

Technische Universität Graz

Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien für bauliche Maßnahmen im Wärmeschutz

MASTERARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs
der Studienrichtung Bauingenieurwissenschaften

von

Gernot Fink

Technische Universität Graz
Erzherzog-Johann Universität

Eingereicht am
Institut für Hochbau und Bauphysik

Begutachter:
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.iur. Dr.techn. Peter Kautsch

Betreuer:
Dipl.-Ing. Dr.techn. Architekt Michael Grobbauer

Graz, im Juni 2010

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich versichere:

hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

dass ich diese Masterarbeit bisher weder im In- noch im Ausland einem Beurteiler oder einer Beurteilerin in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

dass diese Masterarbeit bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht wurde.

Graz, am Juni.2010

Gernot Fink

DANKSAGUNG

Hiermit möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mir beim Verfassen dieser Masterarbeit wie auch im Studium der Bauingenieurwissenschaften jederzeit zur Seite gestanden sind und mich in allen Lebenslagen unterstützt und geholfen haben.

Besonderen Dank gebührt an dieser Stelle meiner Familie, speziell meinen Eltern Christine und Johann, die mir dieses Studium an der TU-Graz ermöglicht und mir hiermit eine gute Basis für meinen weiteren Lebensweg geschaffen haben.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinem Betreuer Herrn DI Dr.techn. Architekt Michael Grobbauer vom Institut von Hochbau und Bauphysik der Technischen Universität Graz für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und Betreuung während der Erstellung dieser Masterarbeit bedanken. Er ist auch jene Person, der wegen seiner unverkennbaren tollen Persönlichkeit mir wieder den Spaß am Konstruieren gegeben hat, indem er mir zeigte wie anspruchsvoll, aber auch wie wundervoll Ingenieurbaukunst sein kann, wenn man Bauphysik und etwas Feingefühl in ein Detail einbringt.

Beim Herrn BM Lackner und der Frau Ing. Schöffmann der Firma Singer & Co Bauges.m.b.H. aus Hartberg möchte ich mich recht herzlich bedanken für die Führung durch das Passivhaus Singer und die zur Verfügung gestellten Unterlagen des Passivhauses für meine Masterarbeit.

Besonderes Lob gebührt an dieser Stelle meiner langjährigen Freundin Andrea, die mich in den fünf Jahren meiner Studienzeit jederzeit unterstützt und motiviert hat.

Bedanken möchte ich mich insbesondere bei jenen Studienkollegen, die gemeinsam mit mir nach der HTL Ortwein und dem absolvierten Präsenzdienst an der Technischen Universität begonnen haben. Wir haben uns gegenseitig in den einen oder anderen Übungen, Projekten oder Seminaren unterstützt und standen uns im Studium immer Rede und Antwort für etwaige Problemstellungen.

Abschließend danke ich auch meinen Freunden, Verwandten und Bekannten für die moralische Unterstützung während meiner wundervollen Studienzeit.

KURZFASSUNG

Niedrigenergiehaus, Passivhaus, EU-Gebäuderichtlinie und Energieausweis sind Schlagwörter der aktuellen Debatte, die dazu beitragen sollen, Bauten hinsichtlich ihres regionalen und globalen Energiebedarfes zu reduzieren.

Entwurf und technische Konzeption finden in einem Planungsstadium statt, in dem kaum oder nur sehr überschlägige Berechnungen angestellt werden. Werden dabei ungünstige Ausgangssituation geschaffen, führen sie in Folge oftmals nicht mehr zu einer optimalen Lösung. Die frühe Berücksichtigung guten Wärmeschutzes erfordert die Beachtung grundlegender Voraussetzungen und Umstände.

Daher muss der Fokus zur Reduktion des Energiebedarfes für Gebäude primär in den wärmeschutztechnischen Prinzipien liegen.

Einleitend wird erläutert warum der Wärmeschutz für Gebäude eine so große Bedeutung darstellt.

Im Hauptteil der Arbeit werden vorwiegend für Neubauten die Prinzipien für bauliche Maßnahmen im Wärmeschutz behandelt. Dabei wird zwischen den folgenden Fragestellungen differenziert:

- Wie kann ich die Prinzipien des Wärmeschutzes beeinflussen, um die Wärmeverluste zu minimieren?
- Wie kann ich die Prinzipien des Wärmeschutzes beeinflussen, um die Wärmegewinne zu optimieren?

Das Benutzerverhalten eines Gebäudes hat entscheidenden Einfluss auf den Energiebedarf. Einsparpotentiale durch ein günstiges Nutzerverhalten werden daher in Folge aufgezeigt.

Schlussendlich werden im Ausblick Aspekte angesprochen, wie hinsichtlich Wärmeschutz in Zukunft gebaut und gelehrt werden soll.

ABSTRACT

Low-energy house, Passive House, EU Directive and Energy Performance Certificates for Buildings are catchwords in the current debate, which will help to reduce the regional and global energy requirements of buildings.

Design and technical conception take place in a planning stage, in which only rough calculations are made, which often leads to the creation of a bad initial situation. If this is the case, afterwards it is difficult to achieve an optimal solution. The early regard of good cleading requires that fundamental conditions and circumstances are taken under consideration.

Therefore, in order to reduce the energy requirements of buildings we must focus on the technical cleading principles.

In the introduction it is explained why cleading for buildings is so important.

The main part of the work deals with the principles for building measures of cleading in terms of new buildings. Two main questions are being examined:

How can I influence the principles of cleading to minimize the loss of heat?

How can I influence the principles of cleading to optimize the gain of heat?

The user behaviour of a building has a decisive influence on the energy demand. In succession, potential savings because of favourable good user behaviour are shown.

Finally, the outlook concentrates mainly on how cleading should be constructed and taught in the future.

INHALTSVERZEICHNIS

1	WÄRMESCHUTZ ZUR VERMEIDUNG DES KLIMAWANDELS.....	1
2	ENERGIEBILANZ DES GEBÄUDES	3
2.1	Energiebilanz.....	3
2.2	Wärmegewinne	4
2.2.1	Heizwärmebedarf (HWB).....	5
2.2.2	Aktive und passive solare Wärmegewinne	7
2.2.3	Interne Wärmegewinne	8
2.3	Wärmeverluste	8
2.3.1	Transmissionswärmeverluste	8
2.3.1.1	Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile	9
2.3.1.2	Taupunkt- und Schimmelpilztemperatur.....	10
2.3.1.3	Energietransport	11
2.3.2	Lüftungswärmeverluste	14
2.4	Reduktion des Kühlenergiebedarfs (KEB)	17
3	MINIMIEREN DER WÄRMEVERLUSTE	18
3.1	Globalstrahlung→Temperatur→Wind.....	18
3.1.1	Globalstrahlung	18
3.1.2	Klima, Wetter und Witterung.....	23
3.1.3	Globale Temperaturverteilung	25
3.1.4	Wind	27
3.2	Standortwahl	28
3.2.1	Temperaturverhältnisse am Standort	28
3.2.1.1	Einleitung	28
3.2.1.2	Standortwahl bezüglich der Temperaturverhältnisse	29
3.2.1.3	Thermisch induzierte Luftdruckunterschiede (Auftriebs-Effekt)	35
3.2.1.4	Zusammenfassung	39
3.2.2	Windverhältnisse am Standort und am Gebäude	40
3.2.2.1	Einleitung	40
3.2.2.2	Wirksame Prinzipien und deren Umsetzungsmöglichkeiten gegen Windeinflüsse	40
3.2.2.3	Zusammenfassung	46
3.3	Kompaktheit der Gebäudeform	49
3.3.1	Einleitung.....	49

3.3.2	Beispiele für kompakte Bauweisen.....	51
3.3.3	Beispiele für günstige Gebäudeformen	56
3.3.4	Zusammenfassung	57
3.4	Transmissionswärmeverluste von Bauteilen.....	58
3.4.1	Einleitung.....	58
3.4.2	Außenwandkonstruktionen	61
3.4.3	Dachkonstruktionen.....	64
3.4.4	Erdberührte Bauteile.....	67
3.4.5	Bauteile zu Pufferräumen	68
3.4.6	Fenster, Türen und Verglasungen	68
3.4.6.1	Einleitung	68
3.4.6.2	Wärmeschutzverglasungen	70
3.4.6.2.1	Glasscheiben und Beschichtung.....	71
3.4.6.2.2	Folien.....	73
3.4.6.2.3	Randverbund.....	73
3.4.6.2.4	Füllgase.....	77
3.4.6.3	Rahmenmaterial für Fensterprofile	77
3.4.7	Lage der Fenster in der Wandkonstruktion.....	78
3.4.8	Temporärer Wärmeschutz.....	80
3.4.9	Zusammenfassung	83
3.5	Strahlungsverluste	84
3.5.1	Einleitung.....	84
3.5.2	Konstruktive Maßnahmen gegen Sekundärkondensat zufolge Strahlungsverluste....	85
3.5.2.1	Opake Bauteile	85
3.5.2.2	Transparente Bauteile	86
3.5.2.3	Hinterlüftete Bauteile	86
3.5.3	Zusammenfassung	87
3.6	Luftdichtheit der Gebäudehülle	88
3.6.1	Einleitung.....	88
3.6.2	Entwurfsbezogene und konstruktive Umsetzung einer dichten Gebäudehülle	90
3.6.3	Zusammenfassung	96
3.7	Wärmebrückenfreies Bauen.....	97
3.7.1	Einleitung.....	97
3.7.2	Wärmebrückenarten und konstruktive Massnahmen.....	97
3.7.2.1	Geometrische Wärmebrücke	97

3.7.2.2	Stoffbedingte Wärmebrücke	98
3.7.2.3	Konvektive Wärmebrücken oder Wärmelecks	102
3.7.3	Zusammenfassung	102
3.8	Thermische Dehnung	103
3.8.1	Einleitung	103
3.8.2	Konstruktive Maßnahmen	104
3.8.3	Zusammenfassung	108
4	OPTIMIEREN DER WÄRMEGEWINNE	110
4.1	Ausrichtung des Gebäudes und der Bauteilflächen	110
4.1.1	Einleitung	110
4.1.2	Sonnenstandsdiagramm	110
4.1.3	Sonnenstrahlungsverhältnisse am Standort und am Gebäude	112
4.1.4	Wärmegewinne durch transparente Bauteile	114
4.1.5	Fensterlage und -form in der Fassade	118
4.1.6	Grundrisszonierung	121
4.1.7	Zusammenfassung	123
4.2	Speicherwirksame Massen	125
4.2.1	Einleitung	125
4.2.2	Anwendungs- und Ausführungsmöglichkeiten von speicherwirksamen Massen	127
4.2.3	Zusammenfassung	131
4.3	Wärmegewinne durch Außenwände	132
4.3.1	Einleitung	132
4.3.2	Opake ungedämmte Außenwände	132
4.3.2.1	Schwere einschalige Außenwand	132
4.3.2.2	Trombe-Wand	133
4.3.2.3	Wasser-Speicherwand	135
4.3.3	Transparente und lichtdurchlässige Dämmungen auf der Aussenwand	136
4.3.3.1	Einleitung	136
4.3.3.2	Funktionsprinzipien von transparenten Wärmedämmungen (TWD)	136
4.3.3.2.1	Direktgewinnsystem	137
4.3.3.2.2	Solarwand	137
4.3.3.2.3	Thermisch abgekoppelte Systeme	138
4.3.3.3	Transparente Wärmedämmmaterialien	140
4.3.3.4	Verglasung und TWD-Paneele sowie die konstruktiven Einsatzmöglichkeiten von TWD-Systemen	143

4.3.4	Zusammenfassung	147
4.4	Wintergarten	148
4.4.1	Einleitung	148
4.4.2	Funktionsprinzip des Wintergartens	149
4.4.3	Wirksame Prinzipien für entwurfstechnische und konstruktive Maßnahmen	150
4.4.3.1	Gebäudeorientierung	150
4.4.3.2	Optimale Wintergartenform	151
4.4.3.3	Konstruktive Bauteilausführungen des Wintergartens	151
4.4.3.3.1	Dachkonstruktion	151
4.4.3.3.2	Glasfassade	152
4.4.3.3.3	Speicherwirksame Gebäudemassen im Wintergarten	154
4.4.3.4	Sonnenschutz	155
4.4.4	Zusammenfassung	155
4.5	Vermeidung von sommerlicher Überwärmung	156
4.5.1	Einleitung	156
4.5.2	Reduktion der Strahlungsenergie durch transparente Bauteile	159
4.5.2.1	Mechanische Sonnenschutzeinrichtungen	159
4.5.2.2	Baulicher Sonnenschutz	160
4.5.2.3	Natürlicher Sonnenschutz und adiabate Kühlung	160
4.5.3	Reduktion der Strahlungsenergie von Verglasungen	162
4.5.3.1	Sonnenschutzverglasungen	162
4.5.3.2	Sonnenschutzfolien	163
4.5.4	Reduktion der internen Wärmegewinne	164
4.5.5	Speicherwirksame Massen	165
4.5.6	Zusammenfassung	167
4.6	Wärmegewinne durch Konvektion	168
4.6.1	Einleitung	168
4.6.2	Möglichkeiten um konvektive Wärmegewinne zu vermeiden	168
5	NUTZERVERHALTEN	170
5.1	Die mittlere Raumtemperatur	170
5.1.1	Einleitung	170
5.1.2	Möglichkeiten zur Reduktion der Raumtemperatur	172
5.2	Lüftungsverhalten	173
5.2.1	Einleitung	173

5.2.2	Lüftungsarten	174
5.3	Bedienung der Haustechnik	179
5.3.1	Regelung des Heizsystems	179
5.3.2	Verschattungen	180
6	RESÜMEE.....	182
6.1	Zusammenfassung.....	182
6.2	Ausblick.....	183
	QUELLENVERZEICHNIS.....	186
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	192
	TABELLENVERZEICHNIS.....	196

Soweit im Folgenden personenbezogene Bezeichnungen nur in weiblicher oder nur in männlicher Form angeführt sind, beziehen sich diese, soweit aus dem Inhalt nichts Gegenteiliges hervorgeht, auf Männer und Frauen in gleicher Weise.

1 WÄRMESCHUTZ ZUR VERMEIDUNG DES KLIMAWANDELS

Klimaschwankungen gab es in der Erdgeschichte schon immer. Mehrere Vulkanausbrüche gleichzeitig oder große Meteoriteneinschläge folgten auf einen Klimawechsel, durch den sogar ganze Spezien ausstarben.

Im Bauwesen stand in der vorindustriellen Zeit das Problem des Wärme- bzw. Klimaschutzes noch gar nicht zur Debatte. Vor der industriellen Revolution waren die wichtigsten Energiequellen Mensch, Tier, Wasser, Wind und Holz. Damals heizte man ausschließlich mit dem nachwachsenden Energieträger Holz, der zur Genüge vorhanden war. Die beim Verbrennen von Holz entstandenen Kohlendioxide (CO_2) konnten damals durch die Atmosphäre noch gebunden werden. Das Problem kam erst Mitte des 19. Jahrhunderts mit der Kohleförderung, wodurch Holz rasch durch Kohle und Koks, später auch noch durch Erdöl und Erdgas verdrängt wurde, und die Erhöhung der CO_2 -Emissionen seinen Lauf nahm. Genau seit dieser Industrialisierung wurde die Zusammensetzung der Atmosphäre durch das Verbrennen von fossilen Brennstoffen durch den Menschen stark beeinflusst.

Durch den Anstieg der Treibhausgase¹ kommt es zur rasanteren globalen Erwärmung durch den Treibhauseffekt. Er ist ein natürlicher Effekt, ohne den die Erde in der Nacht auskühlen würde. Der natürliche Treibhauseffekt entsteht dadurch, dass kurzwellige Sonnenstrahlen (UV-Strahlen) durch die Atmosphäre fast ungehindert auf die Erdoberfläche auftreffen, wobei ein gewisser Teil absorbiert und der Rest reflektiert wird. Bei der Absorption wird das kurzwellige Sonnenlicht in Wärmeenergie umgewandelt, welche als langwellige Wärmestrahlung (IR-Strahlung) wieder in die Erdatmosphäre abgestrahlt wird. Für die Erwärmung der Erdatmosphäre sind die Treibhausgase, zum Großteil der Wasserdampf (H_2O) und nebenbei auch durch das Verbrennen der Energieträger entstehende Kohlendioxid (CO_2), verantwortlich. Wegen der Treibhausgase können die langwelligen Wärmestrahlen nicht in den Weltraum entweichen, sondern werden nun zu einem großen Teil wieder auf die Erdoberfläche zurückreflektiert. Durch diese Rückreflexion der Wärmestrahlung erwärmt sich die Erde, wobei sich dieser Effekt mit den ansteigenden CO_2 -Emissionen in der Erdatmosphäre verstärkt.

¹ fachliche Anm.: Die Treibhausgase sind strahlungsbeeinflussende gasförmige Stoffe in der Luft. [51]

Daher liegt die Hauptaufgabe des Wärmeschutzes in Bezug auf den Klimaschutz darin, diese CO₂-Emissionen zu reduzieren. Das für das Bauwesen relevante Thema für eine Verringerung des CO₂-Ausstoßes ist die Energieeinsparung durch Reduktion des Energiebedarfes für Gebäude. Dabei müssen alle Länder der Erde ihren Teil dazu beitragen eine Reduktion des CO₂-Ausstoßes zu erzielen.

Die Atmosphäre hat keine Staatsgrenzen, wobei jeder das Recht auf eine gesunde und hygienische Atmosphäre hat. Ein generelles Anliegen bezüglich Wärmeschutzes liegt darin, dass ein schonender Umgang mit Energieträgern praktiziert wird um die Wahrung der Erde für nachfolgende Generationen sicher zu stellen. Daher muss schon heute der Wärmeschutz von Gebäuden bewusst angewandt werden, indem die hauptsächlich wärmeschutztechnischen Prinzipien verstanden und umgesetzt werden.²

WÄRMESCHUTZ ZUR VERMEIDUNG DES KLIMAWANDELS, GEWUSST WIE,
SCHON HEUTE!

² vgl. [76], [81]

2 ENERGIEBILANZ DES GEBÄUDES

2.1 ENERGIEBILANZ

Aus der Energiebilanz des Gebäudes ist ersichtlich, dass die Wärmeverluste aus den

- Transmissionswärmeverlusten,
- Lüftungswärmeverlusten und
- der Aufheizleistung³

mit den Wärmegewinnen aus,

- internen Wärmegewinnen,
- Solargewinnen (passiv und aktiv) und dem
- Heizwärmebedarf

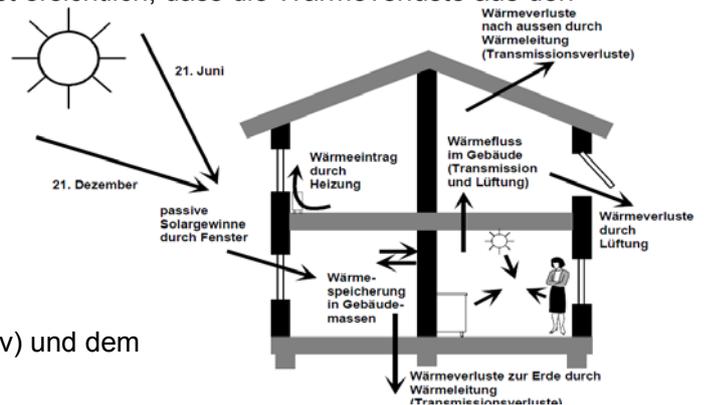


Abb. 2-1: energetisches System des Gebäudes, [31]

gleich hoch sein müssen, um eine konstante behagliche Rauminnentemperatur sicher zu stellen.⁴

Die Einflussfaktoren der Wärmeflüsse in der Energiebilanz liegen bei den Transmissionswärmeverlusten, Lüftungswärmeverlusten, solaren passiven Wärmegewinnen und beim Heizwärmebedarf, z.B. bei der aktiven Nutzung der Solarstrahlung.

Zielgedanke ist eine Gebäudehülle mit geringen Wärmeverlusten zu erzeugen und die passiven Wärmegewinne optimal anzupassen, damit das Gebäude ohne separates Heiz- und Klimatisierungssystem auskommt (Nullenergiehaus).

Verluste	Gewinne
Transmissionswärmeverluste	Heizwärmebedarf: konventionelle Heizsysteme oder aktive solare Wärmegewinne durch z.B. Sonnenkollektoren, Solarzellen, Wärmepumpen.
Lüftungswärmeverluste	passive solare Gewinne
Aufheizlast	interne Gewinne

Tab. 2-1: schematische Darstellung der Wärmebilanz eines Gebäudes, [14], S. 86

³ Anm.: Aufheizlasten sind jene Energiemengen, die bei der Wärmeerzeugung und -verteilung verloren gehen.

⁴ vgl. [2], S. 2/1

Durch die Differenz der Wärmeflüsse aus den beiden Bilanzposten der Wärmegewinne und -verluste über die Nutzungsdauer eines Jahres ermittelt man den theoretischen Heizwärmebedarf.⁵

2.2 WÄRMEGEWINNE

Der wichtigste Aspekt der passiven Nutzung von solaren Strahlungsgewinnen liegt nicht im Schaffen eines Maximums, sondern dass die passiven Wärmegewinne eine optimale Ergänzung zu den Wärmeverlusten in der Energiebilanz bieten sollen.

Das Ziel für die Höhe der Wärmegewinne ist erreicht, wenn der Heizwärmebedarf in der Energiebilanz Null wird.

Fallen im Vergleich zu den Wärmeverlusten erhöhte Wärmegewinne an, kommt es zwangsläufig zu einem Wärmeüberschuss, der die Raumtemperatur erhöht. Dieser Wärmeüberschuss im Gebäude wirkt sich folglich negativ auf den Heizwärmebedarf aus. Der Benutzer versucht zwangsläufig in der Heizperiode durch erhöhte Lüftungsvorgänge diese Überschusswärme abzuführen und/oder durch Verschatten der Räume keine weiteren Wärmegewinne mehr zu erzielen. Durch dieses Nutzerverhalten erhöht sich gegensätzlich der Heizwärmebedarf. Daher muss das Gebäudekonzept einen Wärmeüberschuss vermeiden.

Vorausgehend müssen für Gebäude die optimierten Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien für die Minimierung der Wärmeverluste (Transmissions- und Lüftungswärmeverluste) eingehalten werden. Nachfolgend werden die passiven Wärmegewinne optimal an das Energiekonzept des Gebäudes angepasst. Abschließend müssen die aktiven Wärmegewinne für einen eventuell noch benötigten Heizwärmebedarf des Gebäudes dementsprechend abgestimmt werden.

Transparente Bauteile haben aufgrund ihrer thermischen Eigenschaften die größten Transmissionswärmeverluste zu verzeichnen, sind aber auch in der Lage die größten Wärmegewinne zu erzielen.

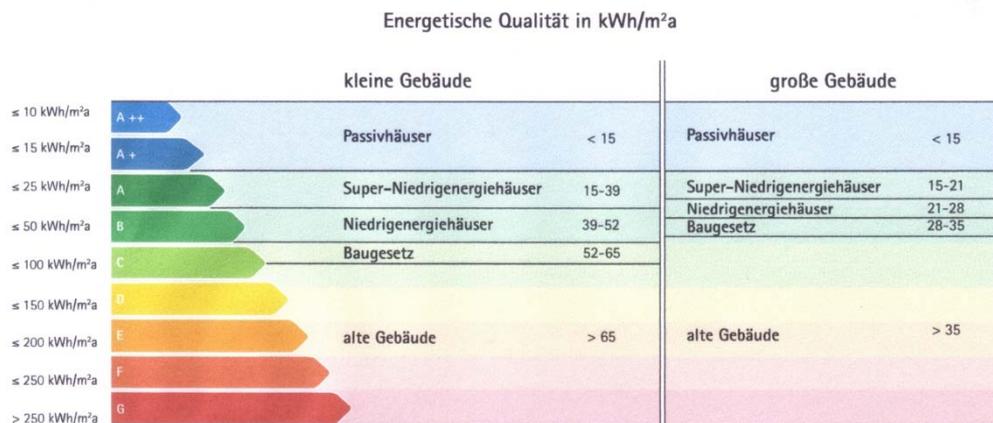
Ein günstiger Gebäudestandort mit einer südorientierte Bauweise, in Verbindung mit einer nach den Himmelsrichtungen ausgerichteten Grundrisszonierung und erhöhten Fensterflächenanteilen im Süden, durch Ausnutzung der tiefstehenden Sonne im Winter, sind einzuhaltende und vorauszusetzende Entwurfsprinzipien für erhöhte Wärmegewinne von Gebäuden.

⁵ vgl. [14], S. 86

Beim Optimieren der Wärmegewinne werden im Kapitel 4 Gesetzmäßigkeiten bzw. Prinzipien nachgegangen und Überlegungen bestätigt, welche schlussendlich den Heizwärmebedarf des Gebäudes reduzieren.

2.2.1 HEIZWÄRMEBEDARF (HWB)

Beim Energieausweis werden Gebäude in eine Energieklassenskala von A++ bis G nach dem Heizwärmebedarf (HWB) eingeteilt. Aus dem Berechnungsergebnis lässt sich dann die thermische Qualität des Gebäudes bewerten, die einen Hinweis auf die zu erwartenden Energiekosten gibt.⁶



Tab. 2-2: Energieklasseneinteilungen, deren Grenzwerte nach der steirischen Wohnbauförderung (Stand: September 2008) eingeteilt sind. [64]

$$\text{HEB} = \text{HWB} + \text{HTEB} (+ \text{WWWB}) \text{ [kWh/m}^2\text{a]}$$

(Formel 2-1)

Der Heizenergiebedarf (HEB) setzt sich aus der Summe des Heizwärmebedarfes (HWB), des Heiztechnikenergiebedarfes (HTEB) und dem Warmwasserwärmebedarf (WWWB), der getrennt oder gemeinsam mit eingerechnet werden kann zusammen. Abhängig ist das vom verwendeten Heizsystem. Wird z.B. eine Solaranlage für die Warmwasseraufbereitung verwendet, darf der WWWB nicht beim HEB in Rechnung gestellt werden. Hierfür fallen nämlich aufgrund der Gratisenergienutzung der Sonne keine jährlichen Energiekosten für den Benutzer an.

⁶ fachliche Anm.: Die Grenzwerte für den Heizwärmebedarf eines Passivhauses liegen auch nach der Definition des Passivhaus-Institutes Darmstadt bei höchstens 15 kWh/m²a. Weitere Kriterien, die für Passivhäuser zu erfüllen sind, sind: Heizlast ≤ 10 W/m²; Luftdichtheit n₅₀ ≤ 0,6/h; Primärenergiebedarf ≤ 120 kWh/m²a. vgl. [79]

Der Heizwärmebedarf (HWB) gibt jene abgegebene Wärmemenge an, die von Wärmeabgabegeräten (z.B. von Heizkörpern) in die Räume abgeben werden müssen, um während der Heizperiode eine geforderte konstante nutzerabhängige Raumtemperatur zu gewährleisten.

Gebäude- oder Raumtyp	$\theta_{int,i}$ °C	Gebäude- oder Raumtyp	$\theta_{int,i}$ °C	Gebäude- oder Raumtyp	$\theta_{int,i}$ °C
Einzelbüro	20	Restaurant	20	Wohnung	20
Großraumbüro	20	Klassenraum	20	Badezimmer	24
Konferenzraum	20	Kindergarten	20	Kirche	15
Auditorium	20	Kaufhaus	16	Museum	16

Tab. 2-3: Norm-Innentemperaturen $\theta_{int,i}$ für verschiedene Gebäude- oder Raumtypen, [18], S. 83

Der Heiztechnikenergiebedarf (HTEB) gibt jene verlorengegangenen Energiemengen der Wärmeverteilung der Heizsystemtechnik (z.B. von der Heizanlage über Speicher und Verteilung bis zu den Wärmeabgabegeräten) und der Wärmeerzeugung für den Betrieb von Pumpen, Gebläsen, Motoren, Steuerelektronik u.a. an. Dieser kann getrennt in der Berechnung des Energieausweises für Raumheizung (HTEB-RH) und für Warmwasser (HTEB-WW) angegeben werden.

Der Warmwasserwärmebedarf (WWWB) gibt die Energiemengen an, die zur Erwärmung des notwendigen Warmwasserbedarfs für das Gebäude benötigt werden. Sie sind von der Personenanzahl im Haushalt abhängig.

Eine wichtige Kenngröße für die klimatischen Verhältnisse und zur zahlenmäßigen Erfassung der Heizperiode beschreibt die Jahres- Heizgradtagzahl ($HGT_{20/12}^7$) [Kd].

⁷ fachliche Anm.: Diese $HGT_{20/12}$ ist eine standortbezogene klimatische Größe und gibt die Summe der auftretenden täglichen Differenz zwischen der mittleren Raumlufttemperatur, von angenommen +20 °C und den Tagesmittel der Außentemperatur über alle Heiztage der Heizperiode, welche sich vom 1. Oktober bis zum 30. April (7 Monate) bei einer Heizgrenztemperatur von +12 °C mittlerer Außentemperatur erstrecken, an. vgl. [35], S. 4

Bei der Kenntnis der thermischen Eigenschaft der Gebäudehülle eines Gebäudes, kann mit der $HGT_{20/12}$ der jährliche Heizwärmebedarf für das Gebäude näherungsweise berechnet werden. Diese $HGT_{20/12}$ kann von Jahr zu Jahr standortbedingt variieren.⁸

2.2.2 AKTIVE UND PASSIVE SOLARE WÄRMEGEWINNE

Die aktiven und passiven Sonnenenergiesysteme haben die Aufgabe, die Sonnenenergie aufzunehmen, zu speichern und zu verteilen.

Aktive solare Wärmegewinne werden durch Systemgeräte wie Kollektoren, Speicher, Pumpen, Rohrleitungen, elektrische Steuerung, die zur Sammlung, Speicherung und Verteilung von Sonnenenergie dienen, erreicht.

Passive solare Wärmegewinne werden ohne technische Einrichtungen erzielt. Zum Einsatz kommen bauliche Maßnahmen bzw. Elemente, die zur Sammlung, Speicherung und Verteilung von Sonnenenergie dienen. Die Wärmespeicherung übernehmen vorhandene speicherwirksame Massen des Gebäudes, deren zeitverzögerten Wärmeabgaben an den Raum die Raumtemperierung unterstützen.

Passive solare Wärmegewinne werden erreicht durch:

- Transparente Bauteile, indem die Sonnenstrahlung die raumumschließenden Speichermassen und Möbel erwärmt und folglich die Innenluft des Raumes durch Wärmeabstrahlung und Konvektion erwärmt (Treibhauseffekt) (siehe Abschnitt 4.1.4).
- Wärmegewinne durch Außenwände, indem die Sonnenstrahlung die Außenwand erwärmt und die Wärmeenergie an die Innenoberfläche des Raumes geleitet wird. Dort wird die Raumluft durch Wärmeabstrahlung und Konvektion erwärmt (siehe Kapitel 4.3).⁹

⁸ vgl. [35], S. 4

⁹ vgl. [11], S. 9

2.2.3 INTERNE WÄRMEGEWINNE

Interne Wärmegewinne reduzieren den Heizwärmebedarf in der Heizperiode und erhöhen gegensätzlich im Sommer den Kühlenergiebedarf.

Diese Wärmegewinne werden erzielt durch die Wärmeabstrahlung und Konvektion der internen Wärmequellen wie Menschen, Tiere, technische Geräte, Warmwasser, Kochen, Duschen und Beleuchtung.¹⁰

Nach ÖNORM B 8110-1 dürfen folgende Rechenwerte für die inneren Wärmequellen für die Berechnung zur Reduktion des Heizwärmebedarfes in Rechnung gestellt werden.

Beleuchtung und Haushaltsgeräte	3 W/m ² Brutto-Geschossfläche
Bürobeleuchtung und Bürogeräte	5 W/m ² Brutto-Geschossfläche
Personenwärme	90 W/Person

Tab. 2-4: Rechenwerte für innere Wärmequellen, bezogen auf die Heizperiode und Brutto-Geschossfläche, [35], S.16

Für eine sommerliche Überwärmung sind die Raumtemperaturen durch innere Wärmequellen gering zu halten (siehe Abschnitt 4.5.4).¹¹

2.3 WÄRMEVERLUSTE

2.3.1 TRANSMISSIONSWÄRMEVERLUSTE

Transmissionswärmeverluste sind jene verloren gegangenen Wärmemengen¹², die durch einen Bauteil transportiert werden, wenn zwischen den zwei Außenflächen ein Temperaturunterschied besteht, wobei die Hüllfläche luft- und winddicht sein muss.

Bei Gebäuden treten diese Transmissionswärmeverluste über die wärmeübertragenden Umfassungsflächen bzw. Hüllflächen der Bauteile auf. Wärmeübertragende Bauteile sind Decken, Wände, Fenster, Türen bzw. Verglasungen und Dachflächen.

¹⁰ vgl. [58]

¹¹ vgl. [79]

¹² fachliche Anm.: Die Wärmemenge ist eine physikalische Größe, deren Einheit in Joule [J] angegeben wird, und ist das Maß der Energiezufuhr um einen Stoff zu erwärmen.

Der Wärmeschutz von Bauteilen der wärmeabgebenden Außenhülle hat verschiedene Anforderungen zu gewährleisten. Für den Benutzer in Gebäuden ist ein dauerhaftes, behagliches und hygienisches Raumklima herzustellen und der Mindestwärmeschutz einer Konstruktion hat die Aufgabe die Baukonstruktion vor schädlicher Formänderung, Durchfeuchtung und Frostschäden zu schützen (siehe Abschnitt 3.6).

2.3.1.1 ANFORDERUNGEN AN WÄRMEÜBERTRAGENDE BAUTEILE

Die Grenzwerte für wärmeübertragbare Bauteile sind nach OIB-Richtlinie 6 einzuhalten.

Bauteil	U-Wert [W/m ² K]
WÄNDE gegen Außenluft	0,35
Kleinflächige WÄNDE gegen Außenluft (z.B. bei Gaupen), die 2% der Wände des gesamten Gebäudes gegen Außenluft nicht überschreiten, sofern die ÖNORM B 8110-2 (Kondensatfreiheit) eingehalten wird.	0,70
TRENNWÄNDE zwischen Wohn- oder Betriebseinheiten	0,90
WÄNDE gegen unbeheizte, frostfrei zu haltende Gebäudeteile (ausgenommen Dachräume)	0,60
WÄNDE gegen unbeheizte oder nicht ausgebaute Dachräume	0,35
WÄNDE gegen andere Bauwerke an Grundstücks- bzw. Bauplatzgrenzen	0,50
ERDBERÜHRTE WÄNDE UND FUSSBÖDEN	0,40
FENSTER, FENSTERTÜREN, VERGLASUNGEN oder UNVERGLASTE TÜREN (bezogen auf Prüfnormmaß) und sonstige vertikale TRANSPARENTE BAUTEILE gegen unbeheizte Gebäudeteile	2,50
FENSTER und FENSTERTÜREN in Wohngebäuden gegen Außenluft (bezogen auf Prüfnormmaß)	1,40
Sonstige FENSTER, FENSTERTÜREN und vertikale TRANSPARENTE BAUTEILE gegen Außenluft, VERGLASTE AUSSENTÜREN (bezogen auf Prüfnormmaß))	1,70
DACHFLÄCHENFENSTER gegen Außenluft	1,70
Sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft	2,00
DECKEN gegen Außenluft, gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt) und über Durchfahrten sowie DACHSCHRÄGEN gegen Außenluft	0,20
INNENDECKEN gegen unbeheizte Gebäudeteile	0,40
INNENDECKEN gegen getrennte Wohn- und Betriebseinheiten	0,90

Tab. 2-5: Allgemeine Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile deren U-Werte nicht überschritten werden dürfen, [34], S. 6

Zu diesen Mindestanforderungen ist anzumerken, dass sie nicht ausreichend sind um ein energieeffizientes Gebäude nach heutigem Standard wie z.B. ein Passivhaus oder Niedrigenergiehaus zu erreichen. Daher ist ein erhöhter Wärmedurchgangswiderstand¹³ der wärmeabgebenden Bauteile notwendig. Im Kapitel 3.4 werden die wichtigsten Außenbauteile wie Außenwand-, Fenster-, Dachkonstruktionen und erdberührte Bauteile auf ihre konstruktiven und wärmetechnischen Prinzipien optimiert.

2.3.1.2 TAUPUNKT- UND SCHIMMELPILZTEMPERATUR

An Bauteilen, die unterschiedlichen Innen- und Außenluftzuständen (Lufttemperatur und relative Feuchtigkeit) ausgesetzt sind, müssen folgende Kriterien vermieden werden:

- schädliches Oberflächenkondensat,
- Schimmelpilzbildung an der inneren Oberfläche, und
- dass es im Inneren des Bauteils zu keiner schädlichen Wasserdampfkondensation infolge von Wasserdampf kommt.

Folglich ist der Wärmeschutz von Außenbauteilen so zu bemessen, dass:

- eine Vermeidung von Kondenswasserbildung an den inneren Oberflächen dann gegeben ist, wenn durch die zutreffenden Innen- und Außenluftbedingungen die innere Oberflächentemperatur nicht unter die Taupunkttemperatur¹⁴ der Raumluft fällt.
- eine Vermeidung von Schimmelbildung an der inneren Oberfläche dann gegeben ist, wenn durch die zutreffenden Innen- und Außenluftbedingungen die innere Oberflächentemperatur nicht darunter fällt, bei der die Raumluft 80 % relative Luftfeuchtigkeit erreicht.

Um Oberflächenkondensat und Schimmelpilzbildung zu vermeiden sind Mindestoberflächentemperaturen des Innenraumes zu gewährleisten. Der Temperaturfaktor für die raumseitige Oberfläche ist nach ÖNORM B 8110-2 folgendermaßen definiert:

¹³ fachliche Anm.: Der Wärmedurchgangswiderstand ist die Summe aus den Wärmeübergangswiderständen (R_{si} & R_{se}) und den Wärmedurchlasswiderständen ($\sum R_i = d_i / \lambda_i$). $R = 1/U$ [m^2K/W]

¹⁴ fachliche Anm.: Unter der Taupunkttemperatur versteht man jene Temperatur, bei der die relative Luftfeuchtigkeit 100% erreicht und der in der Raumluft befindliche Wasserdampf in Form von Kondensat aus dieser austritt.

$$f_{R_{si}} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \quad (\text{Formel 2-2})$$

$f_{R_{si}}$	Oberflächentemperaturfaktor [-]
θ_{si}	Innenoberflächentemperatur [°C]
θ_i	Innenlufttemperatur [°C]
θ_e	Außenlufttemperatur [°C]

Für den Nachweis der Baukonstruktion, unter Einhaltung des Norm-Innenraumklimas, gilt für den Oberflächentemperaturfaktor:

$f_{R_{si}} \geq 0,69$ um Kondensat bzw.

$f_{R_{si}} \geq 0,71$ um Schimmelbildung¹⁵

zu vermeiden.¹⁶

Ein zu geringer Wärmeschutz führt unwiderruflich zu einem Bauschaden und folglich zu einer verringerten Dämmwirkung, was aus Gründen der Hygiene und der Heizkosteneinsparung stets zu vermeiden ist.

2.3.1.3 ENERGIETRANSPORT

Aus dem Energietransport nach Formel 2-3 lassen sich drei Kriterien bzw. Einflussgrößen zur Reduktion der Transmissionswärmeverluste über die thermische Gebäudehülle ableiten. Die Transmissionswärmeverluste sind umso geringer je geringer das Temperaturgefälle, je höher der Wärmedurchgangswiderstand und je kleiner die wärmeabgebende Umfassungsfläche ist.

$$Q = U \cdot \Delta T \cdot A \quad [\text{W}] \quad (\text{Formel 2-3})$$

Der U-Wert [W/m²K] ist der Reziprokwert des Wärmedurchgangswiderstandes. Der Wärmedurchgangswiderstand der wärmeabgebenden Bauteile wird durch erhöhte

¹⁵ fachliche Anm.: Die Schimmelpilztemperatur ist jene Oberflächentemperatur eines Innenraumes, bei der die relative Innenluftfeuchtigkeit 80% erreicht. Verglichen mit der Taupunkttemperatur kommt die Schimmelpilztemperatur bei gleicher Innentemperatur und relativer Luftfeuchtigkeit immer wesentlich höher zu liegen.

¹⁶ vgl. [36], S. 6, 7 & 18

Wärmeübergangswiderstände und einen erhöhten Wärmedurchlasswiderstand verringert.

Ein erhöhter äußerer Wärmeübergangswiderstand R_{se} wird durch verringerte Windbelastungen auf die Bauteiloberflächen erreicht (siehe Abschnitt 3.2.2.2).

Erhöhte innere Wärmeübergangswiderstände R_{si} sind bedenklich, weil die Gefahr des Oberflächenkondensats und der Schimmelpilzbildung erhöht werden. Zum Beispiel wird durch Möbel oder Vorhänge, die nahe an der Außenwand liegen, die innere Oberflächentemperatur gesenkt, wodurch die Nachweise für Oberflächenkondensat und Schimmelpilzbildung unter Umständen nicht mehr erfüllt werden.

Der Wärmedurchlasswiderstand wird durch eine materialabhängigen kleine Wärmeleitfähigkeit ($< \lambda$ [W/mK]) erhöht, je größer deren Materialdicke ist ($> d$ [m]).

Der Wärmetransport durch eine Wand erfolgt durch Leitung, Strahlung und Konvektion.

Dabei wird die Leitung durch eine kleine Wärmeleitfähigkeit $< \lambda$, die Strahlung durch einen kleinen Emissionsgrad¹⁷ $< \varepsilon$ und die Konvektion durch eine geringe Luftschichtdicke von etwa 3 bis 6 cm gering gehalten.

