinheitszahl	VF / NEG (m²/WE)	**52,8**	m²/NE
GBQ_Gebäudebewohnerquotient (Gebäudebewohnerdichte)	NUA/GF (Pers/m²)	**0,63**	Quotient
GP_Grundfläche pro Person	GF / NUA (m²/Pers)	**1,58**	m²/Person
NUQ_Nutzerquotient (Belegungsdichte)	NUA / NF (Pers/m²)	0,02	Quotient
NP_Nutzfläche pro Person	NF / NUA (m²/Pers)	**42,71**	m²/Person

02

02 I Berechnungsgrundlagen für die Kenngrößen und ermittelte Kennwerte des *The Met*, Ferdinand Oswald, 2013

4.1 Vorstudie - Issan

Phibun Mangshan - Ubon Rachathani Issan Thailand
Mihom Garden Resort
completion: 2010
detecting time frame 13.- 14.04.2013
hotest season of the year
measurements:

surface temperatur in degrees Celsius °C; detecting sites: 1'loadbearing wall inside bathroom
2' loadbearing wall outside bathroom

air-humidity in %
detecting sites: outside

air-temperature in degrees Celsius °C, detecting sites:
1 inside bathroom, 2 inside bedroom, 3 outside

date and time 12 hour-clock (24 hour clock am / pm)	1 in °C	2 in °C	3 in °C	Δ 1-3 in °C	1' in°C	2' in °C	in %	weather conditioning
13.04.2013 20.00 (8.00 pm)	29,5	36,2	34,1	-4,6	29,3	31,4	61	clear
21.00 (9.00 pm)*	29,8	34,8	32,5	-2,7	30,2	30,8	62	clear
22.00 (10.00 pm)*	29,5	32,5	30,8	-1,3	31,1	31,0	62	clear
23.00 (11.00 pm)*	28,5	31,7	29,1	-0,6	32,3	31,9	63	clear
24.00 (12.00 pm)*	28,2	31,5	27,6	0,6	32,1	31,5	65	clear
14.04.2013 1.00 (1.00 am)*	27,8	30,7	27,1	0,7	31	30,8	65	clear
2.00 (2.00 am*	27,3	30,2	26,2	1,1	30,7	30,2	65	clear
5.00 (5.00 am)*	26,8	29,8	25,8	1,0	29,8	29,6	63	clear
7.00 (7.00 am)*	26,5	29,5	26,1	0,4	26,7	27,2	62	clear
8.00 (8.00 am)	26,9	27,9	26,8	0,1	25,6	27,4	60	sunny
9.00 (9.00 am)	26,8	°27,4	27,2	-0,4	25,8	27,7	58	sunny
10.00 (10.00 am)	26,5	°27,8	28,4	-1,9	26,1	28,1	55	sunny
13.00 (01.00 pm)	26,9	°29,9	29,8	-2,9	26,3	28,8	51	sunny
14.00 (4.00 pm)	27,9	°30,7	31,9	-4,0	27,2	29,5	47	sunny
15.00 (3.00 pm)	29,0	°31,8	32,5	-3,5	27,6	29,9	44	sunny
16.00 (4.00 pm)	29,2	°32,5	33,2	-4,0	28,0	30,5	45	sunny
17.00 (5.00 pm)	29,4	°33,5	33,8	-4,4	28,3	31,2	48	sunny
20.00 (8.00 pm)	29,6	35,7	33,9	-4,3	29	31,6	61	sunny

bathroomdoor = connection door between bathroom and bedroom always closed
* open bathroom flaps (louver)
° open bedroom windows
air-temperatur: Min. 25,8°C Max. 34,1°C Δ 8,3°C
air hunidity Min. 44% Max. 65 %

03

03 I Tabelle mit den Messungen *Mihom Garden Resort*, Phibun Mangshan - Ubon Rachtani Issan Thaildan, Ferdinand Oswald, 2013

The Met

Berechnungsgrundlagen Kenngrößen nach ÖNORM oder DIN

GF_Außengrundfläche		**2.119**	m²
BGF_Brutto-Grundfläche	BGFG * GA	**90.888**	m²
(**BGFG**_Brutto-Grundfläche Geschoß)		**1.623**	m²
NGF_Netto-Grundfläche	NGFG * GA	**75.148**	m²
(**NGFG**_Netto-Grundfläche Geschoß)		**1.342**	m²
KGF_Konstruktionsgrundfläche	KGFG * GA	**15.740**	m²
(**KGFG**_Konstruktions-Grundfläche Geschoß)	BGF-NGF	**281**	m²
NF_Nutzfläche	NFG * GA	**57.398**	m²
(**NFG**_Nutzfläche Geschoß)		**1.025**	m²
VF_Verkehrsfläche	VFG * GA	**17.749**	m²
(**VFG**_Verkehrsfläche Geschoß)	NGF-NF	**317**	m²
LA_Luftanteil	BRGV-BRI (m³/m³)	**91.661**	m³
U_ Fassaden Umfang	66m * 3	**437,4**	m
GH_Geschoßhöhe		**3,3**	m
GBH_Gebäudehöhe Wohngeschoße	GA*GH	**184,8**	m
GBHA_Gebäudehöhe alle Geschoße		**228,0**	m
(**AFG**_Außenwandfläche / Geschoß)	U * GH	**1443,42**	m²
HÜL_Hüllfläche	AF + DF + GF	**84.574**	m²
DF_Dachfläche		**1.623**	m²
AF_Außenwandfläche	U * GH*GA	**80.832**	m²
BRI_Bruttorauminhalt	BGFG*GBH	**299.930**	m³
BRGV_Brutto-Raumgrundvolumen	GF*GBH	**391.591**	m³
GA_Geschoßanzahl Wohnen		**56**	Wohngeschoße
GG_Geschoßanzahl Gesamt		**69**	Geschoße
NE_Nutzungseinheiten/Geschoß		**6**	NE
NEG_Nutzungseinheiten gesamt	GA * NE	**336**	NEG
NU_Nutzer Wohneinheit		4	Personen
NUG_Nutzer Geschoß	NE * NU	24	Pers/Etage
NUA_Nutzeranzahl Gesamt	GA * NUG	1344	Pers / Gesamt

Ermittlung der Kennwerte nach ÖNORM, DIN oder EnEV

BRIQ_Brutto-Raumquotient	BRI/NGF (m³/m²)	3,99	Quotient
NGFQ_Netto-Grundflächenquotient	NGF/BGF (m²/m²)	0,83	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient	VF/NF(m²/m²)	0,31	Quotient
F_eff_Flächeneffizienzfaktor	NF/BGF (m²/m²)	0,63	Quotient
HÜLQ_Hüllflächenquotient = A/V-Verhältniss	HÜL/BRI (m²/m³)	0,28	Quotient
(**KG**_Kompaktheitsgrad)	HÜL/ NF (m²/m²)	1,41	Quotient
GDQ_Gebäudedichtequotient	GF/BGF (m²/m²)	0,023	Quotient
LAQ_Luftanteil Quotient	BRI/LA (m³/m³)	3,27	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient in %	(VF / NGF) * 100	**23,62**	%
(**VFQ_Verkehrsflächenquotient Geschoß** in %)	(VFG / BGFG) * 100	**19,53**	%
NEQ_Nutzungseinheitsquotient	NEG / NF (Pers/m²)	0,01	Quotient
NEQ_Nutzungseinheitsquotient Größe WE	NF / NEG (m²/WE)	**170,83**	m²/NE
VFNE_Verkehrsflächen- Nutzungseinheitszahl	VF / NEG (m²/WE)	**52,8**	m²/NE
GBQ_Gebäudebewohnerquotient (Gebäudebewohnerdichte)	NUA/GF (Pers/m²)	**0,63**	Quotient
GP_Grundfläche pro Person	GF / NUA (m²/Pers)	**1,58**	m²/Person
NUQ_Nutzerquotient (Belegungsdichte)	NUA / NF (Pers/m²)	0,02	Quotient
NP_Nutzfläche pro Person	NF / NUA (m²/Pers)	**42,71**	m²/Person