Es gibt stationäre und instationäre Berechnungsverfahren.

Das Berechnungsverfahren des U-Wertes erfolgt eindimensional stationär. Die Temperaturdifferenz wird auf $\Delta T = 1$ K konstant gehalten und erfährt daher keine zeitliche Änderung. Weil die beiden anderen Bauteilabmessungen im Vergleich zu ihrer Dicke groß sind, erfolgt der Wärmetransport nur mehr senkrecht zur Bauteilebene und ist daher eindimensional.

Für die Berechnung wird die standortabhängige Norm-Außentemperatur t_{ne} [° C] nach ÖNORM B 8135 angesetzt. Darunter versteht man den tiefsten Zweitagesmittelwert eines Ortes, der in 20 Jahren 10-mal erreicht oder unterschritten wird.¹⁸ Die in der ÖNORM B 8110-2 festgelegte Innenluftbedingung ergibt sich aus einer konstanten nutzungsabhängigen Raumtemperatur t_i [° C], die mit einer relativen Luftfeuchtigkeit, in abhängig von der Außenluft, angegeben wird.

¹⁷ fachliche Anm.: „Der Emissionsgrad eines Körpers gibt an, wie viel Strahlung er im Vergleich zu einem idealen Wärmestrahler, einem schwarzen Körper, abgibt.“ von [40]; Emissionsgrad ε [-] ist für den absolut schwarzen Körper 1,0 [-]

¹⁸ vgl. [38], S. 3

Das Berechnungsverfahren der Temperaturamplitudendämpfung¹⁹ (TAD) erfolgt instationär eindimensional. Durch die tägliche äußere periodische Sonneneinstrahlung und die folglich veränderlichen Außenluft- und Außenoberflächentemperaturen sind Außenbauteile ständig Temperatur- und Wärmestromschwankungen ausgesetzt.

Um die zeitlichen Temperaturschwankungen zu erfassen ist der Effekt der Wärmespeicherung zu berücksichtigen. Materialien haben in Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit und der spezifischen Wärmekapazität unterschiedliche Fähigkeiten den Wärmetransport zu beeinflussen (näheres siehe Kapitel 4.2).²⁰

Für stationäre mehrdimensionale (Temperaturgradienten in zwei oder drei Raumkoordinaten) Berechnungsverfahren kommen FEM-Programme, Näherungsverfahren, Wärmebrückenkataloge oder Labormessungen zur Anwendung. Mögliche Berechnungen sind z.B. Isothermenlinien bei Fensteranschlüssen an die Außenwand oder Oberflächentemperaturberechnungen bei geometrischen und stoffbedingten Wärmebrücken.

Eine Temperaturdifferenz ΔT [K] die den Wärmetransport antreibt, ergibt sich aus der veränderlichen Außenluft- bzw. Außenoberflächentemperatur zur Innenluft- bzw. Innenoberflächentemperatur.

Die Wärmemenge wird durch die äußere Antriebskraft der Temperaturdifferenz zwischen dem warmen Innenraum über die thermische Gebäudehülle zur kalten Außentemperatur an die Umgebung abgegeben.²¹ Der Wärmefluss strömt dabei immer vom wärmeren, energiereicheren zum kälteren, energieärmeren Medium hin ab. Die Außenluft- bzw. Außenoberflächentemperatur ist standort-, himmelsrichtungs-, jahreszeit-, tagesverlauf-, witterungs-, farb- und oberflächenabhängig.

Die wärmeabgebende Umfassungsflächengröße A [m²] ist abhängig von der Kompaktheit²² (A_B/V_B [1/m]) des Gebäudes. Dabei gilt es die wärmeabgebenden

¹⁹ fachliche Anm.: Die Temperaturamplitudendämpfung (TAD [-]) gibt die Dämpfung der äußeren Temperaturschwankung auf den Weg zur Innenseite als Verhältnis (A_a/A_i) der Amplitude der Außenluft- (A_a) und der Innenraumtemperatur (A_i) an. vgl. [33], S. 25 & 26

²⁰ vgl. [33], S. 25

²¹ vgl. [50]

²² fachliche Anm.: In der ÖNORM B 8110-1 wird das Maß für die Kompaktheit quantifiziert durch die charakteristische Länge l_c [m] eines Gebäudes/Gebäudeteiles. Dargestellt wird es in der Form des Verhältnisses

Bauteilflächen zum umbauten beheizten Raumvolumen möglichst gering zu halten.
(siehe Kapitel 3.3)

Zusammenfassend:

Mit folgenden Kriterien werden Transmissionswärmeverluste reduziert:

- *Niedriger U-Wert der wärmeübertragenden Bauteile durch:*
 - *Erhöhung der Wärmedurchlasswiderstände durch Materialschichten mit $<\lambda$ [W/mK] und $>d$ [m] (siehe Kapitel 3.4)*
 - *Erhöhung des äußeren Wärmeübergangswiderstände R_{si} (siehe Abschnitt 3.2.2.2)*
- *Erhöhter äußerer Wärmeübergangswiderstand R_{si} wird erreicht durch:*
 - *hinterlüftete Konstruktionen*
 - *immergrüne Kletterpflanzen nahe an der Fassade*
- *Geringer Temperaturunterschied $<\Delta T$ [K] durch die Wahl eines optimierten Standortes (siehe Kapitel 3.2) und Nutzen der Solarstrahlung um eine Erhöhung der Außenbauteiloberflächen herbeizuführen (siehe Kapitel 4.3)*
- *Günstige Kompaktheit der Gebäudeform (A/V-Verhältnis) durch Verringerung der wärmeabgebenden Bauteile zum beheizten Raumvolumen (siehe Kapitel 3.5)*

2.3.2 LÜFTUNGSWÄRMEVERLUSTE

Lüftungswärmeverluste sind unkontrollierte verlorengegangene Wärmemengen, die aus oder in den Innenraum bzw. Konstruktion durch Undichtheiten der Gebäudehülle strömen.

Die Lüftungswärmeverluste treten bei Gebäuden durch Fugen, Risse, Spalten, Lüftungsvorgänge, Schornsteinzug und andere Undichtheiten auf.

von beheiztem Brutto-Volumen V_B zur umschließenden Oberfläche A_B des beheizten Brutto-Volumens. vgl. [35], S. 4

Die Ausführungsqualität der luftdichten Gebäudehülle ist besonders wichtig und wird mit einer Blower-Door Messung (Differenzdruckverfahren) nach dem Verfahren in ÖNORM EN 13829 ermittelt und festgestellt.²³ Je dichter die Gebäudehülle ist desto weniger Lüftungswärmeverluste entstehen. Eine absolute Dichtheit der Gebäudehülle, um die Wärmeverluste ganz zu vermeiden, ist aufgrund der konstruktiven Ausführungsqualität und der Baustoffe nicht möglich.²⁴

Die notwendigen Lüftungsvorgänge können natürlich durch Fensterlüftung vom Nutzer oder mechanisch durchgeführt werden. Bei Fensterlüftung muss durch eine optimale Ausführung der Lüftungsvorgänge, der Nutzer die Lüftungswärmeverluste im Winter und den Kühlenergiebedarf im Sommer gering halten (siehe Kapitel 5.2). Die regelmäßigen Lüftungsvorgänge zum Austausch der verbrauchten Raumluft und zur Abfuhr des entstandenen erhöhten Wasserdampfes mit der kühlen, frischen Außenluft sind ganzjährig durchzuführen, um einen hygienischen Luftwechsel zu gewährleisten.

Weitere wesentliche Einflussfaktoren, die Lüftungswärmeverluste reduzieren, sind geringe standortabhängige Temperaturunterschiede zwischen geforderter Innenluft- und Außenlufttemperatur (Auftriebs-Effekt siehe Abschnitt 4.2.1.4) sowie niedrige Windgeschwindigkeiten, welche auf das Gebäude durch Sog- (Zug) und Druckkräfte einwirken und somit an undichten Stellen der Gebäudehülle Ex⁻²⁵ und Infiltrationsströmungen²⁶ verursachen, als auch die Gebäudeform bzw. Kompaktheit bezüglich der Windangriffsflächen und deren Windschlüpfrigkeit sowie die Größe von Öffnungen und die Luftdurchlässigkeit der Anschlussfugen.

Eine prinzipiell wärmetechnisch sinnvolle Anordnung des Einganges eines Gebäudes wäre im untersten Geschoss.

Hier kann man ein bekanntes Prinzip, das man aus dem Iglu-Bau kennt, nämlich die Wärmeschleuse anwenden. Bei höher frequentierten Ein- und Ausgängen kommt es zu

²³ fachliche Anm.: n_{50} -Wert: Luftwechsel bei einer Druckdifferenz zwischen Innen und Außen von 50 Pa (siehe Abschnitt 4.6); Der Grenzwert n_{50} für Passivhäuser ist nach dem Passivhausinstitut Darmstadt, 0,60 1/h und lt. DIN 4108 Teil 7 und Energieeinsparverordnung (ENEV) gilt: $n_{50} < 3$ bei Gebäuden mit Fensterlüftung, $n_{50} < 1,5$ bei Gebäuden mit mechanischer Lüftung, vgl. [31]

²⁴ vgl. [79]

²⁵ fachliche Anm.: Wenn undichte Fugen von innen nach außen durchströmt werden.

²⁶ fachliche Anm.: Wenn undichte Fugen von außen nach innen durchströmt werden.

einem erhöhten Kaltlufteinlass. Da die kalte Luft schwerer ist und diese Luft nicht in die darüber liegenden warmen Bereiche aufsteigen kann, bleiben die oberen Räume warm.

Zusammenfassend:

Mit folgenden Kriterien werden Lüftungswärmeverluste reduziert:

- *Geringe Temperaturunterschiede ($<\Delta T$ [K]) durch die Wahl eines optimierten Standortes (Kapitel 3.2)*
- *Standorte in windgeschützter Lage, welche vom Bebauungsgrad oder Gelände abhängig sind, oder wo der Windschutz durch eine gezielt gesetzte Bepflanzung (Vegetationsschilder) erreicht wird (siehe Abschnitt 3.2.2.2)*
- *Geringere Windangriffsflächen und Windschlüpfrigkeit durch eine optimierte Gebäudeform bzw. Kompaktheit (siehe Kapitel 3.3)*
- *Luftdichte Fugenanschlüsse von Öffnungen in der Außenfassade (siehe Kapitel 3.6)*
- *Ausreichend bemessene Dehnfugen durch Vermeidung von Rissen und Spalten (siehe Kapitel 3.8)*
- *Bei einer natürlichen Fensterlüftung muss eine optimierte Ausführung der Lüftungsvorgänge durch den Nutzer erfolgen (siehe Kapitel 5.2)*
- *Mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung (siehe Kapitel 5.2)*
- *Geringe Fensterflächen auf der Hauptwindrichtung (siehe Abschnitt 3.2.2.2)*
- *Der Eingangsbereich sollte im untersten Geschoss des Gebäudes situiert werden.*

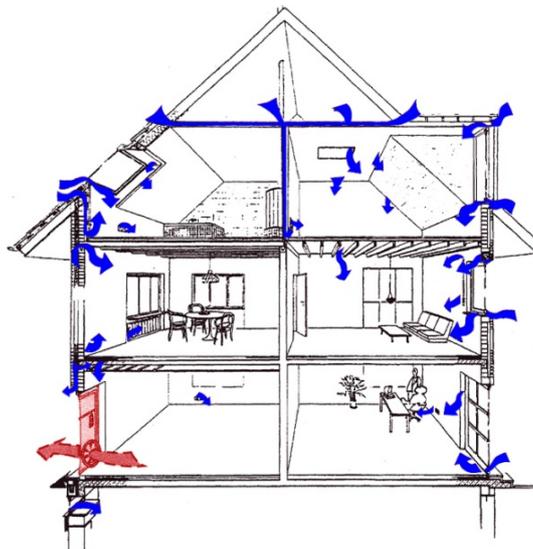


Abb. 2-2: Verschieden auftretende Lüftungsverluste am Gebäude, [63]

2.4 REDUKTION DES KÜHLENERGIEBEDARFS (KEB)

Der Kühlenergiebedarf (KEB) ist jene Energiemenge, die der Kühlanlage eines Gebäudes zugeführt werden muss, um den Kühlbedarf des Gebäudes zu decken. Der KEB setzt sich aus dem Kühlbedarf für den Betrieb zuzüglich der Verluste in der Kühlanlage und bei der Verteilung zusammen.

In unserer gemäßigten Klimazone sollte man durch ein energieeffizientes Gebäudekonzept mit geeigneten Sonnenschutzmaßnahmen eine sommerliche Überwärmung verhindern, ohne dass aktive Kühlsysteme (technische Klimatisierungsgeräte) zur Anwendung kommen wenn es die Nutzung und die internen Wärmelasten es zulassen (siehe Kapitel 4.5).

Passive Kühlsysteme sind z.B. Abschattungsvorrichtungen (natürlich, starr oder beweglich) oder adiabate Kühlung²⁷ (Vegetation, Wasserflächen). Abschattungsvorrichtungen schränken die Sonnenstrahlung durch transparente Bauteile ein. Adiabate Kühlung reduziert die Umgebungstemperaturen des umliegenden Gebäudes und des Raumes.

Eine Erhöhung des Kühlenergiebedarfes die es zu reduzieren gilt, entsteht zusätzlich durch:

- Wärmegewinne durch Konvektion entstehen bei Fensterlüftungsvorgängen an heißen Tagen durch einströmen von warmer Außenluft (siehe Kapitel 4.6).
- Solar induzierte Erwärmungen des Innenraumes durch das Einströmen von warmer Luft. Diese müssen durch eine luftdichte Gebäudehülle reduziert werden.

Folglich sollten diese Maßnahmen dazu beitragen eine sommerliche Überwärmung zu vermeiden bzw. den Kühlbedarf des Gebäudes zu reduzieren.

²⁷ fachliche Anm.: Unter einer adiabaten Kühlung versteht man einen Verdunstungswärmeentzug. Sie beruht auf dem Prinzip, dass durch die Verdunstung von Wasser (Phasenübergang flüssig-gasförmig) der Umgebung sensible bzw. fühlbare Wärme entzogen wird und dadurch die Umgebungstemperatur abnimmt. vgl. [54]; [57]; [70]

3 MINIMIEREN DER WÄRMEVERLUSTE

3.1 GLOBALSTRAHLUNG → TEMPERATUR → WIND

3.1.1 GLOBALSTRAHLUNG

Die Sonne ist der Energielieferant der Erde und stellt die wichtigen Energiemengen für das Bauwesen zur Verfügung.

Die Sonnen- bzw. Solarstrahlung ist elektromagnetische Wellenstrahlung, die sich mit Lichtgeschwindigkeit radial in den kosmischen Raum bis auf die Erdoberfläche ausbreitet. Die Sonnenstrahlung besteht aus sichtbaren Lichtstrahlen (Wellenlänge: 0,38 bis 0,77 μm), unsichtbarem UV-Strahlung (Ultraviolette-Strahlung; 0,20 bis 0,37 μm) und IR-Strahlung (Infrarot- bzw. Wärmestrahlung; 0,78 bis 3,0 μm).²⁸

Die Globalstrahlung [kWh/m^2] ist die Summe aus direkter und diffuser Strahlung, welche nach der Durchdringung der Erdatmosphäre an der Erdoberfläche auftrifft.

Die Direktstrahlung trifft auf direktem Weg ungehindert auf die Erdoberfläche auf. Je größer der Direktstrahlungsanteil der Globalstrahlung ausfällt desto größer ist die Strahlungsintensität.

Die Diffusstrahlung erfährt durch den Weg der Erdatmosphäre bis auf die Erdoberfläche Streuungen, die durch Wolken, Nebel und Staubteilchen herbeigeführt werden. Diese Trübung bewirkt eine Schwächung der Direktstrahlung, die im Gegenzug zu einer Erhöhung der Diffusstrahlung führt. Der Trübungsfaktor gibt die Schwächung der Globalstrahlung an und ist abhängig vom zurückzulegenden Weg, dem Bewölkungsgrad und dem Verunreinigungsgrad in der Erdatmosphäre. Dennoch können durch Diffusstrahlung Wärmegewinne, wie auf den beschatteten Nordseiten des Gebäudes, erreicht werden. Diese diffuse Strahlung strahlt in alle Himmelsrichtungen.

Die größte Globalstrahlung auf der Erde erhält man am Äquator. Dort ist aufgrund eines geringen Bewölkungsgrades und des kurz zurückzulegenden Strahlungsweg die Globalstrahlung hoch. Je höher der Sonnenstand desto kürzer der Strahlungsweg und desto höher ist der Globalstrahlungsanteil.

²⁸ vgl. [11], S. 11

Entscheidend für die Absorption von Licht ist die Farbe (hell bis dunkel). Der Absorptionsgrad steigt je dunkler die Farbe ist.

Bei orthogonal einfallendem Einstrahlungswinkel ist das Absorptionsvermögen am größten. Gegensätzlich kommt es bei waagrechtem Einstrahlungswinkel zur Totalreflexion. Um erhöhte solare Wärmegewinne durch Absorption der Außenflächen zu erhalten, müssten deren Neigungen an verschiedenen Standorten der Erde die Neigung des Breitengrades aufweisen, um einen senkrechteren Strahlungseinfall zu erzielen.

Entscheidend für die Absorption von Wärmestrahlung ist die Oberflächenbeschaffenheit (glatt bis rau). Dabei steigt der Absorptionsgrad je rauer die Oberfläche ist. Besonders für Wandabsorber hinter Vorwandkonstruktionen aus Glas oder hinter transparenten Wärmedämmmaterialien sind raue Oberflächen, durch die erhöhte Wärmestrahlung zufolge des Treibhauseffektes, effektiv.

Der Reflexionsgrad steigt je heller und glatter bzw. spiegelnder die Oberfläche ist bzw. je niedriger der Emissionsgrad ϵ der wärmeabstrahlenden Elemente (Platten, Folien) ist.

Gute reflektierende Oberflächen sind z. B. helle Oberflächen wie ein frisch gefallener Schnee oder heller Kies, deren Reflexionsstrahlungsanteile eine Erhöhung der Wandoberflächentemperatur bewirken.

Material je nach Helligkeit der Farbe	Reflexionsgrad [%]	Absorptionsgrad [%]
Klinker	10	90
dunkles Holz	20	80
Sichtbeton	30	70
helles Holz	50	50
Aluminium, matt	60	40
Aluminium, poliert	70	30
weiße Wand	70	30
neuer Stuck	80	20
poliertes Silber	90	10
weiß	70-80	20-30

gelb	30-70	30-70
braun	1-50	50-99
rot	10-35	65-90
grün	10-60	40-90
blau	5-50	50-95
grau	20-60	40-80
schwarz	4-8	92-86

Tab. 3-1: Absorptions- und Reflexionsgrad für Licht in Abhängigkeit der Farbe und Materialien. [28], S. 54

Nach Abbildung 3-3, sind in den österreichischen alpinen Regionen Maximalwerte der mittleren jährlichen Globalstrahlungssumme von bis zu 1450 kWh/m² erreichbar, wobei in tiefer liegenden Gebieten durch die häufiger auftretende Nebeltage und höheren Bewölkungsgrad die Globalstrahlung niedriger ist.²⁹

Zusammenfassend:

Hohe Globalstrahlungsanteile werden erreicht durch:

- *Hohen Direktstrahlungsanteil der Globalstrahlung (geringen Trübungsfaktor)*
- *Orte mit geringen Breitengrad in höherer Höhenlage aufgrund des verkürzten Strahlungsweges*

Ein hohes Absorptionsvermögen wird durch orthogonalen Strahlungseinfall auf dunkle Oberflächen erreicht.

Ein hohes Reflexionsvermögen wird durch waagrechten Strahlungseinfall auf helle und glatte bzw. spiegelnde Oberflächen erreicht.

²⁹ vgl. [1], S. 62 & 63; [14], S. 52 – 54; [15], S. 45 – 55; [59]

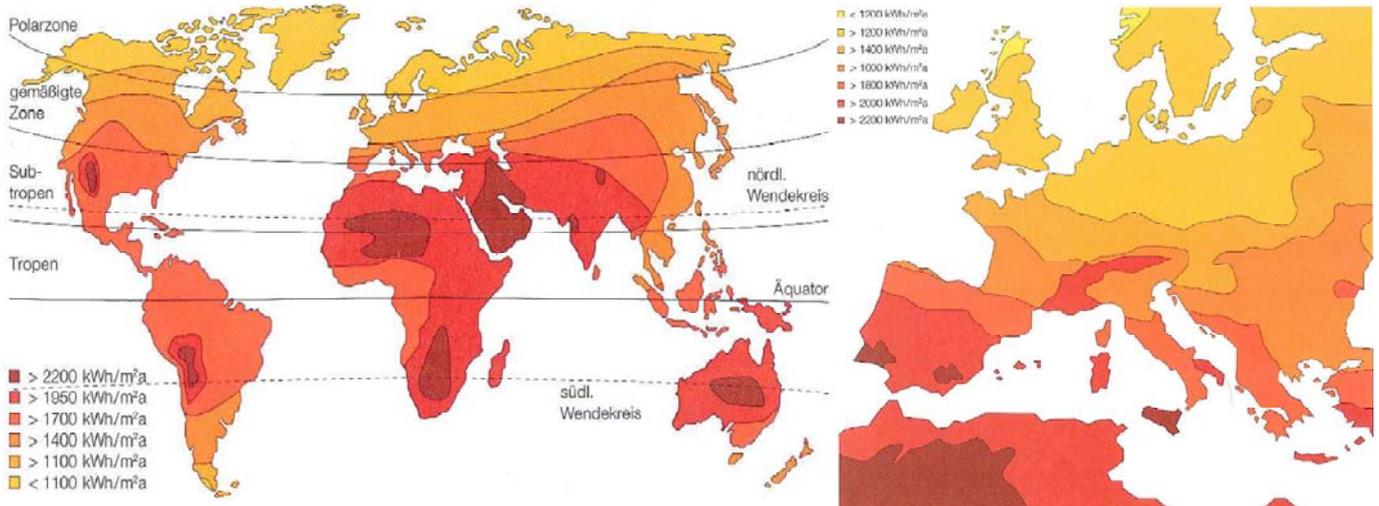


Abb. 3-2: Verteilung der jährlichen Globalstrahlung, [14], S. 51

Abb. 3-1: Durchschnittlich jährliche Globalstrahlung in Europa, [14], S. 53

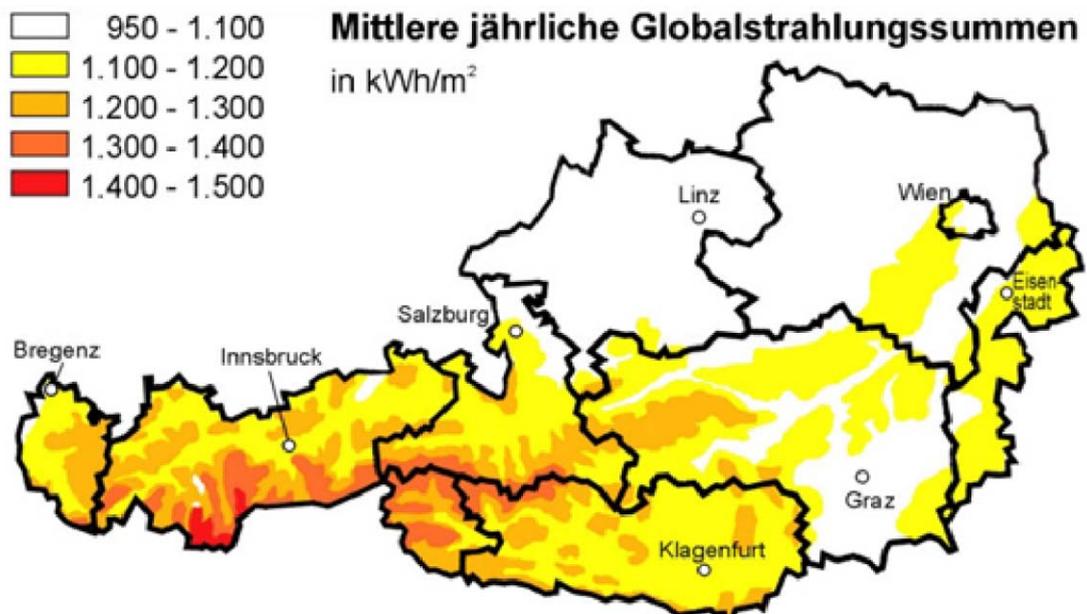


Abb. 3-3: Mittlere Globalstrahlungssumme über das Jahr 2008 für verschiedene Regionen in Österreich, [59]

Tagessumme der Globalstrahlung in J/cm² - Messstation Graz Universität

Tag	Jan.	Feb.	Mrz.	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
1	477	476	663	1593	1216	2514	2184	2084	1658	1023	425	183
2	567	121	1288	1038	2174	1645	2681	1277	1413	570	908	464
3	119	455	1275	1313	1775	1836	2217	2485	2075	205	955	118
4	92	236	381	1893	1967	1291	1960	2162	1749	953	581	291
5	90	285	801	1479	1473	390	2476	1637	2007	1585	583	222
6	325	421	1081	1808	2158	1559	2737	2195	1758	1297	625	221
7	317	954	599	443	2664	1629	2370	2355	1593	967	224	389
8	630	957	506	999	2450	1306	834	1423	1511	1229	102	504
9	493	1006	895	1872	1972	2165	2101	2155	1984	1309	646	607
10	614	934	1185	2105	2324	2876	2500	2564	1636	1361	384	269
11	493	969	531	1397	2310	1410	2798	2572	1802	1349	149	52
12	449	833	1414	726	2602	728	2716	2448	1141	1339	250	57
13	80	1058	1705	1483	2571	734	1598	1550	430	1355	67	65
14	161	730	1040	2115	2779	1594	648	2157	335	966	135	36
15	365	488	1298	929	2059	1843	1742	1619	630	851	235	66
16	153	1213	868	1715	1613	1764	2813	1408	647	924	796	141
17	118	1167	1134	851	1364	959	1487	1882	1741	898	765	77
18	461	1155	1126	1712	1071	1764	1248	2454	1742	1277	729	65
19	251	1187	1361	1639	1345	2927	2603	2458	1626	1223	588	246
20	579	1164	1570	2268	292	1946	2013	892	1038	1182	567	187
21	575	1126	1085	1523	1040	2447	1243	1922	1100	1157	219	587
22	275	904	834	1327	1311	2686	1932	2166	712	1128	729	271
23	741	1035	989	1161	1257	2510	686	416	663	213	809	575
24	737	1252	1017	1751	2215	2562	2276	2130	1373	422	171	365
25	462	1278	1342	1285	1886	2693	2150	2185	638	124	393	98
26	814	1237	1524	1338	2090	2535	1970	2027	1047	135	585	575
27	485	884	1109	2508	2812	1672	1973	1829	682	736	626	173
28	428	1087	511	2380	2675	2694	2257	1994	873	786	486	215
29	658	870	1389	1143	2262	2693	2056	1778	1651	463	470	284
30	560		2064	1690	2512	1637	2057	1196	1227	977	299	287
31	439		2010		2831		1467	1318		906		98
Summe	13008	25482	34595	45484	61070	57009	61793	58738	38482	28910	14501	7788

Tab. 3-2: Tages- und Monatssumme der Globalstrahlung an der Messstation Graz Universität, aus dem Jahrbuch 2008. [86]

3.1.2 KLIMA, WETTER UND WITTERUNG

Das Klima³⁰ bezieht sich auf den Lebensraum des Menschen in der Troposphäre³¹. Bezeichnet wird das Klima als die gesamten meteorologischen Vorgänge in der erdnahen Atmosphärenschicht an einem Ort, in einer Landschaft oder einer größeren Region, welche durch variabel auftretende Atmosphärenzustände über ein bestimmtes Zeitintervall festgelegt sind. Geprägt wird das Klima von der Globalstrahlung und durch das Wechselspiel der Kontinente, Meere und Atmosphären. Die Einteilung hinsichtlich der Größenanordnung und der räumlichen und zeitlichen Maßstäbe der verschiedenen Klimazonen zeigt Tabelle 3-3.³²

Vom Makroklima spricht man, wenn kontinentale und globale Beziehungen bestehen. Die Einflussfaktoren des Groß- bzw. Makroklimas sind die Sonnenstrahlung, die absolute Höhenlage, die Land-Meer-Verteilung und die globale Zirkulation der Atmosphäre.

Das Mesoklima wird charakterisiert durch die natur- und kulturräumlichen Gliederungselemente der Erdoberfläche. Das Landschafts- und Standortklima bezieht sich auf bestimmte Geländeformen, aber auch auf Flächennutzungstypen. Ein spezielles Mesoklima stellt das Stadtklima dar.

Beim Mikroklima handelt es sich um ein Grenzflächen- bzw. Kleinklima, das von einer großen Vielfalt an Oberflächengestaltung, Bodeneigenschaften und Bodenbedeckungen abhängig ist. Die Untersuchungsgegenstände des Mikroklimas sind der kleine Raum bzw. die bodennahen Luftschichten, die durch die Wirkung des Bodens, des Mikroreliefs, eines Ufers oder eines Blattes geprägt werden.

Das Wetter ist ein momentaner Zustand in der Troposphäre an einem bestimmten Ort. Die zeitliche Abgrenzung für einen momentanen Zustand des Wetters liegt bei einer Stunde bis wenige Tage. Die Wettergrößen der meteorologischen Elemente (Wetterelemente) werden durch Temperatur, Luftdruck, Niederschlagsmenge, Bewölkungsgrad, Sonnenstrahlung und Luftfeuchtigkeit beschrieben.

³⁰ fachliche Anm.: Als Klimatologie bezeichnet man die wissenschaftliche Erforschung der Gesetzmäßigkeiten des Klimas, dessen Entwicklung, Erscheinungsbild und Eigenschaften. vgl. [42]

³¹ fachliche Anm.: Die Troposphäre ist die unterste Luftschicht der Erdatmosphäre, in der sich das Wetter mit ihren meteorologischen Erscheinungen wie Wolkenbildung, Bewölkung, Regen, Wind und Gewitter abspielen. vgl. [11], S. 10

³² vgl. [42]

Die Witterung ist der charakteristische Wetterablauf und bildet die gebietsmäßige Auswirkung von Wetter und Klima. Die Witterung erstreckt sich über einen Zeitraum von einigen Tagen bis Wochen und in Extremfällen bis zu einer Jahreszeit.³³

Skala	Begriff	Maßstab		Beispiel
		räumlich	zeitlich	
M I K R O	Grenzflächenklima	Millimeter bis 1 Zentimeter	Sekunde bis Minute	Blatt, einzelne Pflanze, Wirkung des Mikroreliefs
	Kleinklima	1 Meter bis 10 ² Meter	Minuten bis Stunden	Feld, Baumgruppe, Waldlichtung Ufer, Gipfel, bodennahe Luftschicht
M E S O	Standortklima	10 ² Meter bis 1 Kilometer	Stunden bis Tage	Dorf, kleine Stadt, Insel, Waldgebiet, Obstplantage, Flugplatz
	Landschaftsklima	1 Kilometer bis 10 ² Kilometer	Tage bis Monate	Großstadt, größere Insel, Küstengebiet, Landschaften, Mittelgebirge
M A K R O	Klimahaupttyp/ Klimatyp	10 ² bis 10 ³ Kilometer	Monate, Jahreszeiten, Jahre	Passatwechselklima, Mittelmeerklima, feuchtgemäßigtes Klima
	Zonenklima	10 ² bis 10 ⁴ Kilometer	Jahrzehnt und länger	Polarklima, Tropenklima, Trockenklima, Klima der Erde
	Globalklima	Abmessungen Erde bzw. Hemisphäre		

Tab. 3-3: Klimaeinteilung in Abhängigkeit vom räumlichen und zeitlichen Maßstab (nach Hupfer 1989), [15], S. 296

³³ vgl. [11], S. 10; [15], S. 16,17 & 295

3.1.3 GLOBALE TEMPERATURVERTEILUNG

Die Sonnenstrahlung bestimmt die Prozesse für die Erdoberfläche und das Klima in der Atmosphäre in seiner räumlichen Differenzierung.

Die globale Temperaturverteilung ist abhängig vom unterschiedlichen Einfallswinkel der Sonneneinstrahlung, welche auf das Geoid, der 23,5 Grad schräggestellten Erdachse und der Erdrevolution³⁴ zurückzuführen ist. In einem Jahr umrundet die Erde die Sonne einmal und die Erdachse neigt sich einmal vom süd- zum nördlichen Wendekreis (23,5° Breitengrad) und wieder zurück.

Die dadurch entstehenden jährlich wechselnden Sonneneinstrahlungsverhältnisse an einem Ort über das Jahr verursachen die Jahreszeiten.

In Österreich steht die Sonne am 21. Juni am höchsten, wodurch, infolge eines hohen Globalstrahlungsangebots, hohe Temperaturen (Sommer) entstehen. Am 22. Dezember steht die Sonne am tiefsten, wodurch, infolge eines niedrigen Globalstrahlungsangebots, niedrige Temperaturen (Winter) entstehen.

Die höchsten Temperaturen auf der Erde werden in Gebieten zwischen den süd- und nördlichen Wendekreisen erreicht aufgrund des hohen Globalstrahlungsanteils.

Anhand der unterschiedlich auftretenden globalen Temperaturverteilung auf der Erde unterscheidet man unter Einbeziehung der meteorologischen Größen, z.B. Temperatur, Strahlungsintensität, Niederschläge, u.a. zwischen den vier Klimazonen:

- Polarzone (kalt), ca. von 60° bis 90° süd- und nördlichen Breitenkreis
- gemäßigte Zone (gemäßigt), ca. von 38° bis <60°
- Subtropen (trocken heiß), ca. von 20° bis <38°
- Tropen (feucht warm), ca. von 0° (Äquator) bis <20°

Diese vier Klimazonen erstrecken sich annähernd parallel zum Äquator vom Norden nach Süden.

Die Klimazonen werden in weitere Klimatypen oder Vegetationszonen wie tropische Regenwälder, Savannen-, Steppen-, Wüsten-, Tundra-, Eisklima, feuchtgemäßigtes Klima u.a. gegliedert.³⁵

³⁴ fachliche Anm.: Die Erdrevolution ist die jährliche Umlaufbewegung bzw. Umlaufbahn der Erde um die Sonne.

³⁵ vgl. [14], S. 52 & 53

Klimafaktoren sind die klimabestimmenden Prozesse und Zustände eines Ortes. Dazu zählen:

- Geografische Breite
- Lage zum Meer
- Höhenlage bzw. Lage zum Gebirge
- Bodenbedeckung

Aus diesen Klimafaktoren lassen sich Prinzipien für günstige und ungünstige Gebäudestandorte ableiten (siehe Kapitel 3.2).

Die Klimaelemente stellen meteorologische Größen dar, die messbare Eigenschaften des Klimasystems charakterisieren.

Für die Gebäudekonzeption sind nachstehende Klimaelemente von Bedeutung:

- Globalstrahlung (Direkt- und Diffusstrahlungsanteile)
- Niederschlag (Menge und zeitliches Auftreten)
- Wind (Stärke und Richtung)
- Lufttemperatur mit ihren tages- bzw. jahreszeitlichen Schwankungen
- Luftdruck
- Luftfeuchtigkeit
- Verdunstung³⁶

³⁶ vgl. [14], S. 52 & 53

3.1.4 WIND

Die Entstehung des Windes liegt in der Ursache der lokalen und global auftretenden Temperaturdifferenzen.

Die unterschiedliche Globalstrahlungsverteilung auf der Erde bezweckt, dass die Luft am Äquator stärker erwärmt wird und dadurch in höhere Atmosphärenschichten aufsteigen kann. Hingegen hält sich die kalte Luft an den Polen in der Bodennähe auf. Durch den Drang der Natur einen Druckgleichgewichtszustand herzustellen bewegt sich die Luft in den höheren Schichten über dem Äquator in Richtung der Pole und gegensätzlich strömt die kalte Luft in bodennahen Schichten an den Polen in Richtung des Äquators. Dadurch entstehen globale Konvektionswalzen.³⁷

Die Luft strömt dabei vom Hochdruck- zum Tiefdruckgebiet, wobei es verschiedene topografisch bedingt auftretende lokale Windsysteme gibt, wie Land-, Seewinde, Hang- und Talwinde oder lokal auftretende Thermiken.

Der Seewind strömt am Tag landeinwärts und nachts vom Land ins Meeresinnere.

Die Strömungsrichtung der Seewinde ist vom Speichervermögen der Land- und Wassermassen abhängig. Tagsüber strömt die kühle Meeresluft landeinwärts, wird durch die schnelleren aufheizenden Landmassen erwärmt, steigt durch die Thermik auf, wird über dem Meer abgekühlt und strömt wieder landeinwärts. Nachts kehrt sich dieser Prozess um, da die Temperaturen der Landmassen gegenüber dem wärmeträgen Meer deutlich absinken.

Hang- und Talwinde entstehen durch ähnliche thermische Effekte wie Seewinde.

Topografisch bedingt sind die Hang- und Taloberflächen einer verstärkten Besonnung oder Beschattung ausgesetzt, welche die Luftmassen tageszeitbedingt erwärmen und abkühlen, wodurch die Winde dann vom jeweilig entstandenen Hochdruck- zum Tiefdruckgebiet strömen.

³⁷ vgl. [56]

An Gebirgen werden die Wolken vom Meer ins Landinnere zum Aufsteigen gezwungen und können durch die Abkühlung den Wasserdampf nicht mehr halten. Dadurch können erhöhte Niederschläge und Föhnwinde entstehen.³⁸

3.2 STANDORTWAHL

3.2.1 TEMPERATURVERHÄLTNISSE AM STANDORT

3.2.1.1 EINLEITUNG

Die Temperaturverhältnisse am Gebäudestandort haben Einfluss auf die Transmissions- und Lüftungswärmeverluste.

Die Transmissionswärmeverluste sind aufgrund der dauerhaften Temperaturdifferenz ΔT in der Heizperiode, zwischen der konstanten Innenraumluft- und der jahreszeitlichen veränderlichen Außenlufttemperatur, von den standortbedingten $HGT_{20/12}$ abhängig.

Aufgrund der konstanten geforderten Wohnraumtemperatur entscheiden die Außenlufttemperaturen des Standortes maßgeblich darüber, ob ein Heizwärmebedarf überhaupt besteht.

In Österreich ist das bei den Temperaturanforderungen an Wohngebäuden in der Heizperiode immer der Fall, da die Außentemperaturen unter die Heizgrenztemperatur von $+12^\circ\text{C}$ mittlerer Außentemperatur fallen.

Die jährliche Temperaturdifferenz ΔT kann durch einen gezielt gewählten Gebäudestandort verringert werden, was sich auch aus einer geringen $HGT_{20/12}$ des Standortes ablesen lässt.

Die Lüftungswärmeverluste erfahren aufgrund einer größeren Temperaturdifferenz erhöhte thermisch induzierte Luftdrücke. Dabei strömt die warme Innenluft umso stärker nach außen je größer das Temperaturgefälle ist. Dadurch entstehen erhöhte Lüftungswärmeverluste, die ebenfalls durch einen günstig gewählten Gebäudestandort reduziert werden können.

³⁸ vgl. [14], S. 66

Prinzipiell wirkt sich ein günstig gewählter Standort mit geringen Temperaturen bzw. mit einer geringen $HGT_{20/12}$ für die Wärmeverluste positiv aus und reduziert somit den Heizwärmebedarf. Die Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Außenbereich stellt nämlich die permanente Antriebskraft für die Wärmeverluste und -gewinne dar.

3.2.1.2 STANDORTWAHL BEZÜGLICH DER TEMPERATURVERHÄLTNISSE

Die geografische Breite beeinflusst das Globalstrahlungsangebot und somit die globale Temperaturverteilung.

Die globale Temperaturverteilung nimmt vom Äquator zu den Polen hin ab.

Die höchste Temperatur tritt auf der Erde im Bereich des Äquators vom süd- bis nördlichen Wendekreises auf. Die Sonneneinstrahlungsabweichungen am Äquator betragen maximal 23,5 Grad, die sich vom nördlichen bis zum südlichen Wendekreis erstrecken. Dadurch treten bei Standorten in Äquatornähe geringere tägliche und jährliche Temperaturunterschiede auf.

Österreich befindet sich in der gemäßigten Klimazone, genauer im feucht-gemäßigtem Klimatyp, deren charakteristischen Größen der Klimaelemente folgende sind:

In Österreich sind die Einstrahlungsabweichungen zwischen Winter und Sommer bei etwa 50 Grad. (Sonnenstand in Wien: Sommer ca. 65°, Winter ca. 18°). Folglich treten hohe jährliche Temperaturunterschiede auf. Die durchschnittlichen jährlichen Temperaturunterschiede liegen bei ca. 18 bis 20 Grad und die durchschnittlichen täglichen Temperaturschwankungen liegen zwischen 6 bis 8 Grad.

Die Lufttemperatur weist periodische Variationen im Laufe des Tages und über das Jahr auf, wobei durch die Wärmespeicherung im Boden die Extremwerte der Temperatur gegenüber denen der Sonnenstrahlung verzögert werden. Die Tagesmaxima t_{max} treten im Mittel um 14 bis 15 Uhr auf und die Tagesminima t_{min} treten vor Sonnenaufgang auf.

³⁹

Weiters nehmen die mittleren Lufttemperaturen in allen Jahreszeiten mit zunehmender geographischer Breite ab, wobei diese Abnahme der Temperatur im Winter stärker ausgeprägt ist als im Sommer. ⁴⁰

³⁹ vgl. [14], S. 52 & 54

⁴⁰ vgl. [14], S. 54; [15], S. 70,73 & 74

Global gesehen entstehen geringere Temperaturdifferenzen für Gebäude je näher man sich im Äquatorbereich befindet (kleiner Breitengrad).

Die Höhenlage eines Gebäudestandortes beeinflusst die Außenlufttemperatur.

Gebäude in Kuppenlage bzw. exponierter Lage haben aufgrund der Höhenlage immer geringere Umgebungstemperaturen, wodurch für diese Standorte erhöhte Wärmeverluste zu verzeichnen sind.

„Alle 200 Höhenmeter nimmt die Temperatur um ca. 1° C ab.“⁴¹

Die Sonnenstrahlung erwärmt die bodennahen Schichten, welche die Luft erwärmen.

Die höchsten Lufttemperaturen entstehen in der Erdatmosphäre auf Meereshöhe, weil die warme Luft mehr Wasserdampf aufnehmen kann als kalte und folglich mehr Wärmestrahlung absorbiert. Mit zunehmender Höhe kann die kühlere Luft (die eine geringere Menge an Wasserdampf aufnehmen kann als warme Luft) immer weniger Wärmestrahlung absorbieren bzw. an die Erdoberfläche zurückstrahlen. Dadurch wird die Luft mit zunehmender Höhe immer durchlässiger für die von der Erdoberfläche abgestrahlte Wärmestrahlung.

Zur zusätzlichen Abkühlung kommt es durch den in höheren Lagen meist wehenden Wind, der die verschiedenen temperierten Luftschichten durchmischt.

Die Lage des Gebäudes zum Meer oder Land weist verschiedene Temperaturschwankungen zufolge der Wärmespeicherfähigkeit der Wasser- und Erdmassen auf.

Das Seeklima erfährt aufgrund der hohen Wärmespeicherfähigkeit des Wassers⁴² (wirkt wie ein Temperaturpuffer) geringere tägliche Temperaturunterschiede gegenüber dem Landklima. Das Meerwasser absorbiert nahezu die gesamte Strahlungsenergie und weist ein geringes Albedo von ca. 5% auf.

Aufgrund der langsamen Temperaturänderungen des Meerwassers wird das Land in der Nähe der Küstengebiete im Sommer vom Meer gekühlt und im Winter erwärmt. Ausschlaggebend für das Seeklima ist der hohe Wasserdampfgehalt in der Luft, der

⁴¹ von [14], S. 54

⁴² fachliche Anm.: Die spezifische Wärmekapazität von Wasser, bei 20 °C, beträgt 4,19 [kJ/kgK] und je nach Boden von rund 0,8 bis 1,0 [kJ/kgK]. vgl. [8], S. 187

geringe Sonneneinstrahlung und Wärmeabstrahlung ermöglicht, wodurch geringe Temperaturunterschiede über den Tag entstehen.⁴³

Je größer der Abstand zum Meer ins Landinnere wird desto geringer werden deren ausgleichenden Temperatureinflüsse. Das Kontinentalklima bzw. Landklima hat aufgrund der geringen Wärmespeicherefähigkeit der Landmassen große tägliche Temperaturschwankungen zu verzeichnen. Das Erdreich erwärmt sich tagsüber rasch und kühlt dagegen nachts sehr schnell wieder aus. Das Landklima zeichnet sich durch kalte Winter und heiße Sommer aus.⁴⁴

Die Bodenbedeckung und die dichte der Bebauung beeinflussen die Temperaturen.

Die natürliche Vegetation wird vom jeweiligen Klima beeinflusst. Der Mensch, beeinflusst diese natürliche Vegetation heute um die Landoberfläche für landwirtschaftliche, industrielle, gewerbliche und bauliche Zwecke zu benutzen. Diese werden durch Rodung, erhöhte Bodenversiegelung, Bauten, Freizeitanlagen, Felder, Plantagen, Teiche, Seen, Parks u.v.m. verwendet. Am ehesten geben noch die höher gelegenen Gebirgsgebiete einen landschaftstypischen Eindruck für eine natürliche Vegetation.

In Gebieten mit erhöhter Bepflanzung z.B. im Waldgebiet, oder Wiesen treten aufgrund einer höheren adiabaten Kühlung niedrigere Temperaturen auf, womit der Kühlenergiebedarf gesenkt werden kann.

Eine erhöhte adiabate Kühlung wird durch Vegetation und Wasserflächen erreicht. Die Verdunstung ist dabei abhängig von:

- Globalstrahlung
- Lufttemperatur
- Luftfeuchtigkeit
- Windstärke bzw. Windrichtung
- Oberflächenbeschaffenheit (Bodentyp) und Vegetation (Bepflanzung)
- Wassergehalt des Bodens bzw. Niederschlagsmengen

⁴³ vgl. [46]

⁴⁴ vgl. [43]

Adiabate Kühlung wird auch in Innenräumen von Gebäuden durch Raumpflanzen, Wasserbrunnen oder technische Geräte angewandt.⁴⁵

In urbanen Räumen treten höhere Durchschnittstemperaturen auf als in anderen geringer bebauten Gebieten, die am gleichen Breitengrad und in gleicher Höhenlage liegen.

Zurückzuführen ist diese erhöhte Temperatur auf die erhöhte Bebauungsdichte und Umweltbelastung mit den daraus folgenden Ursachen für das Stadtklima.

Durch die Art und Dichte der Bebauung sind größere absorbierende Oberflächen und zugleich erhöhte Speichermassen vorhanden, die aufgrund des Wärmespeichervermögens sich tagsüber beträchtlich aufwärmen und nachts langsam auskühlen.

Die Sonnenstrahlung wird an den nah gegenüberliegenden Gebäudeoberflächen reflektiert und erwärmt tagsüber zusätzlich die Speichermassen.

Die Speichermassen und folglich auch die Lufttemperatur kühlen nachts nur gering ab, da die Speichermassen zeitverzögert die gespeicherte Wärmeenergie abgeben und die Gebäude im Strahlungsaustausch miteinander stehen.

Erhöhte Emissionen von Luftschadstoffen durch die intensiv benutzten Flächen in dicht bebauten Gebieten für Industrie, Gewerbe, Haushalte und Verkehr führen zu einer geringeren Wärmeabstrahlung aufgrund des erhöhten Verunreinigungsgrad der Luft.

Des Weiteren ist durch die hohe Flächenversiegelung eine geringe Vegetation vorhanden. Folglich wird wenig Schatten gespendet, weniger CO₂ aus der Luft gebunden, welches Pflanzen für die Photosynthese brauchen und weniger Luft gekühlt (adiabate Kühlung). Eine adiabate Kühlung in Städten kommt nicht zum Wirken, da das Niederschlagswasser aufgrund der großräumigen Flächenversiegelung zu schnell in die Kanalisation abgeführt wird.⁴⁶

Günstiger Gebäudestandort ist die Südhanglage, welche zusätzlich im Norden vom Hang und im Westen und Osten eventuell durch nebenstehende Bebauung und/oder entsprechende Bepflanzung windgeschützt wird.

⁴⁵ vgl. [54]; [57]; [70]

⁴⁶ vgl. [48]; [14], S. 66

Im Vergleich mit einem Gebäude in frei stehender Lage ist die Umgebungstemperatur bei Südhanglage um $+2^{\circ}\text{C}$ höher. Die Hangneigung verursacht ein besseres Absorptionsvermögen durch einen senkrechteren Einfallswinkel der Sonnenstrahlung auf das Erdreich. Dadurch erwärmt sich das Erdreich mehr als im Flachland, wodurch die Umgebungstemperatur steigt. Folglich reduzieren sich aufgrund des niedriger entstehenden Temperaturunterschieds und des gut nutzbaren Solarangebots die Wärmeverluste auf bis zu -17% .⁴⁷

Ein Gebäude in einer Mulde hat höhere Wärmeverluste zu verzeichnen als ein Gebäude an einem anderen Standort gleicher Höhenlage.

Die Gefahr bei Gebäudestandorten in einer Mulde liegt darin, dass sich ein Kaltluftstau ergeben kann. Da kalte Luft schwerer ist als warme, sinkt die kalte Luft in die Mulde und verursacht niedrigere Temperaturen als in ihrer Umgebung in gleicher Höhenlage. Aufgrund der dauerhaften höheren Temperaturdifferenz als in der unmittelbaren Umgebung erhöhen sich die Wärmeverluste um bis zu 25% im Vergleich zu einem in freier Lage stehendem Gebäude.⁴⁸

Bauen in Muldenlage ist daher zu meiden!

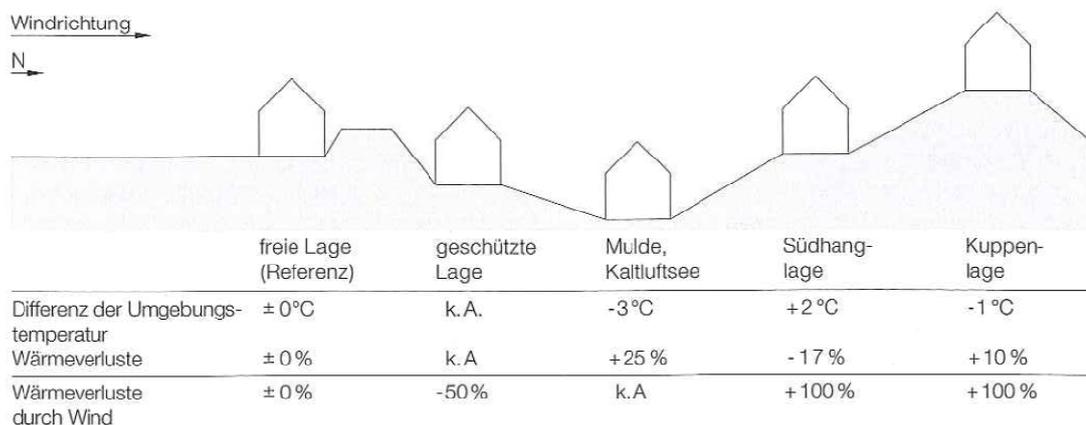


Abb. 3-4: Wirkung unterschiedlicher topografischer Lagen des Gebäudes auf mögliche solare Energiegewinne und -verluste infolge von Wind und Temperatur, [14], S. 69

⁴⁷ vgl. [14], S. 68

⁴⁸ Anm.: Die Schlussfolgerungen ergeben sich aus den entnommen angegebenen Prozent- und Temperaturwerte aus dem Bild 3-4, vgl. [14], S. 69

Zusammenfassend:

Günstige Gebäudestandorte, die geringe Temperaturdifferenz ΔT in der Heizperiode aufweisen, sind:

- *Global gesehen, je näher man sich im Äquatorbereich befindet (kleiner Breitengrad)*
- *Weitmöglicher Abstand zu den Ozeanen im Landesinneren*
- *In niedrigen Höhenlagen über dem Meeresspiegel*
- *In Südhanglage und urbanen Räumen*

Ungünstige Gebäudestandorte die hohe Temperaturdifferenz ΔT in der Heizperiode aufweisen, sind:

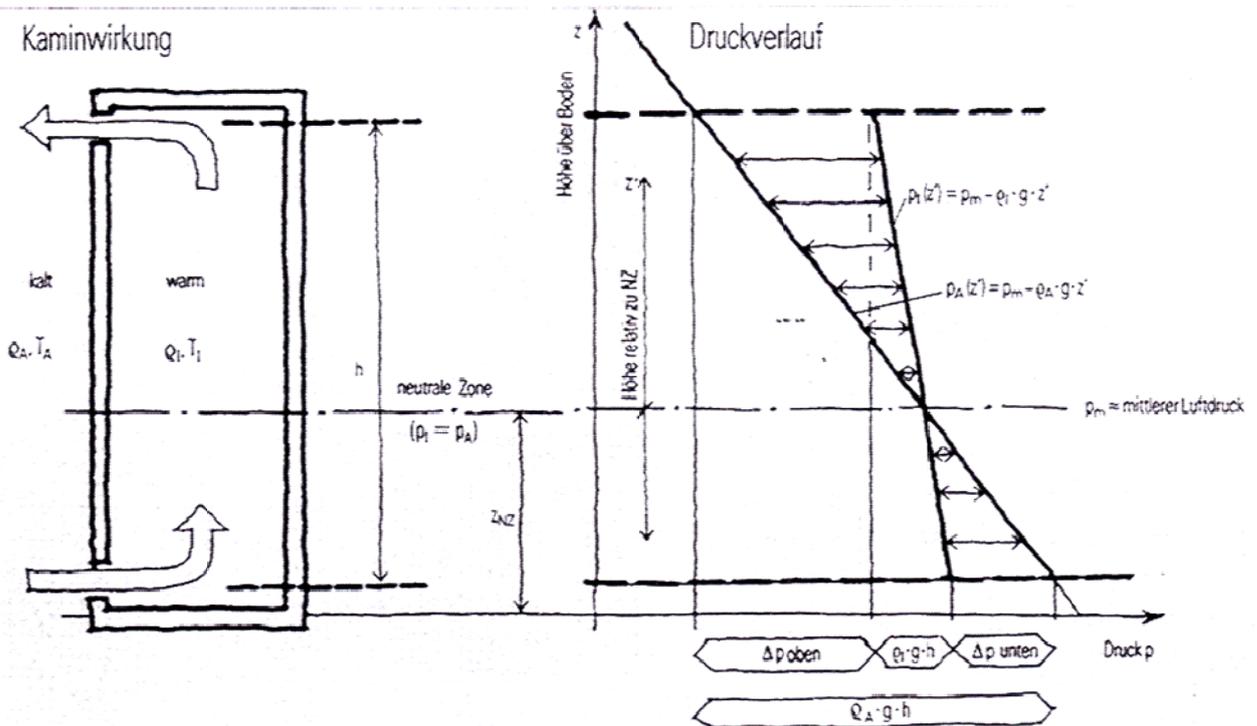
- *Global gesehen je näher man sich an den Polen befindet (großer Breitengrad)*
- *In hohen Höhenlagen über dem Meeresspiegel (Kuppenlage bzw. exponierter Lage)*
- *Geringem Bebauungsgrad*
- *In einer Mulde*

3.2.1.3 THERMISCH INDUZIERTE LUFTDRUCKUNTERSCHIEDE (AUFTRIEBS- EFFEKT)

Die Charakteristik des thermischen Auftriebes ist, dass die leichtere, erwärmte Luft eine kleinere Dichte ρ [kg/m³] besitzt. (siehe Tabelle 3-4)

Der Luftdruck ist der an einem bestimmten Ort in der Erdatmosphäre auftretende hydrostatische Druck. Aufgrund der Gewichtskraft der Luft nimmt der Druck mit zunehmender Höhe ab. „Der mittlere atmosphärische Luftdruck beträgt auf Meereshöhe 1,013 bar = 1013 hPa.“⁴⁹

Beim höhenabhängigen überlagerten Druckverlauf stellt sich eine neutrale Zone ein, wo der Innendruck des Gebäudes und der Außendruck gleich groß sind. Diese neutrale Zone kann an den unterschiedlichen Höhenlagen in der Fassade entstehen. Abhängig ist dies von der Verteilung der Undichtigkeit über der Fassadenhöhe oder den Öffnungen. Da der Druck immer vom höheren zum niederen Potenzial fließt, strömt oberhalb des Druckausgleichniveaus die Gebäudeinnenluft nach außen, und unterhalb von außen in das Gebäude (Kaminwirkung).



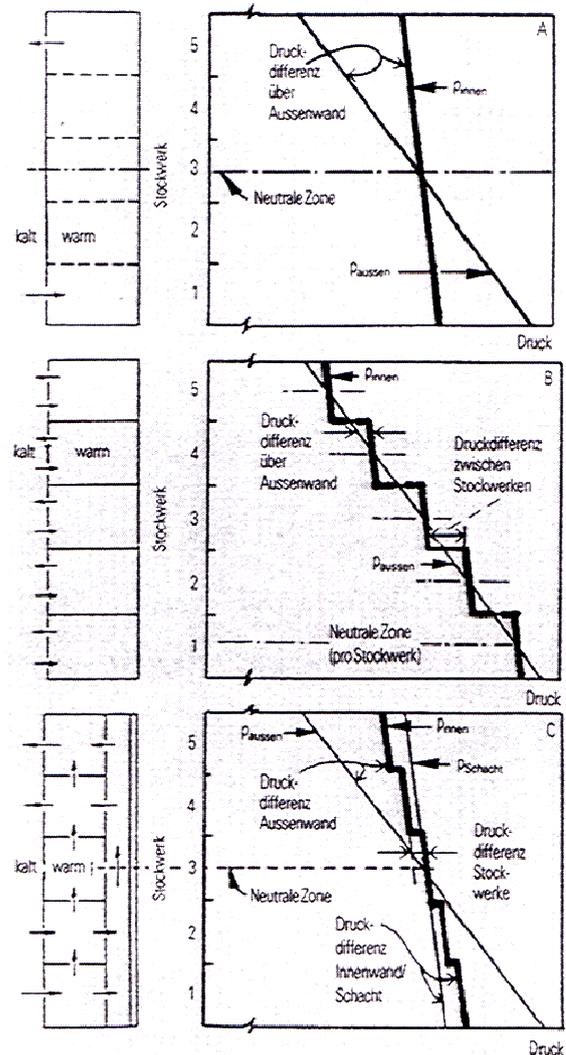
52

⁴⁹ von [8], S. 75

Man unterscheidet zwischen zwei grenzfälligen Gebäudetypen:

- Unter einem Schachttypgebäude (Bild A) versteht man, dass zwischen den einzelnen Stockwerken eine große Durchlässigkeit besteht und durch den thermischen Auftrieb ein konstanter Druckunterschied entsteht. (Stiegenhaus, Liftschächte, Kamin)
- Bei Geschosstypgebäuden (Bild B) besteht kein Luftaustausch zwischen den Geschossen, womit der thermische Auftrieb jeweils nur über die Stockwerkshöhendifferenz entsteht.

In Wirklichkeit entsteht aber eine Mischung aus den beiden genannten Grenzfällen (Bild C), weil es innseitig von Gebäuden nicht vollständig offen und luftdicht zwischen den Stockwerksebenen ist.



cke der

Bei hohen Gebäuden, Kaminen oder Schächten kann dies zu beträchtlichen Druckdifferenzen zwischen innen und außen, und in weiterer Folge zu erhöhten Lüftungswärmeverlusten durch den Kamineffekt führen.

Dieser Luftdruckunterschied ist umso größer je höher das Gebäude und je größer der Temperaturunterschied wird.

Folglich sollten innen und außen eine möglichst geringe Temperaturdifferenz geschaffen werden, eine geringe Gebäudehöhen und günstig gewählte Standorte angestrebt

werden. Damit sollte der Druckunterschied und die in den Innenraum induzierten Luftströme, die Zugscheinungen hervorrufen, gering gehalten werden.

Alternativ dazu kann eine luftdichte Gebäudehülle diese erhöhten Lüftungswärmeverluste zufolge des Luftdruckunterschiedes reduzieren.⁵⁰

Folgende Maßnahmen reduzieren die Lüftungswärmeverluste:

Hohe durchgehende vertikale Schächte von Gebäuden sollten über ihre Höhe mehrmals durch Öffnungen mit der Außenluft verbunden werden, um den mit der Höhe zunehmenden Luftdruckunterschied abzubauen, damit entstehende Zugscheinungen und Strömungsgeräusche reduziert werden.

Das Prinzip einer konzentrischen Zonierung⁵¹ sollte angewandt werden (siehe Abschnitt 4.1.6). Dabei sind untergeordnete Räume, z. B. bei mehrgeschossigen Bauten wie Bauteile aus Stiegenhäuser oder Aufzugsschächte, die niedere Temperaturen aufweisen, an der Außenseite des Gebäudes zu situieren. Sie wirken wie ein Pufferraum zwischen der Außenluft und dem Gebäudekern und erzeugen ein gestaffeltes Temperaturgefälle von innen nach außen.

Wirksame, doppelschalige Fassaden sind jene Fassaden, die aus einer inneren und äußeren luftdichten Fassadenhaut bestehen, deren belüfteter Hohlraum eine Tiefe von wenigen Zentimetern bis zu einigen Metern aufweisen kann. Je nach Belüftungskonzept der Glas-Doppelfassaden, die entweder kontrolliert (Ventilatoren, steuerbare

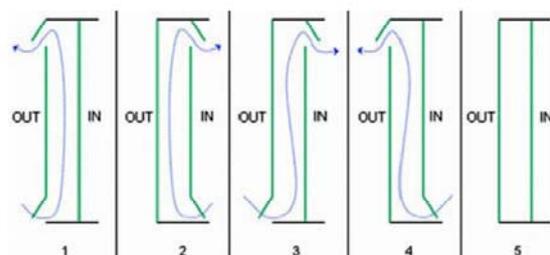


Abb. 3-7: Belüftungskonzepte des Hohlraumes: 1.) Außenluftvorhang (höherwertige Glasebene innen), 2.) Innenluftvorhang (höherwertige Glasebene außen), 3.) Luftzufuhr (höherwertige Glasebene innen), 4.) Luftabfuhr (höherwertige Glasebene außen), 5.) geschlossener Pufferraum, [31]

⁵⁰ vgl. [33], S. 52 - 55

⁵¹ fachliche Anm.: Von einer konzentrischen Zonierung spricht man dann, wenn die Raumtemperaturen vom Gebäudekern des Gebäudes nach außen gestaffelt abnehmen. [14], S. 69

Öffnungen) oder nicht steuerbar (manuell) durchgeführt werden kann, wird die innere oder äußere Glasebene höherwertiger ausgeführt. Die raumzugewandte Fassadenebene kann aber auch aus anderen Wandkonstruktionen ausgeführt werden (z.B. massive Betonbrüstungen mit rundum laufendem Fensterband).

Das Prinzip liegt darin, dass der belüftete Hohlraum, je nach Ausführungsart, einen Pufferraum bildet und damit einen kontinuierlichen Druckabbau bezweckt.

Kastenfenster bzw. belüftetes Doppelfenster schaffen einen Pufferraum ($<\Delta T$) und können durch die Öffnungsart der beiden Fensterflügel dichter schließen.

Bei Kastenfenster sollte der innere Flügel nach innen und der äußere Flügel nach außen aufgehen. Aufgrund des Luftdrucks wird ein Anpressdruck auf das Fenster ausgeübt. Je höher dieser Anpressdruck ausfällt desto dichter schließt das Fenster. Dabei wird die Winddichtung im Fensterflügel an den Fensterstock gepresst. Damit ist es egal in welcher Höhe die neutrale Zone liegt und ob der Luftdruck von innen nach außen oder umgekehrt ausgeübt wird.

Eine belüftete Mehrgeschossfassade entspricht prinzipiell der Abb. 4-6, Bild A.

Der Hohlraum von belüfteten Mehrgeschossfassaden ist charakterisiert durch weder vertikale noch horizontale Unterteilung und bildet somit einen großen rundumlaufenden Pufferraum. Diese Fassadenart ruft genau einen nach Abb. 4-6 Bild A entstehenden Druckausgleich dar, der folglich wie der Kamineffekt bei ganz unten und oben geöffneten Lüftungsöffnung wirkt.

Eine belüftete Korridorfassade ist unterteilt in Geschosse und entspricht prinzipiell der Abb. 4-6, Bild B.

Typisch ist dafür der korridorähnliche Zwischenraum, der begebar ist und horizontal durch die Geschosdecke in jedem der Stockwerke unterteilt wird. Jedes Stockwerk hat somit seinen eigenen zu belüfteten Hohlraum, der um die ganze Etage laufen kann. Durch diese belüftete Korridorfassade wird der Druck gering gehalten und ist einer der wirksamsten Maßnahmen.

geschlossener Pufferraum

Der geschlossene Pufferraum ermöglicht keine Lüftung über die Fassade, sondern es wird der Innenraum über eine Lüftungsanlage be- und entlüftet. Der Druckabbau von außen nach innen geschieht hier von einer Ebene zur anderen, der dabei linear abnimmt.

In weiterer Folge müssen die Fugen von diesen zuvor aufgezählten Glas-Fassaden-Systemen mechanisch beständig und luftdicht ausgeführt werden, um den Luftaustausch zwischen innen und außen vor zu großer Durchströmung zu schützen. Konstruktive Ausführungen von Glasfassaden siehe Abschnitt 4.4.3.3.2.

Lüftungsklappenfassaden bestehen aus schwankbaren Lüftungsklappen. Diese Fassade ist nicht luftdicht und verursacht damit keinen geringeren Druckunterschied. Daher ist dieser Fassadentyp ungeeignet.⁵²

3.2.1.4 ZUSAMMENFASSUNG

Geringere Lüftungswärmeverluste bezüglich thermisch induzierte Luftdruckunterschiede Δp werden reduziert durch:

- *Geringe Gebäudehöhe*
- *Pufferzonen. Sie können geschaffen werden durch Kastenfenster, doppelschaligen Glas-Fassaden, vorgehängte Glasfassaden oder durch situieren von untergeordnete Räume wie Stiegenhäuser an der Außenfassade*
- *Luftdichte Gebäudehülle*

⁵² vgl. [27]

3.2.2 WINDVERHÄLTNISSE AM STANDORT UND AM GEBÄUDE

3.2.2.1 EINLEITUNG

Durch den Wind wird das Gebäude umströmt und es entstehen auf der Luvseite (windzugewandten) ein Staudruck bzw. Überdruck und auf der Leeseite (windabgewandten) ein Sog bzw. Unterdruck. Der entstehende Druckunterschied, aufgrund der Windbelastung zwischen innen und außen, versucht sich durch die Undichtheit der Gebäudehülle auszugleichen. Die dabei entstehenden Zugscheinungen sind durch eine luftdichte Gebäudehülle gering zu halten.⁵³

Das heißt, die Windeinwirkung erhöht vorrangig die Lüftungswärmeverluste auf das Gebäude.

Die Transmissionswärmeverluste werden durch das Abkühlen der wärmeübertragbaren Umfassungsflächen vom Wind erhöht.

Prinzipiell wirkt sich ein windgeschützter Standort für die Wärmeverluste positiv aus und reduziert somit den Heizwärmebedarf.

3.2.2.2 WIRKSAME PRINZIPIEN UND DEREN UMSETZMÖGLICHKEITEN GEGEN WINDEINFLÜSSE

Gebäudestandorte in windgeschützter Lage weisen geringere Lüftungswärmeverluste auf als jene, die dem Wind ausgesetzt sind.

Durch Windbeanspruchungen wird dem Gebäude durch den Sog über undichte Stellen konvektiv Wärme entzogen. Die Verluste sind daher umso größer je höher die Windgeschwindigkeiten und die daraus folgenden Winddrücke bzw. je größer die Fehler der Konvektionsbarrieren sind. Die Basiswindgeschwindigkeiten für die verschiedenen Standorte in Österreich sind in der ÖNORM B 1991-1-4 angegeben. „Dieser ist definiert als der mittlere 10-minütige Wert der Windgeschwindigkeit mit 50-jähriger Wiederkehrperiode, bezogen auf eine Höhe von 10 m über flachem offenem Gelände.“⁵⁴ Der Winddruck ergibt sich somit aus der Basisgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der Geländerauigkeit bzw. Bebauungsdichte und Topografie, sowie der Höhe über dem Gelände. Topografisch windgeschützte Standorte sind vor einer niedrige

⁵³ vgl. [14], S. 54

⁵⁴ von [9], S. 4-39

Landerhebungen oder Geländeeinschnitte, die auf der Luvseite liegen. Aus Abbildung 3-4 geht hervor, dass Gebäude in windgeschützter Lage ihre Wärmeverluste bis zur Hälfte gegenüber Gebäuden in freier Lage verringern können. Hingegen haben Gebäude in Südhang- und Kuppenlage die doppelten Wärmeverluste zu verzeichnen als Gebäude in freier Lage.⁵⁵

Zusätzlich kann alternativ durch Bepflanzungen ein wirksamer Windschutz für Gebäude geboten werden.

Um einen wirksamen Windschutz durch Bepflanzungen zu erhalten, müssen diese auf der Hauptwindrichtung des Gebäudes angepflanzt werden. Um das Gebäude vor starken Windbelastungen und Schneestürmen zu schützen, sollten immergrüne Vegetationsschilde verwendet werden. Dafür sind immergrüne Nadelbäume sehr gut geeignet. Sie werden in einer Doppelreihe mit durchwachsenem windbremsendem Unterholz in Bodennähe und einem bestimmten Abstand vom Gebäude vor der Außenfassade und besonders vor Gebäudeöffnungen gesetzt. Die optimale Höhe für diese Vegetationsschilde ist die Gebäudehöhe. Größere Bepflanzungen verursachen erhöhte Windwirbelungen und zu kleine üben hohe Windbelastungen auf das Gebäude aus.⁵⁶



Abb. 3-8:
Windschutz-
bepflanzung und
Verbesserung der
klimatischen
Unzulänglichkeiten
im Shimane Distrikt
im westlichen Japan,
[4], S. 28

⁵⁵ Vgl. [9], S. 439, 441

⁵⁶ Vgl. [11], S. 26

Höhere Rauigkeiten bzw. dicht bebaute Gebiete der Erdoberfläche haben günstigere Voraussetzungen für die Verringerung der Wärmeverluste.

Die Windgeschwindigkeiten nehmen mit der Rauigkeit bzw. dem Bebauungsgrad wesentlich ab. Der Wind wird durch die Reibung an Erdoberflächen gebremst, und das umso mehr je höher die Rauigkeit ist. Städte, Wälder und hohe Gräser verringern den Wind beträchtlich. Gegensätzlich leisten glatte Oberflächen wie Wasserflächen keinen Widerstand. Die Rauigkeit nimmt mit der Höhe ab, da weniger Hindernisse durch Bebauungen, Bepflanzungen oder topografisch bedingte Landerhebungen vorkommen. Dadurch steigt die

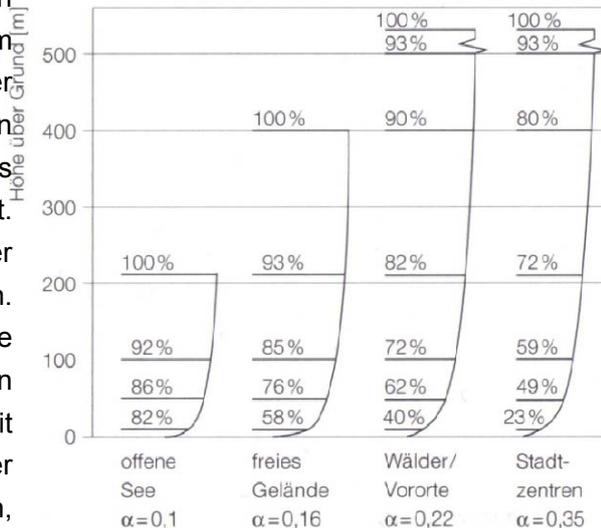


Abb. 3-9: Die prozentuell steigenden Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Rauigkeit α und der Höhe über den Grund, [14], S. 67

Windbelastung mit der Höhe. Grundsätzlich gilt, dass es bei erhöhter Rauigkeit der Geländeoberfläche bzw. höher eingestufteten Geländekategorien⁵⁷ in Bodennähe zu geringeren Windgeschwindigkeiten kommt, aber erhöhte Windverwirbelungen entstehen. Die Windgeschwindigkeiten nehmen auch aufgrund der zunehmenden Geländerauigkeit vom Meer ins Landesinnere ab.

Demnach sind Standorte in Gebieten mit erhöhter Rauigkeit, wie urbane Räume, besser hinsichtlich geringerer Wärmeverluste.

Die Oberflächenrauigkeit beeinflusst das Auskühlungsvermögen der wärmeabgebenden Bauteile.

Die Rauigkeiten der Außenoberflächen von Gebäuden haben ebenfalls strömungstechnische und wärmeschutztechnische Beeinflussungen bezüglich Transmissionswärmeverlusten. Winde kühlen durch das Umspülen der Außenwände die

⁵⁷ fachliche Anm.: Die Definitionen der Geländekategorien von 0 bis IV sind in der EN 1991-1-4 (Teil 2/2) vorhanden. Laut nationalen Anwendungsdokument ÖNORM B 1991-1-4 sind in Österreich nur die Geländekategorien II bis IV vorhanden. vgl. [9], S. 4-38 & 4-39

Bauteile ab. Diese erfahren einen umso größeren Wärmeentzug je glatter die Oberflächen sind. Den größten Wärmeentzug bekommen glatten Oberflächen, wie Glasfassaden. Daher sind raue Oberflächen die die Windbelastungen mit erhöhtem Reibungswiderstand verringern oder eine Fassadenbepflanzung, die durch ein dichtes Blätterkleid die Windbelastung verringert, den glatten Wandoberflächen vorzuziehen.

Die Gebäudeformen müssen so konzipiert werden, dass sie dem Wind eine kleine Angriffsfläche bieten und zusätzlich strömungstechnisch günstig wirken.

Die hauptsächlichen Eigenschaften für entwurfsbezogene Gebäudeformen, welche Wirkung der Wind tatsächlich auf ein Gebäude ausübt, hängen von ihrer aerodynamischen Form bzw. Windschlüpfrigkeit ab. Durch günstige Baukörperform sollte der Staudruck minimiert werden. Ziel ist ein kompaktes Gebäude mit geringer Außenfläche zu entwerfen, welches zusätzlich eine strömungstechnisch gute Bauform erhält. Der Strömungswiderstand ist definiert als:

$$F = c_w \cdot \rho / 2 \cdot v^2 \cdot A \text{ [N]} \quad \text{(Formel 3-1)}$$

Der Strömungswiderstandskoeffizient c_w [-] ist ein dimensionsloses Maß und gibt die Windschlüpfrigkeit eines Körpers an.

A [m^2] ist die Querschnittsfläche der angreifenden Windbelastung.

v [m/s] ist die Windgeschwindigkeit

Roh ρ [kg/m^3] ist die Dichte der Luft und nimmt mit zunehmender Temperatur ab.

Temperatur t in °C	-25	-20	-15	-10	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35
Dichte ρ in kg/m^3	1,423	1,395	1,368	1,341	1,316	1,293	1,269	1,247	1,225	1,204	1,184	1,164	1,146

Tab. 3-4: Dichte der Luft in Abhängigkeit der Temperatur. [44]

Der Baukörper bietet aufgrund der Windbelastung einen bestimmten Strömungswiderstand.⁵⁸ Ein geringer Strömungswiderstand wird erreicht durch: $<A$, $<c_w$, $<v$, $<\rho$ bzw. $>t$

⁵⁸ vgl. [8], S. 80 & 81

Die Verteilung des Windprofils am Bauwerk ist von seiner Höhe und der Bauwerksgeometrie abhängig.⁵⁹

Je größer die Angriffsflächen sind desto größere Widerstände müssen das Gebäude oder die Bauteile leisten. Daher sollten diese Widerstände durch eine gute kompakte Bauweise und geringen Öffnungsflächen (Fenster, Türen) auf der Luvseite gering gehalten werden.

Strömungstechnisch günstige Bauformen sind kreisförmig oder rechteckförmig, deren kürzere Breitseite zur Luvseite gerichtet ist.

Um vor allem im Flachland dem Wind eine kleine Angriffsfläche zu bieten, sollte die Bauweise eingeschossig ausgeführt werden. Zusätzliche schräge Fassadenteile wie Wintergärten oder Vorbauten die zur Luvseite gerichtet sind, können eine strömungstechnisch günstigere Gebäudeform bilden. Flachere Dächer verursachen kleinere Windangriffsflächen, aber erhöhte Windverwirbelungszonen auf der Leeseite des Gebäudes.

Weiters ist zu erwähnen, dass die Windgeschwindigkeit mit dem Quadrat in die Berechnung eingeht. Folglich sind niedrigere Bauten günstiger, da die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zunimmt.

Die Fensterflächen in stehenden Gaupen bieten für Wind gute Angriffsflächen. Diese Gaupen sind immer in höheren Lagen im Dachbereich situiert, wo die Windbelastung meist ungehindert frontal angreift. Folglich sind Dachflächenfenster den Gaupen vorzuziehen, weil sie strömungstechnisch günstiger sind, da sie in der Ebene der Dachflächenneigung eingebaut werden.

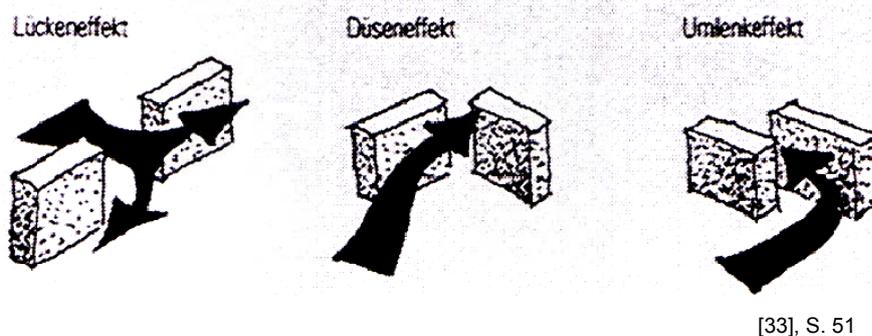
Strömungen um Gebäudegruppen haben Vor- und Nachteile.

Gebäudegruppen stören den geradlinigen Lauf des Windes und zwingen ihn horizontal und vertikal auf neue langsamere, gekrümmte Stromlinien. Durch diese Gebäudekomplexe wird der Wind beruhigt und damit die Windbelastung für dahinterliegende Gebäude verringert.

Die Strömungen sind neben den Gebäudeabmessungen auch von der Lage und dem Abstand der einzelnen Gebäude zueinander abhängig. Dabei entstehen negative Nebeneffekte wie Lücken-, Düsen-, oder Umlenkeffekte, wodurch zwischen den

⁵⁹ vgl. [14], S. 101

Gebäudeflächen höhere Geschwindigkeiten entstehen können, die die Lüftungswärmeverluste erhöhen.



[33], S. 51

Weitere windberuhigende Zonen können am Gebäude durch Balkone, Loggien, Vor-, Rücksprünge und Anbauten geschaffen werden.

Das Mitberücksichtigen von Nebengebäuden, Garagen oder sonstige Anbauten, die windberuhigende Zonen schaffen, sollte bei einer energieeffizienteren Bauweise mit einbezogen werden.

Auch sollte, z.B. der Eingangsbereich vom Wind geschützt werden, indem er auf der Leeseite des Gebäudes situiert, durch Vorbauten oder einen Windfang vor Windeinflüsse geschützt wird. Damit wird verhindert, dass beim Öffnen der Hauseingangstür der Wind nicht vermehrt kalte Luft ins Gebäudeinnere drückt.⁶⁰

Pufferzonen oder der äußere nach außen aufgehende Fensterflügel des Kastenfensters, die bei Windbelastung dichter schließen, reduzieren die Lüftungswärmeverluste.

Das Fenster muss neben den Luftdruckbelastungen auch noch den Windbelastungen entgegenwirken. Prinzipiell gilt hier der gleiche Entwurfsgrundsatz wie bei den thermisch induzierten Luftdruckunterschieden.

Fenster, die im oberen Bereich von Hochhäusern situiert sind, haben die größten auftretenden Windbelastungen und müssen damit die größten Widerstände leisten.

⁶⁰ vgl. [11], S. 20; [33], S. 49 - 51

Deshalb sollte der äußere Flügel des Kastenfensters nach außen aufgehen wodurch dieses bei Windbelastung dichter schließt. Diese Maßnahme könnte vorrangig bei Hochhäusern in den oberen Stockwerken angewandt werden.

Durch immergrüne Kletterpflanzen wird die Windgeschwindigkeit direkt auf der Außenwandfläche reduziert und damit der Wärmeübergangswiderstand erhöht.

Im Vergleich zum inneren Wärmeübergangswiderstand (R_{si}) ist der äußere Wärmeübergangswiderstand (R_{se}) höher, was auf die Windbelastung zurückzuführen ist. Im Innenraum bildet sich eine stehende Luftschicht, in Wandnähe aufgrund geringer Raumlufzirkulation. Im Gegensatz zu den Außenbauteiloberflächen kann sich aufgrund der erhöhten Windbelastung keine gleichwertige stehende Luftschicht wie innen ausbilden.

Nach DIN 4108 Wärmeschutz im Hochbau gilt der Wert $R_{se}=0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ nur für Windbelastungen bis ca. 4 m/s. Mit erhöhter Windgeschwindigkeit verringert sich der Wärmeübergangswiderstand, wodurch die Transmissionswärmeverluste erhöht werden.

Günstig wirken immergrüne Kletterpflanzen. Im Winter, wenn die Pflanzen fast ohne Wasser sind, legen sich die erschlafften Blätter übereinander und bilden eine weitere Schutzhaut mit einem dahinterliegenden Luftpolster. Durch diese natürlich erzeugte Außenhaut wird eine windberuhigende Zone gebildet, die einen höheren (günstiger) äußereren Wärmeübergangswiderstand schafft.⁶¹

Des Weiteren wird durch hinterlüftete Fassaden mit einer vorgesezte Außenhaut auch eine windberuhigende Zone geschaffen.