04

04 I Berechnungsgrundlagen für die Kenngrößen und ermittelte Kennwerte des *The Met*, Ferdinand Oswald, 2013

4.2 Fallstudie 01 - The met

The Met - Bangkok, WOHA Architects

detecting time frame 04.- 05.04.2013
measurements:
temperature in degrees Celsius °C, detecting site: inside unit
surface temperatur in degrees Celsius °C;
detecting sites:
1' loadbearing wall outside, 2' loadbearing wall inside
air-humidity in % detecting site inside unit
all detectings during open windows with cross-ventilation

unit 29C	29th floor				
date and time 12 hour-clock (24 hour clock am / pm)	in °C	1' in°C	2' in °C	in %	weather conditioning
04.04.2013 17.00 (5.00 am)	32,8	38,0	35,5	45	sunny
18.00 (6.00 pm)	31,9	37,8	35,3	61	sunny
20.00 (8.00 pm)	30,4	37,4	35,1	73	clear
22.00 (10.00 pm)	29,1	37,1	35,0	733	clear
23.00 (11.00 pm)	29,7	36,2	34,9	74	clear
05.04.2013 0.15 (0.15 am)	29,9	35,0	34,8	81	clear
1.00 (1.05 am)	29,4	34,0	34,6	83	clear
2.30 (2.30 am)	29,2	33,0	34,0	85	clear
5.30 (5.30 am)	28,2	30,8	32,0	88	clear
5.50 (5.50 am)	28,5	30,5	32,4	80	clear
8.00 (8.00 am)	29,0	32,8	31,0	70	misty
8.30 (8.30 am)	30,0	34,0	32,0	68	misty
9.00 (9.00 am)	30,5	35,0	32,5	66	misty
10.00 (10.00 am)	31,5	35,3	32,8	54	sunny
13.00 (01.00 pm)	31,8	37,0	33,0	44	sunny
16.00 (4.00 pm)	32,8	37,5	34,8	41	sunny
17.00 (5.00 pm)	33,0	37,8	35,0	44	sunny

air-temperatur: Min. 28,2°C Max. 33,0°C ∆ 4,8°C
air hunidity Min. 41% Max. 88 %

05

05 I Tabelle mit den Messungen *The Met,* Bangkok, Thailand, Ferdinand Oswald, 2013

Skyville at Dawson

Berechnungsgrundlagen Kenngrößen nach ÖNORM oder DIN

GF_Außengrundfläche		**3.763**	m²
BGF_Brutto-Grundfläche	BGFG * GA	**85.240**	m²
(**BGFG**_Brutto-Grundfläche Geschoß)		**2.131**	m²
NGF_Netto-Grundfläche	NGFG * GA	**68.966**	m²
(**NGFG**_Netto-Grundfläche Geschoß)		**1.724**	m²
KGF_Konstruktionsgrundfläche	KGFG * GA	**16.274**	m²
(**KGFG**_Konstruktions-Grundfläche Geschoß)	BGF-NGF	**407**	m²
NF_Nutzfläche	NFG * GA	**55.872**	m²
(**NFG**_Nutzfläche Geschoß)		**1.397**	m²
VF_Verkehrsfläche	VFG * GA	**13.094**	m²
(**VFG**_Verkehrsfläche Geschoß)	NGF-NF	**327**	m²
U_ Fassaden Umfang		**792**	m
GH_Geschoßhöhe		**3,3**	m
GBH_Gebäudehöhe Wohngeschoße	GA*GH	**132,0**	m
GBHA_Gebäudehöhe alle Geschoße		**147,8**	m
(**AFG**_Außenwandfläche / Geschoß)	U * GH	**2613,6**	m²
HÜL_Hüllfläche	AF + DF + GF	**110.438**	m²
DF_Dachfläche		**2.131**	m²
AF_Außenwandfläche	U * GH*GA	**104.544**	m²
BRI_Bruttorauminhalt	BGFG*GBH	**281.292**	m³
BRGV_Bruttoraumgrundvolumen	GF*GBH	**496.716**	m³
LA_Luftanteil	BRGV-BRI (m³/m³)	**215.424**	m³
GA_Geschoßanzahl Wohnen		**40**	Wohngeschoße
GG_Geschoßanzahl Gesamt		**46**	Geschoße
NE_Nutzungseinheiten/Geschoß		**24**	NE
NEG_Nutzungseinheiten gesamt	GA * NE	**960**	NEG
NU_Nutzer Wohneinheit		3	Personen
NUG_Nutzer Geschoß	NE * NU	72	Pers/Etage
NUA_Nutzeranzahl Gesamt	GA * NUG	2880	Pers / Gesamt

Ermittlung der Kennwerte nach ÖNORM, DIN oder EnEV

BRIQ_Brutto-Raumquotient	BRI/NGF (m³/m²)	4,08	Quotient
NGFQ_Netto-Grundflächenquotient	NGF/BGF (m²/m²)	0,81	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient	VF/NF(m²/m²)	0,23	Quotient
F_eff_Flächeneffizienzfaktor	NF/BGF (m²/m²)	0,66	Quotient
HÜLQ_Hüllflächenquotient = A/V-Verhältniss	HÜL/BRI (m²/m³)	0,39	Quotient
(**KG**_Kompaktheitsgrad)	HÜL/ NF (m²/m²)	1,98	Quotient
GDQ_Gebäudedichtequotient	GF/BGF(m²/m²)	0,044	Quotient
LAQ_Luftanteil Quotient	BRI/LA (m³/m³)	1,31	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient in %	(VF / NGF) * 100	**18,99**	%
(**VFQ_Verkehrsflächenquotient Geschoß** in %)	(VFG / BGFG) * 100	**15,36**	%
NEQ_Nutzungseinheitsquotient	NEG / NF (Pers/m²)	0,02	Quotient
NEQ_Nutzungseinheitsquotient Größe WE	NF / NEG (m²/WE)	**58,20**	m²/NE
VFNE_Verkehrsflächen-Nutzungseinheitszahl	VF / NEG (m²/WE)	**13,6**	m²/NE
GBQ_Gebäudebewohnerquotient (Gebäudebewohnerdichte)	NUA/GF (Pers/m²)	**0,77**	Quotient
GP_Grundfläche pro Person	GF / NUA (m²/Pers)	**1,31**	m²/Person
NUQ_Nutzerquotient (Belegungsdichte)	NUA / NF (Pers/m²)	0,05	Quotient
NP_Nutzfläche pro Person	NF / NUA (m²/Pers)	**19,40**	m²/Person

06

06 I Berechnungsgrundlagen der Kenngrößen und ermittelte Kennwerte des *Skyville at Dawson*, Ferdinand Oswald, 2013.

4.5 Fallstudie - Urban Toulou

Urban Tulou

Berechnungsgrundlagen Kenngrößen nach ÖNORM oder DIN

GF_Außengrundfläche		**4.117**	m²
BGF_Brutto-Grundfläche	BGFG * GA	**17.007**	m²
(**BGFG**_Brutto-Grundfläche Geschoß)		**2.835**	m²
NGF_Netto-Grundfläche	NGFG * GA	**14.988**	m²
(**NGFG**_Netto-Grundfläche Geschoß)		**2.498**	m²
KGF_Konstruktionsgrundfläche	KGFG * GA	**2.019**	m²
(**KGFG**_Konstruktions-Grundfläche Geschoß)	BGF-NGF	**337**	m²
NF_Nutzfläche	NFG * GA	**10.910**	m²
(**NFG**_Nutzfläche Geschoß)		**1.818**	m²
VF_Verkehrsfläche	VFG * GA	**4.078**	m²
(**VFG**_Verkehrsfläche Geschoß)	NGF-NF	**680**	m²
U_ Fassaden Umfang		**610,6**	m
GH_Geschoßhöhe		**3,2**	m
GBH_Gebäudehöhe Wohngeschoße	GA*GH	**19,2**	m
GBHA_Gebäudehöhe alle Geschoße		**19,2**	m
(**AFG**_Außenwandfläche / Geschoß)	U * GH	**1953,92**	m²
HÜL_Hüllfläche	AF + DF + GF	**32.847**	m²
DF_Dachfläche		**17.007**	m²
AF_Außenwandfläche	U * GH*GA	**11.724**	m²
BRI_Bruttorauminhalt	BGFG*GBH	**54.422**	m³
BRGV_Bruttoraumgrundvolumen	GF*GBH	**79.044**	m³
LA_Luftanteil	BRGV-BGF/ (m³/m³)	**24.622**	m³
GA_Geschoßanzahl Wohnen		**6**	Wohngeschoße
NE_Nutzungseinheiten/Geschoß		**58**	NE
NEG_Nutzungseinheiten gesamt	GA * NE	**348**	NEG
NU_Nutzer Wohneinheit		2	Personen
NUG_Nutzer Geschoß	NE * NU	116	Pers/Etage
NUA_Nutzeranzahl Gesamt	GA * NUG	696	Pers / Gesamt