3.2.2.3 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende günstige gewählte Standorte und bauliche Maßnahmen tragen dazu bei, dass aufgrund einer Windbelastung die Wärmeverluste reduziert werden:

- *Windgeschützte Lage:*
 - *topografisch Gegebenheiten*
 - *Vegetationsschilder*

⁶¹ vgl. [11], S. 20 & 122

- *Gebiete mit erhöhter Rauigkeit bzw. mit dichter Bebauung*
 - *Das Gebäude sollte eine kompakte (kleine Angriffsflächen) und aerodynamisch bzw. strömungstechnisch günstige Form (kreisförmig) aufweisen*
 - *Die Gesamthöhe des Bauwerkes sollte niedrig gehalten werden.*
 - *Im Flachland eingeschossige Bauten*
 - *Anordnen von Pufferräumen an der Fassade*
 - *Ein Kastenfenster schließt dichter bei Windbelastung, indem der äußere Fensterflügel nach außen und der innere nach innen aufgehen.*
 - *Wärmeabgebende Bauteile die eine raue Oberfläche oder eine Fassadenbepflanzungen besitzen, kühlen durch erhöhten Reibungswiderstand bei Windbelastung weniger schnell aus.*
 - *Immergrüne Kletterpflanzen bilden einen Luftpolster und erhöhen damit den äußeren Wärmeübergangswiderstand R_{se} .*



Abb. 3-11: Das Gebäude aus der Südsteiermark wurde leicht in den Hang gebaut, hat eine Windschutzbepflanzung auf der Luvseite und hat zusätzlich noch eine windschlüpfrige bzw. aerodynamische Gebäudehülle. Damit sind drei sehr gute windschutztechnische Prinzipien eingehalten worden.

Schlussbemerkung:

Eventuell sollte eine Verschärfung des Raumordnungsgesetzes⁶² angestrebt werden um dichte Bebauungsgebiete in günstigen Standorten zu erhalten. Dabei müsste der Flächenwidmungsplan dementsprechend danach konzipiert werden. Vermieden sollten dabei Gebäude in ungünstigen Standorten werden.

Genauere Aussagen zu tätigen, ob die Standortwahl optimal genutzt werden kann, sind nicht immer möglich. Wegen der großen Anzahl an Einflussfaktoren wäre eine lokal vor Ort durchzuführende Ermittlung der Windeinflüsse und Versuche im Windkanal möglich. Würden aber einen zu großen Aufwand verursachen. Entscheidungen über die Standortwahl können generell dem Bauherrn nicht abgenommen werden. Es sollte ihm aber eine gute Beratung gegeben werden, welche Vorteile eine gezielte Standortwahl auf den Energiebedarf des Gebäudes hat.

Grundsätzlich ist die Standortwahl für eine klimatisch zielgerechte Gebäudekonzeption unumgänglich.

⁶² Erläuterung: Raumordnung im Sinne des Gesetzes ist die planmäßige, vorausschauende Gestaltung eines Gebietes, um die nachhaltige und bestmögliche Nutzung und Sicherheit des Lebensraumes im Interesse des Gemeinwohles zu gewährleisten. vgl. [29], S. 425 §1, (2)

3.3 KOMPAKTHEIT DER GEBÄUDEFORM

3.3.1 EINLEITUNG

Die Kompaktheit der Gebäudeform hat Einfluss auf die Transmissionswärmeverluste.

Die Formgebung des Gebäudes ist eines der zentralen Themen im Entwurfsstadium der den Heizenergiebedarf schon maßgeblich durch eine kompakte Bauweise senken kann. Zusätzlich werden dadurch die Kosten der Außenhülle reduziert.

In der ÖNORM B 8110-1 wird das Maß für die Kompaktheit durch die charakteristische Länge l_c ⁶³ eines Gebäudes/Gebäudeteiles quantifiziert. Dargestellt wird es in der Form des Verhältnisses von beheiztem Brutto-Volumen V_B [m³] zur umschließenden Oberfläche A_B [m²] des beheizten Brutto-Volumens.⁶⁴

$$l_c = V_B / A_B \text{ [m]}$$

(Formel 3-2)

Das beheizte Brutto-Volumen V_B berücksichtigt nur die beheizten Räume eines Gebäudes, wobei das Volumen von der äußeren Dämmebene des Bauteils weg berechnet wird.

Bei der umschließenden Gebäudehüllfläche A_B zählt ausschließlich die umfassende, wärmeabgebende Außenhülle des beheizten Brutto-Volumens V_B , wie z.B. Geschossdecke, Außenwände, Fenster, Dachflächen sowie Kellerdecke und Trennwände zu unbeheizten Räumen, dazu.

Unbeheizte Erschließungsräume sind Abstell-, Lagerräume, Stiegenhäuser, Garagen, etc., welche thermisch vom Gebäude abgegrenzt werden müssen.⁶⁵

Eine möglichst kompakte Gebäudeform mit geringen wärmeabgebenden Bauteilen ist für ein energieeffizientes Gebäude ein einzuhaltendes Hauptkriterium.

⁶³ Anm.: Die charakteristische Länge l_c sollte einen hohen Wert annehmen. Aus Formel 3-2 ist ersichtlich, dass je geringer die wärmeabgebenden Bauteilflächen (A_B [m²]) bei einem vorgegebenen konstanten beheizten Brutto-Volumen (V_B [m³]) sind desto höher wird der Wert der charakteristischen Länge (l_c [m]).

⁶⁴ vgl. [35], S. 4

⁶⁵ vgl. [14], S. 86

Die ideale Form für eine optimale Kompaktheit stellt die Kugel dar und als eben Struktur der quadratische Würfel. Eine kugelartige Gebäudeform ist für Bauwerke aus bautechnischen, wirtschaftlichen und benutzerdienlichen Aspekten nicht unbedingt geeignet. Man muss daher andere optimierte Bauformen finden, um eine kompakte Gebäudeform zu erzielen (siehe Punkt 3.3.2).⁶⁶

Nicht nur eine kompakte äußere Gebäudeform ist zu entwerfen, sondern die beheizten Innenräume eines Gebäudes müssen eine kompakte Form aufweisen.

Bei, z.B., Büro- oder Schulhäusern gibt es unbeheizte Treppenhäuser, Keller oder Vorbauten u.v.m.. Sind diese unbeheizten Räume in der kompakten Gebäudeform situiert, erhält man erst wieder ein unregelmäßig beheiztes Volumen, das die wärmeabgebenden Bauteilflächen erhöht. Daher gehören jegliche unbeheizten Räume außenseitig separat platziert, damit das beheizte Raumvolumen selbst eine kompakte Form im Grundriss und im Aufriss erlangt.⁶⁷

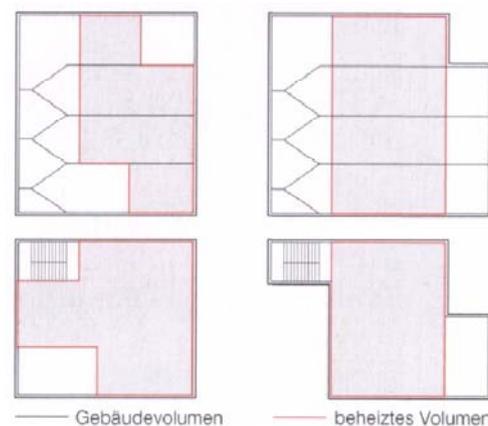


Abb. 3-12: Kompaktheit und thermische Hülle, [14], S. 86

Zu vermeiden sind Bauteile, die unnötig komplizierte Gebäudeformen erzeugen, die schlussendlich die wärmeabgebenden Bauteilflächen vergrößern.

Im Grundriss wirken sich Vorsprünge, Einschnitte, spitze Winkel besonders ungünstig aus. Bauten wie Erker, Gaupen, komplizierte Dachformen oder Anbauten sollten vermieden werden. Den Gaupen wären Dachflächenfenster vorzuziehen, die in der Ebene der Dachschräge liegen.

⁶⁶ vgl. [14], S. 86

⁶⁷ vgl. [14], S. 86



Abb. 3-14: Erhöhung der wärmeabgebenden Außenfläche durch viele stehende Gaupen im Dachgeschoss, [77]



Abb. 3-13: Erkerbildung im Erdgeschoss bei einem Einfamilienhaus aus der Südsteiermark

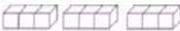
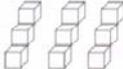
3.3.2 BEISPIELE FÜR KOMPAKTE BAUWEISEN

Grundsätzlich verbessert sich das Maß der Kompaktheit mit proportional zunehmendem Gesamtvolumen bei gleichbleibender Bauform (z.B. einem Mehrfamilienhaus gegenüber einem Einfamilienhaus).

Das geringste A/V -Verhältnis und die geringsten Transmissionswärmeverluste lassen sich mit dem Bautyp eines Geschosswohnbaus erreichen.

Hätte man die Wahl sich die Wohnung in einem Geschosswohnbau (Mehrfamilienhaus) auszusuchen, sind jene Wohnungen energieeffizienter, die von oben und unten sowie jeweils seitlich von Wohnungen umschlossen sind. Für diese Wohnung sind die wärmeabgebenden Flächen alleine nur auf der Fassadenfront vorhanden. Durch die angrenzenden Wohnungen erhält man verminderte wärmeabgebenden Flächen und damit geringere Heizkosten.

Diese zentral gelegene Wohnung ist jenen Wohnungen eines solchen Bautyps vorzuziehen, welche ganz außen, oben oder unten platziert sind. Obere und untere Eckwohnungen benötigen die größten Heizwärmemengen.

typologischer Vergleich		Einfamilienhaus	Reihenhaus	Mehrfamilienhaus	Hochhaus	Terrassenhaus
Ausrichtung: Nord-Süd Gebäudevolumen: 4320 m ³ Fensterflächenanteile: Nord 20% Ost 30% West 30% Süd 50%						
A/V-Verhältnis	[1/m]	0,78	0,65	0,43	0,49	0,78
Hüllfläche gesamt	[m ²]	3384	2808	1848	2104	3384
Fläche gegen Außenluft	[m ²]	2664	2088	1608	2024	2124
Fläche gegen Erdreich	[m ²]	720	720	240	80	1260
solar nutzbare Dachfläche	[m ²]	720	720	240	80	720
Verhältnis Außenluft zu Erdreich	[-]	3,7 : 1	2,9 : 1	6,7 : 1	26,3 : 1	1,7 : 1
Fensterflächenanteil	[%]	23	21	27	30	20
thermische Verluste der Hülle	[H _t]	0,49	0,46	0,56	0,63	0,45
spezifischer Heizwärmebedarf q _h	[kWh/m ² a]	72 (100%)	60 (83%)	48 (66%)	56 (77%)	66 (9%)
Primärenergiebedarf gesamt Q _p	[kWh/a]	168000 (100%)	136000 (81%)	113000 (67%)	126000 (75%)	146000 (87%)
Beleuchtung		+	o	o	+	-
thermisch nutzbare Freiflächen		+	o	o	o	o
spezifische energetische Aspekte		hohes A/V-Verhältnis hoher Flächenverbrauch	geringes A/V-Verhältnis bei gleichbleibender Solarnutzfläche	geringstes A/V- Verhältnis	hoher Flächenbedarf für die Gebäudetechnik, erhöhte Luftgeschwindig- keit an der Fassade	viel erdberührte Fläche, anfallendes Drainage- wasser

Tab. 3-5: Verschiedene Bautypologien und ihre energetischen Eigenschaften im Vergleich. [14], S. 70

Optimierte kompakte Gebäudeformen, welche aus wirtschaftlichen, bautechnischen und benutzerdienlichen Aspekten am häufigsten auftreten, sollten im folgenden Abschnitt näher betrachtet werden.

Erläuterung und Ausgangsparameter für die nachstehende Berechnung:

Das Ziel der folgenden Berechnung ist eine optimierte Kompaktheit eines Gebäudes zu finden, abhängig von Grundriss-, Dachform und -neigung. Dabei werden diese miteinander kombiniert.

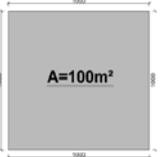
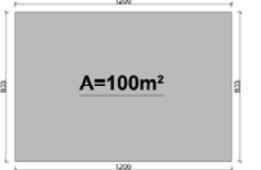
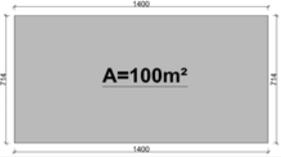
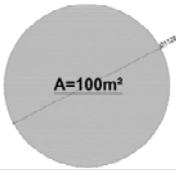
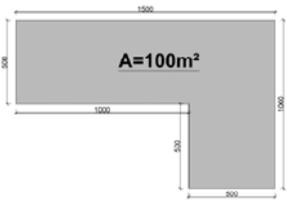
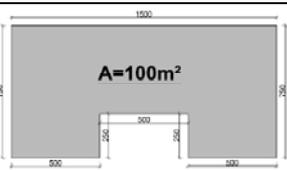
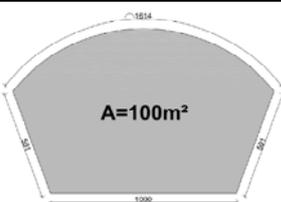
Ausgangssituation ist ein Gebäude, welches aus einem Erdgeschoss (EG) mit konstantem $V_B = 300 \text{ m}^3$ und einem darüber liegenden ausgebauten Dachgeschoss (DG) mit einem konstanten $V_B = 300 \text{ m}^3$ besteht. $\rightarrow V_{B,\text{Gebäude}} = 600 \text{ m}^3$ (konstant)

Das EG des jeweiligen Gebäudegrundrisses hat immer eine konstante Grundrissfläche von 100 m^2 . Damit vergleichbare Ergebnisse erzielt werden können, wird für die Berechnung des Volumens eine konstante Raumhöhe (RH) für alle Grundrissformen für das EG mit $3,00 \text{ m}$ angenommen. Dadurch ergibt sich immer für das EG ein konstantes Volumen V_B von 300 m^3 . Die wärmeabgebende umschließende Gebäudehüllfläche A_B des EG ergibt sich somit aus der Summe des Umfangs (u) der jeweiligen Grundrissform, multipliziert mit der Raumhöhe (RH), addiert mit der Grundrissfläche von 100 m^2 .

EG: $V_B = 300 \text{ m}^3$ und $A_B = \text{variiert}$

Das ausgebaute DG wird aus verschiedenen Dachformen und -neigungen ausgeführt. Ausgangsparameter sind hierfür ein Gesamtvolumen des DG von 300 m^3 sowie die dazugehörige Grundrissform des jeweiligen EG mit jeweils 100 m^2 . Beim DG variieren die Außenwandhöhen je nach Dachform und -neigung. Die wärmeabgebende Fläche A_B ergibt sich für das DG aus der Summe der Fläche des jeweiligen geneigten Daches addiert mit dem Umfang (u) des jeweiligen Grundrissform, multipliziert mit den umlaufenden variierenden Außenwandhöhe. Beim DG gibt es keine abgehängten Decken, sondern hier wird wirklich der Ausbau entlang der Dachschräge vorgenommen.

DG: $V_B = 300 \text{ m}^3$ und $A_B = \text{variiert}$

Grundrissformen	Skizze und Abmessungen der Grundrissformen	Umfang u [m]	wärmeabgebende Hüllfläche A_B des EG [m ²] $A_B = u \cdot RH^{(*)} + G.fl.^{(**)}$
1.) quadratisch		40,00	220,00
2.) rechteckig		40,66	221,98
3.) rechteckig (langgezogen)		42,29	226,87
4.) kreisförmig		35,45	206,35
5.) L-förmig		50,00	250,00
6.) U-förmig		55,00	265,00
7.) trichterförmig		37,96	213,88

Tab. 3-6: verschiedene übliche Grundrissformen mit jeweils einer Grundfläche von 100 m² und einem konstanten Volumen des Erdgeschosses von 300 m³. *) RH = Raumhöhe und wird überall im Erdgeschoss mit 3,00 m angenommen; **) G.fl.= Grundrissfläche, bei allen Grundrissformen 100 m².

Anmerkung zur Tabelle: Angegeben werden die wärmeabgebenden Dachgeschossflächen A_B . Am Ende wird das A_B/V_B -Verhältnis der verschiedenen Gebäudeformen angegeben.

Grundriss- formen	Satteldach		Walmdach		Pulldach		Flach- dach	Tonnen- dach ^{****)}	$A_B^{**})/V_B^{***)}$
	30°	45°	30°	45°	15°	20°			
	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]	[m ²]			
1.)	206,50	211,40	197,00	194,60 ^{****)}	223,50	254,40	220,00	203,00	0,69
2.)	208,70	213,46	199,97	198,23	225,62	228,50	221,98	202,32	0,70
3.)	211,27	218,48	206,28	205,68	230,53	233,26	226,87	203,48	0,72
4.)	--- ⁾	--- ⁾	--- ⁾	--- ⁾	213,50	219,63	203,35	--- ⁾	0,68
5.)	229,60	229,10	232,6	234,10	249,90	251,30	250,00	--- ⁾	0,80
6.)	241,00	237,85	244,30	234,35	257,90	256,35	265,00	--- ⁾	0,83
7.)	--- ⁾	--- ⁾	--- ⁾	--- ⁾	192,50	186,49	231,88	--- ⁾	0,67

Tab. 3-7: Berechnung der wärmeabgebenden Dachgeschossflächen A_B in Abhängigkeit der Dachformen und verschiedenen Dachneigungen.

*) Diese Dachform ist für diesen Grundriss entweder bautechnisch nicht möglich oder in dieser Berechnung nicht berücksichtigt worden.

***) Die gesamte wärmeabgebende Hüllfläche (A_B) ergibt sich aus der Summe der wärmeabgebenden Gebäudehülle des Erdgeschosses und des ausgebauten Dachgeschosses (farblich markiert sind die drei geringsten auftretenden Hüllflächen der verschiedenen DG Gebäudeformen).

****) Das Volumen des Gebäudes V_B wurde jeweils mit 300m³ pro Geschoss angenommen und ergibt in Summe 600m³.

*****) Der Bogenstich des Tonnendaches betrug bei der Berechnung in der Mitte der schmalen Grundriss-Seite 2,00m.

Fazit der Berechnung:

Die grün markierten Kästchen, der Tabelle 3-7 beim A_B/V_B -Verhältnis, sind jene Gebäudeformen unter den Randbedingungen der Berechnung, die anzustreben sind um eine gute Kompaktheit zu erzielen.

Aus dem A_B/V_B -Verhältnis ist ersichtlich, dass ein Gebäude mit einem trichterförmigen Grundriss mit einem steileren Pulldach eine der günstigsten Bauformen für eine optimierte Kompaktheit erzielt.

Aber auch die beiden Bauformen, wie der kreisförmige Grundriss mit Flachdach oder der quadratische Grundriss mit Zeltdach, auch bekannt als die toskanische Bauform, sind hinsichtlich der Kompaktheit weitere anzustrebende Bauformen.

Wie erwartet erzielen L- oder U- förmige Grundrissformen, unabhängig von der gewählten Dachform, die schlechtesten Ergebnisse.

Auffallend ist, dass steilere Dachneigungen eine günstigere Kompaktheit aufweisen als flacher geneigte Dächer. Das ist darauf zurückzuführen, dass bei steilerer Dachneigung zwar die Dachfläche erhöht wird, aber gegensätzlich die Wandhöhe auf einer Seite geringer wird und folglich die Außenwandflächen aufgrund der Wandlänge vom DG geringer werden. In Summe ergibt sich für das DG eine bessere Kompaktheit.

3.3.3 BEISPIELE FÜR GÜNSTIGE GEBÄUDEFORMEN



Abb. 3-16: Kreisrunder Grundriss mit Flachdach, [17], S. 17



Abb. 3-15: quadratischer Grundriss mit einer Mischdachform aus Pult- und Tonnendach, [17], S. 6



Abb. 3-18: Quadratischer Grundriss mit Walmdach, [65]



Abb. 3-17: Rundliche Grundrissform mit schalenförmiger Dachform

3.3.4 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass aufgrund der Kompaktheit der Gebäudeform die Wärmeverluste verringert werden:

- *Geringes A_B/V_B -Verhältnis*
- *Zu vermeiden sind ungünstige Grundrissformen wie Vorsprünge, Einschnitte, spitze Winkel, etc., sowie Erker, Gaupen, komplizierte Dachformen u.a., die die wärmeabgebenden Außenflächen unnötig erhöhen.*
- *Jegliche unbeheizten Räume des Gebäudes müssen so situiert werden, dass das beheizte Raumvolumen eine kompakte Form im Grundriss und im Aufriss erlangt. Unbeheizte Räume sollten daher außenseitig platziert werden.*
- *Prinzipiell verbessert sich das Maß der Kompaktheit mit proportional zunehmenden Gesamtvolumen bei gleichbleibender Bauform.*

3.4 TRANSMISSIONSWÄRMEVERLUSTE VON BAUTEILEN

3.4.1 EINLEITUNG

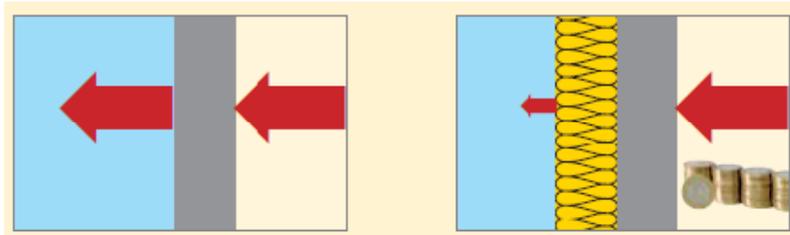


Abb. 3-19: Ungeschützte Außenwand ohne Wärmedämmung, zu gut gedämmter Außenwand, die viel Geld spart, [17], S. 71



Wärmehalten ohne Energieaufwand ist die komfortablere Art.

Abb. 3-20: Vergleich der Wohlfühl-Temperatur einer Kaffeekanne zu einer Thermoskanne, [17], S. 6

Die größten in der Energiebilanz auftretenden Wärmeverluste verursachen die Transmissionswärmeverluste der außenliegenden wärmeabgebenden Bauteile. Daher ist dem baulichen Wärmeschutz eines Gebäudes ein Höchstmaß an Bedeutung für den verbleibenden Heizwärmebedarf zuzuwenden. Der ausreichend bemessene bauliche Wärmeschutz muss thermische Behaglichkeit sicherstellen, geschlossen und ohne Unterbrechungen rund um das gesamte Gebäude laufen. Voraussetzung sollte eine kompakte Bauweise sein. Diese Wärmeschutzhülle muss gut eingebaut werden und in Summe für das Gebäude einen guten mittleren Wärmedurchgangswiderstand besitzen. Im Planungsstadium sollte schon auf ein Gewerk gerechte Ausführbarkeit Wert gelegt werden um einen rundum gleichwertigen Wärmeschutz zu erhalten. Komplizierte Konstruktionen sollen durch eine gewissenhafte Detailplanung vermieden werden, damit eine praktikable und schnelle Ausführung sichergestellt ist.⁶⁸

⁶⁸ vgl. [5], S. 13 - 15

Ein im Alltag vorkommendes Beispiel für einen sehr guten Wärmeschutz stellt die Thermoskanne dar. Sie erlaubt es den Wärmehalt über viele Stunden aufrecht zu halten.

Das Funktionsprinzip der Thermoskanne liegt im Aufbau und in den verwendeten Materialien. Sie besteht aus einem doppelwandigen Edelstahl oder Glasgefäß. Der Zwischenraum ist evakuiert. Dadurch wird eine geringe Konvektion und Wärmeleitung erzielt. Durch reflektierende Beschichtungen oder Verspiegelung an der dem Nutzerinhalt zugewandten Seite der Doppelwand werden die Wärmeverluste durch Reflexion der Wärmestrahlung reduziert. Durch diesen Aufbau wird der Wärmestrom reduziert, wodurch die Thermoskanne einen sehr guten Wärmespeicher darstellt.⁶⁹

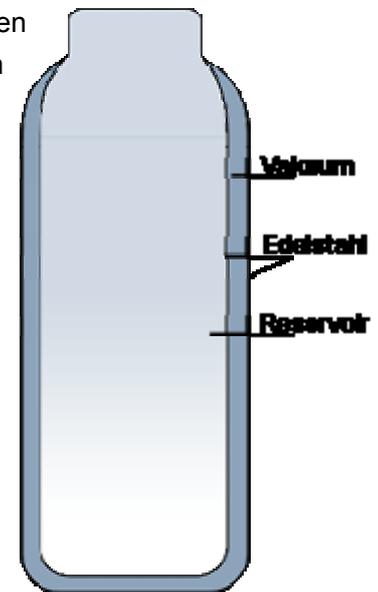


Abb. 3-21: Aufbau einer Thermoskanne, [62]

Aber auch wir Menschen schützen uns vor der Kälte im Winter, indem wir uns warme Kleidung überstreifen.

Bei Gebäuden sollten die gleichen Prinzipien zum Einsatz kommen. Ziel ist es, dass die Konstruktionen optimiert werden um geringe Transmissionswärmeverluste zu erhalten.

Der Wärmestrom setzt sich durch das Temperaturgefälle von der höheren zur niederen Temperatur in Bewegung. Der Wärmestrom, der bestrebt ist einen Temperatenausgleich herzustellen, kann nicht unterbunden, sondern nur verringert werden. Beim Wärmetransport durch einen Bauteil treten alle drei Mechanismen, Wärmeleitung, -strahlung und Konvektion, auf. Diese Mechanismen sollten optimiert werden, damit der Wärmefluss reduziert wird.⁷⁰

⁶⁹ vgl. [41], [62]

⁷⁰ vgl. [13], S. 15

Verringerung des Wärmetransportes bezüglich der Wärmeleitung:

Die Hauptgröße stellt dabei die Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK] dar. Der Wärmestrom wird reduziert je kleiner die Wärmeleitfähigkeit des Baustoffes ($<\lambda$) ist und je größer die Materialdicke d [m] ausgeführt wird.

Einer der besten Wärmedämmstoffe ist Luft mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,025 W/mK bei 27° C. Die Konvektion wird durch Bildung schmaler bzw. kleiner Hohlräume, wie das in geschäumten Wärmedämmungen der Fall ist, gering gehalten.

Effizienter sind dagegen Luftevakuierte-Dämmungen (in der Praxis die sogenannte Vakuumdämmung).⁷¹

Verringerung des Wärmetransportes bezüglich der Konvektion:

Konvektive Prozesse lassen sich durch einen Luftevakuierten-Raum verringern. Dies nutzen Vakuumisolationspaneele (VIP) aus. Die Wirkung dieser Wärmedämmung nimmt jährlich aufgrund der nicht absoluten Dichtheit der gasdichten Verbundfolienumhüllung des Paneels ab.

Im Vakuum wäre die Konvektion Null, ist aber aufgrund des Unterdruckes für Bauteile nicht möglich.

Der Wärmedurchgangswiderstand durch eine Luftschicht ist bei 3 bis 6 cm Luftschichtdicke am günstigsten.

Verringerung des Wärmetransportes bezüglich der Wärmestrahlung:

Die Wärmestrahlung lässt sich durch niedrigen Emissionsgrad ϵ [-], wie reflektierende Beschichtungen und spiegelnde Oberflächen, verringern. Reflektierende Beschichtungen aus unsichtbaren dünnen Metallschichten können durch Bedampfen auf Wärmedämmmaterialien aufgetragen werden.

Durch Optimierung der drei Mechanismen, Wärmeleitung, -strahlung und Konvektion, des Wärmetransportes können die Transmissionswärmeverluste reduziert werden.⁷²

⁷¹ fachliche Anm.: Laut ÖNORM B 8110-2 darf der Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils um 10%, durch Erhöhung des Feuchtigkeitsgehaltes, nicht verringert werden.

⁷² vgl. [14], S. 149 & 150

3.4.2 AUSSENWANDKONSTRUKTIONEN

Es gibt unterschiedliche konstruktive und materialspezifische Wandaufbauten für Fassaden. Darunter zählen die monolithischen Bauweisen (einschalig), mehrschalige Bauweisen und zusatzgedämmte Wandkonstruktionen.⁷³

Monolithische Bauweisen bzw. eine mehrschichtig, einschalige Bauweise aus hochporösen Ziegeln, Betonwänden mit Leichtzuschlägen⁷⁴ (Blähton, Hochofenschlackengranulat, Hüttenbims) oder Kombinationen aus tragfähigen Sandstein und dämmenden Porenbeton, die außen mit einem Wärmedämmputz verputzt sind, erreichen prinzipiell gut Wärmedämmwerte um die Anforderungen nach OIB-Richtlinie 6 einzuhalten.

Aufgrund der niedrigen Wärmeleitfähigkeiten dieser porösen Stoffe wird auch die Tragfähigkeit herabgesetzt. Werden aber hohe Tragfähigkeitsanforderungen an die Außenwand gestellt, so wird diese Bauweise beträchtliche Materialdicken aufweisen. Diese bieten zwar einen guten Wärmeschutz, kommen aufgrund der Wanddicke kaum zur Anwendung.⁷⁵

Aufgrund dieser Wanddicken sind mehrschalige, einschichtige oder mehrschichtige Bauteile mit durchgehender Wärmedämmschicht effizienter.

Die Wahl der Dämmstoffe ist von den baukonstruktiven Rahmenbedingungen wie Druckfestigkeit, Formbeständigkeit, Feuchteresistenz, Dauerhaftigkeit, UV-Beständigkeit u.v.m. abhängig. Die Wärmeleitfähigkeit λ der verschiedenen Schichten sollte von innen nach außen abnehmen, damit die massive Tragkonstruktion das Innenraumklima günstig beeinflussen kann (siehe Abschnitt 4.2).

⁷³ fachliche Anm.: Unter einschichtig versteht man einen Bau- oder Verbundstoff und unter mehrschichtig versteht man eine Schichtenfolge verschiedener Bau- oder Verbundstoffe. Desweiteren unterscheidet man zwischen einschalig, worunter man eine Schichtenfolge, die im Haftverbund steht und unter mehrschalig versteht man getrennte Schalen die unter keinem Haftverbund stehen.

⁷⁴ fachliche Anm.: Leichtbetone haben eine Rohdichte $\rho < 2000 \text{ kg/m}^3$.

⁷⁵ vgl. [14], S. 87

Bei mehrschaligen, einschichtigen oder mehrschichtigen Bauteilen unterscheidet man zwischen den vier Hauptdämmtypologien:

- Außendämmung
- Kerndämmung
- Innendämmung
- Zwischendämmung (Skelettbauweise)

Außendämmung:

Bei einer Außendämmung mit einem Wärmedämmverbundsystem (WDVS) sind für eine einwandfreie Ausführung folgende Bedingungen einzuhalten:

Der Dämmstoff sollte einlagig mit Stufenfalz oder zweilagig ohne Falz dicht gestoßen verlegt werden, damit keine Luftspalten in den Stößen der Wärmedämmplatten entstehen. Die Dämmplatten sollten mittels Randwulst-Punkt-Methode auf den Untergrund geklebt werden, um eventuell entstehende Konvektionsvorgänge zu unterbinden. Durch die hohen Dämmstärken sind die thermischen Spannungen zwischen Putzsystem und Dämmstoff gegenüber dem konventionellen System erhöht und sollten daher eine Spachtelung mit einer eingelegten Armierung erhalten. Dickputzsysteme verringern die Schädigung von Putz und Dämmstoffen durch mechanische Einwirkung, wie z.B. Spechtlöcher oder Eindringen von spitzen Gegenständen. Beim WDVS wird durch die Verdübelungen der Wärmedämmplatten der Wärmeschutz durch die entstehenden punktförmigen Wärmebrücken reduziert. Um die Transmissionswärmeverluste zu minimieren muss die Verdübelung tiefer in die Dämmplatte eingepresst werden. Anschließend wird die Vertiefung mit geeigneten Dämmkappen abgedeckt. WDVS lassen sich fast auf jedem Untergrund einsetzen und sind für Gebäudesanierungen bestens geeignet.

Bei einer Pfosten-Riegel-Konstruktion wird eine durchgehende Wärmedämmebene geschaffen, indem Wärmedämmpaneele, z.B. dünne hochgedämmte Paneele oder Vakuumisulationspaneele, vor der tragenden Konstruktion angebracht werden.

Kerndämmung:

Die Kerndämmung kommt bei Sichtbeton- oder Sichtmauerwerkfassaden, die zwei einschichtig-massive Wandaufbauten beinhalten, zum Einsatz. Diese Konstruktion wird ohne Hinterlüftungen ausgeführt. Zu Durchstoßpunkten in der Dämmebene kommt es zwangsläufig bei der Verbindung der äußeren Schale mit der inneren. Diese wird aus statischen Erfordernissen benötigt.

Die Außen- und die Kerndämmung sind zwei gute Bauteillösungen, da diese durchgehende Wärmedämmebenen aufweisen und daher einen guten Wärmeschutz für Gebäude bieten. Wenn möglich sind diese beiden Konstruktionen Innen- oder Zwischendämmungen vorzuziehen.

Innendämmung:

Innendämmungen sollten eigentlich nur mehr bei Sanierungsmaßnahmen und nicht bei Neubauten, eventuell beim Wochenendhaus aufgrund des schnellen Aufheizens, zur Anwendung kommen. Vor allem bei denkmalgeschützten Fassaden, die geschützt werden müssen um nicht österreichisches Kulturgut zu zerstören oder zu verändern, wird eine Verbesserung des Wärmeschutzes meist über eine Innendämmung erreicht.⁷⁶ Der große Nachteil von Innendämmungen ist, dass damit die Speichermassen weggedämmt werden und noch zusätzlich bei nachträglicher Sanierung ein Raumverlust in Kauf zu nehmen ist.

Zwischendämmung:

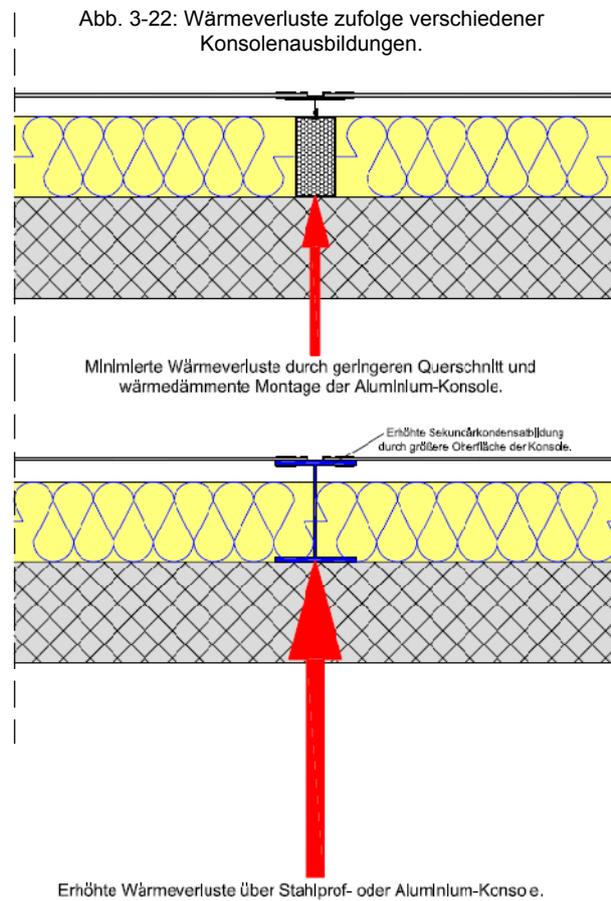
Konstruktionen mit einer Zwischendämmung weisen aufgrund des inhomogenen Aufbaues erhöhte Wärmeverluste im Gegensatz zu Konstruktionen mit einer durchgehenden Wärmedämmebene auf. Bei einer Skelettbauweise bilden Pfosten und Riegel das Tragsystem das aus Beton, Holz, Stahl oder Aluminium bestehen kann. Der Wärmedurchgang ist an Stellen der tragenden Konstruktion durch den höheren Wärmedurchlasswiderstand dieser Baustoffe gegenüber den Bereich der Zwischendämmung erhöht. Die Verluste über diese Wärmebrücken gilt es zu

⁷⁶ vgl. [61]

minimieren, indem man eine durchgehende Dämmebene vor der tragenden Konstruktion schafft.⁷⁷

Erhöhte Wärmeverluste (Wärmebrücken) entstehen bei Konstruktionen, deren Außenschalen auf einer Konsole befestigt werden. Zum Beispiel werden außenseitig Wandelemente an Stahlträger- oder Aluminium-Konsolen befestigt, deren Konstruktion hinterlüftet oder nicht hinterlüftet sein kann und eine Zwischendämmung besitzt. Durch die hohe Wärmeleitfähigkeit des tragenden Profils (meist Metall, Holz) kommt es zu einem erhöhten Wärmefluss in diesem Bereich.

Nachteilig sind Stahlprofiloberfläche, wie IPE, HEA, etc., aufgrund ihrer großen Profilloberfläche des Flansches und der großen Wärmeleitfähigkeit $> \lambda$. Prinzipiell sind quadratische oder rechteckige Profile die eventuell noch innen wärmedämmten sind, aufgrund der geringeren wärmeabgebenden Oberfläche wärmeschutztechnisch günstiger. Die Fläche der wärmezugewandten Seite und die Fläche auf der kalten Seite sollten gering gehalten oder thermisch getrennt werden, um die wärmeabgebenden Flächen zu minimieren.



⁷⁷ vgl. [14], S. 87, 88, 150 & 151

Anforderungen sind darauf zurückzuführen, weil die Wärmeverluste nach oben größer sind, da durch Konvektion die warme Luft gegen die Dachflächen drückt.

Man unterscheidet bei Dächern zwischen Massivdecken, Sparren- bzw. Pfettendächern und Leichtdachkonstruktionen⁷⁸.

Massivdachkonstruktionen:

Massivdachkonstruktionen können Flachdächer oder geneigte Massivdächer (Sargdeckel) sein. Ihr Vorteil liegt in der Luftdichtheit und der besseren Wärmespeicherfähigkeit.

Bei geneigten Massivdächern kann keine außenseitige durchgehende Dämmebene erzeugt werden, da die Konterlatten die Wärmedämmung vor Abrutschen schützen und somit ein inhomogener Aufbau zustande kommt.

Bei Flachdächern liegt die wärmeschutztechnische Optimierung in einer durchgehend ausgeführten außenliegenden Dämmebene. Die thermische Ausführung der Attika kann hergestellt werden, indem sie komplett eingedämmt oder mit einem Isokorb verwirklicht wird. Oder eine andere mögliche Ausführungslösung zeigt die Attikaausbildung des Passivhauses Singer in Hartberg (A, Stmk.), siehe Abbildung 3-47.

Bei Umkehrdächern kommt es bei Regen zu erhöhten Wärmeverlusten.

Die wasserabführende Ebene liegt beim Umkehrdach auf der am Gefällebeton angebrachten Abdichtungslage, wodurch die Wärmedämmung dem Wasser ausgesetzt ist. Kalter Regen, der an der Unterseite der Wärmedämmung auf der wasserabführenden Schicht abfließt, kühlt die Deckenoberfläche ab, wodurch es zu erhöhten Wärmeverlusten kommt. Des Weiteren besteht die Gefahr, dass es zu einer Feuchtigkeitszunahme der XPS-Wärmedämmung kommt, wodurch der Wärmedurchlasswiderstand erhöht wird.

Dem Umkehrdach ist ein konventionelles Dach, aufgrund der oberhalb der Wärmedämmung liegenden wasserführenden Schicht vorzuziehen, womit eine Abkühlung der Betondecke verhindert wird.

⁷⁸ fachliche Anm.: Von einer Leichtkonstruktion spricht man wenn das Flächengewicht [kN/m²] der Konstruktion pro m² kleiner ist als das Flächengewicht der Belastung pro m².

Das Ausnutzen einer natürlichen Dämmung des im Winter am Flachdach oder bei gering geneigten Dächern liegenden Schnees kann vorteilsmäßig genutzt werden.

Ein wärmetechnisch wirksamer Schnee ist ein leichter Pulverschnee, der einen hohen Luftanteil besitzt. Ein wasserhaltiger (schwerer) Schnee ist dagegen aufgrund der guten Wärmeleitfähigkeit des Wassers wärmeschutztechnisch ungünstiger.

		ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)
Wasser	10° C	≈1000	0,578
	20° C	≈1000	0,595
Eis	0° C	900	2,23
Schnee	fest	500	0,64
	locker	200	0,11

Tab. 3-8: Wärmeleitfähigkeiten von Wasser, Eis und Schnee, [26], S. 273

Sparren- oder Pfettendächer und Industriedächer:

Geneigte Dächer werden meist aus Sparren- oder Pfettendächern ausgeführt.

Bei Dächern mit einer Vollsparrendämmung entstehen aufgrund des inhomogenen Aufbaues erhöhte Wärmeverluste, wie bei einer Pfosten-Riegel-Konstruktion mit Zwischendämmung.

Wärmeschutztechnisch günstiger sind dagegen Dächer mit einer Aufsparrendämmungen oder Industriedächer mit einer Leichtdachkonstruktionen. Bei den Leichtdachkonstruktionen, wie es bei Fertigteile-Tragwerken im Industrie- und Gewerbebau der Fall ist, werden üblicherweise leichte Flächenelemente aus z.B. gedämmten Sandwich-Kassettenelementen, Wärmedämmpaneelen oder durchgehende Dämmebenen auf Trapezblechen verlegt. Bei diesen beiden Dachkonstruktionen wird eine durchgehende Wärmedämmebene geschaffen, die eine wärmebrückenfreie Lösung darstellt und wärmeschutztechnisch gut ist.⁷⁹

⁷⁹ vgl. [14], S. 88

3.4.4 ERDBERÜHRTE BAUTEILE

Erdberührte Bauteile sind geringeren Temperaturschwankungen und keinen unmittelbaren Witterungsverhältnissen aufgrund des Erdreiches, gegenüber Bauteilen gegen Außenluft ausgesetzt. Daher sind die erforderlichen U-Werte nach OIB-Richtlinie 6 für erdberührte Wände und Fußböden mit $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ geringer als Bauteile gegen Außenluft.

Fundamente und Wände gegen Erdreich werden heute üblicherweise aus Beton ausgeführt, vor allem bei drückendem Wasser. Dort wo kein drückendes Wasser zu erwarten ist, können erdberührte Wände mit Betonsteinen, die mit Beton ausgefüllt werden, ausgeführt werden.

Die Dämmebene kann entweder raumseitig oder außenseitig geführt werden.

Bei Innendämmungen von erdberührten Bauteilen gelten die gleichen Prinzipien wie bei den innen gedämmten Außenwänden.

Grundsätzlich bieten rundumlaufende Außendämmungen eine wärmebrückenfreie Ausführung. Daher sollten die gesamten wärmeabgebenden erdberührten Bauteile bei Neubauten außen mit einer Wärmedämmung versehen werden da eine äußere nachträgliche thermische Verbesserung schwer oder gar nicht möglich ist. Hier gelten die gleichen Verlegungsprinzipien der Wärmedämmung wie beim WDVS (einlagig mit Stufenfalz und ohne Falz zweilagig kreuzweise). Die eingesetzten Wärmedämmmaterialien (Perimeterdämmung) werden außenseitig auf die Bauwerksabdichtung angebracht und müssen erheblichen Druck- und Feuchtebeanspruchungen standhalten und verrottungsfrei sein.

Das Einsetzen von Noppenbahnen zum Schutz der Wärmedämmung und Feuchtigkeitsisolierungen von erdberührten Bauteilen ist nur bei einer funktionierenden Drainage oder sickerfähigem Baugrund sinnvoll. Wird ohne Drainage trotzdem eine Noppenfolie angeordnet, so muss man bei Regen mit hinterläufigem Wasser rechnen, das eine gestaute Wassersäule bis nach ganz oben zur Folge haben kann. Bei kalten Regen, können diese Oberflächen unnötig abkühlen.

3.4.5 BAUTEILE ZU PUFFERRÄUMEN

Bauteile, die an unbeheizte oder niederbeheizte Räume angrenzen, müssen hinsichtlich der Transmissionswärmeverluste mitberücksichtigt werden. Laut OIB-Richtlinie 6 sind aufgrund der geringeren Temperaturunterschiede reduzierte Anforderungen als bei Außenbauteilen festgelegt, z.B. können dies Decken und Wände zu Garagen und unbeheizten Treppenhäusern, oberste Geschossdecken gegen unbeheizten Dachraum, Decken und Trennwände gegen unbeheizte Räume sein. Hier sollte dennoch auf der kalten Seite der wärmeabgebenden Bauteilkonstruktion eine durchgehende Dämmebene hergestellt werden.⁸⁰

3.4.6 FENSTER, TÜREN UND VERGLASUNGEN

3.4.6.1 EINLEITUNG

Fenster beeinflussen durch ihre Form, Gliederung, Größe, Lage, Anordnung und Konstruktion entscheidend die Energiebilanz. Durch eine große Zahl an Vorschriften und Normen sind Fenster zu einem komplizierten, komplexen Bauteil geworden, dessen konstruktive Einzelheiten bei den Ausführungsarten weitgehend durch die jeweiligen Hersteller festgelegt werden. Bei der Planung sind die allgemeinen Anforderungen für den jeweiligen Einzelfall zu definieren und die Lage, Größe, Verglasung und Fensterart festzulegen. Es muss betont werden, dass für eine wärmetechnisch einwandfreie Bauausführung nicht nur die Qualität der Fenster, sondern in einem hohem Maße auch der vorschriftsmäßige Einbau in die Fassade von entscheidender Bedeutung ist.

Denn die thermische Gebäudehülle ist nur so gut wie das schwächste Glied.

Das Fenster hat zahlreiche Funktionen zu bewältigen, wie:

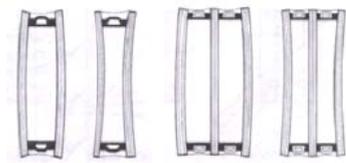
natürliche Belichtung der Räume	Besonnung der Räume
Sichtbezug nach außen	natürliche Belüftung der Räume
Wärmeschutz	natürliche Kühlung der Räume
Luftdichtigkeit/Winddichtigkeit	Schutz vor Schlagregen
Schallschutz	Brandschutz
Absturzsicherung	

⁸⁰ vgl. [14], S. 88 & 90

Gestalterische Funktion: Farbe und Material des Rahmens, Fensterlaibung, Farbe des Glases

Die heutigen üblichen Fenster werden aus Isolierverglasung hergestellt. Verbund- und Kastenfenster sind zur Verbesserung des Wärme- und Schallschutzes sehr gut geeignet.

Das Isolierglas wird bei der Herstellung beim jeweiligen herrschenden Luftdruck des Fabrikationsortes verschlossen. Wird das Fenster in höheren Höhenlagen über den Fabrikationsort eingebaut, wo der Luftdruck geringer ist, kommt es zu einem Ausbauchen der Scheiben und zu einer erhöhten Beanspruchung des Isolierglas-Elementes im Randbereich. Kritischer sind große Fenster, die in niederen Höhenlagen eingebaut werden. Dort kann es mitunter passieren, dass sich die Fensterscheiben in der Mitte der Verglasung berühren, wodurch der Wärmeschutz nicht mehr gegeben ist. Daher muss bei der Bestellung auf die Höhenlage des Einbauortes hingewiesen werden.⁸¹



r
nd 3-

Der U_w - Wert [W/m^2K] ist der Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters, der sich aus mehreren Teilwerten des Fensters berechnen lässt.

$$U_w = \frac{A_g \cdot U_g + A_f \cdot U_f + l_g \cdot \psi_g}{A_g + A_f} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

(Formel 3-3)

U_w = U-Wert Fenster [W/m^2K]

U_g = U-Wert Verglasung Scheibenmittelpunkt gemäß EN 673 [W/m^2K]

U_f = U-Wert Rahmen [W/m^2K]

ψ_g = Wärmebrückenkoeffizient Glasrandverbund gemäß EN ISO 10077 [W/mK]

A_g = Fläche Verglasung [m^2]

⁸¹ vgl. [16], S. 246

A_f = Fläche Rahmen [m²]

l_g = Länge Glasrandverbund [m]⁸²

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient ψ (W/m ² K) in Abhängigkeit vom U-Wert des Rahmens U_f , dem U-Wert der Verglasung U_g und verschiedenen Randverbundlösungen bei normgerechtem Glaseinstand							
Rahmenmaterial	Isolierglas-aufbau	U_f	U_g	Randverbundsystem bzw. Abstandhalter			
				Aluminium	Edelstahl	Kunststoff (Thermix)	TPS
		W/m ² K	W/m ² K	W/mK	W/mK	W/mK	W/mK
Holz	2fach	1,35	1,2	0,068	0,050	0,040	0,041
	3fach	1,30	0,7	0,074	0,051	0,040	0,041
Kunststoff	2fach	1,92	1,2	0,067	0,050	0,040	0,041
	3fach	1,90	0,7	0,070	0,049	0,039	0,041
Aluminium	2fach	2,05	1,2	0,108	0,070	0,053	0,053
	3fach	2,00	0,7	0,111	0,065	0,048	0,048

Tab. 3-9: Werte für verschieden verwendete Fenstermaterialien, [16], S. 320

3.4.6.2 WÄRMESCHUTZVERGLASUNGEN

Grundsätzlich sind Wärmeschutzverglasungen so aufgebaut, dass sie für Licht und Sonnenstrahlen möglichst durchlässig sind und die Wärmetransmission von innen nach außen gering gehalten wird. Wärmeschutzgläser besitzen zwei- oder drei Scheiben und weisen Scheibenzwischenräume zwischen 8 und 16mm auf.⁸³

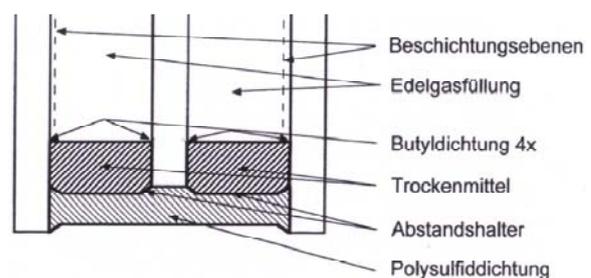


Abb. 3-24: Schnitt durch eine optimierte Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, [20], S. 52

⁸² vgl. [24], S. 257

⁸³ vgl. [69]

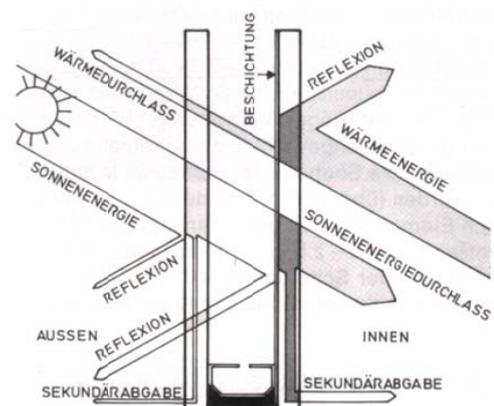
	Diffuser g-Wert in $W/(m^2 K)$	U-Wert Scheibe
Isolierverglasung (4+16+4 mm, Luft)	0,65	3,00
Zweifach-Wärmeschutzverglasung (4+14+4 mm, Argon)	0,60	1,30
Zweifach-Wärmeschutzverglasung (4+14+4 mm, Xenon)	0,58	0,90
Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit Argonfüllung	0,44	0,80
Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit Kryptonfüllung	0,44	0,70
Dreifach-Wärmeschutzverglasung mit Xenonfüllung	0,42	0,40

natürlicher Treibhauseffekt im Innenraum

Das Prinzip des natürlichen Treibhauseffektes der Erde (siehe Kapitel 1), erfolgt umgelegt auf den Gebäudeinnenraum gleich, nur dass die Aufgabe der Wärmerückstrahlung nicht die Treibhausgase, sondern die Wärmeschutzverglasung das übernimmt. Dabei geben die raumumschließenden Bauteile und Einrichtungsgegenstände nach der Absorption des kurzwelligen Lichts diese wieder durch Wärmestrahlungen ab. Diese Wärmestrahlung kann aber nicht mehr durch das Glas entweichen, wodurch sich der Innenraum erwärmt. Dieser bekannte Treibhauseffekt wird schon lange in der Gärtnerei genutzt. ⁸⁴

3.4.6.2.1 GLASSCHEIBEN UND BESCHICHTUNG

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g-Wert [-] des Fensters ist die maßgebende Kennzahl für die Höhe der durchgelassenen eingestrahltten Energiemengen durch die Verglasung in den Raum. Die durch die Verglasung in den Raum eintreffende Energie erfolgt primär durch die direkte Sonnenstrahlung und sekundär über die wärmeabgebende Glasscheibe, die durch die Sonnenstrahlung erwärmt wird.



Die Wärmeschutzverglasung hat die Aufgabe, möglichst geringe Wärme von innen nach

2

⁸⁴ vgl. [6], S. 42

außen zu lassen, wobei die beschichteten Glasscheiben einen hohen Anteil der Wärmestrahlung reflektieren sollen. Andererseits sollten sie für Licht- und Sonnenstrahlung durchlässig sein, um hohe solare Wärmegewinne zu erzielen.

Die Floatglasscheiben⁸⁵ können unbeschichtet oder mit von 0,01 bis 100 µm Bereich liegender Schichtstärke aus Metalloxiden, Edelmetallen oder in Kombination beider beschichtet werden. Diese Beschichtung verbessert die strahlungsphysikalischen Eigenschaften einer Glasscheibe und verbessert die Wärmedämmung der Verglasung. Die Lage der Beschichtung ist für die Funktion des Fensters sehr wichtig. Sie befinden sich in der Regel bei Zweischeibenisoliertgläsern auf der Außenseite der Innenscheibe und bei Dreischeibenverglasung eine weiter auf der Innenseite der Außenscheibe. Somit können diese Beschichtungen bei Putzarbeiten nicht beschädigt werden.

Die unbeschichteten Gläser sind transparent für das sichtbare Licht. Folglich absorbieren und reflektieren sie über diesen Spektralbereich nur sehr wenig und nahezu gleichmäßig über den gesamten Spektralbereich.

Die beschichteten Gläser sind auch weitgehend transparent für das kurzwellige Sonnenlicht im sichtbaren Bereich und lassen diese in den Raum. Gegensätzlich reflektiert die Beschichtung die Wärmestrahlung, welche von den raumumschließenden Bauteilen und der Einrichtung im Innenraum abgestrahlt wird.

Prinzipiell wird eine Verglasungseinheit durch eine weitere Glasscheibe und einer zusätzlichen Beschichtung im bestimmten Abstand wärmeschutztechnisch günstiger.⁸⁶

⁸⁵ fachliche Anm.: Das Glas für Klarsichtsscheiben wird im Floatverfahren hergestellt. Das Glas erstarrt auf einem flüssigen Zinnbad, womit die Scheiben eben und gleichmäßig hergestellt werden können. vgl. [20], S.54

⁸⁶ vgl. [17]; [20], S. 51; [24], S. 252

3.4.6.2.2 FOLIEN

Vorhandene Einfach- oder Doppel-Verglasungen können hinsichtlich des Wärmeschutzes mit einer Folienbespannung zur Verringerung von Konvektion und Wärmestrahlung verbessert werden, ohne dabei die Energiedurchlässigkeit für die Sonnenstrahlung maßgeblich herabzusetzen. Für diese sehr nützliche und preisgünstige Verbesserungsmaßnahme kommen glasklare Kunststoff-Folien zur Anwendung. Dabei werden die Fenster durch Aufspannen geeigneter Kunststofffolien auf der Innenseite des

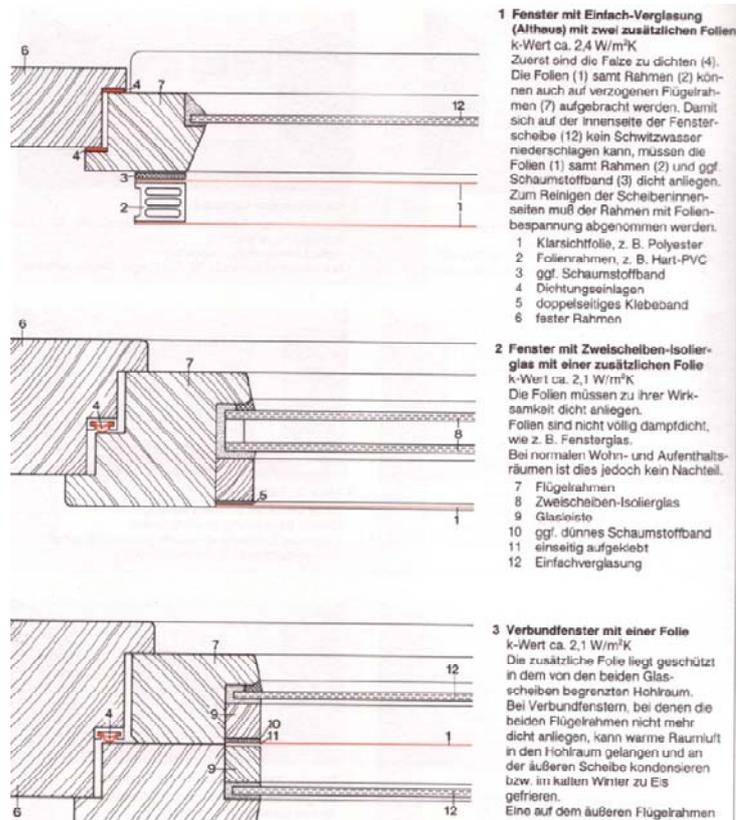


Abb. 3-27: Verschiedenen Fenstertypen mit Klarsichtfolie zur Verbesserung des Wärmeschutzes. [11], S. 51

Flügelrahmens montiert. Mit Hilfe eines Rahmenprofils können auch zwei Folien auf das bestehende Fenster angebracht werden. Diese Folienbespannung ist auf Dauer aber vergleichsweise schlechter einzustufen als ein Fenster, das vorweg eine Scheibe mehr besitzt. Jedoch für Altbauwohnungen mit Einfach-Verglasungen hat diese Maßnahme den Vorteil diese Fenster nachträglich zu verbessern.⁸⁷

3.4.6.2.3 RANDVERBUND

Eine der kritischsten Bereiche beim Fenster stellt der Abstandhalter dar. Er verursacht eine umlaufende linienförmige Wärmebrücke um das Fenster und hat somit merklichen Einfluss auf den Gesamtwärmeverlust der Verglasung. Er wird benötigt, um eine dauerhafte Abdichtung des Scheibenzwischenraumes und den Abstand der einzelnen

⁸⁷ vgl. [11], S. 45

Scheiben zu gewährleisten. In der Berechnung des U_W -Wertes gehen der Wärmebrückenkoeffizient des Glasrandverbundes Ψ_g und die Länge des Glasrandverbundes l_g mit ein. Ziel ist es die Länge durch große Glasflächen kurz zu gestalten und ein thermisch hochwertiges Material mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit λ für den Abstandhalter zu benutzen, um die Transmissionswärmeverluste zu reduzieren.

Bei Isolierverglasungen werden die einzelnen Scheiben durch Abstandhalter aus Aluminium, Edelstahl, Kunststoffen oder Verbundstoffen auf Distanz gehalten.

Die äußere Randabdichtung erfolgt durch Verkleben auf Basis von Polysulfid, Polyurethan oder Silikon und wird durch eine zweite Dichtungsstufe aus Polyisobutylen unterstützt.

Das Trocknungsmittel, das sich im Hohlraum des Abstandhalters befindet, hat die Aufgabe, anfallende eindiffundierende feuchte Luft aus dem Scheibenzwischenraum zu entziehen, um diesen kondensatfrei zu halten.

Vor allem bei Metallprofilen wird die Wärme fast ungebremst ins Freie geleitet, und das entlang des gesamten Übergangsbereiches von Glas und Rahmen. Dies führt an der Glaskante zu einer Abkühlung der raumseitigen Oberflächentemperatur. Sinkt diese unter die Taupunktstemperatur, fällt dort Tauwasser an, welches bei längerem Auftreten zu Schäden an den Fensterrahmen führen kann und somit zu vermeiden ist.

Abstandhalterprofile:

Die Abstandhalter aus Aluminium bestehen aus einem Hohlprofil von ca. 0,5 mm Stärke. Dieser ist aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit ($\lambda_{Alu} \approx 200 \text{ W/mK}$) nicht empfehlenswert.

Thermisch höherwertige Abstandhalter als Aluminium sind Edelstahl-Abstandhalter, Thermix, Swisspacer und TPS (Thermo Plast Spacer).

Der Aufbau des Edelstahl-Abstandhalters entspricht jenem der Alu-Abstandhalter. Der Wärmedurchgang wird deutlich durch die geringe Wärmeleitfähigkeit (hochlegierte Stahl

$\lambda \approx 15 \text{ W/mK}$) von Edelstahl gegenüber Aluminium und durch die geringe Wandstärke des Edelstahl- Hohlprofiles von ca. 0,15 mm reduziert.

Thermix-Abstandhalter ähneln in der Form und Verklebung der einen Alu- Abstandhalters, nur dass deren Grundmaterial aus Kunststoff mit einer unterseitig angebrachten Edelstahlfolie, die als Diffusionssperre dient, besteht.⁸⁸

Der Swisspacer hat gewissermaßen die gleiche Form und Verklebung wie der Alu- Abstandhalter. Das Material besteht aus hoch isolierenden Composite- Kunststoffen und auf der Unterseite befindet sich eine 30 μm starke Alu- oder Edelstahlfolie als Diffusionssperre für Füllgase und Wasserdampf.⁸⁹

Der TPS besteht aus trockenstoffhaltigem Butyl und dessen Außenrandverbund aus Polysulfid. Der TPS-Abstandhalter enthält keine Metalle.⁹⁰

Da der Randverbund eine Wärmebrücke darstellt, ist es empfehlenswert den Scheiben- Randverbund durch einen tieferen Glaseinstand in einem Rahmen einzubringen. „In der Regel beträgt der Glaseinstand $2/3$ der Falztiefe h und damit $\approx 18 \text{ mm}$.“⁹¹

Prinzipiell führen großformatige Verglasungsflächen zu einem geringeren Rahmenanteil und zu kürzeren Randverbundlängen zwischen den Scheiben und sind daher ebenfalls günstige Entwurfskriterien um die Wärmeverluste zu reduzieren.

Daher sollten etwaige Verzerrungen durch Sprossen und/oder Kämpferausbildungen (außer zu statischen Zwecken) in der Scheibenfläche vermieden werden, da dies den U_W -Wert des Fensters erhöht. Heutzutage gibt es für wünschenswerte Verzerrungen der Fensterflächen Aluminiumsprossenprofile, die in den Scheibenzwischenräumen ohne Berührung der Fensterscheiben eingesetzt und punktförmig fixiert



Abb. 3-28: Sprossen im Scheibenzwischenraum.

⁸⁸ vgl. [83]

⁸⁹ vgl. [82]

⁹⁰ vgl. [66]

⁹¹ von [16], S. 321

werden, wodurch keine zusätzlichen Wärmebrücken entstehen.

Der Randverbund muss zusätzlich Formänderungen aus Scher- und Zugkräften aufnehmen und über die Einsatzzeit dicht und beständig gegen die chemische Wirkung aus Fugenmasse und Atmosphäre sowie gegen UV-Strahlen sein.⁹²

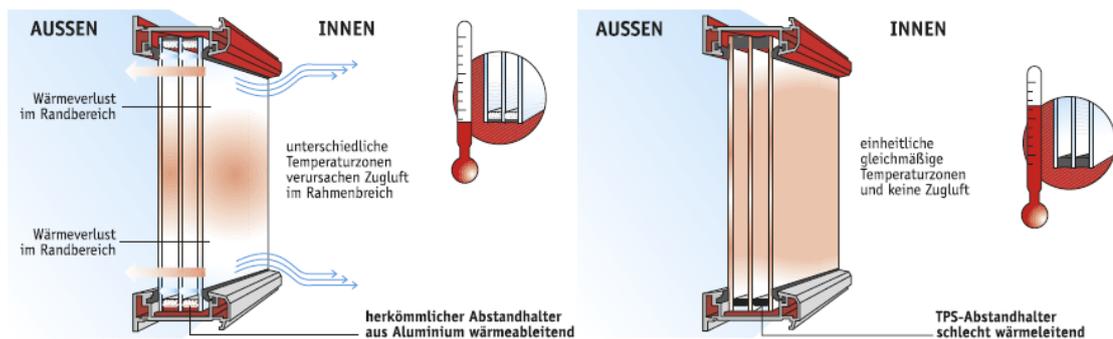


Abb. 3-29: Der Randverbund als Wärmebrücke – Die warme Kante. [66]

Vorteile eines thermisch hochwertigen Abstandhalters führen zu:

- einer höheren Oberflächentemperatur an der raumseitigen Glaskante durch verbesserte Wärmedämmung, auch „warme Kante“ genannt, wobei die oft als Zugluft empfundene kalte Luft in Fensternähe (Strahlung) minimiert wird.
- kaum einer Gefahr von schadenverursachender Tauwasserbildung und gesundheitlicher und hygienisch bedenklicher Schimmelbildung.
- einem günstigeren Isothermenverlauf in Fenster und Fassade aufgrund thermischer Trennung im Randverbund der Verglasung.
- einen deutlich besseren U_W -Wert des Fensters.
- geringeren Transmissionswärmeverlusten am Fenster und daher zu einer Reduktion des Heizwärmebedarfes.
- einer Verringerung des Kaltluftschleiers am Fenster durch eine gleichmäßige Temperaturverteilung.
- einen günstigeren Behaglichkeitsempfinden.⁹³

⁹² vgl. [24], S. 253

⁹³ vgl. [67]

3.4.6.2.4 FÜLLGASE

Die Gasfüllung im Scheibenzwischenraum eines Fensters sollte die Wärmeverluste durch Konvektion reduzieren. Diese Konvektionswalze entsteht dadurch, dass die Füllung an der Scheibenaußenseite sich abkühlt und absinkt und an der Scheibeninnenseite sich erwärmt und aufsteigt.

Um diese Konvektion zu verringern, werden entfeuchtete Luft oder schwere Edelgase mit einer geringen Wärmeleitfähigkeit in den Scheibenzwischenraum gefüllt. Üblicherweise kommen Edelgas-Füllungen aus Argon und Krypton zum Einsatz, die auch gemischt werden können. Es gibt auch Xenon-Füllungen, welche für Isolierverglasungen aus Kostengründen heute seltener zum Einsatz kommen. Die äußerst geringen Gasmengen von Krypton, die während der Nutzungsdauer austreten, sind aus gesundheitlichen Gründen nicht relevant, obwohl es ein radioaktives Gas ist.

Optimal wären Vakuumscheibenzwischenräume um die Konvektion zu unterbinden, welche eventuell in der Zukunft standardisiert werden.⁹⁴

3.4.6.3 RAHMENMATERIAL FÜR FENSTERPROFILE

Einen weiteren Einflussbereich stellt in der Berechnung des U_W -Wertes das Rahmenmaterial dar.

Die drei üblichen Hauptmaterialien, die für Fensterrahmen eingesetzt werden, sind mehrschichtverleimtes Holz, Kunststoff oder Aluminium sowie auch Kombinationen von diesen Materialien, wie z.B. Holz-Aluminium-Fenster. Aber auch Dämmstoffe kommen zum Einsatz, die im oder auf dem Fensterrahmen angebracht werden und einen erhöhten Wärmeschutz bewirken.

Um die Fläche der wärmeübertragbaren Fenstermaterialien zu verbessern, sollten die Fensterstöcke überdämmt werden.⁹⁵

Zu vermeiden sind kleine mehrflügelige Fenster. Sie weisen einen erhöhten Fensterrahmenanteil sowie einen längeren Glasrandverbund auf und erhöhen damit die Transmissionswärmeverluste. Des Weiteren erhöhen sie durch ihre Fugenteil auch noch die Lüftungswärmeverluste.

⁹⁴ vgl. [24], S. 253

⁹⁵ vgl. [24], S. 254

3.4.7 LAGE DER FENSTER IN DER WANDKONSTRUKTION

Die Wahl der Einbauebene prägt nicht nur das Erscheinungsbild des Fensters innerhalb der Fassade und im Innenraum, sondern muss vorrangig auf die bauphysikalischen Gegebenheiten abgestimmt werden.

Im Bereich der Verglasung und Rahmen lässt die ÖNORM B 8110-2 Kondensat zu. Es muss aber durch geeignete Maßnahmen (z.B. Luftfeuchtigkeit reduzieren durch Lüften, für gute Luftzirkulation sorgen und einen Warmluftschleier durch Anordnen von Heizkörpern unter dem Fenster erzeugen) sichergestellt werden, dass es zu keiner Durchfeuchtung des anschließenden Bauteils kommt.⁹⁶

Die Lage des Fensters wird durch die Lage des Taupunktes in der Wand bestimmt. Dabei sollte die Isothermenlinie der, aus der Rauminnentemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit, z.B. bei $t_i=20^\circ\text{C}$ und $\phi=50\%$ beträgt die Taupunktstemperatur $9,3^\circ\text{C}$ ermittelten Taupunktstemperatur der Wand, ununterbrochen innerhalb der Wand, der Fensterkonstruktion und der Verglasung verlaufen.

Bei einer monolithischen Außenwand ist meist dann mit einer Tauwasserbildung in der Fensterlaibung zu rechnen, wenn die Fenster zu weit draußen eingebaut werden. Dabei wird die Isothermenlinie mit der Taupunktstemperatur der Wand unterbrochen. Dadurch entsteht eine Wärmebrücke, die eine geringe Innenoberflächentemperatur verursacht. Daher sind Fenster einer monolithischen Außenwand prinzipiell in der Mitte der Wandkonstruktion zu setzen.

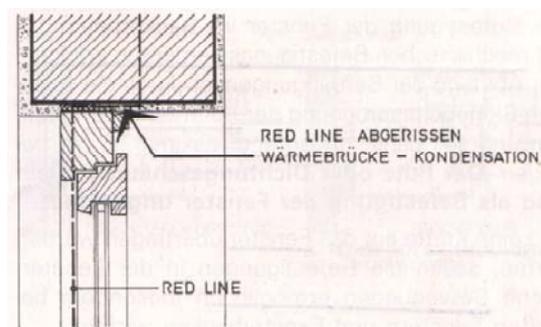


Abb. 3-30: monolithische Außenwand mit seichter Laibung, [25], S. 341

Bei den heutigen meist eingesetzten Wärmedämmverbundsystem (WDVS) werden hohe Dämmstärken zur Erreichung eines hohen energieeffizienten Standards des Gebäudes verwendet. Daher fällt der Taupunkt einer solchen Konstruktion meist in die Wärmedämmebene. Um daher eine ununterbrochene Isothermenlinie zu erhalten, ist das Fenster mit Winkeln in die Dämmebene zu versetzen. Bei geringer Außendämmungen

⁹⁶ vgl. [36], S. 10

kann der Taupunkt der Konstruktion auch in der massiven tragenden Wand zum Liegen kommen. Hier ist das Fenster bündig mit der Außenkante des Mauerwerks einzubauen.

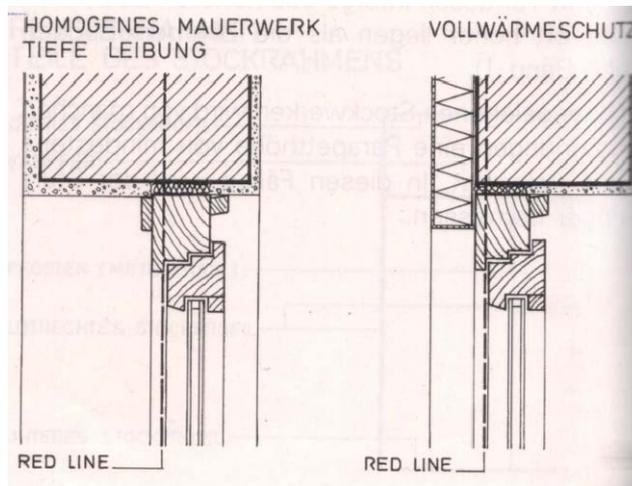


Abb. 3-31: monolitische Außenwnad mit tiefer Laibung und Außenwand mit Vollwärmeschutz, [25], S. 340

Bei einem mehrschaligen Wandaufbau wird das Fenster auch in die Dämmebene versetzt (z.B. Kerndämmung).⁹⁷

Aber auch die Ausbildung der Fensterbänke und die Anordnung von Heizkörpern oder Bodenkonvektoren im Bereich der Fenster sind nicht von unwesentlicher Bedeutung. Auf der Raumseite sollen Warmluftströme zur Verminderung der Tauwasserbildung und Oberflächentemperatur möglichst nahe der Fensteroberfläche verlaufen. Je größer der Abstand des erzeugten Warmluftstromes zum Fenster ist desto höher ist die Gefahr der Tauwasserbildung. Vor allem bei großer innerer Laibungstiefe und bei weit überstehenden Innenfensterbänken ist am unteren Fensterrand Vorsicht geboten.

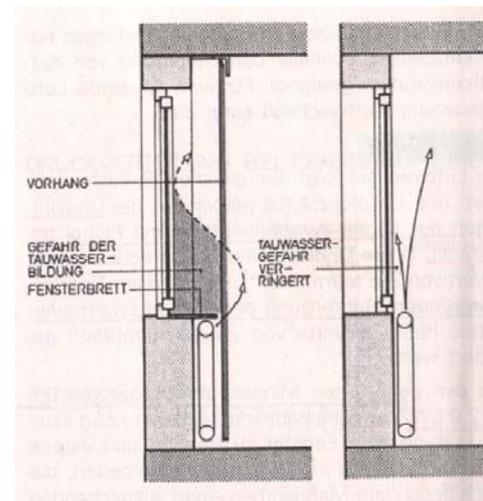


Abb. 3-32: Warmluftschleier am Fenster, [25], S. 332

Um Kondensat im Sturzbereich zufolge fehlender oder geringer Luftzirkulation zu vermeiden, sollte entweder das Fenster möglichst innenbündig sitzen um mit einem vor

⁹⁷ vgl. [32]; [85]

der Wand situierten Heizkörper einen Warmluftschleier nahe dem Fenster zu erzeugen. Oder bei einer tiefen Fensterlaibung kann eine Heizkörpernische mit einer darüber liegenden Fensterbank, die mit Schlitzen versehen ist, um wiederum einen Warmluftschleier nahe am Fenster zu erzeugen, Abhilfe schaffen.⁹⁸



Abb. 3-33: 4-fach-Verglasung des Fensters VARION 4 von Internorm, in Kombination mit der Vorsatzscheibe wird der Top-Wärmedämmwert $U_{wT}=0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$ erreicht (Vetro-Design mit Duette), [74]

3.4.8 TEMPORÄRER WÄRMESCHUTZ

Ein temporärer Wärmeschutz am Fenster minimiert die Transmissionswärmeverluste und verhindert, dass die Rauminnenflächen gegen Strahlungswärmeverluste erhöhte Wärmeverluste erfahren. Das Prinzip der Strahlungswärmeverluste siehe Kapitel 4.5.

Für die Reduktion der Wärmeverluste sind nahe am Fenster dicht geschlossene Schiebelelemente, Roll- und Klappläden, die auch eine Barriere für Wärmestrahlung bilden, effektiv. Der temporäre Wärmeschutz ist eine wichtige passive Maßnahme gegen Wärmeverluste und sollte bei jedem Fenster des Gebäudes verwendet sowie während der Dunkelheit geschlossen werden. In der Nacht sind nämlich himmelsrichtungsunabhängig alle Strahlungsverluste gegen den Nachthimmel gleich groß.

Der Wärmedurchgangswiderstand am Fenster wird durch einen temporären Wärmeschutz, durch den Wärmedurchlasswiderstand des Elementes und durch das Schaffen einer beruhigten bzw. gering belüfteten Luftschicht erhöht.

⁹⁸ vgl. [23], S. 352 & 353; [25], S. 340

Eine beruhigte bzw. gering belüftete Luftschicht ist nur dann wirksam, wenn der temporäre Wärmeschutz rundum luftdicht schließt und das Element einen hohen Wärmedurchlasswiderstand mit einer gewissen Speichermasse aufweist.

Eine gewisse Luftdichtheit wird erreicht, indem die seitlichen Führungsschienen bis nach ganz unten gezogen werden und das Element rundum auf einer Gummidichtung aufsitzt.

Der Abstand der Elemente von der Glasscheibe sollte bei 3 bis 6 cm liegen, weil der Wärmedurchlasswiderstand von vertikal stehenden Luftschichten in diesem Bereich am wirksamsten ist. Bei größeren Abständen kommt es zu Konvektionswalzen, welche den gewünschten Effekt für den Beitrag zur Erhöhung des Wärmedurchgangswiderstandes verhindern.

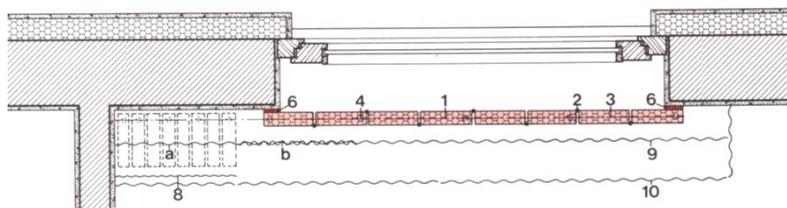
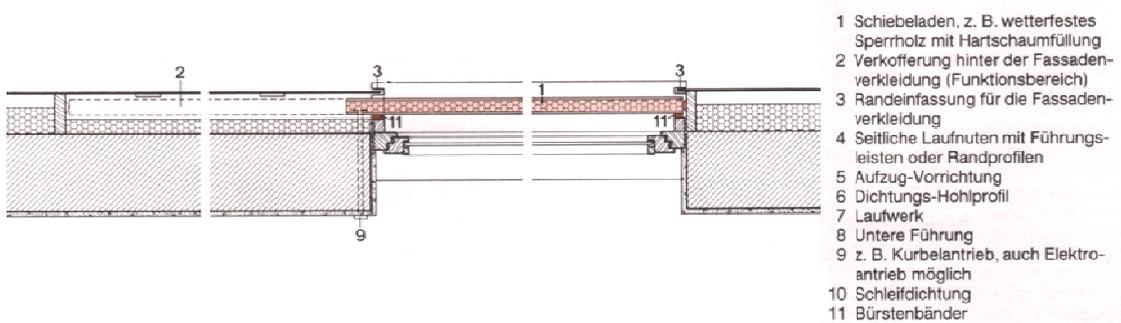
Falt-, Klapp- oder Einzel- bzw. Mehr-Dämm-Schiebeläden können auf der Außenseite der Verglasung angebracht werden. Sie haben aufgrund eines 20 bis 60 mm dicken, steifen Rahmens, der ausgeschäumt oder mit Hartschaum ausgefüllt wird und mit einer Platte beidseitig verschlossen wird, einen guten Dämmwert. Dabei können die Oberflächen mit wärmereflektierenden Materialien versehen werden. Bestens geeignet für die Reflexion der Strahlungswärme sind Oberflächen mit niedrigem Emissionsgrad ϵ , wie Aluminium. Diese Schiebeläden können vertikal oder seitlich, hinter vorgehängten Fassaden, Nischen (Ausnehmung) oder vor der Wand angebracht bzw. Dämmelemente in der Fensternische eingestellt werden.

Flexible Dämmelemente sind einfache und effiziente Lösungen und können durch ihr geringes Gewicht in oder vor die Fensternische gestellt werden. (siehe Abb. 3-36, Bild A)

Roll- und Klappläden verbessern den Wärmeschutz nur gering, da der Wärmedurchlasswiderstand der Lamellen oder Profile sehr gering ist und keine Speichermasse aufweist. Dadurch sind die Oberflächentemperaturen sehr hoch, wodurch erhöhte Konvektionswalzen zwischen den Lamellen und der äußeren Fensterscheibe entstehen. Die geringe Verbesserung beruht auf der Schaffung einer windberuhigenden Zone hinter einem geschlossenen Rollladen, wodurch der äußere Wärmeübergangswiderstand erhöht wird.

Bei der Verwendung von innenliegendem temporärem Wärmeschutz für Fenster kann es zu erhöhten Kondensatscheinungen, auf der raumseitigen Scheibe, kommen. Durch die verbesserte Wärmeschutzmaßnahme wird der Taupunkt weiter nach innen verlagert. Vermeidbar wird dies durch Beheizen mit einem darunterliegender Heizkörpernische mit Luftschlitze in der Fensterbank, damit im Bereich des Fensters ein Wärmeluftschleier erzeugt wird.

Dicke schwere oder mehrere leichte Vorhänge können ebenfalls den Wärmeschutz am Fenster verbessern. Diese sind geschlossen und nahe vorm Fenster sowie vom Rand der Wand bis zum Boden und Decke verlaufend auszuführen, um die Zirkulation zwischen warmer Raumluft und kalter Fensterscheibe zu vermeiden. Dabei entstehen zwischen den einzelnen Vorhängen beruhigte bzw. gering belüftete Luftschichten, die den Wärmetransport verringern und durch die verringerte Innenoberflächentemperatur Kondensat und Schimmel hervorrufen können.⁹⁹

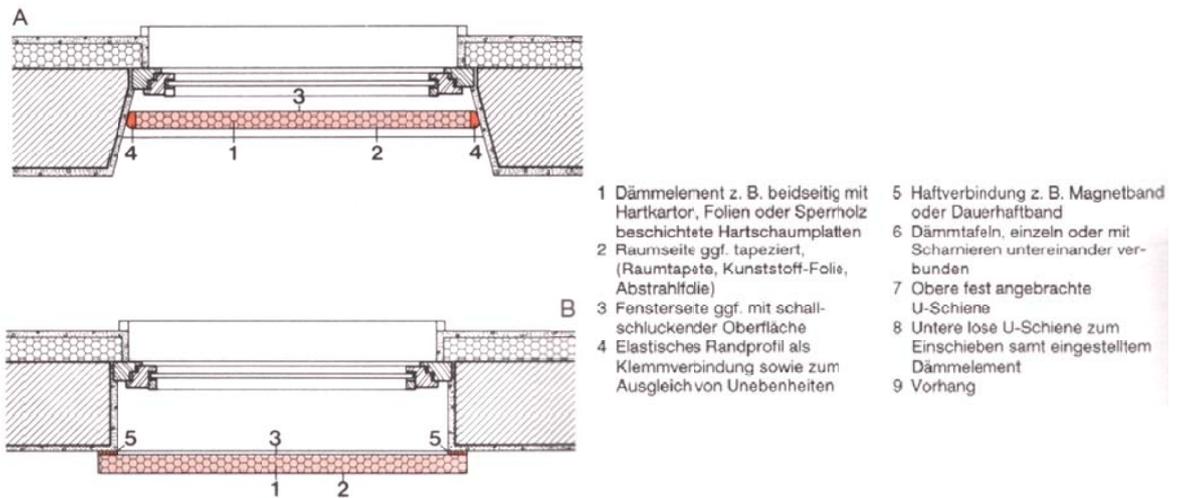


- 1 Fallladen aus 20 bis 30 cm breiten Tafeln in 4 bis 6 cm Dicke, z. B. beidseitig mit Sperrholz beschichtete Hartschaumplatten
2 Platten mit Scharnieren verbunden
3 Deckenlaufschiene
4 Laufrollen
5 Bodenführung
6 in geschlossenem Zustand dichter Wandanschluß
7 Vorhang
8 ggf. Streifenvorhang
9 Übergardine normal angebracht
a) wenn Dämm-laden geschlossen
b) wenn Dämm-laden gestapelt
10 oder Übergardine mit großem Abstand

, S. 70

Fallläden benötigen ggf. eine Spannvorrichtung, damit sie in verschlossenem Zustand dicht anliegen.