Ermittlung der Kennwerte nach ÖNORM, DIN oder EnEV

BRIQ_Brutto-Raumquotient	BRI/NGF (m³/m²)	3,63	Quotient
NGFQ_Netto-Grundflächenquotient	NGF/BGF (m²/m²)	0,88	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient	VF/NF(m²/m²)	0,37	Quotient
F_eff_Flächeneffizienzfaktor	NF/BGF (m²/m²)	0,64	Quotient
HÜLQ_Hüllflächenquotient = A/V-Verhältniss	HÜL/BRI (m²/m³)	0,60	Quotient
(**KG**_Kompaktheitsgrad)	HÜL/ NF (m²/m²)	3,01	Quotient
GDQ_Gebäudedichtequotient	GF/BGF(m²/m²)	0,242	Quotient
LAQ_Luftanteil Quotient	BRI/LA (m³/m³)	2,21	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient in %	(VF / NGF) * 100	**27,21**	%
(**VFQ_Verkehrsflächenquotient Geschoß** in %)	(VFG / BGFG) * 100	**23,98**	%
NEQ_Nutzungseinheitsquotient	NEG / NF (Pers/m²)	0,03	Quotient
NEQ_Nutzungseinheitsquotient Größe WE	NF / NEG (m²/WE)	**31,35**	m²/NE
VFNE_Verkehrsflächen-Nutzungseinheitszahl	VF / NEG (m²/WE)	**11,7**	m²/NE
GBQ_Gebäudebewohnerquotient (Gebäudebewohnerdichte)	NUA/GF (Pers/m²)	**0,17**	Quotient
GP_Grundfläche pro Person	GF / NUA (m²/Pers)	**5,92**	m²/Person
NUQ_Nutzerquotient (Belegungsdichte)	NUA / NF (Pers/m²)	0,06	Quotient
NP_Nutzfläche pro Person	NF / NUA (m²/Pers)	**15,68**	m²/Person

07

07 I Berechnungsgrundlagen der Kenngrößen und ermittelte Kennwerte des *Urban Tulou*, Ferdinand Oswald, 2013.

Urban Tulou - Guangzhou, URBANUS Architects
detecting time frame 13.- 14.09.2012
measurements:

air-temperature in degrees Celsius °C, detecting sites:
1 loggia outside, 2 courtyard outside, 3 unit inside

surface temperatur in degrees Celsius °C; detecting sites: 1' loggia outer filter facade, 2' loadbearing wall outside, 3' loadbearing wall inside

air-humidity in % detecting sites: A) loggia outer facade, B) unit inside

Unit: 107 groundfloor										
date and time 12 hour-clock (24 hour clock am / pm)	1 in °C	2 in °C	3 in °C	Δ 1-3 in °C	1' in°C	2' in °C	3' in °C	A in %	B in %	weather conditioning
13.09.2012 16.00 (4.00 am)	31,2	30,4	28,2	-3,0	34,1	29,4	27,2	60	60	sunny
20.15 (8.15 pm)	30,8	30,3	27,8	-3,0	33,3	29,7	28,5	76	76	clear
21.00 (9.00 pm)	30,3	30,1	27,6	-2,7	33,7	28,4	28,7	79	79	clear
22.30 (10.30 pm)	29,2	29,1	27,5	-1,7	32,7	28,1	29,0	81	81	clear
24.00 (00.00 pm)	28,5	28,2	27,3	-1,2	30,3	28,0	29,2	82	82	clear
14.09.2012 0.45 (0.45 am)	27,9	27,7	27,2	-0,7	30	27,8	29,3	78	78	clear
1.15 (1.15 am)	27,4	27,1	27,1	-0,3	28,2	27,5	29,4	80	80	clear
2.00 (2.00 am)	26,2	26,1	27,0	0,8	27,3	26,5	29,5	82	82	clear
8.30 (8.30 am)	26,4	26,3	27,4	1,0	28,4	26,9	29,3	78	78	cloudy
9.30 (9.30 am)	26,8	26,5	27,6	0,8	29,1	27,2	29,1	74	74	sunny
11.00 (11.00 am)	28,5	28,3	27,8	-0,7	30,3	27,8	29,0	65	65	sunny
13.45 (01.45 am)	29,2	30,1	28,6	-0,6	32,2	28,4	28,9	58	58	sunny
16.00 (4.00 pm)	31,3	30,3	30,1	-1,2	34,1	29,0	28,3	57	57	sunny
18.00 (6.00 pm)	31,0	29,8	30,2	-0,8	33	28,7	28,7	68	68	sunny
19.00 (7.00 pm)	30,7	30,4	30,8	0,1	33	29,5	28,9	72	72	sunny

air-temperatur: Min. 26,2°C Max. 31,8°C Δ 4,9°C
air hunidity Min. 57% Max. 82 %

08 I Tabelle mit den Messungen *Urban Toulou*, Guangzhou, Ferdinand Oswald, 2013

4.6 Fallstudie 04 - Ngau Tau Kok

Ngau Tau Kok

Berechnungsgrundlagen Kenngrößen nach ÖNORM oder DIN

GF_Außengrundfläche		**1.008**	m²
BGF_Brutto-Grundfläche	BGFG * GA	**36.602**	m²
(**BGFG**_Brutto-Grundfläche Geschoß)		**939**	m²
NGF_Netto-Grundfläche	NGFG * GA	**32.868**	m²
(**NGFG**_Netto-Grundfläche Geschoß)		**843**	m²
KGF_Konstruktionsgrundfläche	KGFG * GA	**3.734**	m²
(**KGFG**_Konstruktions-Grundfläche Geschoß)	BGF-NGF	**96**	m²
NF_Nutzfläche	NFG * GA	**23.882**	m²
(**NFG**_Nutzfläche Geschoß)		**612**	m²
VF_Verkehrsfläche	VFG * GA	**8.986**	m²
(**VFG**_Verkehrsfläche Geschoß)	NGF-NF	**230**	m²
U_ Fassaden Umfang		**329**	m
GH_Geschoßhöhe		**3,15**	m
GBH_Gebäudehöhe Wohngeschoße	GA*GH	**122,9**	m
GBHA_Gebäudehöhe alle Geschoße		**126,9**	m
(**AFG**_Außenwandfläche / Geschoß)	U * GH	**1036,35**	m²
HÜL_Hüllfläche	AF + DF + GF	**78.027**	m²
DF_Dachfläche		**36.602**	m²
AF_Außenwandfläche	U * GH*GA	**40.418**	m²
BRI_Bruttorauminhalt	BGFG*GBH	**115.295**	m³
BRGV_Bruttoraumgrundvolumen	GF*GBH	**123.833**	m³
LA_Luftanteil	BRGV-BRI (m³/m³)	**8.538**	m³
GA_Geschoßanzahl Wohnen		**39**	Wohngeschoße
GG_Geschoßanzahl Gesamt		**40**	Geschoße
NE_Nutzungseinheiten/Geschoß		**20**	NE
NEG_Nutzungseinheiten gesamt	GA * NE	**780**	NEG
NU_Nutzer Wohneinheit		2	Personen
NUG_Nutzer Geschoß	NE * NU	40	Pers/Etage
NUA_Nutzeranzahl Gesamt	GA * NUG	1560	Pers / Gesamt

Ermittlung der Kennwerte nach ÖNORM, DIN oder EnEV

BRIQ_Brutto-Raumquotient	BRI/NGF (m³/m²)	3,51	Quotient
NGFQ_Netto-Grundflächenquotient	NGF/BGF (m²/m²)	0,90	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient	VF/NF(m²/m²)	0,38	Quotient
F_eff_Flächeneffizienzfaktor	NF/BGF (m²/m²)	0,65	Quotient
HÜLQ_Hüllflächenquotient = A/V-Verhältniss	HÜL/BRI (m²/m³)	0,68	Quotient
(**KG**_Kompaktheitsgrad)	HÜL/ NF (m²/m²)	3,27	Quotient
GDQ_Gebäudedichtequotient	GF/BGF(m²/m²)	0,028	Quotient
LAQ_Luftanteil Quotient	BRI/LA (m³/m³)	13,50	Quotient
VFQ_Verkehrsflächenquotient in %	(VF / NGF) * 100	**27,34**	%
(**VFQ_Verkehrsflächenquotient Geschoß** in %)	(VFG / BGFG) * 100	**24,55**	%
NEQ_Nutzungseinheitsquotient	NEG / NF (Pers/m²)	0,03	Quotient
NEQ_Nutzungseinheitsquotient Größe WE	NF / NEG (m²/WE)	**30,62**	m²/NE
VFNE_Verkehrsflächen-Nutzungseinheitszahl	VF / NEG (m²/WE)	**11,5**	m²/NE
GBQ_Gebäudebewohnerquotient (Gebäudebewohnerdichte)	NUA/GF (Pers/m²)	**1,55**	Quotient
GP_Grundfläche pro Person	GF / NUA (m²/Pers)	**0,65**	m²/Person
NUQ_Nutzerquotient (Belegungsdichte)	NUA / NF (Pers/m²)	0,07	Quotient
NP_Nutzfläche pro Person	NF / NUA (m²/Pers)	**15,31**	m²/Person

09

09 I Berechnungsgrundlagen der Kenngrößen und ermittelte Kennwerte des *Ngau Tau Kok*, Ferdinand Oswald, 2013.

4.6 Fallstudie 04 - Ngau Tau Kok

Ngau Tau Kok Estate - Hong Kong Housing Authority
Sheung Wing House
Meßzeitraum 24.- 25.08.2013
Meßarten:
Temperatur in Grad Celsius °C Messstandort Zahlen 1 bis 3
Oberflächentemperatur in Grad Celsius °C Messstandort Zahlen 1' bis 8'
Windgeschwindigkeit in m/s Messstandort Zahlen 1^ bis 18^
Luftfeuchtigkeit in % Messstandort Zahlen 1 und 2
Wetterbedingungen = @
Meßstandorte siehe Plan- und Textmaterial

Datum und Zeit (englische Bezeichnung am, pm)	1 in °C	2 in °C	3 in °C	Δ 1-3 in °C	1 in %	2 in %	Wetter = @	1' in°C	2' in °C	3' in °C	4' in °C	5' in °C	6' in °C	7' in °C	8' * in °C	8' ** in °C	1^ in m/s	2^ in m/s	3^ in m/s	4^ in m/s	5^ in m/s	6^ in m/s	7^ in m/s	8^ in m/s	9^ in m/s	10^ in m/s	11^ in m/s	12^ in m/s	13^ in m/s	14^ in m/s	15^ in m/s	16^ in m/s	17^ in m/s	18^* in m/s
24.08.2013 16.00 (4.00 am)	30,8	30,9	27,2	-3,6	70	70	Bewölkt	26,1	30,2	30,1	32,4	28,2	25,2	26,0	38,0	29,2																		
17.00 (5.00 pm)	30,5	30,6	27,6	-2,9	77	77	Bewölkt	26,3	30,6	30,4	33,0	30,0	26,1	26,1	37,2	30,1	0,5	0,9	1,1	1,0	0,0	0,0	1,2	0,3	0,5	0,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,6
18.00 (6.00 pm)	30,3	30,1	27,6	-2,7	76	76	Bewölkt	27,7	31	30,4	32,0	29,9	27,5	27,2	36,8	31,2	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0													
20.00 (8.00 pm)	29,2	29,1	27,8	-1,4	90	90	Regen	28,7	30,9	30,5	31,1	29,7	28,4	28,3	36,3	32,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	1,1	1,5	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,4
24.00 (00.00 pm)	27,5	28,8	27,3	-0,2	101	101	leichte Schauer	29,3	28,8	30,0	29,8	29,0	29,5	29,5	34,3	32,6	0,0	0,5	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	0,3	1,1	0,8	0,0			0,0	0,0	0,3
25.08.2013 1.00 (1.00 am)	26,9	26,9	28	0,6	90	90	Bewölkt	30	30	30,2	30	30,0	30,6	30,0	34,1	33,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	0,7	1,1	1,5	0,8	0,4	0,0	0,0	0,0	0,5	0,0	0,4
2.00 (2.00 am)	26,4	26,8	27,6	1,2	82	82	Regen	30,5	30,4	30,1	30,5	30,8	30,8	30,3	33,9	33,5	0,6	1,1	1,3	1,1	0,0													
3.00 (3.00 am)	26,5	25,6	27,8	1,3	85	85	Regen	30,3	30,7	30,2	30,9	31,2	309,0	30,1	33,5	33,3	1,1	1,0	1,6	1,4	0,0	0,3	1,1	0,9	0,8	1,8	1,9	1,1	0,6			1,6	1,5	1,8
4.00 (4.00 am)	26,2	25,7	28,1	1,9	90	90	Bewölkt	30,2	29,8	29,7	31,0	31,6	30,5	29,8	32,9	32,7	0,8	1,0	1,4	1,2	0,0													
9.00 (9.00 am)	27,6	28,2	27,9	0,3	78	78	Sonnig	27,2	29,4	29,5	29,8	31,4	27,3	27,0	30,8	29,2	1,5	1,2	2,4	2,9	0,0	0,5	1,5	1,2	1,1	2,2	2,2	1,4	1,2		1,5	0,9	1,5	1,7
10.00 (10.00 am)	28,0	28,7	27,3	-0,7	76	76	Sonnig	26,8	28,3	28,2	28,5	31,5	26,7	26,5	31,2	28,8	1,3	1,1	1,8	1,6	0,0													
11.00 (11.00 am)	28,5	28,8	26,8	-1,7	82	82	Sonnig	26,3	29,4	29,1	29,5	31,1	26,6	26,3	32,5	28,7	1,5	1,2	2,4	2,9	0,0	0,5	1,5	1,2	1,1	2,2	2,2	1,4	1,4	2,6	1,7	0,8	1,3	1,6
12.00 (12.00 am)	29,2	30,1	26,6	-2,6	79	79	Sonnig	26,2	29,3	29,2	29,4	29,6	26,5	26,1	35,2	28,5	1,6	0,9	1,7	2,1	0,0													
16.00 (4.00 pm)	30,3	31,3	27,5	-2,8	70	70	Sonnig	26,8	29,0	30,0	30,1	29,3	25,7	26,0	38,8	29,1	1,7	0,8	1,8	2,3	0,0	0,0	1,4	1,4	1,1	3,1	1,1	1,0	1,6	2,4		1,3	1,5	1,4
17.00 (5.00 pm)	30,5	31,2	27,3	-3,2	77	77	Sonnig	26,5	31	30,7	31	29,1	25,4	26,4	39,2	30,8	1,5	1,2	2,4	2,9	0,0													
18.00 (6.00 pm)	30,8	29,8	27,2	-3,6	78	78	Sonnig	27	32	31,8	33	30,5	27,1	26,6	38,5	31,6	1,5	1,2	2,4	2,9	0,0	0,5	1,5	1,2	1,1	2,2	2,2	1,4	1,4	2,3		0,9	1,3	1,5
19.00 (7.00 pm)	29,1	31,4	27,7	-1,4	99	99	Sonnig	29	31	31,4	31	30,8	28,9	27,5	37,6	32,2	0,7	0,9	1,4	1,2	0,0													

* Meßstandort Dach 41. Obergeschoß
** Wassertemperatur Leitungswasser
air-temperatur: Min. 26,2°C Max. 30,8°C Δ 4,6°C
air humidity Min. 70% Max. 101 %

10

10 I Tabelle mit den Messungen Mr. Scheung Wing House, *Ngau Tau Kok* Hongkong

5.3 Lärmbelastung

Wing Cheong Estate - Hong Kong Housing Authority
Wing Kit House
detecting time 26.08.2013, 10:30-15:45