⁹⁹ vgl. [1], S. 142 & 143; [11], S. 66; [25], S. 407



ie angebracht,

3.4.9 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass die Transmissionswärmeverluste von wärmeabgebenden Bauteilen verringert werden:

- Geringer U-Wert der Bauteile
- Der kombinierte Konstruktionsaufbau eines opaken Bauteils sollte aus einer statischen Tragkonstruktion und mit einer davor durchgehenden Wärmedämmebene ausgeführt werden.
- Innendämmungen sollten nur mehr bei denkmalgeschützten Fassaden für Sanierungsmaßnahmen zur Anwendung kommen.
- Konventionelle Warmdächer sind den Umkehrdächern vorzuziehen.
- Erdberührte Bauteile sind bei Neubauten grundsätzlich durch eine außenliegende Wärmedämmebene einzudämmen.
- Das Fenster sollte geringe Flächenanteile von Rahmen, kurze Längen der Abstandhalter sowie keine Verzierungen durch Sprossen enthalten.
- Fensterstöcke sind zu überdämmen siehe Abbildung 3-49.
- Die Lage des Fensters muss so eingebaut werden, dass jene Isothermenlinie mit der Taupunkttemperatur der Wand ununterbrochen innerhalb der Wände bzw. der Fensterkonstruktion und der Verglasung verläuft.

- *Der temporäre Wärmeschutz sollte nahe an jedem Fenster vorhanden sowie umlaufend luftdicht schließen, einen hohen Wärmedurchlasswiderstand und eine hohe Speichermasse aufweisen und die Oberflächen sollen einen geringen Emissionsgrad ϵ besitzen.*

3.5 STRAHLUNGSVERLUSTE

3.5.1 EINLEITUNG

Die Strahlungswärmeverluste haben Einfluss auf die Transmissionswärmeverluste.

Durch erhöhte Wärmeabstrahlung der Bauteilaußenflächen und den Rauminnenflächen über die transparenten Bauteile gegen die obersten Atmosphärenschichten verringert sich die Außenoberfläche der Bauteile und verursacht einen erhöhten Wärmefluss.

„Jeder Körper, dessen Temperatur über dem absoluten Nullpunkt liegt, sendet Wärmestrahlung aus.“¹⁰⁰ Beziehungsweise alles, was eine höhere Oberflächentemperatur als 0° Kelvin eines Körpers besitzt, strahlt Wärme ab. Der Austausch zweier Oberflächen geht in beide Richtungen, nur strahlt der wärmere Körper mehr Energie ab. Prinzipiell, kann der Weltraum als ideal schwarzer Körper¹⁰¹ angesehen werden, dessen Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt ($0\text{ K} \equiv -273,15^\circ\text{C}$) liegen.

Die hauptsächlichen Einflussfaktoren, die in die Berechnung für die ausgetauschte Strahlungswärmemenge zwischen zwei Oberflächen eingehen, hängen von der Temperaturdifferenz ΔT und dem Emissionsgrad ϵ ab.

Die Höhe der Strahlungsemission ist umso größer je größer der Temperaturunterschied ΔT der austauschenden Körper ausfällt und je größer der Emissionsgrad ϵ ist.

In kalten, klaren Nächten treten diese Wärmeabstrahlungen verstärkt auf, da der lokale Wasserdampfgehalt der Luft gering ist und es zu geringer atmosphärischer Rückstrahlung kommt.

Somit steht das Bauwerk mit den obersten Atmosphärenschichten im Strahlungsaustausch.

¹⁰⁰ von [49]

¹⁰¹ fachliche Anm.: Der schwarze Körper ist ein idealisierter Körper, der alle elektromagnetischen Strahlungen gänzlich absorbiert. Für den Strahlungskoeffizient des ideal schwarzen Körpers gilt: $C=C_e=5,67\text{ [W/m}^2\text{K}^4]$.

Folglich erfährt das Gebäude erhöhte Wärmeverluste aufgrund dessen, dass die Gebäudeflächen himmelsrichtungsunabhängig ihre Wärme abstrahlen.

3.5.2 KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN GEGEN SEKUNDÄRKONDENSAT ZUFOLGE STRAHLUNGSVERLUSTE

3.5.2.1 OPAKE BAUTEILE

Ein bekannter Effekt, der bei Strahlungsverlusten eintritt, ist die Tauwasser- bzw. Reifbildung an Oberflächen der Gebäudeaußenbauteile.

Der Wasserdampfgehalt der Außenluft nimmt nach Sonnenuntergang ab, wobei es zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit kommt. Die obersten Atmosphärenschichten entziehen in diesen kalten, klaren Nächten durch Strahlung dem Bauteil zusätzliche Wärmeenergie, wodurch die Oberflächentemperatur der Bauteile unter die Außenlufttemperatur bis zum Erreichen des Taupunktes absinken kann. Kann nicht genügend Wärme von innen nachgeführt werden, um die Oberflächentemperaturen über dem Taupunkt zu halten, schlägt sich an ihr Sekundärkondensat oder bei Temperaturen unter 0° C Reif nieder.

Bei opaken Bauteilen trocknet das anfallende Kondensat und der Reif am Tag wieder auf und benötigen bei gebräuchlich verwendeten Baustoffen keinen weiteren Schutz.

Auf der Nordseite kann es zu Algen und Moosbildung kommen, da diese Fassadenfläche im Winter und in den Übergangszeiten nicht direkt von der Sonne bestrahlt wird, wodurch diese Fassadenoberfläche tagsüber nicht von Tauwasser oder Reif befreit wird.

Gefährlicher und damit schädlicher ist anfallendes Tauwasser oder getauter Reif bei undichten Stellen in der Gebäudehülle und Hinterlüftungen, da von innen Feuchtigkeit nachgeführt wird und damit eine erhöhte Durchfeuchtung der Konstruktion die Dämmwirkung durch Zunahme der Wärmeleitfähigkeit verschlechtert.

Konstruktiv wirksame Maßnahmen gegen Strahlungsverluste sind Oberflächen mit einem kleinen Emissionsgrad $<\epsilon$, wie eine Aluminiumfassade.

3.5.2.2 TRANSPARENTE BAUTEILE

Bei transparenten Bauteilen kommt es aufgrund der guten Wärmeschutzverglasung nur mehr selten außen zu Kondensaterscheinungen, da die Wärmezufuhr vom Innenraum reduziert ist. Durch das Abkühlen der Außenscheibe unter den Taupunkt schlägt sich an ihr Tauwasser oder Reif nieder. Um keine Schäden davonzutragen sollten diese über den Tag austrocknen. Vorsicht ist auch hier auf den nordseitigen Fensterflächen geboten.

3.5.2.3 HINTERLÜFTETE BAUTEILE

Gefährdungspotenzial bilden belüftete Konstruktionen durch Sekundärkondensat. Dieses Oberflächenkondensat entsteht durch den vorhandenen Wasserdampf in der Außenluft, welcher sich im Inneren der Konstruktion niederschlägt. Sinkt durch Abstrahlung die Oberflächentemperatur unter die der Außenlufttemperatur, so dass die äußere Grenzflächentemperatur des Belüftungsraumes unter den Taupunkt sinkt, so fällt Sekundärkondensat im Belüftungsraum an bzw. unter 0° C Reif.

Sekundärkondensat tritt nur in wenigen Stunden auf. Daher sind wärmeträge Systeme mit wärmespeichernden Materialien, die die Feuchtigkeit in diesen kritischen Stunden speichern können, vorteilhafter. Wärmeträge Materialien mit einer entsprechenden Wärmespeichermasse stellen z.B. Dachziegel oder Faserzement-Dachplatten auf einer sägerauen Holzschalung dar.

Zu einer erhöhten Sekundärkondensatbildung kommt es bei Konstruktionen deren außenseitigen Wandelemente oder -platten an Stahlträger- oder Aluminium-Konsolen befestigt werden und deren Konstruktion hinterlüftet sowie mit einer Zwischendämmung ausgeführt wird (siehe Abbildung 3-22). Durch die geringe spezifische Wärmekapazität der Metallträgerprofile kommt es aufgrund der Abstrahlung folglich zu Sekundärkondensat. Nachteilig sind Stahlprofile wie IPE, HEA, etc., aufgrund der höheren Oberflächen gegenüber einem quadratischen oder rechteckigen Profil.

Sekundärkondensat kann ebenfalls bei südlich orientierten Steildächern anfallen. Erwärmt sich die auf der Südseite liegende Luft im Belüftungsraum, so steigt diese auf und strömt auf die noch kühle, beschattete Nordseite. Kann der Wasserdampf nicht

mehr gehalten werden, so fällt wieder Oberflächenkondensat im Belüftungsraum nieder. Um diesen Effekt des Sekundärkondensats zu vermeiden, müssen die beiden verschieden orientierten Belüftungsräume der Dachflächen getrennt werden, damit ein Überströmen auf die andere Seite unterbunden wird. Weiteres Verringerungspotenzial liegt bei einem um 20° gedrehten Gebäudegrundriss, damit auch die nördlichere Seite tagsüber kurzzeitig besonnt wird und die Lufttemperaturen durch die kurze Bestrahlungsdauer der Sonne im nördlichen Belüftungsraum erhöht werden, damit das anfallende Kondensat austrocknen kann. Dunklen Dachflächen, die einen erhöhten Absorptionsgrad aufweisen, erwärmen die Luft im Belüftungsraum schneller. ¹⁰²

3.5.3 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass die Strahlungsverluste verringert werden:

- *Temporäre Wärmeschutzeinrichtungen*
- *Oberflächen mit geringen Emissionsgrad, z.B. Aluminiumfassaden*

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass geringere Sekundärkondensatmengen im Belüftungsraum anfallen:

- *Verwenden von wärmeträgen System mit wärmespeichernden Materialien, z.B. Dachziegel oder Faserzement-Dachplatten auf einer sägerauen Holzschalung.*
- *Bei einem nach Süden orientierten Steildach müssen die Belüftungsräume voneinander getrennt werden, damit ein Überströmen der warmen zur kühleren Luft auf die andere Seite unterbunden wird.*

¹⁰² vgl. [10], S. 87 & 88; [19], S. 67

3.6 LUFTDICHTHEIT DER GEBÄUDEHÜLLE

3.6.1 EINLEITUNG

Die Dichtheit des Gebäudes hat hauptsächlich Einfluss auf die Lüftungswärmeverluste und in weiterer Folge bei Durchfeuchtung der Baukonstruktion auch auf die Transmissionswärmeverluste aufgrund der Verschlechterung der Wärmeleitfähigkeit durch Feuchtigkeitsaufnahme und der folglich erhöhten Erhöhung des Wärmedurchlasswiderstandes.

Prinzipiell sind ungewollte Lüftungswärmeverluste oder Abkühlen der Bauteile durch Ausbilden einer luftdichten Gebäudehülle zu vermeiden.

Die Luftdichtheit beschreibt die Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle und wird mit dem Wert der Luftwechselrate n_{50}^{103} [1/h] angegeben.

„Gebäude-Außenhüllen müssen luftdicht sein.“¹⁰⁴

Mit dieser Aussage ist das häufig diskutierte Thema, dass die Fugenlüftung einen hygienischen und schadfreien Luftaustausch durch deren Be- und Entlüftungsvorgänge sicherstellt, abgetan. Ein Luftaustausch durch Außenfugen ist abhängig von dem Winddruck, -sog infolge des Temperaturantriebes. Dabei können Exfiltrationsluftströme und Infiltrationsluftströme an undichten Stellen (Leckagen) der Gebäudehülle entstehen, die Schäden in der Konstruktion verursachen können.

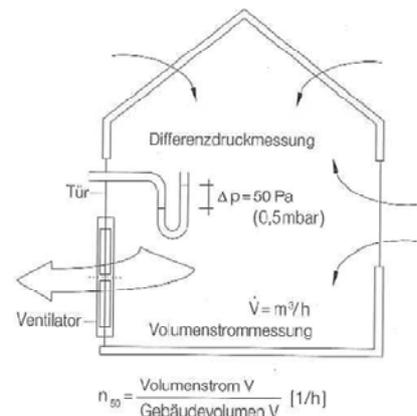


Abb. 3-37: Funktionsschema eines Blower-Door-Test, [14], S. 94

Bei undichten Stellen in der Gebäudehülle kann durch Winddruck Luft ins

¹⁰³ Erläuterung: Der Drucktest (Blower-Door-Test) ist jene Methode, die die gesamte Leckage des Gebäudes bestimmt. Bei der Testdurchführung werden bei einer Tür- oder Fensteröffnung eine Messdüse und ein Gebläse eingebaut. Mit dem Gebläse kann ein Über- oder Unterdruck im Gebäude erzeugt werden, wobei bei einer Druckdifferenz von 50 Pa der Volumenstrom ermittelt wird. Das Ergebnis ist die Luftwechselrate n_{50} [1/h] bei der Prüfdruckdifferenz von 50 Pa. vgl. [24], S. 22 & 23

¹⁰⁴ von [5], S. 20

Gebäudeinnere gedrückt oder durch Schlagregen Wasser in die Konstruktion eindringen.

Bei Windsog oder großen Temperaturunterschieden entweicht die warme, feuchte Rauminnenluft nach außen und kühlt auf dem Wege durch die Leckagen nach außen ab. Beim Erreichen des Taupunktes auf dem Weg durch die undichten Stellen entsteht Kondensat und die Konstruktion durchfeuchtet. Wird dieser Wasserdampfzutritt durch Strömung und Diffusion nicht unterbunden oder reduziert, sodass dieser Feuchtigkeitsgehalt nicht wieder in der Trockenperiode austrocknen kann, entstehen folglich erhöhte Transmissionswärmeverluste infolge einer kontinuierlichen Feuchtigkeitszunahme. Dieser Effekt der Durchfeuchtung ist weitaus ärger als jener der Dampfdiffusion.

Weitere unakzeptable Nebenerscheinungen infolge von Durchfeuchtung sind gesundheitlich schädliche Pilze und die schädigende Korrosion von metallischen Stoffen.

Frostschäden entstehen, wenn die Außentemperatur unter den Gefrierpunkt fällt und das Wasser im durchfeuchteten Bauteil friert. Durch die 9% Volumenzunahme, die Wasser beim Übergang vom flüssig in den festen Aggregatzustand (Eis) erfährt, werden bei behinderter Dehnung die Spannungen der Baustofffestigkeiten überschritten. Zwangsläufig kommt es zu Frostschäden, z.B. durch Aufspreizen von Fugen oder Abplatzungen an der Konstruktion.

Aufgrund des erhöhten Gefährdungspotenzials einer Fugenlüftung ist ein dauerhafter und hygienischer Luftaustausch nicht verlässlich und schadet.

Die Nachteile undichter Stellen in der Gebäudehülle sind hohe Lüftungswärmeverluste, Abkühlen von Bauteilen (erhöhte Transmissionswärmeverluste), erhöhte Kondensaterscheinungen sowie Schimmelbildung und ein ungenügender Schallschutz.

105

¹⁰⁵ vgl. [5], S. 20 & 21

3.6.2 ENTWURFSBEZOGENE UND KONSTRUKTIVE UMSETZUNG EINER DICHTEN GEBÄUDEHÜLLE

Das Passivhauskonzept geht davon aus, dass die Luftdichtheit der Gebäudehülle einwandfrei sein muss. Die Lüftungsanlagen bewerkstelligen den notwendigen Lüftungsaustausch.

Eine gute Luftdichtheit des Gebäudes erreicht man durch eine gewissenhaften Detailplanung und deren sorgfältigen Ausführung.

Das wichtigste Planungsprinzip liegt bei einer dauerhaften, umlaufenden, vollständig geschlossenen luftdichten Hülle um das beheizte Raumvolumen.

Diese umlaufende Luftdichtungsebene muss in der Außenbauteilkonstruktion eindeutig spezifiziert werden und kann an verschiedenen Ebenen, je weiter innen desto besser, aber vorrangig geschützt, in der Konstruktion zu liegen kommen. Entscheidend ist die einfache und sichere Einbindung der auszuführenden Anschlussfugen wie Fenster, Durchbrüche, Fugen zwischen Mauerwerk und Dachstuhl u.a., die an der luftdichten Hülle anschließen müssen. Die Führung der luftdichten Hülle in der Konstruktion richtet sich nach den verwendeten Materialien. Dafür werden fünf Hauptmaterialgruppen eingesetzt:

- Holzwerkstoffplatten:

Holzspan-, Gipskarton-, Sperrholz-, Holzhartfaser-, kunstharzgebunden Holzwerkstoffplatten (OSB-Platten) sind dafür geeignet. Die Stöße und Anschlüsse sind luftdicht zu verspachteln oder mit vorgefertigten Folien, Pappstreifen oder Klebebändern abzukleben und mechanisch zu sichern.



Abb. 3-38: Fachgerechtes luftdichtes Abkleben eines 3D-Werkstoffplattenanschlusses (Bild OSB-Platten). Vorerst wird die Ecke dreifach zwischen zwei Platten abgeklebt (linkes Bild) und erst danach werden die daran anschließenden linienförmigen Plattenverbindungen verklebt (Bild rechts). [24], S.28

- Putzmörtel und Spachtelung:

Innenputz vollflächig von Rohdeckenoberkante bis Rohdeckenunterkante verputzen. Nicht sichtbare Stellen, z.B. Wandanschluss von Stiegenwange oder Zwischenwandanschlüsse, müssen vorher verputzt oder gespachtelt werden. Ein Vorverputz im Rohbau erweist sich dafür praktikabel.

Beim Ziegelbau: unterste, auskragende erste Ziegelschar außen luftdicht verschließen, oberste Ziegelschar, Fensterparapett-, Fenstersturz- und Fensterlaibungsflächen sind über die gesamte Mauerwerksbreite mit vollflächiger Mörtelschicht oder Spachtelung abzudecken.¹⁰⁶

Beim 3D-Putzanschluss für einen Massivbau werden die drei Putzebenen in der Ecke zusammen geschlossen, wenn die Bauteilbewegungen unbedeutend sind (falls nötig ist eine Armierung einzulegen).



Abb. 3-39: Spachtelung der Fenstersturz-, Fensterparapett- und Fensterlaibungsfläche, [3]



Abb. 3-41: Spachtelung der Stiegenwange bevor die Stiege betoniert wird, [3]



Abb. 3-40: Spachtelung für einen luftdichten Innenwandanschlusses, [3]

¹⁰⁶ vgl. [32], S. 6

- Luftdichte Folien:

Kunststofffolien, alubeschichtete Folien, armierte Baupappen u.a.

Stöße und Anschlüsse müssen seitlich mit geeignetem Dichtband und/oder durch Presseleisten luftdicht abgeschlossen werden oder die Folien werden je nach Bedarf mit einseitigem/beidseitigem Butylklebeband verklebt.

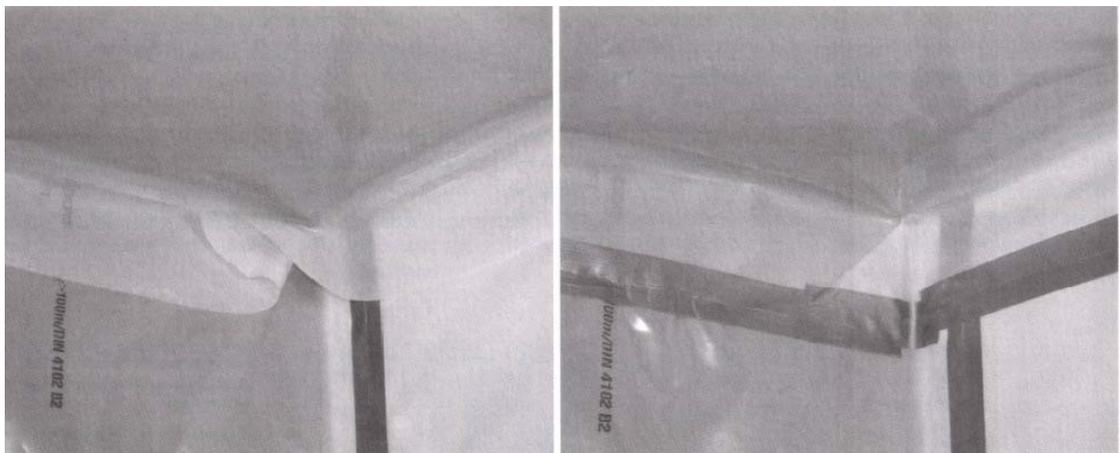


Abb. 3-42: 3D-Dichtungbahnanschlüsse für die luftdichte Verbindung von drei Folien (Wand/Wand/Decke). Nach dem Verkleben der überlappenden Wandfolien wird die Deckenfolie gefaltet und auf beiden Wandfolien mit ausreichendem Folienspiel (Bauteilbewegung!) verklebt. [24], S. 28



Abb. 3-43: äußerer Fensteranschluss verklebt, [3]

- Beton
- Glasscheiben

Das Luftdichtheitskonzept eines Gebäudes liegt in der Kombination dieser Materialien. Bei der Ausführung ist auf eine fugenfreie Verarbeitung zu achten um die Stoßstellen dauerhaft, mit unkompliziertem Aufwand, dicht zu bekommen.¹⁰⁷

108

Die schwierigsten zu lösenden Bereiche einer dauerhaften, umlaufenden, vollständig geschlossen dichten Gebäudehülle sind Durchdringungen.

Eine der besten Lösungsansätze ist nach Möglichkeit diese bei der Planung zu vermeiden. Werden sie dennoch gebraucht, müssen sie gut durchdacht und sorgfältig ausgeführt werden. Unvermeidbar sind Durchdringungen, z.B. Lüftungs- und Abwasserrohre, Elektrokabeldurchführungen und Auflager für Holzbalken, Sparren und Pfetten. Für diese sind ausführbare Detaillösungen zu planen, wobei konzentriert zusammenführende Kabeln und Rohre auf einer Stelle hilfreich erscheinen.

Beim Massivbau stellt der Innenputz die umlaufende Dichtebene dar.

Unterputzdosen sind inklusive Kabel satt in die Putzmasse einzubetten.

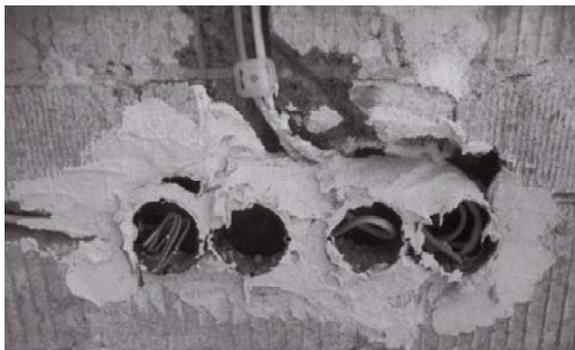


Abb. 3-44: So nicht! Ungeeignet eingesetzte Steckdose in einer Ziegelwand (Altbausanierung). Hier sind auch nach dem Verputzen der Wandflächen Leckage an den Kabeleinführungen und Dosenrückseiten zu erwarten.

[24], S. 29

¹⁰⁷ fachliche Anm.: Die Baustoffschichten sollten nach der diffus nach außen zunehmen und der Wärmeoeffizient λ [W/mK] sollte von innen nach außen abnehmen.

¹⁰⁸ vgl. [5], S. 22 & 23; [24], S. 25



Abb. 3-45: Installationsschlitze müssen verspachtelt werden, [3]

Beim Passivhaus Singer in Hartberg wurden ebenfalls die inneren Stoßfugen des Mauerwerks verspachtelt. Vor allem bei knirsch gestoßenen Mauerziegeln mit Nut und Feder sind diese Stoßfugen luftdurchlässig.

Bei Sanitärinstallationen ist eine Vorwandinstallationsebene, in der die meist häufigen Sanitärleitungen laufen, effektiv. Die Außenwand muss unbedingt vor der Montage der Vorwandinstallation vollflächig verputzt werden.

Für Installationsschächte ist bei Durchbrüchen durch das Vergießen mit schwindarmen Mörtel ein guter luftabdichtender Abschluss erreichbar.

Bei Leichtbaukonstruktionen sind Installationsebenen wirksam. Sie sollten gleich hinter der raumseitigen Verkleidung und vor der Luftdichtheitsebene zu liegen kommen.

Kabel- und Rohrdurchführungen durch Folien sind mit vorgefertigten Manschetten zu bewerkstelligen, welche auf den Luftdichtungsbahnen und luftdichten Werkstoffplatten aufgeklebt werden können.

Balkenköpfe, die auf der Außenwand aufliegen, sollten auch mit stabilen Manschetten eingepackt werden. Diese werden dann im Massivbau mit eingeputzt oder bei Leichtbauanschlüssen mit der Luftdichtungsbahn verklebt.

Weitere Systemmöglichkeiten bieten luftdichte Unterputzdosen, in welche Kabel und Leerverrohrungen luftdicht angeschlossen werden können. Diese Dose wird mit einem speziellen Dichtring, z.B. bei einer Holzwerkstoffplatte, luftdicht montiert.

Schraubenlöcher stellen keine weiteren Probleme dar, wenn die beschädigten Stellen mit dem Anpressdruck durch Leisten wieder geschlossen werden. Nägel können sich dagegen nach einigen Jahren durch Quellen und Schwinden des Holzes wieder lösen und damit die beschädigte Folien nicht dauerhaft dicht schließen.

Leckagen treten standardmäßig immer wieder bei den Außenrollläden auf. Bürstendichtungen und Kurbeldurchführungen sind akzeptable Lösungen, jedoch die bessere aber auch teurere Lösung sind motorisch betriebene Rollläden. Das nach außen geführte Kabel muss dennoch luftdicht ausgeführt werden.¹⁰⁹

¹⁰⁹ vgl. [24], S. 29 bis 31

Aufgrund von Deckendurchbiegungen und der Fuge am Deckenaufleger auf der Wand schafft eine Deckendichtschnur, die einige Zentimeter am inneren oberen Wandbereich in eine Nut vor dem Betonieren der Decke eingelegt wird, einen luftdichten Anschluss.



Abb. 3-46: Einlegen der Deckendichtschnur, [3]

Der Erfolg einer dauerhaften, umlaufenden, vollständig geschlossen dichten Hülle liegt in einer sorgfältigen Detailplanung mit Hauptaugenmerk auf eine gute Ausführbarkeit.

Schlussendlich muss eine luftdichte Gebäudehülle folgende Anforderungen erfüllen.

Zu vermeiden ist ein feuchtebedingter Bauschaden durch Exfiltrationsströmungen. Zusätzlich tritt dabei wegen der Durchfeuchtung des Dämmstoffes eine Verschlechterung der Dämmwirkung ein, weil es zu einer Zunahme der Wärmeleitfähigkeit kommt.

Daneben sind Zugluft und Fußkälte, welche durch die Windgeschwindigkeit und -richtung kalte Infiltrationsluftströme verursachen, zu vermeiden.

Hohe Infiltrationswärmeverluste sind zu vermeiden. Die unkontrolliert einströmende kalte Außenluft muss erst durch die warme Rauminnenluft erwärmt werden, was zu höheren Wärmeverlusten führt und mit erhöhter Aufheizleistung zu kompensieren ist.

Ebenfalls sollten die Infiltrationswärmeverluste bei Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung gering gehalten werden um deren Funktionsfähigkeit und Effizienz nicht zu beeinträchtigen.¹¹⁰

¹¹⁰ vgl. [24], S. 21

3.6.3 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass aufgrund der Luftdichtheit der Gebäudehülle die Lüftungswärmeverluste verringert werden:

- *Eine dauerhafte, umlaufende, vollständig geschlossene luftdichte Hülle um das beheizte Raumvolumen wird durch eine sorgfältige Planung und Detaillösung mit einer möglichst unkomplizierten Ausführung gewährleistet.*
- *Bei Holzwerkstoffplatten sind die Stöße und Anschlüsse luftdicht zu verspachteln oder zu verkleben.*
- *Putzschichten sind vollflächig von der Rohdeckenoberkante bis zur Rohdeckenunterkante zu ziehen.*
- *Spachtelung (ebenfalls die nachher nicht sichtbaren Stellen): z.B. Stiegenwangen, Wandanschluss, Fenststurz-, Fensterparapett- und Fensterlaibungsflächen über ganze Mauerwerksbreite, unterste, auskragende erste Ziegelschar, oberste Ziegelschar, Installationsschlitze*
- *Deckendichtschnur am inneren oberen Wandbereich*
- *Luftdichte Folien sind mit geeignetem Dichtband und mit Pressleisten zu versehen.*
- *Konzentrierte Zusammenführung mehrerer Installationen in einem Punkt*

3.7 WÄRMEBRÜCKENFREIES BAUEN

3.7.1 EINLEITUNG

Wärmebrücken erhöhen die Transmissionswärmeverluste durch erhöhten Wärmefluss.

Wärmebrücken sind einzelne, örtlich begrenzte Schwachstellen in Außenbauteilen eines Gebäudes, die einen erhöhten Wärmestrom aufweisen. Sie erhöhen damit die Transmissionswärmeverluste und können Tauwasserschäden hervorrufen.

Wärmebrückenfreies Bauen muss verhindern, dass die herabgesetzte raumseitige Oberflächentemperatur über die Taupunkttemperatur der Raumluft zu liegen kommt, damit sich dort kein Schimmelpilz bilden kann.

Vermeidungspotenzial liegt in einer gewissenhaften Planung durch Festlegen der Dämmschichtebene sowie der Verglasungen in Zusammenhang mit einer sorgfältigen Ausführung der homogenen Hüllfläche.

3.7.2 WÄRMEBRÜCKENARTEN UND KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN

Es gibt verschiedene Arten von Wärmebrücken, die sich oftmals nicht vermeiden lassen.

3.7.2.1 GEOMETRISCHE WÄRMEBRÜCKE

Eine geometrische Wärmebrücke ergibt sich, wenn die wärmeabgebende Außenoberfläche größer als die wärmeaufnehmende Innenoberfläche ist.

Diese unvermeidbaren Wärmebrücken treten an Wandaußen- bzw. Rauminnenecken, Ichen, sowie Kanten mit anschließenden Kühlrippen, z.B. bei Attika oder auskragenden Balkon- oder Loggienplatten, Baukörperanschlüssen von Fenster und Türen, aber auch bei Wand- oder Deckenanschlüssen bzw. Pfeilern, Stützen, Überlagen und Anker, auf.

¹¹¹

Eine wirksame Reduktion der Innenoberflächentemperatur erfolgt durch Abrundungen und flache Winkel.

Machbare und effiziente Maßnahmen sind z.B. ein kreisförmige Bauweise, oder die Außen- oder Innenecke werden abgedämmt.

¹¹¹ vgl. [36], S. 17

3.7.2.2 STOFFBEDINGTE WÄRMEBRÜCKE

Konstruktive Wärmebrücken entstehen, wenn Bauteile mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit, Dämmebenen durchdringen oder in diese eindringen. Konstruktive Wärmebrücken können linienförmig oder punktförmig sein.

Typisch linienförmige Wärmebrücken sind auskragende Balkonplatten, Attiken, tragende Querschnitts- und Längsbauteile mit Zwischendämmungen, Stahlbetonteile im Mauerwerk, Deckenroste, Abstandhalter beim Fenster, Rolllädenkästen oder Fassadenbefestigungen, die durch die Wärmedämmebene geführt werden. Entscheidend sind die Längen der linienförmigen Wärmebrücken. Je länger diese sind desto mehr Energie geht verloren.

Vermeidungspotenzial liegt in der konstruktiven Ausführung dieser linienförmigen Wärmebrücken.

Ein Beispiel dafür zeigt die Abbildung 3-22.

Die über das Metallprofil verlorengegangene Wärme ist geringer je kleiner die Berührungsfläche des Metallprofils an der kalten Seite der tragenden Wand je geringer die Blechdicke und je kleiner die Wärmeleitfähigkeit λ ist.

Das Metallprofil entzieht aufgrund seiner geringeren spezifischen Wärmekapazität und der höheren Wärmeleitfähigkeit der tragenden Wand die von innen nachströmende Wärmeenergie. Diese Wärmeenergie wird dann weitergeleitet und an der Oberfläche des Stahlprofils an die kalte Außenluft abgegeben. Eine punktförmige thermische Trennung zwischen Stahlträgerprofil und Stahlbetonwand verursacht einen geringeren Wärmefluss.

Sonstige linienförmige Bauteile können überdämmt mit Spezialkonstruktionen wie Isokörbe oder durch Dämmeinlagen thermisch getrennt werden.

Bei Industriebauten kommen meist z.B. gedämmte Sandwich-Kassettenelemente oder Wärmedämmpaneele zum Einsatz. Vorteilhafter sind große Dämmelemente um die Stoßfugen der Elemente gering zu halten, da diese eine linienförmige Wärmebrücke bilden.

Um einen Isokorbausbildung im Attikabereich zu vermeiden könnte eine mögliche Attikaausbildung wie beim Passivhaus Singer in Hartberg (A, Stmk.) der Firma Singer & Co Bauges.m.b.H. wie folgt aussehen:

ATTIKAAUSBILDUNG

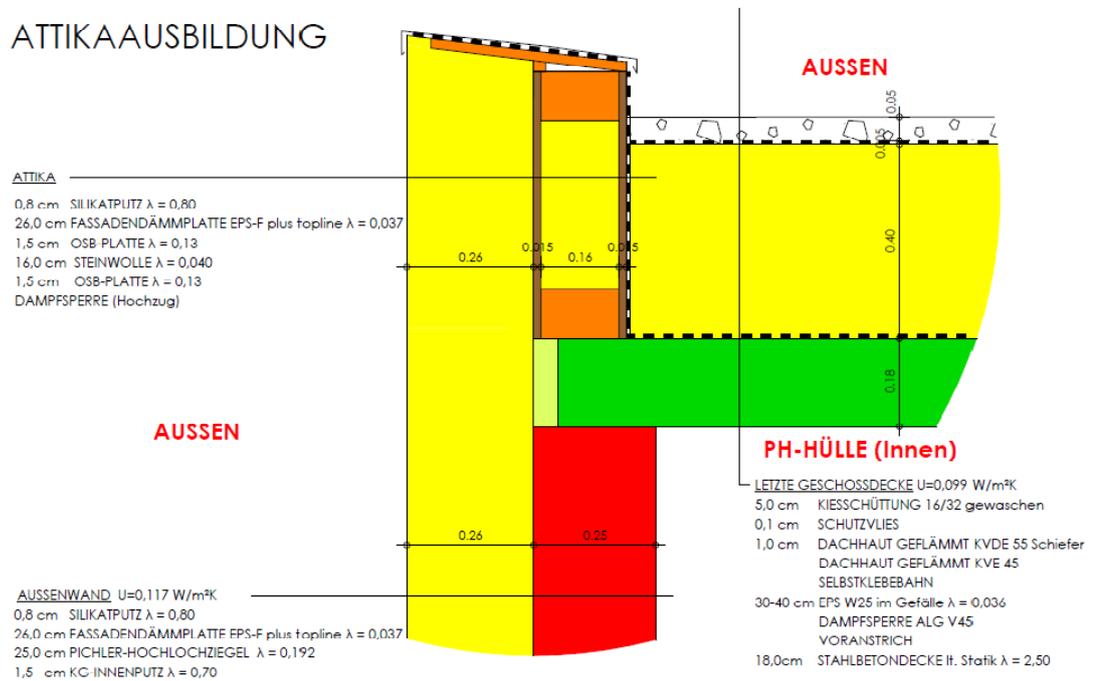


Abb. 3-47: Detailplan der Attikaausbildung beim Passivhaus Singer in Hartberg (A, Stmk.), [3]



Abb. 3-48: Montage der Attika beim Passivhaus Singer, [3]

Punktförmige Wärmebrücken führen zu geringeren Wärmeverlusten, womit diese Art der Befestigung den linienförmigen vorzuziehen ist.

Befestigungen sollten generell punktförmig ausgeführt werden. Die Wärmeverluste werden reduziert je kleiner der Querschnitt und je kleiner die Wärmeleitfähigkeit λ des Materials ist.

Um mit punktförmigen Wärmebrücken keine linienförmige Wärmebrücke zu bekommen muss die Anzahl pro Flächeneinheit der Befestigungsmittel gering sein.

Eine typische punktförmige Wärmebrücke tritt beim WDVS durch die Verdübelungen der Wärmedämmplatten auf. Um die Wärmeverluste dadurch nicht unnötig zu erhöhen, muss die Verdübelung anschließend mit Dämmkappen abgedeckt werden oder es werden Ankerstäbe aus Edelstahl ($<\lambda$) verwendet.

Stoffbedingte Wärmebrücken können durch geringe wärmeleitende Materialien ersetzt werden. Zum Beispiel sind Befestigungen aus Edelstahl durch eine geringere Wärmeleitfähigkeit λ besser als Stahl oder Aluminium.¹¹²

Um bei Fensteranschlüssen (siehe Abbildung 3-49) im Parapettbereich den Wärmetransport zu vermindern, kann ein Porenbetonstein (mit geringen $\rho \rightarrow$ kleines λ), der einen geringeren Wärmedurchlasswiderstand leistet als der verwendete Hochlochziegel der Wandkonstruktion, eingemauert werden.

Im Sturzbereich sollte die äußere Dämmung bis über den Fensterstock gezogen werden (Schweizer-Stock), oder bei einem Raffstor- oder Rollladenkasten wird durch eine Wärmedämmplatte im Sturzbereich der Wärmedurchlasswiderstand erhöht.

Bei den Rollläden sollte der Rollladenkasten nur mehr außen liegend montiert werden. Entweder durch eine Stockverbreiterung oder mit einer entsprechenden Ausnehmung im Sturzbereich. Dabei dürfen die Aluminiumteile des Rollladenkastens nicht direkt auf den massiven Fensterstock befestigt werden. Denn dadurch entsteht eine zusätzliche Wärmebrücke, die die innere Oberflächentemperatur herabsetzt und somit ein Schaden durch Kondensat oder Schimmelpilzbildung verursachen kann. Vorteilhafter sind Ausnehmungen im Sturzbereich, die ausgedämmt werden.

¹¹² vgl. [5], S. 18 & 19; [13], S. 26 – 29

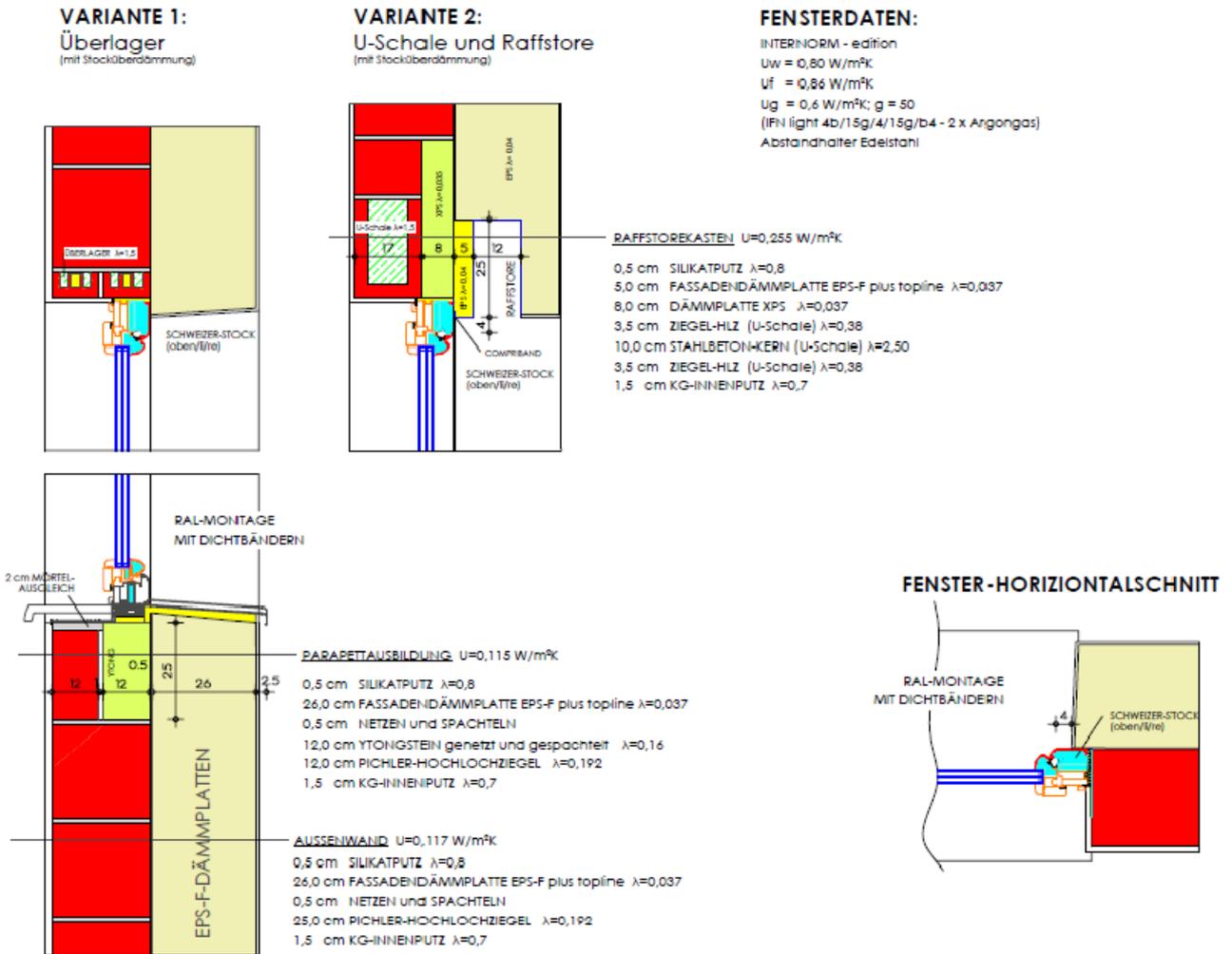


Abb. 3-49: Detailplan der Fensteranschlüsse wie sie beim Passivhaus Singer in Hartberg ausgeführt wurden. [3]



Abb. 3-50: Montage des Raffstorkasten beim Passivhaus Singer in Hartberg, [3]

3.7.2.3 KONVEKTIVE WÄRMEBRÜCKEN ODER WÄRMELECKS

Unter einer konvektiven Wärmebrücke oder einem Wärmeleck versteht man Luftundichtheiten in der thermischen Gebäudehülle.