A-C= position of detectings and situation of openings (closed or open)
A = outide of arc-screens (glass sword)
B = inside acoustic balcony (open loggia windows)
C = inside residential unit (open loggia door) natural ventilation with diagonal openingsconfiguration
D = inside residential unit (closed windows and loggia door)
detecting unit in Decibel (dB)

floor	A (in dB)	Δ AB (Differential in dB)	B (in dB)	Δ BC (Differential in dB)	C (in dB)	Δ CD (Differentiali n dB)	D (in dB)	Δ AD (Differential in dB)
groundfloor (1)	86,0		*		*		*	
3. floor (4)	85,5	4,5	81,0	11,1	69,9	5,0	64,9	20,6
8. floor (9)	84,0	4,0	80,0	11,5	68,5	8,0	60,5	23,5
16. floor (17)	80,8	7,8	73,0	9,0	64,0	8,0	56,0	24,8
32. floor (31)	76,0	8,3	67,7	4,7	63,0	8,0	55,0	21,0

( ) floor number Hong Kong
* at groundfloor no residential units

11

11 I Tabelle mit Übersicht der Dezibel-Messungen jeweils in der Wohneinheit Nr. 20 in den Geschossen 3, 8, 16 und 31 des *Wing Kit House, Wing Cheong Estate*, Hongkong, Ferdinand Oswald, 2013.

5.3 Lärmbelastung

7.3 Literaturquellen

01 Einführung

1.1 Problemstellung

Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauens vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland: Leitfaden Nachhaltiges Bauen, o. O. 2013.

Air Conditioner Energy or Electricity Consumption, Mapawatt 2009, Online unter: http://mapawatt.com/2009/06/23/how-much-electricity-does-my-ac-consume/ (Stand: 03.11.2012).

Lang , Siwei: Progress in energy-efficiency standards for residential buildings in China, in: Energy and Buildings 36 (2004), S. 1191–1196.

Energy Policy and Planning Office, Ministry of Energy, Royal Thai Government; Online unter: http://www.eppo.go.th/ (Stand: 17.02.2015).

Müller-Westermeier, Gerhard (Hg.), Wetter und Klima in Deutschland, Hirzel Verlag, Stuttgart 2006.

Grüne Bilanzen – Neue Deutsche Bank Türme, in: DBZ Deutsche BauZeitschrift, Ausgabe 9/2011, Bauverlag, Gütersloh, Frankfurt am Main

Umweltbundesamt Österreich, Berechnung von Treibhausgas (THG) verschiedener Energieträger, Datenstand Februar 2013, Online unter: http://www5.umweltbundesamt.at/emas/co2mon/co2mon.htm (Stand: 16.01.2014).

Frey, Andreas: Die reinste Sauna, in: Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung, 12.08.2012, S. 51.

Leistenschneider, Raimund / EIKE – Europäisches Institut für Klima und Energie: Der Wärmeinseleffekt (WI) als maßgeblicher Treiber der Temperaturen, Online unter: http://www.eike-klima-energie.eu/klima-anzeige/der-waermeinsel-effekt-wi-als-massgeblicher-treiber-der-temperaturen/ (Stand: 29.10.2012).

Office of Dissemination / China Statistics Press, National Bureau of Statistics of China: China Statistical Yearbook 2011, Peking 2012, S. 93.

1.3 Methodik

Energieministerium der Vereinigten Staaten (U.S. Department of Energy): Weather data Download. The compressed file (ZIP) which contains the following files for the location: EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY), Online unter: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm?CFID=685834&CFTOKEN=8a204601d3afbd4b-B8543EB6-9289-7E8DF9CCCA2
9E9A793C&jsessionid=3D227F78F29768C8E6240BDED16754CA.eere

1.4 Entwicklung der Bevölkerungs- und Bebauungsdichte in Hongkong

United Nations Statistical Commission : Demographic Yearbook - Table 3: Population by sex, rate of population increase, surface area and density, UN Stat. Retrieved 2010-01-31.3, Online unter: http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/dyb2011.htm (Stand: 18.02.2015).

Census and Statistic Department / Government oft he Hong Kong Special Administration Region, Online unter: http://www.censtatd.gov.hk/hkstat/sub/so20.jsp (Stand: 06.10.2013).

Goddard, Charles: The Clearance, in: City of Darkness: Life in Kowloon Walled City, S. 208–211.

Li , Yi: Ultra-Wohnhochhaus – Standorte und Gebäudetypologie der höchsten Wohnhäuser in Shanghai, Hongkong und Taipeh, Diss., Institut für Wohnen und Entwerfen der Universität Stuttgart, Prof. Thomas Jocher, Stuttgart 2012, S. 65.

Henke, Jutta: Geographie Infothek, Klett Verlag Leipzig, 2005.

Heckl, Franz Xaver, Dr. / Hebold, Wiebke: Geographie Infothek, Verlag Klett, Leipzig, www.klett.de (Stand: 23.08.2012).
Tieben ,Hendrik: The Orgin of Hong Kong Bbuilding Types, in: Christ , Manuel (Hg.) / Gantenbein, Christoph (Hg.): Hong Kong Typology. An architectural research on Hong Kong building types, gta publishers, ETH Zürich 2012, S. 41,43.

01 Einführung

E-Mail Hendrik Tiebens (Chinese University of Hong Kong) an Ferdinand Oswald vom 06.02.2015.

1.5 Der Einfluss der Klimaanlage auf die Entwicklung Wohnhaustypologien der Hong Kong Housing Authority

Chadwick, O.: Mr Chadwick's report on the Sanitary Condition of Hong Kong: With Appendices and Plans, Colonial Office, London 1882.

Shelton, Barrie: The Making of Hong Kong, From Vertikal to Volumetric, Routledge London - New York 2010, S. 38.

Hannemann, Christine: Die Platte. Industrialisierter Wohnungsbau in der DDR, Scheky & Jeep, Berlin 2000.

Ng, Edward / Wong, Kam-Sing: Efficiency & Livability: Towards Sustainable Habitation in Hong Kong. Paper on the Hong Kong Housing Authority Conference 2003, Department of Architecture / Chinese University of Hong Kong, S. 4, 5, 11, Online unter: http://www.housingauthority.gov.hk/hdw/ihc/pdf/paperv1.pdf

Ho, Celia / Sze, Sin: REinterpretation of Hong Kong Housing Typologies. Typology/the systematic classification of the type of something according to their common characteristics, Studio RE 2009, Hong Kong Publication on ISSUU, 2014.

Office Census and Statistics Department: 2006 Population By-census, Hong Kong 2007.

Le Corbusier: Towards a New Architecture, (auf Deutsch publiziert mit dem Titel „Ausblick auf eine Architektur"), o. O.1927.

Hong Kong Housing Authority: Housing in Figures, Hong Kong 2008.

Hong Kong Housing Authority: Open Architectural Design Competition Makes Success (Press Release), Hong Kong 2001.

2.1 Behaglichkeit

Szokolay, S.: Introduction to Architectural Science. The Basis of Sustainable Design, Routledge, London 2008, S. 20, 42.

Auliciems, A.: Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception, International Journal of Biometeorology 1981, o. O. o. J., S. 25, 109–122.

Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 67. Aufl., R. Oldenbourg Verlag, München - Wien 1994.

Energieministerium der Vereinigten Staaten (U.S. Department of Energy): Weather data Download. The compressed file (ZIP) which contains the following files for the location: EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY), Online unter: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm?CFID=685834&CFTOKEN=8a204601d3afbd4b-B8543EB6-9289-7E8DF9CCCA2 9E9A793C&jsessionid=3D227F78F29768C8E6240BDED16754CA.eere

2.2 Subtropisches und Tropisches Klima

E-Mail Dr. Richard Heimrath, (Institut für Wärmetechnik, TU Graz) an Ferdinand Oswald vom 18.10.2013.

Keller , Bruno / Rutz, Stephan: PINPOINT – Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, vdf Hochschulverlag AG, ETH Zürich, Zürich 2007, S. 45.

3.2 Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten

ÖNORM B-1800: 2002, Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken, 3., S. 3.