Welche Arten und Ursachen von induzierten Luftströmen an undichten Stellen in der Gebäudehülle entstehen und wie sie zu vermeiden sind, siehe Kapitel 3.5.



Abb. 3-51: konvektive Wärmebrücke bei einer unsachgemäßen Entlüftungsrohrdurchführung durch die Dichtebene des Daches, [84]

3.7.3 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass die Wärmeverluste zufolge unvermeidbaren Wärmebrücken reduziert werden:

- *Wenn die gesamte Gebäudehülle eine nicht unterbrochene und ausreichend bemessene Wärmedämmebene besitzt.*
- *Bei unvermeidbaren Unterbrechungen der Wärmedämmebene sollten die Wärmedurchgangswiderstände möglichst hoch sein.*
- *Bei Bauteilanschlüssen müssen die Dämmlagen lückenlos über die gesamte Anschlussfläche ineinander überführt werden.*
- *Geometrische Wärmebrücken lassen sich durch möglichst stumpfe Winkel bzw. Ecken durch eine kreisförmige Bauform oder einer Dämmung im Eck verringern.*
- *Konstruktiv sind punktförmige Befestigungen den linienförmigen vorzuziehen.*
- *Stoffbedingte Wärmebrücken können durch geringe wärmeleitende Materialien ersetzt werden, wie z.B: Edelstahl.*
- *Vermeidung von konvektiven Wärmebrücken siehe Kapitel 3.5.*

- *Je energieeffizienter die Gebäudehülle ausgeführt wurde desto höheren Einfluss haben die Wärmebrücken auf die Wärmeverluste.*

3.8 THERMISCHE DEHNUNG

3.8.1 EINLEITUNG

Thermische Dehnungen beeinflussen die Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste.

Bauteilkonstruktionen müssen vor Wärmedehnungen geschützt werden, damit keine Schäden zufolge schädlicher Formänderung, Durchfeuchtung und Frostschäden an Bauteilen auftreten.

Erhöhte Transmissionswärmeverluste entstehen durch das Eindringen von Feuchtigkeit an Leckagen. Vorausgehend sind hohe thermische Dehnbeanspruchung, die Leckagen verursacht haben.

Erhöhte Lüftungswärmeverluste entstehen, infolge hoher thermischer Dehnbeanspruchung der Bauteile, wobei Anschlussfugen aufgespreizt werden oder Risse im Bauteil entstehen. Über diese entstehenden Leckagen kommt es infolge von Wind, Luftdruck oder Temperaturunterschiede zu induzierten Luftströmungen zwischen innen und außen. Dabei gehen erhöhte Wärmemengen über diese Leckagen in der Gebäudehülle verloren.

Eindringendes Wasser verursacht das Quellen und Schwinden¹¹³ von Baustoffe in der Konstruktion, was hygisch induzierte Dehnung genannt wird.

Das Ziel muss sein, die thermischen Dehnungen und die folglich Spannungen gering zu halten. Auftretende Dehnungen müssen kompensiert werden, damit eine geringe Leckrate des Gebäudes sichergestellt ist und ungewollte Lüftungs- und Transmissionswärmeverluste nicht unnötig erhöht werden.

Geringe thermische Dehnungen erlangt man je geringer der Temperaturgradient in der Bauteilkonstruktion ist.

Die thermische Längendehnung Δl [m] gibt die relative Längenänderung, Verlängerung bzw. Verkürzung (Stauchung) eines Festkörpers durch eine Temperaturveränderung an. Abhängig ist sie vom Längenausdehnungs-Koeffizient α [1/K], der Anfangslänge l_0 [m]

¹¹³ fachliche Anm.: Beim Quellen kommt es zu einer Volumenzunahme durch Aufnahme von Wasser, und beim Schwinden kommt es zu einer Volumenabnahme durch Abgabe von Wasser.

und der Temperaturdifferenz ΔT [K]. Der Längenausdehnungs-Koeffizient α eines Stoffes gibt die Längenzunahme bzw. –abnahme bei Erwärmung um 1 K an.

$$\varepsilon = \Delta l / l_0 [-] \rightarrow \Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T [m] \quad (\text{Formel 3-4})$$

Δl = Längenausdehnung [m]

l_0 = Ausgangslänge, ursp. Länge [m]

α = Längenausdehnungs-Koeffizient [1/K]

ΔT = Temperaturunterschied [K]¹¹⁴

Um die Größe der Dehnungsfugen festzulegen, sind die Kenntnisse über die Einbautemperatur und die auf den Bauteil einwirkenden Temperaturen maßgebend. Die Verformung geht von jener Temperatur aus, bei der der Bauteil in die Konstruktion eingebaut wird. Es ist nicht immer möglich die günstigste Einbautemperatur einzuhalten. Die geringste Längenänderung tritt auf, wenn man den Bauteil in eine Konstruktion bei der Mittelung des Temperaturunterschiedes ΔT einbaut. Die jährlichen Temperaturschwankungen zwischen der Winter- und Sommerzeit erzeugen große Temperaturunterschiede. Die Außenbauteile sind durch die Besonnung erhöhte Temperaturen gegenüber der umgebenden Außenlufttemperatur ausgesetzt. Tägliche Temperaturunterschiede können am Tagesverlauf zwischen Tag und Nacht oder infolge der Besonnungs- und Schattenverhältnisse beträchtliche Werte annehmen. Unangenehm sind die azyklischen Temperaturwechsel, z.B. intensiven Besonnung folgenden Schlagregen, Wind oder Hagel. Dieser rasche Temperaturunterschied in kurzer Zeit auf die Bauteile kann mitunter schädlich sein.

Innenliegende Bauteile erfahren aufgrund der konstanten Innenluftbedingungen kaum nennenswerte thermische Dehnungen.

3.8.2 KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN

Die Aufgabe der Dehnungsfuge ist es Schäden zu vermeiden. Speziell sollten sie Spannungsrisse vermeiden, statisch bedingte wechselseitige Beanspruchungen und unterschiedliche Setzungen ausgleichen, das Schwinden und Kriechen von Bauteilen zulassen, Volumenänderungen durch wechselnde Feuchtigkeitszunahme und –abnahme (Quellen und Schwinden) ermöglichen.

¹¹⁴ vgl. [8], S.177 & 178

Prinzipiell können die Wärmedehnungen durch Dehnungsfugen zugelassen werden oder sie werden behindert, wodurch Spannungen¹¹⁵ im Bauteil entstehen.

Die auftretenden Spannungen in starren Bauteilen müssen dabei unter der Baustofffestigkeit, dem Haftverbund des Untergrundes oder unter der Verankerungsfestigkeit zu liegen kommen.

Spröde Stoffe sind empfindlich gegen kurzfristige Temperaturänderungen. Daher sollten Baustoffe eine gewisse Elastizität aufweisen, die sich auch nach Dehnungen wieder zurückverformen können (elastisches Verhalten).

Kritisch betroffene Bauteile sind Fassadenputze, die im Haftverbund mit dem Untergrund sind.

Hier können mitunter hohe Oberflächentemperaturen auftreten, welche umso größer sind je dunkler die Fassade ist. Des Weiteren können neben der direkten Sonneneinstrahlung noch zusätzliche, reflektierende Sonnenstrahlungsanteile, die aus davor liegenden hellen Umgebungsflächen auf die Wandoberfläche einstrahlen, die Oberflächentemperatur erhöhen.

Abhilfe schaffen helle Wandoberflächen oder Fassadenbepflanzungen. Die täglichen maximalen auftretenden Temperaturen, welche durch die Änderung des Einfallswinkels der Strahlungswärme auf die Oberfläche strahlen, werden aber nur kurzfristig erreicht.

Bei größeren Bauteilabmessungen müssen Dehnungsfugen angeordnet werden.

Aufgrund der hohen auftretenden Temperaturunterschiede an tragenden Bauteilen müssen Dehnungsfugen angeordnet werden, wenn die zulässigen Baustofffestigkeiten überschritten werden. Vorteilhaft sind weichere Gebäudeträgerwerke, da die Fugen bzw. Klaffungen erst nach deren Schließung durch die thermische Dehnung eine Spannung aufbauen können. Dagegen stehen steife Trägerwerke aufgrund einer thermischen Dehnung immer unter Spannung.

Grundprinzip für die Verminderung der Wärmedehnung an tragenden Konstruktionen ist es, die großen Temperaturschwankungen durch Dämmungen zu reduzieren. Größten

¹¹⁵ fachliche Anm.: Die auftretenden Druckspannungen bei einer Ausdehnung lassen sich aus dem Hooke'schen Gesetz berechnen: $\sigma = E \cdot \varepsilon \rightarrow \sigma = E \cdot \Delta l / l$ [N/mm²]. (Dies gilt aber nur, wenn eine gleichmäßige Erwärmung ohne Biegung auftritt.)

Einfluss auf die Dehnung und Spannungen hat dabei die Lage der Wärmedämmung in der Konstruktion. Die Dehnungsfugenabstände erhöhen sich je größer die außenliegende Wärmedämmschicht wird.

Besonders gefährdet sind Bauteile, die eine Innendämmung aufweisen, da die höchsten Temperaturbeanspruchungen an der Tragstruktur auftreten und somit rissgefährdet sind.¹¹⁶

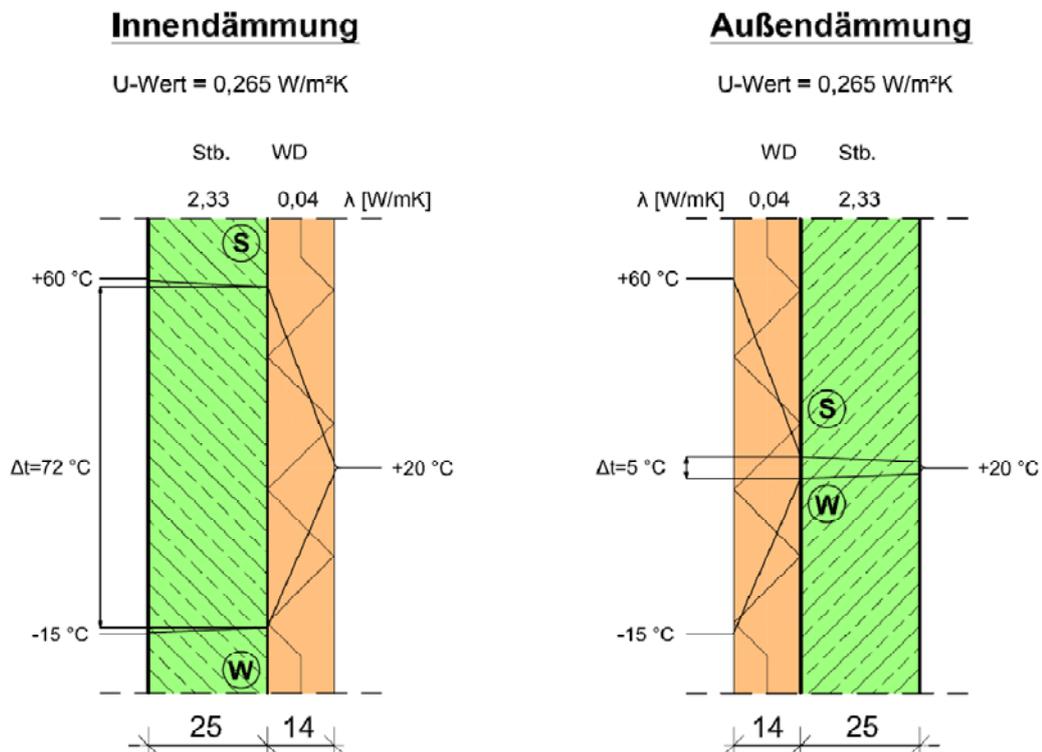


Abb. 3-52: Temperaturgradient im Sommer (S) und Winter (W) an einer Außenwand abhängig von der Lage der Wärmedämmung.

Eine gefährdete Stelle am Gebäude stellt die Nordwest-Ecke dar.

Die westorientierte Gebäudefassade wird durch die langanhaltende Sonneneinstrahlung am Tag erwärmt. Die Nordfassade liegt den ganzen Tag im Schatten und hat dadurch geringere Oberflächentemperaturen aufzuweisen. Da diese beiden Gebäudeflächen unterschiedlichen Temperaturen ausgesetzt sind, kommt es zuerst zu Spannungen und bei Überschreitung der Materialfestigkeiten zu Rissen.

¹¹⁶ vgl. [30], S. 56

Wenn der Gebäudestandort so gewählt wurde, dass die nordseitige Fassade neben einem Waldgebiet platziert ist, wird diese zusätzlich durch die adiabate Kühlung des Waldes abgekühlt, womit ein noch höherer täglicher Temperaturunterschied zwischen der Nord- und Westfassade auftritt. Aber auch durch Wasserflächen wie Flüsse, Biotop oder Teiche nahe der Fassadenoberfläche kommt es aufgrund der adiabaten Kühlung zu einer weiteren Abkühlung.

Beispielweise sind Brückenbauwerke auch diesen hohen Temperaturunterschieden ausgesetzt, welche auf der Unterseite durch einen Fluss abgekühlt werden und tagsüber die Sonne auf den dunklen Fahrbahnbelag an der Oberseite einstrahlt.

Wird die Tragfähigkeit der Bauteile ausgereizt, so können nur mehr geringere zusätzlich thermische Spannungen aufgenommen werden.

Wechselnde Bauweisen bedingen eine zusätzliche Fuge, da die Stoffe der Bauteile verschiedene Ausdehnungskoeffizienten besitzen, und diese sich bei den Temperaturunterschieden verschieden ausdehnen, wie z.B. Stahlbetonteile neben Leichtmauerwerk oder Holz und Beton. Kommt es bei der Verbindung von unterschiedlichen Stoffen zur Dehnung, so wird jener Baustoff in Mitleidenschaft gezogen, der die geringeren Druck- (Ausdehnung) oder Zugfestigkeiten (Schrumpfung) aufweist.

Zu großen thermischen Dehnungen kommt es bei Außenwandkonstruktionen, deren Vorwandkonstruktion auf einer tragenden und speicherfähigen Wand befestigt ist.

Zu hohen thermischen Spannungen kommt es vor allem bei solaren Speicherwänden, z.B. bei einer Tromben-Wand oder TWD-Fassaden. Hier wird die Speicherwand noch zusätzlich mit einem dunklen Wandanstrich als Absorber angestrichen, wodurch sehr hohe Temperaturen auf der Wandoberfläche und im Hinterlüftungsraum auftreten. Die Vorwandkonstruktion dehnt sich hauptsächlich in der Einbauebene aufgrund der gleichmäßigen Temperaturverteilung im Hinterlüftungsraum aus. Die massive Speicherwand schüsselt aufgrund der verschieden hohen Temperaturen an beiden Wandoberflächen auf.

Die Vorwandkonstruktionen wie bei Fassadensystemen von transparenten Wärmedämm-Komplettsystemen, deren Pfosten-Riegelkonstruktion auf die Speicherwand befestigt wird, müssen thermische Dehnungen aufnehmen können (siehe Abbildung 4-21). Abhängig vom Rahmenmaterial müssen Schiebe- und Dehnpunkte in der Fassade angeordnet werden, wobei die tragfähige Unterkonstruktion aus Metallen durch ihren hohen Wärmeausdehnungskoeffizient gegenüber Holz problematischer anzusehen ist. Zur Aufnahme von thermischen Verformungen können daher auch thermisch isolierte Tragskelette eingebaut werden, die Spielraum für diese Verformungen bieten. Bei Neubauten werden solare Speicherwände in Abschnitte in der Fassade unterteilt. Dadurch verkürzen sich die zu aufnehmenden Dehnungen in den angesetzten Fugen gegenüber solaren Systemen, die durchgehend über die ganze Fassadenfläche verlaufen.¹¹⁷

3.8.3 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass aufgrund einer minimierten thermischen Dehnung die Wärmeverluste reduziert werden:

- *Helle Oberflächen oder Fassadenbepflanzungen bedingen eine geringere Oberflächentemperatur und damit einen geringeren Temperaturgradient in der Konstruktion aufgrund des geringeren Absorptionsgrades.*
- *Weiche Tragkonstruktionen sind günstiger als steife.*
- *Die Tragkonstruktion wird durch eine davor liegende Wärmedämmung vor zu großen Temperaturunterschieden geschützt.*
- *Die Dehnungsfugenabstände erhöhen sich je größer die außenliegende Wärmedämmschicht wird.*
- *Wechselnde Bauweisen sind aufgrund der verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten der Baustoffe zu meiden.*
- *Innendämmungen sind ungünstig, da die Tragkonstruktion hohen Temperaturunterschieden ausgesetzt ist.*
- *Vorsicht ist bei Nordwest-Fassaden aufgrund der erhöhten Temperaturunterschiede, vor allem wenn die Nordfassade noch zusätzlich durch*

¹¹⁷ vgl. [20], S. 96

*Wald- oder Wasserflächen durch deren adiabaten Kühlung herabsetzen wird,
geboten*

4 OPTIMIEREN DER WÄRMEGEWINNE

4.1 AUSRICHTUNG DES GEBÄUDES UND DER BAUTEILFLÄCHEN

4.1.1 EINLEITUNG

Die Ausrichtung der Gebäudeflächen hat Einfluss auf die solaren Wärmegewinne.

Beim Gebäude werden erhöhte solare Gewinne durch Verstärken des natürlichen Treibhauseffektes erreicht.

Erhöhte Wärmegewinne zufolge des entstehenden Treibhauseffektes des Fensters, werden erreicht durch:

- Höhere Strahlungsintensitäten (Südorientierung)
- Optimal abgestimmte Fensterflächen infolge des Raumes (Überhitzungsgefahr des Raumes bei zu großen Fensterflächen)
- Wärmeschutzverglasungen mit einem hohen Gesamtenergiedurchlassgrad des Fensters (g-Wert)
- Bestrahlte speicherfähige Rauminnenflächen

Werden die Prinzipien einer sonnenorientierte Bauweise im Entwurf berücksichtigt, wirkt sich dies in der Energiebilanz durch eine Reduktion des Heizwärmebedarfs aus.

4.1.2 SONNENSTANDSDIAGRAMM

Der erste Schritt im Entwurf ist, für das zu bebauende Gelände die Dauer der Besonnung und Verschattung sowie die Lage der besonnten und verschatteten Zonen mittels des Sonnenstandsdiagramms zu ermitteln.

Die jähr- und täglichen veränderlichen Sonnenstände werden durch die Bewegung der Erde um ihre schräggestellte Achse und um die Sonne erzeugt. Folglich ändern sich die Besonnungsdauer und der Einstrahlwinkel entsprechend der geographischen Breite übers Jahr.

Der höchste Sonnenstand und die längste Besonnungsdauer sind zur Sommerwende am 21. Juni (nördlicher Wendekreis), und der tiefste Sonnenstand und die geringste Besonnungsdauer sind zur Winterwende am 21. Dezember (südlicher Wendekreis). Die Tag- und Nachtgleichheit ist am 21. März bzw. 21. September, wo die Sonne um 6:00 Uhr im Osten auf- und um 18:00 Uhr im Westen untergeht. Je weiter der zu untersuchende Ort nach Norden geografischer Breite liegt umso größer wird die Verschiebung der Sonnenauf- und –untergänge. Dabei werden die Tage im Sommerhalbjahr der nördlichen Halbkugel länger und die im Winterhalbjahr kürzer.

Das Sonnenstandsdiagramm legt den Stand der Sonne durch den Azimutwinkel, der vom Norden im Uhrzeigersinn gemessen wird, aus jener Himmelsrichtung, aus der die Sonne scheint, und den Höhenwinkel, welcher den Erhebungswinkel der Sonne über der Horizontalebene angibt, fest.

Um die täg- und jährlichen Sonneneinstrahlungswinkel auf die Gebäudeoberflächen und die beschattenden Zonen durch lokale Hindernisse wie Bepflanzung, topografische Gegebenheiten, Bebauung zu erlangen, wird zuerst vom Standort des Beobachters die scheinbare Sonnenbahn entlang einer Himmelshalbkugel auf die Horizontalebene (Standebene) projiziert und anschließend vom Beobachtungspunkt das Hindernis im Grund- und Aufriss eingezeichnet, wodurch sich der verschattete Bereich aus der Sonnenbahn in Abhängigkeit des Beobachtungspunktes ergibt.¹¹⁸

Die Erkenntnis aus den Sonnenstandsdiagramm eines Ortes lässt eine verbesserte Planung bezüglich Gebäudeausrichtung, Lichteinfall und Abschattungsmöglichkeiten wie Sonnenschutzmaßnahmen (Dachüberstände, Markisen, etc.), Gebäudevorsprünge, Höhen- und Tiefenverhältnisse der Räume, Fensteranordnung und -form in der Fassade sowie die Sturz- und Laibungsbildung der Fenster zu. Außerdem sollte damit eine ganzjährige Beschattung von Fenstern durch auskragende Bauteile wie Balkone oder andere Elemente vermieden werden.

¹¹⁸ vgl. [30], S. 81- 83

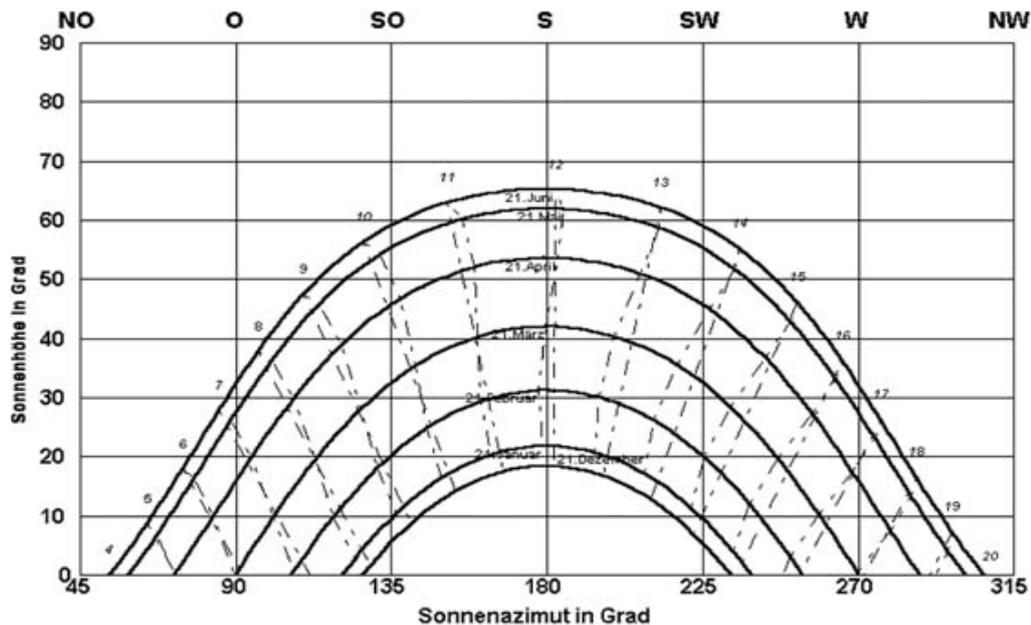


Abb. 4-1: Sonnenstandsdiagramm für 48°15' nördlicher Breite (Wien), [55]

4.1.3 SONNENSTRAHLUNGSVERHÄLTNISSE AM STANDORT UND AM GEBÄUDE

Das Hauptanliegen der passiven Wärmegewinne eines Gebäudes, liegt in der optimalen Nutzung des Globalstrahlungsangebotes am Gebäudestandort während der Heizperiode. Eine gezielt gestaltete Gebäudeausrichtung leistet einen hohen Beitrag zur passiven solaren Nutzung.¹¹⁹

Gebäude sind vorrangig nach Süden auszurichten, wenn durch Bebauungspläne und/oder andere bautechnisch bedingte Vorschriften sowie durch die topografisch bedingte Grundstückslage und aufgrund der vorgesehenen Nutzung dies möglich ist. Eine südorientierten Ausrichtung besitzt die größte tägliche Besonnungsdauer und –intensität.¹²⁰ Hinsichtlich der sommerlichen Überwärmung können mit geeigneten Sonnenschutzmaßnahmen die Sonneneinstrahlungen, bedingt durch den hohen Sonnenstand und die daraus resultierende Raumaufheizung vergleichsweise gering gehalten werden. (siehe Kapitel 4.5)¹²¹

¹¹⁹ Anm.: Eine sonnenorientierte Bauweise ist mit einem ausreichenden Wärmedurchgangswiderstand der wärmeübertragbaren Außenbauteile zu verfolgen. Dabei sind nicht die Mindestanforderungen, die an den Wärmeschutz dieser Bauteile gefordert sind (OIB-Richtlinie 6), ausreichend um die heutigen hohen Standards zu erreichen.

¹²⁰ Verweis: Wo und warum hohe Globalstrahlungsanteile auftreten und wovon sie abhängen, siehe Abschnitt 4.1.1.

¹²¹ vgl. [30], S. 83

Die verschieden ausgerichteten Gebäudeflächen werden von tageszeitlich wechselnden solaren Strahlungsintensitäten erwärmt und erfahren dadurch unterschiedliche Wärmeströme.

Die Südseite kann im Winter sehr gut genutzt werden, da die einfallenden Sonnenstrahlen durch die Fenster tief in den Raum strahlen und durch die größten Strahlungsintensitäten und Strahlungsdauer auch hohe passive solare Wärmegewinne erzielt werden können.

Die Gebäudeflächen der Ost- und Südostseite werden am Vormittag mit Sonne beliefert, und erwärmen den Raum. Tagsüber kühlen diese Räume aus und sind am Nachmittag oder erst am späteren Abend ausgekühlt, weil sie den ganzen Nachmittag im Schatten liegen.

Im Sommer sind die Westwände einer langen und intensiven Solarstrahlung ausgesetzt. Im Winter ist dagegen die Sonneneinwirkung trotz tiefstehender Sonne schwach.

Aufgrund der Sonneneinstrahlungsdauer und -intensität der verschiedenen Gebäudeseiten sind die Fensterflächen im Süden größer und an der Südfassade breiter und höher auszuführen als jene im Norden. Eine exakte Ausrichtung nach Süden muss dabei nicht strikt eingehalten werden. Leichte Abweichungen von bis ca. 20 bis 30 Grad der Südausrichtung sind dabei nur geringfügig für den Energiebedarf ausschlaggebend.

¹²²

Die Nordseite bekommt ausschließlich Sonneneinwirkung durch diffuse Strahlung und ist daher für passive Solargewinne nicht geeignet. Folglich sind Räume mit geringen Fensterflächenanteilen nach Norden auszurichten.

Je geringer die Fassadenfläche im Norden ist desto geringer sind die Transmissionswärmeverluste.

Die nordseitige Umgebungstemperatur und Oberflächentemperatur des Gebäudes ist aufgrund der geringen Globalstrahlungsanteile (in der Heizperiode nur diffuse Strahlung) immer kühler. Dadurch treten dort erhöhte Temperaturdifferenzen auf wodurch Transmissionswärmeverluste zustande kommen. Ein trichterförmiger Grundriss bietet ein dafür optimierte Lösung, da die Nordseite verkleinert wird.

¹²² vgl. [6], S. 36; [20], S. 92

Je nach Nutzung des Gebäudes ist eine Orientierung nach Osten oder Westen günstiger. Aus den sonnenschutztechnischen Gesichtspunkten ist eine Ostorientierung jener der Südwest- bis Westorientierung vorzuziehen. Bei der Südwest- bis Westorientierung fällt die maximale Sonneneinstrahlung mit dem Tagesmaximum der Außentemperatur zusammen, was folglich zu einer erhöhten Lufttemperaturzunahme im Raum führt und daher kritischer als Ostfassaden hinsichtlich sommerlicher Überwärmung anzusehen sind.¹²³

4.1.4 WÄRMEGEWINNE DURCH TRANSPARENTE BAUTEILE

Der Gesamtenergiedurchlassgrad (g [-]) und die Orientierung der Fensterflächen beeinflusst die Höhe der solaren Wärmegewinne über transparente Bauteile. Die Wirkungsweisen von Verglasungen siehe Abschnitt 4.4.3.

Optimale passive solare Gewinne sind durch Vergrößerung der Fensterflächen, hohen Gesamtenergiedurchlassgrad (g -Wert [-]) der Verglasung und Südorientierung der Fenster möglich.

Die Orientierung der Fensterflächen ist im Entwurfsstadium schon konsequent zu berücksichtigen wobei der Gebäudegrundriss so zu gestalten ist, dass möglichst viele Räume über die Südfassade solare Gewinne erzielen (siehe Abschnitt 4.1.6).

Erhöhte Wärmegewinne können im Winter sehr gut über die kurzen Sonnentage im Süden erreicht werden, jedoch dürfen die Verluste in den lang anhaltenden kalten Wintertagen nicht unterschätzt werden. Abhilfe dafür schafft ein temporärer Wärmeschutz für das Fenster.

Um erhöhte Solargewinne zu erzielen muss die Sonnenstrahlungsenergie durch direkte Einspeicherung in die speicherwirksamen Gebäudemassen genutzt werden.

Um herauszufinden ob die Transmissionswärmeverluste oder die zu erzielbaren Wärmegewinne des Fensters in Summe höher sind, muss dies berechnet werden. Der äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters muss demnach kleiner sein als der Wärmedurchgangskoeffizient der Wand, in der das Fenster sitzt, damit eine Vergrößerung der Fensterflächen sinnvollerweise angestrebt werden darf.¹²⁴

¹²³ vgl. [11], S.20; [30], S. 83 & 84

¹²⁴ vgl. [2], S. 2/6

$$U_{W,eq} = U_W - g \cdot S_F \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

(Formel 4-1)

$U_{W,eq}$ = äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters [W/m²K]

U_W = Wärmedurchgangskoeffizient des Fensters [W/m²K]

g = Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung [-]

S_F = orientierungsabhängiger Strahlungsgewinnkoeffizient [W/m²K]

Dabei sind: $S_{F,Süd} = 2,40 \text{ [W/m}^2\text{K]}$

$$S_{F,OstWest} = 1,80 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$S_{F,Nord} = 1,20 \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

Die Strahlungsintensitäten sind nach der Himmelsrichtung unterschiedlich, womit sich der mögliche Sonnenenergiegewinn durch die Orientierung der Fenster stark beeinflussen lässt. Der orientierungsabhängiger Strahlungsgewinnkoeffizient S_F hängt vom mittleren Strahlungsangebot während der Heizperiode, der Orientierung der Fenster, der Heizgradtagzahl und einem Korrekturfaktor ab. Dieser Korrekturfaktor steigt mit der Höhe der Strahlungsausnutzung, mit einem geringen Rahmenanteil des Fensters und einem geringen Verschmutzungsgrad der Scheibe.¹²⁵

Würde man für den äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters einen größeren Wert als jenen von der Wand in der Berechnung herausbekommen und man vergrößert die Fensterflächen, so wäre dies kontraproduktiv. Die Heizkosten steigen, man bräuchte eine größere Heizanlage, da der Heizenergiebedarf erhöht wird, die Kosten der Fenster wären erheblich teurer als jene der Wand und es könnte noch zu einer sommerlichen Überwärmung führen.

Daher ist nicht entscheidend eine möglichst große Fensterfläche im Süden anzuordnen, sondern vielmehr die optimale Fensterflächengröße zu bestimmen. Dafür muss man das Gebäude bezüglich der jährlichen Energiebilanz stets als Ganzes sehen.

Die optimale Fenstergröße ist demnach dann gegeben, wenn die Speicherkapazität des Raumes so ausgeschöpft werden kann, um diese einstrahlende Wärmeenergie zu speichern, aber nicht an den strahlungsintensiven Wintertagen die Rauminnentemperatur so hoch ansteigen lässt, dass eventuell Sonnenschutz- oder Lüftungsmaßnahmen von Nöten sind.

¹²⁵ vgl. [11], S. 43

Aufgrund der unterschiedlichen Energiezufuhr zwischen Tag und Nacht ist ein automatisches oder manuell regulierbares Heizsystem für die Ausnutzbarkeit der solaren Wärmegewinne von entscheidender Bedeutung, damit eine entsprechende Reduktion des Heizenergiebedarfes erreicht wird. Denn die Wärmezufuhr muss schnell gedrosselt werden können, bevor es durch die intensive Sonnenstrahlung zu einer Überhitzung des Raumes kommt. Ungeeignet sind dafür träge Heizsysteme wie z.B. die Fußbodenheizung, aber auch jene, deren Wärmeabgabe sich nicht oder nur begrenzt reduzieren lassen wie der Kachelofen. ¹²⁶

Schlussendlich sind die Fenster nach funktionellen, psychologischen und lichttechnischen Aspekten ausreichend groß auszuführen, sonst aber so klein wie möglich zu dimensionieren. ¹²⁷

Je nach der Gebäudeform und deren Orientierung sind die verschiedenen himmelsrichtungsabhängigen Fensterflächenanteile verschieden aufzuteilen.

Dies ist auf den Einstrahlwinkel der Sonnenstrahlen auf diese Flächen zurückzuführen. (siehe nachstehende Abbildung)

Beim trichterförmigen Grundriss entstehen zwangsläufig schräge Ost- und Westfassaden welche aufgrund der schleifenden Sonneneinstrahlung nur geringe Fensterflächenanteile besitzen sollten. Dafür sind die Fensterflächen im Süden dementsprechend größer auszuführen. Eine gleiche Verteilung der Fensterflächen über die gesamte Fassade in alle vier Himmelsrichtungen wäre demnach nicht empfehlenswert.

Bei einem rechteckigen Grundriss, der exakt nach Süden orientiert ausgerichtet ist, sind im Osten und Westen gleiche Fensterflächengrößen vertretbar. Bei einem um 20° nach Osten gedrehten rechteckigen Grundriss sollten die Fensterflächen im Westen vergrößert sein und im Osten geringer, da durch die schleifende Sonneneinstrahlung die erwarteten passiven Solargewinne kleiner sind als die Wärmeverluste. Die gleiche Aufteilung, nur umgekehrt, gilt auch bei einem um 20° nach Westen gedrehten rechteckigen Grundriss.

¹²⁶ vgl. [6], S. 32

¹²⁷ vgl. [1], S. 144 & 145

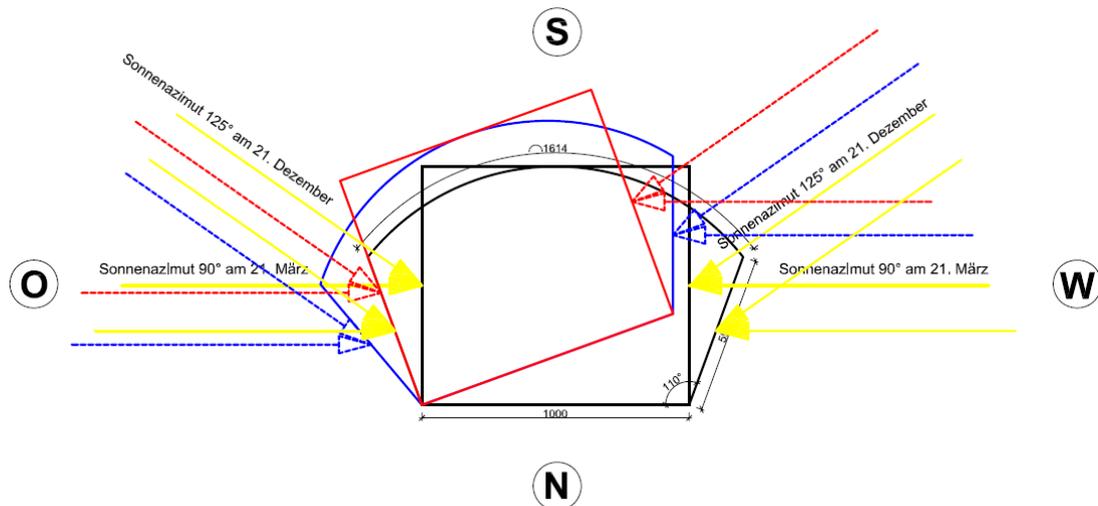


Abb. 4-2: Sonnenstrahlungseinfall auf ein um 20° gedrehtes Gebäude. Blau = 20° gedrehter trichterförmiger Grundriss, rot = 20° gedrehter rechteckiger Grundriss.

Ausrichtung von Gebäuden in dicht bebauten Gebieten.

Generell hat das Stadtklima ein geringeres Strahlungsangebot. Zurückzuführen ist das auf den erhöhten Verunreinigungsgrad in der Luft in Stadtgebieten zufolge der starken Belastungen wie Verkehr, Wohnungen, Industrie.

In dicht bebauten Gebieten ist darauf zu achten, dass es zu keiner ungünstigen Verschattung durch Nebengebäude kommt.

Verhindert kann das werden, indem die hohen Gebäude in den oberen Geschoßen abgestuft und die Geschoße immer weiter zurückversetzt werden. Oder bei länglichen Gebäuden, wo geneigte Dächer angewandt werden können, sollten diese steilere Dachneigungen aufweisen.

Durch Reflexion kann die solare Einstrahlung mittels einer gezielten Umgebungsgestaltung in gering besonnten Bereichen verbessert werden.

Folglich sollten aufgrund des unterschiedlichen Strahlungsangebots über die Fassade hohe Gebäude in Nutzungszonen eingeteilt werden.

In den untersten Gebäudegeschoßen sind Geschäfts-, Verkaufsflächen oder Gastronomiebetriebe zu situieren, aufgrund der geringeren Temperaturanforderungen und des geringeren natürlichen Lichtbedarfs. Darüber sollten Büroflächen eingerichtet

werden und in den obersten Geschoßen die Wohnungen. Dabei bekommen die obersten Geschoße den höchsten Strahlungsanteil ab, der für die Raumheizung der Wohnungen bestens genutzt werden kann. Im obersten Geschoß können Triebwerksräume für Aufzüge oder Transformatorräume zur Stromversorgung des Gebäudes als Pufferräume genutzt werden.

Die Oberflächengestaltung um das unmittelbare umliegende Gebäude durch Wasserflächen, hellen Kies, Schnee oder Eis werden die Innenraumoberflächen und Außenwandoberflächen durch die zusätzliche Reflexionsstrahlung erhöht. Dabei gilt, je flacher die einfallende Sonnenstrahlung auf diesen reflektierenden Flächen ist desto höher ist die Reflexionsstrahlung.

Die damit erreichbaren erhöhten Oberflächentemperatur der Außenfassade (siehe Kapitel 4.3) und die gewonnenen solaren Gewinne über die transparenten Bauteile, können Wärmeverluste reduziert werden.

Heute sind aber viele dieser Bauplätze in Städten unbrauchbar. Daher müssen zukünftige Bebauungspläne so konzipiert werden, dass in diesen Stadtgebieten die verfügbaren Grundstücke durch zu große Beschattung nicht unbrauchbar werden. Gegebenfalls müssen die Grundstücksgrenzen und Straßenverläufe neu festgelegt werden.¹²⁸

4.1.5 FENSTERLAGE UND –FORM IN DER FASSADE

Um möglichst einen großen direkten Lichteinfall der Sonnenstrahlen im Winter auf speicherwirksame Massen zu erzielen ist die Fensterlage und -form in der Fassade sowie die Größe und Form des dahinterliegenden Raumes von besonderer Bedeutung.

Die Sonnenstrahlen sollen direkt eine möglichst große speicherfähige Fläche im Inneren des Gebäudes erfassen.

Sie sind je nach Raum- und Fenstergeometrie, Fensterorientierung, Tages- und Jahreszeit unterschiedlich groß. Kleine Öffnungen sind deshalb zu vermeiden und den

¹²⁸ vgl. [11], S. 21; [14], S. 68

hohen und schmalen Fenstern, welche auch bei manuellen Lüftungsvorgängen günstiger wirken, vorzuziehen.

Hochliegende Lichtbänder verwehren zwar den Ein- und Ausblick, jedoch entsteht ein tiefer Sonneneinfall, welcher für tiefe, untergeordnete Räume wie Lager, Umkleieräume, WC, u.a., Anwendung findet.

Ideal für Südfenster sind raumhohe in Wandmitte situierte Fensterflächen, die den Raum gut ausleuchten. Zu vermeiden sind dagegen Fenster im Randbereich, da sie den Raum ungünstig und stark unregelmäßig ausleuchten. Vorteilhafter sind Eckfenster, die durch eine zweite Seite mit mehr Lichteinfall den Raum erweitern.

Die Fenstersturzhöhe und das Parapett behindern ebenfalls den Strahlungseinfall und sind deswegen nur so groß zu halten wie es von Nöten ist. Tiefe, in den Raum reichende Fensterbänke verhindern weitere Bestrahlungsflächen. Obwohl Fensterinnenbänke aus Natursteinen (0,88 kJ/kgK) hohe Speicherfähigkeiten aufweisen, sind sie aufgrund ihrer geringen Dicke nicht so günstig wie jene Fußbodenaufbauten, die z.B. einen 6 bis 8 cm Zementestrich aufweisen (1,13 kJ/kgK).

Wirksame Detaillösungen der verschiedenen Fenster ermöglichen es, dass die Sonnenstrahlungen weiter in den Raum eindringen und damit größere Flächen bestrahlt werden.