ÖNORM B-1800: 2002, Ermittlung von Flächen und Rauminhalten von Bauwerken, 4.2., S. 5.

ÖNORM B 1801-3:1999, Bauprojekt- und Objektmanagement – Planungskennzahlen, 4.1.1 Objektdaten zu Kennzahl-Bereich 1 Quantität, S. 5.

ÖNORM B 1801-1: 2009, Bauprojekt- und Objektmanagement, 6.2.1 Kennwertbildung, Objektdaten, S. 24.

ÖNORM B 1801-1: 2009, Bauprojekt- und Objektmanagement, 6.2.2 Kennwerte für Quantität, S. 24.

ÖNORM B 1801-1: 2009, Bauprojekt- und Objektmanagement, Bild 7, Planungskennwerte, S. 24.

ÖNORM B 1801-3: 1999, Bauprojekt- und Objektmanagement - Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

ÖNORM B 1801-1: 2009, 6 Bauprojekt- und Objektmanagement, Kennwertbildung, S. 24.

Kerz, Nicolas, Dipl.-Ing.: Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2013, in: Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauens vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland (BMVBS), Veröffentlichung Informationsportal, 2013, S. 35.

Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen (BNB) 3.2.2 Kriterium Flächeneffizienz, in: Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauen vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland (BMVBS), Veröffentlichung Informationsportal, Version 2011_1, S. A2.

EnEV 2007 - Energieeinsparverordnung für Gebäude, Anlage 1 Anforderungen an Wohngebäude, 1.4.3.

3.3 Standortbedingte Kühlmethoden – Psychrometrie

ÖNORM B 1801-3: 1999, Bauprojekt- und Objektmanagement - Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

3.4. Kühlmethoden-Funktionsweisen und deren Architektonische Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit

Lee, B.E. / Hussain, M. / Solliman, B.: Report No. BS50, in: A Method for the Assessment of Wind Induced Natural Ventilation Forces Acting on Low Rise Arrays, Department of Building Sciences / University of Sheffield, Großbritannien, 1980.

Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 33. S. 68. S. 84 S. 74. S. 112.

Brown, G.Z. / DeKay, Mark: Sun, Wind and Light – Architectural Design Strategies, John Wiley & Sons Inc., ^{3}2014, S. 242.; basierend auf: Melaragno,, Michele G.: Wind in Architectural and Environmental Design, Van Nostrand – Reinhold, New York 1982, und Givoni, Baruch: Man, Climate, and Architecture, Applied Science, London 1976, S. 289.

Evans, Benjamin H.: Natural Air Flow Around Buildings. Research Report, Texas Engineering Experiment Station, o. O. 1959.

Daniels, Klaus / Hinrichs , Dirk U. u.a. (Hg.): Plus minus 20°/40° latitude. Sustainable building design in tropical and subtropical regions, Edition Axel Menges, Stuttgart – London 2007, S. 54, 118, 262, 232.

Ng , Edward (Hg.): Designing High-Density Cities: For social & Environmental Suatainability, Earthscan, London 2010, S. 186.

Norford , Leslie: Low-Energy Building Design, Radiative Cooling, in: Glicksmann , Leon / Lin, Juintow (Hg.): Sustainable Urban Housing in China, Springer, Dordrecht 2006, S. 78.

U.S. Department of Energy : Wetterdaten Guangzhou, Weather data Download. EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY).

Grimm, Rudi: Verdunstungskühlung durch Pflanzen, in: bi-GaLaBau - Fachzeitschrift für den Garten- und Landschaftsbau,Bd. 1,2, 2011.

4.1 Vorstudie – tropisches Holz-Wohnhaus, Issan-Region, Thailand

Antarikananda , Paruj / Douvlou, Elena / McCartney, Kevin: Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand, in: PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6–8 September 2006, School of Architecture, University of Portsmouth, UK 2006.

Knierim , T: Asian Historic Architecture, Online unter: http://www.oriental-architecture.com/thaicountryside/thaihousesbindex.htm, (Stand: 11. 2004).

Prianto, E. / Bonneaud, F. / Depecker, P. / Peneau, J. P.: Tropical Humid Architecture in Natural Ventilation Efficient Point of View. A Reference of Traditional Architecture in Indonesia, in: CERMA Laboratory / Ecole d'Architecture de Nantes, France: International Journal on Architectural Science Nr. 2 (2000) , Bd. 1, S. 87.

Kindangen, J. / Krauss , G. / Depecker, P.: Effects of roofs shape on wind-induced air motion inside buildings, in: Building and Environment Nr.1 (1997), Bd. 32, S. 1–11.

Thai Meteorological Department, n.d.: Climate of Thailand, Online unter: http://www.tmd.go.th/climate/climate_01.html. (Stand: 15.11.2004).

4.2 Erste Fallstudie - The Met, Bangkok Thailand

Amornfa, K. / Phienwej, N. / Kitpayuck, P.: Current Practice on Foundation Design of High-Rise Buildings in Bangkok, in: International Association of Lowland and Technology (IALT): Thailand Lowland Technology International Nr. 2 (2012) Bd. 14, 70–83, 2013, S. 71.

Interview mit Ms. Jenitar Eve RCA (Sales Manager The Met, Bangkok) und, Mr. Korn Danudech (Technical Director The Met, Bangkok), geführt von Ferdinand Oswald, Singapur 04.04.2011.

Kishnani, Nirmahl: Greening Asia. Emerging Principles for Sustainable Architecture, Singapur 2012, S. 264.

4.3 Zweite Fallstudie - Skyville at Dawson, Singapur

Department of Statistics Singapore, Ministry of Trade & Industry, Republic of Singapore, Online unter: http://www.singstat.gov.sg/statistics/latest_data.html#12 , (Stand: 06.08.2014).

U.S. Department of Energy : Wetterdaten Guangzhou, Weather data Download. EnergyPlus weather files (EPW), a summary report on the data (STAT) and an ASHRAE Design Conditions Design Day Data file (DDY).

4.4 Vorstudie - traditionelles Hakka-Tulou, Longyan, China

Knapp, Ronald G.: China's Old Dwellings, Honolulu 2000, S. 264.

Aaberg-Jørgensen, Jens: Clan homes in Fujian, in: ARKITEKTEN Nr.28 (2000), S. 2-11.

Keller , Bruno / Rutz, Stephan: Fakten der Bauphysik zu nachhaltigem Bauen, Zürich 2007, S. 46–49.

Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel, Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 75.

Boltshauser, Roger / Rauch, Martin / Kapfinger, Otto (Hg.) / Simon, Axel (Hg.) Haus Rauch - Ein Modell moderner Lehmarchitektur, Birkhäuser Verlag, Basel 2010.

Laude, Olivier / Knapp, Ronald (Hg.): Unique Habitats, Village Landscapes, University of Hawaii Press, Honolulu 1992, S. 163–173.

4.5 Dritte Fallstudie: Urban Tulou, Guangzhou, China

Interview mit Frau Sandy Li Xiao Ming, wohnhaft in der Urban Tulou - Wohneinheit Nr. 607, geführt von Ferdinand Oswald, Guangzhou, 14.09.2012.

5.1 Vergleich der vier Fallstudien nach Kennwerten

Kerz, Nicolas, Dipl.-Ing.: Leitfaden Nachhaltiges Bauen 2013, in: Bewertungssystem für Nachhaltiges Bauens vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Stadtentwicklung der Bundesrepublik Deutschland (BMVBS), Veröffentlichung Informationsportal, 2013, S. 35.

ÖNORM B 1801-1: 2009, Bauprojekt- und Objektmanagement, Bild 7, Planungskennwerte, S. 24.
ÖNORM B 1801-3: 1999, Bauprojekt- und Objektmanagement – Planungskennzahlen, 4.3 Kennzahl-Typ, S. 9.

5.2 Modifikationen von bestehenden Wohnhochhäusern, Harmony, HKHA

Riewe, Roger, Prof. / Oswald, Ferdinand (Institut für Architerturtechnologie, TU Graz) / Brenn, Walter, Prof. / Meile, Gunther, Dr. (vom Institut für Strömungslehre und Wärmeübertragung, TU Graz): Forschungsprojekt: Optimierte Natürliche Belüftung – Entwicklung von konzeptionellen und grundlegenden Lösungsansätzen zur Verbesserung der natürlichen Querlüftung im Wohnhochhausbau in den Subtropen (Optimized Natural Ventilation – Development of conceptual and fundamental solutions to optimize natural ventilation in high-rise apartment buildings in sub-tropical regions); Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF), Wien , Oktober 2014.

5.3 Verringerung der Lärmbelastung Wing Cheong Estate, Hongkong

Tsoi, S. / Lai, C. / Lau, K. / Wong, K. H.: Innovative arc screen development for adaptive traffic noise mitigation of housing development using full scale prototype testing, in: Journal of the Acoustical Society of America 131/4 (2012) , S. 3530.

06 Fazit

6.1 Makroebene - Städtebaulicher Handlungsbedarf

Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 33.

6.2 Mesoebene – Gebäudetypologie

Busenkeller, M. / Cochala-Schmal, P.: WOHA Breathing Architecture, DAM Deutsches Architektur Museum, Frankfurt am Main, Prestel Verlag München, London - New York 2011, S. 80.

Interview mit Richard Hassell: India, as a society, is highly sustainable with a small ecological footprint, Online unter: Construction Update – India's No. 01 Construction Portal, http://www.constructionupdate.com
(Stand: 16.10.2012).

6.3 Mikroebene – Öffnungen und Fassadenstrukturen

DIN EN 1822-1:2011-01, High efficiency air filters (EPA, HEPA and ULPA) – Part 1: Classification, performance testing, marking; German version EN 1822-1:2009, Beuth Verlag GmbH, Berlin 2014.

Yin, W. / Zhang, G. / Yang, W. / Wang, X.: Natural ventilation potential model considering solution multiplicity, window opening percentage, air velocity and humidity in China, in: Journal of Building and Environment Nr.45 (2010), S. 338–344.

Busenkeller, M. / Cochala-Schmal, P.: WOHA Breathing Architecture, DAM Deutsches Architektur Museum, Frankfurt am Main, Prestel Verlag München, London - New York 2011, S. 16, 80.

Interview mit Richard Hassell: India, as a society, is highly sustainable with a small ecological footprint, Online unter: Construction Update – India's No. 01 Construction Portal, http://www.constructionupdate.com (Stand: 16.10.2012), Übersetzung aus dem Englischen ins Deutsche von Eva Paulusberger, Graz, 2013.

Hegger, Manfred / Hartwig, Joost / Keller, Michael / Reichel , Alexander (Hg.) / Schultz, Kerstin (Hg.): Wärmen und Kühlen.Konstruktionsreihe Scale, Birkhäuser, Basel 2012, S. 75.

6.4 Metaebene – alternative und traditionelle Konzepte

Ng , Edward (Hg.): Designing High-Density Cities: For social & Environmental Suatainability, Earthscan, London 2010, S. 186.

ENEV-Anforderungen, DIN 4109-2, o. O. 2014, S. 39.

Miller Llana, Sara / Ingwerson, Marshall (Hg.) : The Christian Science Monitor Magazine – NOOK Magazine, Boston 2011.

Tzonis, A. / Lefaivre, L. / Stagno, B.: Tropical Architecture. Critical Regionalism in the Age of Globalization, Wiley-Academy, 2001, S.1.

Umbach , M. / Huppauf, B.: Vernacular Modernism: Heimat, Globalization, and the Built Environment, in: Stanford University Press, 2005.

Antarikananda , Paruj / Douvlou, Elena / McCartney, Kevin: Lessons from traditional architecture: Design for a climatic responsive contemporary house in Thailand, in: PLEA2006 – The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland, 6–8 September 2006, School of Architecture, University of Portsmouth, Großbritannien 2006, S.1.

Busenkeller, M. / Cochala-Schmal, P.: WOHA Breathing Architecture, DAM Deutsches Architektur Museum, Frankfurt am Main, Prestel Verlag München, London - New York 2011, S. 16, 80.

7.1 Interview WOHA – Architects

ENEV-Anforderungen, DIN 4109-2, 2014, S. 39.

Lebensläufe von Wong Mun Summ und Richard Hassell, Online unter: http://woha.net/#about (Stand: 17.02.2015).

FO Publikationen

In folgenden Publikationen wurden bereits relevante Inhalte der Dissertation veröffentlicht:

Oswald, Ferdinand / Riewe, Roger (Hg.): High Density & Living Comfort. Requirements of Dense Housing Areas, mit Beiträgen von: Ada Fung, Pascal Berger, Stefan Krummeck, Stefan Holst, Nirmal Kishnani, Chye Kiang, Brian Cody Stefan Beck, Gary Chang; TU Graz Verlag, 2015.
(ISBN: 978-3-85125-377-1 Sprache: Englisch, 156 Seiten)

Oswald, Ferdinand: Wand statt Aggregat. Klimaregulierende Hüllen in subtropischen Wohngebäuden, in: U. Hirschberg, D. Gethmann, R. Riewe, (Ed.), GAM 09 Architecture Magazin, Walls: Spatial Sequences, Springer Verlag Berlin - Wien, 2013, S. 180-195.
(ISBN: 978-3-7091-0536-8 Sprache: Deutsch und Englisch)

Oswald, Ferdinand: Natural Ventilation of Residential High-Rises in Subtropical Regions, in: Antony Wood, Timothy Johnson and Gua-Qiang li (Hg.), Asia Ascending. Age of Sustainable Skyscraper City. A collection of state-of-the-art, multi-disciplinary papers on tall building and sustainable cities, Council of Tall Buildings and Urban Habitat, Chicago, 2012, S. 750-758.
(ISBN: 978-0-939493-33-3 Sprache: Englisch)

Oswald, Ferdinand: The Sustainability of High Risers and their Necessity of Specification, in: Sungwoo Shin (Hg.), International journal of Sustainable building technology and Urban Development, SUSB, Seoul, No. 4 (2011), Bd. 2, S. 283-286. (ISSN: 2093-761X Sprache: Englisch)

Oswald, Ferdinand: Residential High-Rises without the usage of Air-Conditioning in Tropical Regions. A Case Study of the Met in Bangkok, in: Sustainable Buildings Conference TU Graz 2013 - SB13, Online unter: http://castor.tugraz.at/doku/SB13_Graz/SB13_Graz_Fullpaper.pdf S. 781-791 (pdf S. 805-815) (Stand: 17.02.2015). (Sprache: Englisch)

FO Publikationen

Oswald, Ferdinand: Residential High-Rises without the usage of Air-Conditioning in Tropical and Subtropical Regions. Modification of existing Residential High-Rises, in: Asia Pacific Network for Housing Research Conference (APNHR 2013) Global Housing Dilemmas: The ways forward, Kuala Lumpur 2013; Online unter: https://docs.google.com/file/d/0B4LP6ZqCPuZEV2dHSVhRRFB0SWM/edit?pli=1 (Stand: 17.02.2015). (Sprache: Englisch)

Inhaltsübersicht **4**

Teil 01 Einführung **7**

Aufbau der Arbeit 9

1.1 Problemstellung **11**

1.1.1 Klimastandort 12
1.1.2 Energieverbrauch 13
1.1.3 Aufheizung der Städte 19
1.1.4 Zukunftsszenarien 20

1.2 Fragestellungen **23**

1.3 Methodik **27**

1.3.1 Vorhandene Studien und Simulationsmethoden (Stand der Forschung) 28
1.3.2 Vor-Ort-Messungen zu den Fallstudien 28
1.3.3 Kenngrößen und Kennwerte 28
1.3.4 Fallbeispiele 29
1.3.5 Forschung 29
1.3.6 Zielsetzung 29

1.4 Entwicklung der Bevölkerungs- und Bebauungsdichte in Hongkong **33**

1.4.1 Bevölkerungsdichte 35
1.4.2 Ultra-Wohnhochhäuser weltweit 37
1.4.3 Geschichtlicher Hintergrund Hongkongs 38
1.4.4 Durchschnittliche Wohnungsgröße in HK 41
1.4.5 Die staatliche Förderung von Eigentumswohnungen 42
1.4.6 *Pencil Towers* – eine architektonische Besonderheit 43
1.4.7 Das *Bay Window* 47

7.4 Detailliertes Inhaltsverzeichnis

1.5 Der Einfluss der Klimaanlage auf die Entwicklung Wohnhaustypologien der *Hong Kong Housing Authority* 51

1.5.1 Kolonialzeit und Vorgaben zur Belüftung – 1900 53
1.5.2 Erste HKHA-Wohnbauten – 1950 59
1.5.3 Die *Slab-Block*-Wohnhochhaustypologien – 1960 63
1.5.4 Die punktförmigen Wohnhochhaustypologien – 1970 69
1.5.5 Das Kühlaggregat in Hongkong – 1980 77
1.5.6 Standort-unspezifisch – 1990 87
1.5.7 Standortspezifische Projekte – 2000 95
1.5.8 Ursachen des Umdenkens – Fazit 97

Teil 02 Begriffsdefinitionen 103

2.1 Behaglichkeit 105

2.1.1 Einflussfaktoren der Behaglichkeit 107
2.1.2 Behaglichkeit und Umgebungstemperatur 108
2.1.3 Temperaturempfinden und Wind 110
2.1.4 Psychromatische Behaglichkeitsdarstellung 111
2.1.5 Klimastandortbedingte Behaglichkeit 114
2.1.6 Methoden zur Messung von Temperatur, Feuchtigkeit, Strahlung und Luftströmung 118

2.2 Subtropisches und Tropisches Klima 121

2.2.1 Geografische Lage der Subtropen und Tropen 123
2.2.2 Jahreszeiten 125
2.2.3 Ausgewählte Standorte und Sonnenstand 127
2.2.4 Spezifizierte Quellen- und Wetterdaten 129
2.2.5 Luftfeuchtigkeit 132
2.2.6 Temperatur 132
2.2.7 Temperaturdifferenz Tag/Nacht 133

Teil 03 Bewertungsmethoden und -kriterien **137**

3.1. Betrachtungsebenen der Analyse **139**

3.1.1 Makro-Ebene 140
3.1.2 Meso-Ebene 140
3.1.3 Mikro-Ebene 140
3.1.4 Metaebene 141

3.2 Bewertung mit ausgewählten Kenngrößen und Kennwerten **143**

3.2.1 Kenngrößen 145
3.2.2 Kennwerte 161
3.2.3 Anwendung 175

3.3 Standortbedingte Kühlmethoden - Psychrometrie **177**

3.3.1 Psychrometrisches Diagramm zum Beispiel Longyan, China 179
3.3.2. Die Mängel dieses Modells 183

3.4. Kühlmethoden-Funktionsweisen und deren Architektonische Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit **185**

3.4.1 Natürliche Belüftung 187
3.4.2 Verringerung der solaren Energieeinträge 215
3.4.3 Speichermassenkühlung 228
3.4.4 Verdunstungskühlung 243

A Tropen

Teil 04 - Analyse der Fallstudien **258**

4.1 Vorstudie - tropisches Holzhaus, Issan, Thailand **261**

4.1.1 Vergleich traditionelles Holz-Wohnhaus mit zeitgenössischem (konventionellem) massivem Wohnhaus 263
4.1.2 Issan – Wohnkomfortmessungen 278

4.2 Erste Fallstudie - *The Met*, Bangkok, Thailand 293

4.2.1 Projektbeschreibung 295
4.2.2 Natürliche Belüftung 298
4.2.3 Verringerung der solaren Energieeinträge 311
4.2.4 Speichermasse 313
4.2.5 Verdunstungskühlung 317
4.2.6 Bewertung des *The Met* nach Kennwerten 325
4.2.7 Verbesserungspotential/Fazit 338

4.3 Zweite Fallstudie - *Skyville* , Singapur 341

4.3.1 Projektbeschreibung 343
4.3.2 Natürliche Belüftung 347
4.3.3 Verringerung der solaren Energieeinträge 357
4.3.4 Speichermasse 361
4.3.5 Verdunstungskühlung 363
4.3.6 Bewertung *Skyville* nach Kennwerten 369
4.3.7 Verbesserungspotential/Fazit 382

B Subtropen

4.4 Vorstudie - traditionelles Tulou, Fujian Region, China 387

4.4.1 Projektbeschreibung 389
4.4.2 Natürliche Belüftung 395
4.4.3 Verringerung und Nutzung der solaren Energieeinträge 403
4.4.4 Speichermasse 404
4.4.5 Verdunstungskühlung 406
4.4.6 Fazit 407

4.5 Dritte Fallstudie - *Urban Tulou*, Guangzhou, China 411

4.5.1 Projektbeschreibung 413
4.5.2 Natürliche Belüftung, Speichermasse und solare Energieeinträge 419
4.5.3 Psychrometrisches Diagramm 435
4.5.4 Bewertung des *Urban Tulou* nach Kennwerten 439
4.5.5 Verbesserungspotential/Fazit 452

4.6 Vierte Fallstudie - *Ngau Tau Kok*, Hongkong 457

4.6.1 Projektbeschreibung 459
4.6.2 Natürliche Belüftung 465
4.6.3 Verringerung der solaren Energieeinträge 478
4.6.4 Speichermasse 488
4.6.5 Psychrometrisches Diagramm 491
4.6.6 Bewertung des *Ngau Tau Kok* nach Kennwerten 493
4.6.7 Verbesserungspotential/Fazit 506

Teil 05 Vergleich der Fallstudien und Forschungsbedarf 511

5.1 Vergleich der vier Fallstudien mit Kennwerten 513

5.1.1 Netto-Grundflächenquotient (NGFQ) 515
5.1.2 Flächeneffizienzkennwert (Feff) 517
5.1.3 Verkehrsflächenquotient (VFQ) 519
5.1.4 Gebäudedichtequotient (GDQ) 523
5.1.5 Brutto-Rauminhaltsquotient (BRIQ) 525
5.1.6 Luftanteilsquotient (LAQ) 527
5.1.7 Hüllflächenquotient (HÜLQ) – A/V-Verhältnis 531
5.1.8 Nutzungseinheitenquotient (NEQ) – Größe der Wohneinheiten 535
5.1.9 Verkehrsflächen-Nutzungseinheitenzahl (VFNE) 537
5.1.10 Nutzerquotient (NUQ) (Belegungsdichte) und Nutzfläche pro Person (NP) 539
5.1.11 Nutzeranzahl gesamt (NUA) 543
5.1.12 Gebäudebewohnerquotient (GBQ) (Gebäudebewohnerdichte) und Grundfläche pro Person (GP) 543
5.1.13 Fazit 547

5.2 Modifikation von bestehenden Wohnhochhäusern 549

5.2.1 Projektbeschreibung 551
5.2.2 Windsimulation Bestand 554
5.2.3 Modifikation 555
5.2.4 Ergebnis 561
5.2.5 Konzeptoptimierung 565
5.2.6 Fazit 566

5.3 Verringerung der Lärmbelastung, Wing Cheong Estate, Hongkong **571**

5.3.1 Projektbeschreibung 573
5.3.2 Messergebnisse 579
5.3.3 Verbesserungspotential/Fazit 583

Teil 06 Fazit und Ausblick **587**

6.1 Makroebene - Städtebaulicher Handlungsbedarf **589**

6.2 Mesoebene – Gebäudetypologie **593**

6.2.1 Architektonische Potentiale zur Verbesserung der Behaglichkeit 594
6.2.2 Das Hochhaus als Chance zur Verbesserung der Behaglichkeit 596

6.3 Mikroebene – Öffnungen und Fassadenstrukturen **599**

6.3.1 Forschungsbedarf: Die Notwendigkeit der Entwicklung von neuen Fassadenöffnungen 600
6.3.2 Forschungsbedarf: solare Energieeinträge 601
6.3.3 Hightech versus Lowtech 602

6.4 Metaebene – alternative und traditionelle Konzepte **607**

6.4.1 Alternative Wege zur Reduzierung der A/C-Nutzung 608
6.4.2 Learning from the past? 611

6.5 Schluss **613**

Teil 07 Anhang **615**

7.1 Interview WOHA - Architects **617**

7.2 Tabellenverzeichnis **647**

7.3 Literaturquellen **661**

7.4 Detailliertes Inhaltsverzeichnis **677**