Zeitgemäße Dämmdicken ziehen tiefe Laibungsflächen nach sich.

Um dies zu verhindern sind die Fensterlaibungen innen und/oder außen abzuschrägen und das umso mehr je dicker die Wand wird. Diese bauliche Ausführung ist vor allem bei kleinen Ost- und Westfenstern, aber auch aufgrund der größeren und zugleich auch längeren Sonneneinstrahlung bei Südfenstern anzuwenden.

Die konstruktive Ausführung dieser Abschrägungen kann je nach Wandkonstruktion verschieden durchgeführt werden. Die Ziegelhersteller haben dafür schon geeignete Laibungssteine, die abgeschrägt sind, gefertigt.

Zu beachten ist, dass die Abschrägung aufgrund des reduzierten Querschnittes zu einer Schwächung der Dämmung führt wodurch Kondensat zu verhindern ist.

Abb. 4-3: Der Einfluss von Sturz und Laibung auf die Sonneneinstrahlung durch Fenster auf der Südseite, [11], S.46

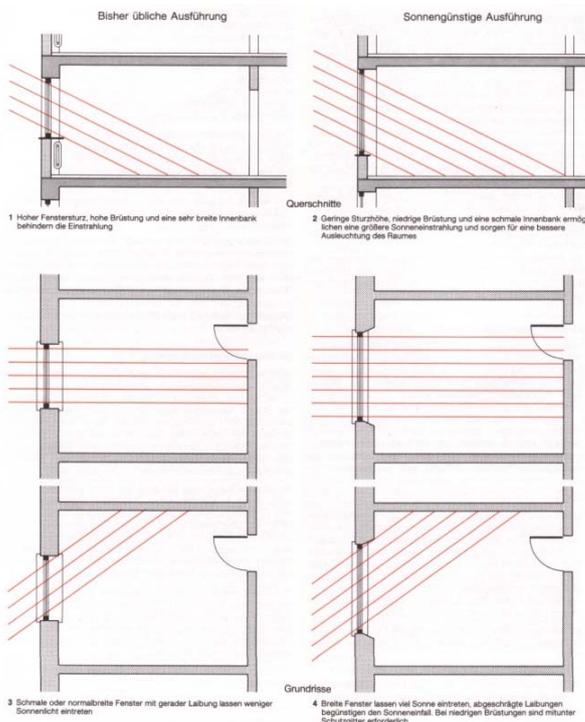
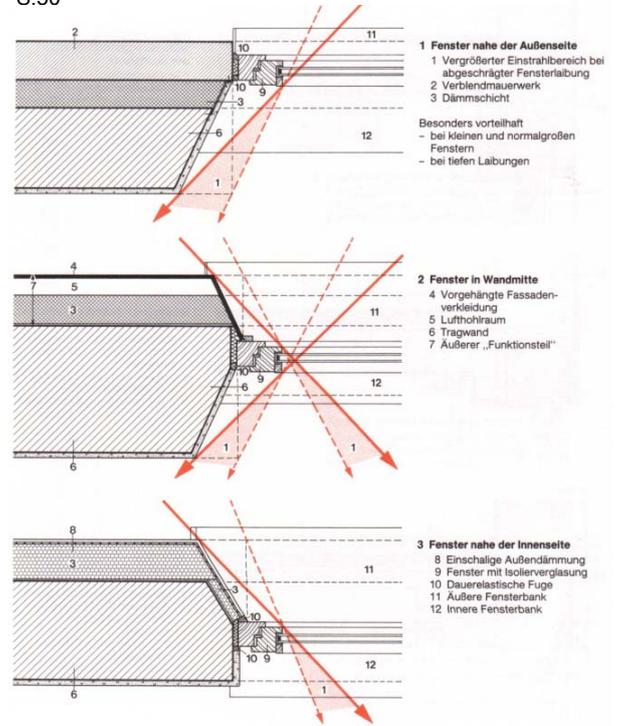


Abb. 4-4: Detailvorschläge für Verbesserung des Licht- und Sonneneinfalls durch schräge Fensterlaibungen, [11], S.50



Dachfenster für Räume im Dachgeschoß können ebenfalls für die passive Wärmegewinne genutzt werden.

Dachflächenfenster können aufgrund ihrer Schräglage für den Sonneneinfall besser genutzt werden als vertikale. Die Sonne strahlt dabei meistens auf den Fußboden, der eine ausreichende Speicherefähigkeit aufweisen muss und nicht durch etwaige Teppiche abgedeckt wird. Die Laibungsflächen dieser Fenster müssen an der Oberseite waagrecht und an der Unterseite senkrecht ausgeführt werden um die Sonneneinstrahlungsflächen zu erhöhen. Natürlich bringen auch hier Fensterhöhen, die vom Kniestock bis zur Raumhöhe reichen, vergrößerte Strahlungsflächen mit sich.

Pultlichtfenster bzw. Pultoberlichtbänder sind für Industrie-Flachdächer günstige Lösungen um auch weitere Gebäudeinnenflächen zum Beitrag von passiver Solarstrahlungswärme zu mobilisieren und zu nutzen.

Pultlichtbänder sind aufgrund der Strahlungsabgabenfläche den Lichtkuppeln, Tonnenoberlichtbändern, Satteloberlichtbändern und anderen Lichteinfallformen vorzuziehen. Ausgeführt werden sie in bis zu vier Schalen um einen besseren U-Wert zu erreichen. Situieren werden sie in den Innenbereichen des Flachdaches, wo die Sonnenstrahlung über die Fassade keine weiteren Flächen im Gebäudeinneren mehr erfasst.

Kellerfenster bzw. Untergeschossfenster, die auf der Südseite liegen und für Wohnzwecke wie Hobbyräume oder Gästezimmer genutzt werden, sollten auch von einer Sonneneinstrahlung profitieren.

Wenn es die örtlichen Gegebenheiten zulassen, ist ein großzügig angelegter Lichtgraben mit einer flachen Böschung für Untergeschossfenster bestens geeignet.

Eine weitere Möglichkeit bietet eine vorgezogene Kellerwand und darüber ein schräggestelltes Fenster.

Ungünstig erweisen sich jedoch Kellerfenster, mit Lichtschächten und Gitterrosten.¹²⁹

4.1.6 GRUNDRISZZONIERUNG

Eines der wichtigsten Prinzipien ist, dass die passive Sonnenenergie dort genutzt werden muss, wo sie benötigt wird. Die Anordnung der verschiedenen Raumnutzungen im Grundriss sollte in der Planung abhängig von der Himmelsrichtung gezielt berücksichtigt und dementsprechend ausgerichtet werden. Die Situierung der Nutzungszonen ist abhängig von den Temperaturanforderungen und dem Tageslichtbedarf und den bevorzugten Aufenthalteszeiten.

Eine Zonierung im Gebäude reduziert den Heizwärmebedarf aufgrund der Temperaturstaffelung im Gebäude.

Unter den Begriff der Zonierung versteht man, dass die einzelnen Nutzflächen oder Raumnutzungen nach unterschiedlichen Temperaturanforderungen oder Wärmezonen gruppiert werden. Durch die Zonierungen im Grundriss kann eine Staffelung des Temperaturgefälles im Gebäude erreicht werden. Ideal ist eine Staffelung der Raumtemperatur, die vom Kern des Hauses zur Außenfläche abnimmt und

¹²⁹ vgl. [11], S.44 & 45

konzentrische Zonierung genannt wird. Der Wärmedurchgang wird durch diese Staffelung verzögert. Prinzipiell werden dadurch die Temperaturdifferenzen zwischen den Räumen und dem Außenbereich gering gehalten. Nach Formel 2-3 werden mit einer geringeren Temperaturdifferenz der Energietransport und somit der Heizwärmebedarf reduziert. Die äußersten niedertemperierten oder unbeheizten Räume eines Gebäudes, die diese Anforderung bewerkstelligen, werden als Pufferräume bezeichnet. Mit einer derartigen Zonierung sollte ein mehrschaliger Aufbau erreicht werden um sich vor zu großen Temperaturdifferenzen zu schützen.¹³⁰

Energetisch am wirksamsten sind thermische Pufferzonen.

Nieder- oder unbeheizte vorgesetzten Pufferräume können die höher temperierten Hauptnutzflächen thermisch ideal schützen. Der klassische Wintergarten (Wirkungsweise und Aufbau siehe unter Punkt 4.4), der nach Süden orientiert ist, ist ein spezieller Pufferraum sowie moderne Doppelglasfassaden oder Atrien. Weitere Arten der Pufferräume können angebaute Garagen, Windfänge, Vorbauten, Erschließungsgänge oder geschlossene Laubengänge sein, welche im Norden zu positionieren sind. Loggien oder Balkone, die verglast und luftdicht sind, oder nahe an die Fassade gezogene Bepflanzungen, die einen Luftpolster schaffen, sind ebenfalls wirksame Pufferzonen. Zur Raumtemperierung ist dieser Glasanbau nur dann geeignet, wenn er südorientiert und mit einer wärmespeichernden Rückwand ausgestattet ist wie das bei den Wohn-Wintergärten der Fall ist.

Energetisch versucht man die Räume so zu situieren, dass immer im Kern des Hauses die höchsten Temperaturen auftreten und zur Außenfläche hin gestaffelt abnehmen.

Die Abwärme der Heizungsanlage in Heizräumen kann durch eine zentrale Situierung im Gebäude zur Raumaufheizung mit beitragen. Das gleiche Prinzip wird bei den Kachelöfen angewendet. Sie sind immer zentral im Gebäude situiert, um ihre Wärme von dort an die anschließenden, gesamten Räume des Gebäudes abzugeben.¹³¹

Die verschiedenen Räume können aufgrund ihren Temperaturanforderungen und Nutzungen gezielt im Grundriss angeordnet werden.

¹³⁰ vgl. [4], S. 55

¹³¹ vgl. [4], S. 59 & 63

Ausgegangen von einer linearen Zonierung¹³², welche auf der Orientierung der Sonne basiert, sollten Räume mit großen Licht- und Wärmebedarf nach Süden platziert werden und untergeordnete Räume nach Norden.

Aufenthaltsräume sollten im Grundriss hauptsächlich nach Süden orientiert werden.

Die energiereichste Gebäudeseite liegt bekanntlich im Süden. Dort sind Aufenthaltsräume zu platzieren, welche behagliche Rauminnentemperaturen aufweisen. Die passiven solaren Wärmegewinne der Solarstrahlung müssen einen beachtlichen Teil dazu beitragen den Heizenergiebedarf zu senken.

Im Westen bekommt man am Nachmittag eine tiefe Durchsonnung, deswegen sind hier Wohnräume sehr gut, weil man die Abendsonne zur Raumtemperierung gut nutzen kann.

Im Osten bekommt man eine tiefe Durchsonnung am Morgen. Hier sollten meist Räume angeordnet werden wie Essplatz/Esszimmer, Küche, reine Schlafräume oder andere, welche einer wünschenswerten Besonnung am Morgen ausgesetzt sind.

Niederwertige Räume, die es zulassen auch niedrigere Temperaturen zu gewähren, sollten nach Norden gerichtet werden.

Im Norden des Gebäudes, wo es wenig Sonne und kalte Winterwinde gibt, können niederwertige Räume mit niedriger Temperatur angeordnet werden. Dafür geeignet sind Eingänge mit einem Windfang, WC, Speisekammern, Abstellräume, Nebenräume, Arbeitsräume, Flure, Treppenhäuser und andere.¹³³

4.1.7 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass aufgrund der Gebäudeausrichtung die Wärmegewinne erhöht bzw. Wärmeverluste verringert werden:

- *Die Südfassaden sind großflächiger (breiter und höher) und mit größeren Fensterflächenanteilen auszustatten, wobei gegensätzlich die Nordfassade mit*

¹³² fachliche Anm.: Von einer lineare Zonierung spricht man dann, wenn die Raumtemperaturen im Gebäude gestaffelt vom Süden nach Norden abnehmen. [14], S. 69

¹³³ vgl. [21], S.1

deren Fensterflächen so gering als möglich zu gestalten ist (trichterförmiger Grundriss).

- In Städten sind passive Sonnenenergie nutzende Gebäudefassaden beschattungsfrei zu halten. Weiters sind hohe Gebäude in den oberen Geschoßen abzustufen, Nebengebäude mit reflektierenden Fassadenoberflächen auszustatten und das Gebäude in Nutzungszonen zu gliedern. Von unten nach oben:
 - Verkaufs-, Geschäftsflächen, Gastronomie
 - Büroflächen
 - Wohnflächen
- Anlegen von hellen, reflektierenden Oberflächen um das umliegende Gebäude um die zusätzlichen Reflexionsstrahlungen zu nutzen.
- Die Sonnenstrahlen sollen direkt eine möglichst große speicherfähige Fläche im Inneren des Gebäudes erfassen.
- Anbringen von vorgesetzten Pufferräumen auf der Außenseite der Gebäudehülle.
- Das Prinzip der linearen Zonierung besagt, dass Aufenthaltsräume und Räume mit erhöhten Wärme- und Lichtbedarf nach Süden auszurichten sind und untergeordnete niedertemperierte Räume nach Norden.

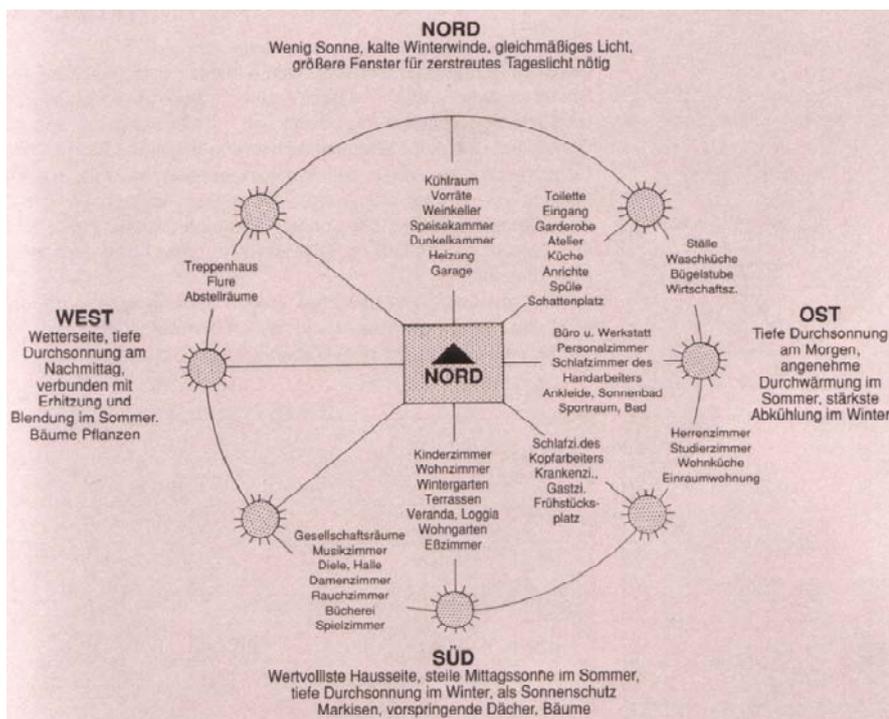


Abb. 4-5: Günstige Anordnungsvorschläge der einzelnen Räume in Abhängigkeit der Himmelsrichtungen. [21], S. 1

4.2 SPEICHERWIRKSAME MASSEN

4.2.1 EINLEITUNG

Die speicherwirksamen Massen¹³⁴ haben Einfluss auf den Heizwärme- und Kühlenergiebedarf.

Speicherwirksame Massen bewirken durch ihre thermische Trägheit ein:

- langsames Aufheizen der Räume,
- langsames Auskühlen bei Heizungsunterbrechungen,
- geringere Temperaturschwankungen im Raum und
- verzögerte Wärmeabgabe bei Sonnenbestrahlung von außen.¹³⁵

Durch ihr Speichervermögen können sie die solaren Wärmeeinträge speichern und zeitversetzt nach Abkühlung der Umgebung wieder langsam durch Wärmestrahlung und Konvektion an den Innenraum abgeben. Eine Erhöhung der solaren Wärmegewinne durch speicherwirksame Massen kann über transparente Bauteile (siehe Abschnitt 4.1.4), Außenwände (siehe Kapitel 4.3) und Wintergärten (siehe Kapitel 4.4) erreicht werden. Außerdem wird durch die Raumtemperatur ähnlicher Oberflächentemperaturen das Behaglichkeitsempfinden positiv beeinflusst und die Rauminnenluft durch die warmen raumumschließenden Bauteile erwärmt.

Räume mit speicherwirksamen Massen haben einen bedeutsamen Einfluss auf das Sommerverhalten von Gebäuden. Dabei bewirkt eine ausreichende Wärmespeicherung an heißen und strahlungsintensiven Sommertagen, dass der Raum nicht überhitzt, indem die tagsüber eingedrungene Wärme vorerst gespeichert und erst in der Nacht abgegeben wird. Diese Dämpfung der Raumluft funktioniert aber nur dann, wenn die erwärmten Speichermassen wieder abgekühlt werden. Wie sie abgekühlt werden können siehe unter Abschnitt 4.5.5.

¹³⁴ fachliche Anm.: Die speicherwirksamen Massen von Bauteilen oder Räumen werden gemäß ÖNORM B 8100-3 ermittelt und beschreiben das zeitabhängige, instationäre, thermische Verhalten eines Bauteils oder Raumes durch Temperaturschwankungen. vgl. [37]

¹³⁵ vgl. [26], S. 61

Prinzipiell dienen Speichermassen einer zeitlichen Verschiebung der Energieströme, die zur Einsparung der Heizenergie, Verkürzung der Anheizzeit und Senkung des Kühlenergiebedarfes eines Gebäudes genutzt werden können.

Bei Leichtbauten kann sich das sogenannte „Barackenklima“ einstellen, wobei Temperaturänderungen innerhalb kurzer Zeit auf den Innenraum übertragen werden.¹³⁶

Wesentliche Einflussgrößen von speicherwirksamen Massen mit deren Wärmeaufnahme- und Wärmeabgabevermögen sind, die spezifische Wärmekapazität, die Rohdichte, die Wärmeleitfähigkeit und die Wärmeeindringtiefe¹³⁷ des jeweiligen Baustoffes sowie die Lage der Dämmschicht einer Konstruktion.

Außenbauteile werden nicht nur nach ihren Wärmedämmvermögen beurteilt, sondern auch nach der Wärmebeharrung bezüglich der Temperaturamplitudendämpfung (TAD [-]) und Phasenverschiebung (φ [h]).

Die Temperaturamplitudendämpfung gibt die Dämpfung der äußeren Temperaturschwankung auf den Weg zur Innenseite als Verhältnis (A_a/A_i) der Amplitude der Außenluft- (A_a) und der Innenraumtemperatur (A_i) an. Die tägliche äußere periodische Temperaturschwankung wird als eine Sinusschwingung betrachtet (instationär), zufolge des täglichen Gangs der Sonnenstrahlung über einen Tag (Periodendauer $T=24$ h). Aufgrund der Wärmespeicherfähigkeit der Baustoffe in Konstruktionen werden diese Temperaturschwankungen an der Rauminnenoberfläche zeitverzögert und gedämpft abgegeben. Dabei kommt es zu einer Phasenverschiebung, die die Zeitspanne angibt, in der das äußere Temperaturmaxima innen auftritt. Die Phasenverschiebung ist beeinflussbar über das Material und der Dicke des jeweiligen Baustoffes. Grundsätzlich ist die Speicherfähigkeit der Bauteile umso besser je größer die Phasenverschiebung ist.¹³⁸

¹³⁶ vgl. [60]

¹³⁷ fachliche Anm.: Die Wärmeeindringtiefe eines Baustoffes beschreibt jene Tiefe, ab der keine maßgebliche Änderung der Temperatur mehr geschieht.

¹³⁸ vgl. [33], S. 25 & 26

Außenwandkonstruktionen aus speicherwirksamen Baustoffen sollen durch die Phasenverschiebung die inneren Maxima in den Nachtstunden verschieben, um sie in der Nacht abzukühlen. Tagsüber erwärmen sich dabei die Außenwandkonstruktionen und kühlen in der Nacht aus. Dabei nutzt man im Winter das Maxima zur nächtlichen Raumerwärmung und im Sommer die tagsüber auftretenden Minima zur Kühlung.

„Eine Phasenverschiebung von mindestens 9 Stunden gilt als günstiger Bereich für Außenwände nach Westen und Süden sowie für Flachdächer. Für Außenwände nach Osten und Norden genügt eine Phasenverschiebung von etwa 7 Stunden.“¹³⁹

Ziel ist es die raumumschließenden speicherwirksamen Massen so einzusetzen, dass sie einen Teil dazu beitragen den Heizwärmebedarf zu reduzieren bzw. die sommerliche Überwärmung verhindern, indem sie in direkter Verbindung mit der Raumluft stehen.¹⁴⁰

4.2.2 ANWENDUNGS- UND AUSFÜHRUNGSMÖGLICHKEITEN VON SPEICHERWIRKSAMEN MASEN

Die Anwendung von Speichermassen hängen von den Rahmenbedingungen bezüglich des Wärmedämmstandards des Gebäudes und der Konstruktion der konkreten einzelnen Fälle ab.

Die Anordnung von speicherwirksamen Massen zur Reduktion des Heizwärmebedarfes ist vor allem dort wirkungsvoll, wo hauptsächlich auch die Sonnenstrahlung auf diese Flächen einstrahlen kann.

Aufgrund der instationären Berechnung ist für die Bestimmungen der Werte über die Wirkungsweise der Speichermassen ein hoher Rechenaufwand nötig. Daher sind im Anhang B der ÖNORM B 8110-3 Diagramme und Tabellen für die Ermittlung der flächenbezogenen speicherwirksamen Massen von verschiedenen massiven Bauteilen mit mineralischen Baustoffen in Abhängigkeit der Wanddicke angeführt. Aus ihnen geht hervor, dass eine innenliegende Dämmschicht die speicherwirksame Masse verringert und eine außenliegende Dämmschicht die Speichermassen erhöhen. Dabei nehmen die

¹³⁹ von [13], S. 23

¹⁴⁰ vgl. [12], S. 22 & 23; [13], S. 21 – 23

speicherwirksamen Massen ab einer Dicke von ca. 20 cm nicht mehr nennenswert zu. Daraus folgt, dass dickere Wände keine höheren speicherwirksamen Massen mehr aufweisen.

Wandbaustoffe mit geringer Wärmeleitfähigkeit haben eine geringe Wärmeeindringtiefe, wodurch Wärme sehr viel langsamer eindringen kann und in weiterer Folge die Temperatur der Innenraumbooberflächen und die Wärmegewinne gering bleiben.

Wandbaustoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit haben eine größere Grenztiefe, wodurch höhere Wärmemengen an die Innenoberfläche des Raumes geleitet werden und die Temperaturen der Innenraumbooberfläche höher sind. Dadurch kann die Rauminnentemperatur erwärmt werden.

Geeignete Wandbaustoffe, die eine gute speicherfähige Masse aufweisen sind Naturstein, Beton, Kalksandstein und Vollziegelmauerwerk mit einer Rohdichte über 1600 kg/m³.¹⁴¹

Außenwand	Raumgewicht [kg/m ³]	bautechnische Ausführung	Speicherwirksame Masse ¹⁾ [kg/m ²]	Zunahme der speicherwirksamen Massen ²⁾
Beton 20 cm	2200	mit EPS-Dämmung	196	193%
Beton 15 cm	2200	mit EPS-Dämmung	164	145%
Betonhohlstein 25 cm	1400	mit EPS-Dämmung	112	67%
HLZ 25	952	mit EPS-Dämmung	81	21%
HLZ 17	941	mit EPS-Dämmung	76	13%
HLZ 38 Plan ³⁾	697	ohne Dämmung	69	
HLZ 45 Plan ³⁾	644	ohne Dämmung	67	

1) Verputzt mit je 1,5 cm Putz

2) Gegenüber der speicherwirksamen Masse einer 45 cm dicken Ziegelwand.

3) Hochporosierte Hochlochziegel

Tab. 4-1: Speicherwirksame Massen im Vergleich zu einer 45 cm dicken porosierten Ziegelwand (gemäß ÖNORM B 8110-3), [60]

¹⁴¹ vgl. [20], S. 96; [22], S. 6

Außen wärme gedämmte Speichermassen, können fast keine Wärmegewinne durch Außenwände erzielen.

Durch eine opake Außenwanddämmung können die innenliegenden Speichermassen keine nennenswerten Energiemengen durch die Sonnenstrahlung nutzen. Die Außenoberfläche erwärmt sich sehr wohl aufgrund der Sonnenstrahlung, aber es gelangen wegen der geringen Wärmeleitfähigkeit der Dämmschicht nur geringe Wärmemengen nach innen. Dadurch sind solare Wärmegewinne durch opak gedämmte Bauteile zur Reduktion des Heizwärmebedarfes nicht geeignet.

Ungedämmte Außenwandkonstruktionen, die Wärmegewinne erzielen können siehe Kapitel 4.3.

Die einzige Ausnahme einer außenliegenden Dämmung, die sehr wohl Wärmegewinne erzielt, ist die transparente Wärmedämmung (siehe Abschnitt 4.3.3).

Ein Wegdämmen der inneren Speichermassen durch Innendämmungen, abgehängte Decken, Vorsatzschalungen, Teppiche oder Möblierungen sind zu unterlassen, da durch diese Maßnahmen eine geringe Speicherfähigkeit des Raumes entsteht, wodurch keine nennenswerten Energiemengen zur Reduktion des Heiz- und Kühlenergiebedarfes genutzt werden können.

Vergleicht man ein Gebäude einmal in einer leichten und ein andermal in einer schweren Bauweise, wobei alle U-Werte, Fensterflächen und die sonstigen baulichen Ausführungen alle gleich ausgeführt sind, so lässt sich feststellen, dass bei einer Nachtabsenkung oder –abschaltung des Heizsystems des Gebäudes die Raumtemperaturen in der Früh beim Anheizen bei der schweren Bauweise höhere, als jene der leichten Bauweise, sind. Zurückzuführen ist das auf das Speichervermögen. Die tagsüber gespeicherte Wärmeenergie wird zeitliche Verzögerung in den Nachtstunden an den Raum abgegeben, wodurch die Rauminnentemperatur bei einer schweren Bauweise langsamer absinkt. Folglich wird dadurch die Anheizzeit verkürzt und ein geringerer Heizwärmebedarf für Gebäude in schwerer Bauweise erzielt.

Die Raumtemperatur eines Niedrigenergie- oder Passivhauses mit hohen Südfensterflächenanteilen und einer mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sinkt aufgrund der geringen Wärmeverluste selbst bei Nachtabsenkung oder –abschaltung des Heizsystems im Gebäude und geringen

Speichermassen kaum ab. Folglich tragen Konstruktionen mit Speichermassen für Gebäude mit hohem Wärmedämmstandard zur Reduktion des Heizwärmebedarfs nicht bei. Gerade für das Sommerverhalten bei Niedrigenergiehäusern und Passivhäusern wirkt sich das aber kritisch aus.

Prinzipiell gilt, je höher der wärmeschutztechnische Standard des Gebäudes wird desto weniger Einfluss haben die speicherwirksamen Massen auf die Einsparung von Heizenergie und der Verkürzung der Anheizzeit, weil die Wärme durch den guten Wärmeschutz des Gebäudes in der Nacht erhalten bleibt.

In der Heizperiode sind raumumschließende Speichermassen für eine gleichmäßige Verteilung der Raumtemperatur wichtig.

Beim Fensterlüften sinkt die Innenraumtemperatur durch den Luftaustausch mit der frischen und kühleren Außenluft ab. Nach dem Lüftungsvorgang entzieht die neue frische und kühlere Raumluft den warmen speicherfähigen raumumschließenden Bauteilen die Wärme und erwärmt sich. Diese Erwärmung passiert in einer relativ kurzen Zeit indem die neue ausgetauschte Raumluft wieder eine behagliche Raumtemperatur annimmt, ohne dass die Oberflächentemperaturen des Raumes merklich reduziert wurden. Dafür ist eine hohe Oberflächentemperatur nahe der Raumtemperatur, die maximal 2 °C darunter liegt, wirkungsvoll. Außenseitig gedämmte Wände, deren tragfähiger Baustoff eine hohe speicherwirksame Masse aufweist, sind dafür von entscheidender Bedeutung. Da hohe innenliegende Speichermassen die Raumluft erwärmen, muss das Heizsystem nur geringere zusätzliche Wärmeenergie dem Raum zufügen. Wodurch eine Reduktion des Heizwärmebedarfes erzielt wird. Bei Gebäuden mit einer leichten Bauweise ist die ausgetauschte frische und kühlere Luft nach dem Lüftungsvorgang durch das Heizsystem wieder erwärmt werden, um behaglichen Raumtemperaturen herzustellen.¹⁴²

Prinzipiell sind die Energieeinsparungen bezüglich der speicherwirksamen Massen relativ gering.

Speicherwirksame Massen im Bezug auf die sommerliche Überwärmung siehe Kapitel 4.5.5.

¹⁴² vgl. [13], S. 21 - 23

Im Extremfall kann im Sommer durch hohe Speichermassen während die Außentemperaturen $>30\text{ °C}$ aufweist im Gebäude deutlich geringere Innentemperaturen auftreten. Wird diese Raumtemperatur von Personen als zu kühl empfunden versucht er zwangsläufig durch Lüften die Innenraumtemperaturen anzuheben, was problematisch werden kann. Gelangt die warme Außenluft, die viel Feuchtigkeit besitzt, durch den Lüftungsvorgang nach innen, kann es zu Kondensationserscheinungen an den kalten Raumbooberflächen kommen. Hier sind gemäßigte Speichermassen wünschenswerter.¹⁴³

4.2.3 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass aufgrund speicherwirksamer Massen die Wärmegewinne erhöht werden:

- *Prinzipiell gilt, je höher der wärmeschutztechnische Standard des Gebäudes wird desto weniger Einfluss haben die speicherwirksamen Massen auf die Einsparung von Heizenergie und der Verkürzung der Anheizzeit, weil die Wärme durch den guten Wärmeschutz in der Nacht erhalten bleibt.*
- *Eine außenliegende Dämmschicht erhöht und innenliegende Dämmschichten verringern die speicherwirksamen Massen.*
- *Speichermassen von mineralischen Stoffen nehmen ab einer Dicke von ca. 20 cm nicht mehr nennenswert zu. Folglich weisen dickere Wände keine höheren speicherwirksamen Massen auf.*
- *Wandbaustoffe mit hoher Wärmeleitfähigkeit haben eine größere Wärmeeindringtiefe, wodurch höhere Wärmemengen an die Innenoberfläche des Raumes geleitet werden und die Temperaturen der Innenraumbooberfläche höher sind. Dadurch kann die Rauminnentemperatur erwärmt werden.*
- *Geeignete Wandbaustoffe, die eine gute speicherfähige Masse aufweisen sind Naturstein, Beton, Kalksandstein und Vollziegelmauerwerk mit einer Rohdichte über 1600 kg/m^3 .*
- *Wärmegewinne können durch massive speicherfähige Außenwände (siehe Kapitel 4.3), oder außengedämmte Konstruktionen, deren inneren Tragkonstruktion eine speicherfähigen Masse besitzt und denen die Wärmeenergie über transparente Bauteile zugeführt wird (siehe Abschnitt 4.1.4 bis 4.1.6) erzielt werden.*

¹⁴³ vgl. [6], S. 38 - 41

4.3 WÄRMEGEWINNE DURCH AUSSENWÄNDE

4.3.1 EINLEITUNG

Wärmegewinne durch Außenwände erhöhen die passiven solaren Gewinne und können Transmissionswärmeverluste verringern.

Durch die Erhöhung der äußeren Oberflächentemperatur zufolge der Solarstrahlung kommt es zu einem geringeren Temperaturunterschied ΔT , der auch zu einer Wärmestromumkehr führen kann und damit die Transmissionswärmeverluste verringert.

Die passiven solaren Wärmegewinne durch Außenwände werden erzielt, indem die Speicherwände, die tagsüber gespeicherte Wärmemenge durch einen verzögerten Wärmestrom von außen nach innen bis an die Innenoberfläche leitet. Dabei kann die erhöhte Innenoberfläche zur Erhöhung der Raumtemperatur genutzt werden. Wie diese genutzt werden können, siehe Abschnitt 4.2.2. Dafür sind Baustoffe mit einer hohen Wärmespeichervermögen und einer hohen Wärmeleitfähigkeit geeignet, wobei auch die Farbe der Außenoberfläche eine mehr (dunkel) oder weniger (hell) starke Erwärmung verursacht. Aufgrund der Sonneneinstrahlung auf die Bauteiloberflächen erwärmen sich diese umso mehr je dunkler die Farbe und je höher der Globalstrahlungsanteil (Süden) ist. Durch Reflexionsstrahlung mittels einer gezielten Umgebungsgestaltung (Flächen mit geringem Emissionsgrad ϵ) kann die solare Einstrahlung auf die Wandoberfläche zusätzlich erhöht werden.

Um Wärmegewinne durch Außenwände zu erzielen, gibt es verschiedene Möglichkeiten die Wandkonstruktion auszuführen.

4.3.2 OPAKE UNGEDÄMMTE AUSSENWÄNDE

4.3.2.1 SCHWERE EINSCHALIGE AUSSENWAND

Schwere einschalige Außenwandkonstruktionen, z.B. aus verputzten Vollziegelmauerwerk und/oder aus einem Sichtmauerwerk, müssen vorerst den Mindestwärmedämmforderungen gerecht werden. Folglich werden diese Wandkonstruktionen hohe Wänddicken, aufgrund hoher Wärmeleitfähigkeit, aufweisen müssen. Bei dieser massiven Wandkonstruktion, die keine zusätzliche Wärmedämmung besitzt, werden bis zu 90 % der aufgenommenen Wärmeenergie im äußeren Drittel der

Wand gespeichert. Dabei wird diese gespeicherte Wärme mit einer mehrstündigen Verzögerung, abgemindert an den Innenraum abgegeben.

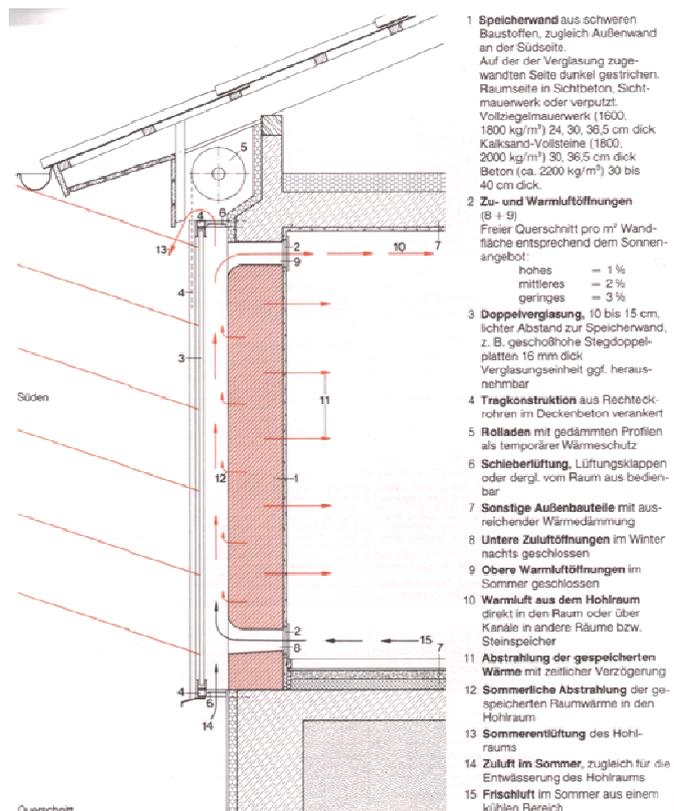
Treten im Winter, längere Tage bis Wochen ein niedriges Globalstrahlungsangebot auf durch Nebel oder Bewölkung, so kommt es zur Auskühlung der Wand, wodurch diese Konstruktion erhöhte Wärmeverluste erzielen kann.¹⁴⁴

4.3.2.2 TROMBE-WAND

Eine spezielle Ausführung für eine massive solare Speicherwand stellt die Trombe-Wand dar. Sie ist ein passives Solarsystem zur Nutzung der Sonnenenergie und kann als Außenwand, die im geschlossenen Zustand die Mindestanforderungen des Wärmeschutzes erfüllen muss, eingesetzt werden oder frei im Raum stehen, wie z.B. beim Wintergarten.

Dabei dient eine speicherfähige Wand als Absorber. Um eine möglichst hohen Absorptionsgrad ϵ [-] zu erhalten, muss die massive Speicherwand außenseitig rau sein und erhält zusätzlich einen dunklen Absorber-Wandanstrich. Damit wird möglichst viel Sonnenenergie absorbiert und wenig reflektiert.

Im Abstand von 10 bis 15 cm wird davor eine Einfach- (geringer Wärmeschutz, deshalb nur angewandt bei Innenräumen, wie z.B. beim Wintergarten) oder Doppelisolierverglasung aus Glas- oder Kunststoffschicht (z.B.



herwand) an
30

¹⁴⁴ vgl. [11], S. 79

Stegdoppelplatten aus Plexiglas) montiert. Die Glasflächen sind bei Bedarf zu putzen, um den Verschmutzungsgrad gering zu halten damit die Wärmegewinne nicht reduziert werden. Dabei heizten sich die dunkel gestrichene Wand und der Belüftungsraum tagsüber durch den durch die Sonneneinstrahlung und durch die Verglasung erzeugten Treibhauseffekt auf. Die massive Wand gibt zeitverzögert in den Nachtstunden einen Teil der tagsüber gespeicherten Wärmemenge an den Innenraum ab. Die im Belüftungsraum gewonnene erwärmte Luft kann sofort direkt durch die in der Wand installierten Lüftungsklappen in den Raum geleitet und genutzt werden. Durch Kanäle ist es möglich die erwärmte Luft in abseits gelegene Räume zu leiten. Bei natürlicher Konvektion strömt die erwärmte Luft im oberen Belüftungsbereich der Wand in den Raum, kühlt dort ab, sinkt zu Boden und wird wieder durch die untere Lüftungsklappe in den Belüftungsraum rückgeführt und erneut erwärmt. In der Nacht wird die Konvektion durch Schließen der Lüftungsklappen unterbunden. Damit wirkt der Belüftungsraum als Pufferzone und erhöht somit den Wärmedurchgangswiderstand des Wandbauteils. Die Wärmeabgabe erfolgt in der Nacht über die Wandfläche der Tromben-Wand.

Günstig ist diese Konstruktion bei Leichtbauweisen auf der Südseite, um ihnen neben den Wärmegewinnen für das Sommerverhalten eine Speicherkapazität zu schaffen.

Grundsätzlich kommt es aber auch hier bei längeren Kälteperioden mit niedrigem Globalstrahlungsangebot zu einer starken Auskühlung der Speicherwand. Sinnvollerweise ist die Anwendung einer Tromben-Außenwand nur in Gegenden mit ausreichender Besonnung anzustreben. Als Rückwand von Wintergärten ist die Trombe-Wand sehr gut geeignet.

Im Sommer dagegen ist diese Erwärmung nicht wünschenswert wodurch der Lüftungshohlraum nach außen entlüftet wird. So kann die Speicherwand der Raumkühlung dienen. Prinzipiell kann Frischluft aus kühleren und schattigeren Bereichen angesaugt werden und im unteren Bereich der Konstruktion in den Belüftungshohlraum eingeleitet werden. Als sommerlicher Wärmeschutz dient die Speicherwand dahingehend, da diese tagsüber die Wärme der Raumluft aufnimmt und nachts an den nach außen geleitenden kühleren Luftstrom abgibt. ¹⁴⁵

¹⁴⁵ vgl. [11], S. 35; [52]

4.3.2.3 WASSER-SPEICHERWAND

Eine alternative Lösung zur massiven Speicherwand stellt eine Wasser-Speicherwand dar, die funktionell der Tromben-Wand gleicht. Der Vorteil liegt in der großen spezifischen Wärmekapazität von Wasser und der gleichmäßigeren Verteilung gegenüber herkömmlichen massiven Baustoffen.

Dabei werden raumhohe Wasserbehälter aus runden glasklaren Kunststoffrohren im \varnothing mind. 25 bis 40 cm aufgestellt. Geringere Wassermengen würden an intensiven sonneneinstrahlenden Tagen aufgrund der zu starken Erwärmung des Wassers zu einer unerwünschten Erhöhung der Raumtemperaturen führen. Die Wassersäulen werden bis zu 95 % gefüllt und gegen Verdunstung geschlossen. Die Säule wird auf eine druckverteilende Unterlageplatte, die wiederum auf einer harten Dämmplatte aufliegt, gestellt. Für erhöhte Strahlungsabsorption sorgt bei durchsichtigen Behältern eine dunkle Beschichtung oder eingefärbtes Wasser. Zur Verringerung der Wärmestrahlung kann auf der bestrahlten Wasserbehälterseite eine selektive Beschichtung aufgebracht werden. Davor steht wie bei einer Tromben-Wand eine Verglasungseinheit, die den Treibhauseffekt verstärkt.

Prinzipiell sind Wasser-Speicherwände aufgrund der spezifischen Wärmekapazität günstiger anzusehen als eine Trombe-Wand.¹⁴⁶

Darauf hinzuweisen ist, dass solche hinterlüftete Konstruktionen eventuell mit Ventilatoren unterstützt werden müssen um die Luftzirkulation zu unterstützen. Der dafür aufgewandte Stromverbrauch für deren Betrieb kann höher sein als der zu erzielende Wärmegewinn, womit diese Konstruktionen dann unwirtschaftlich sind.

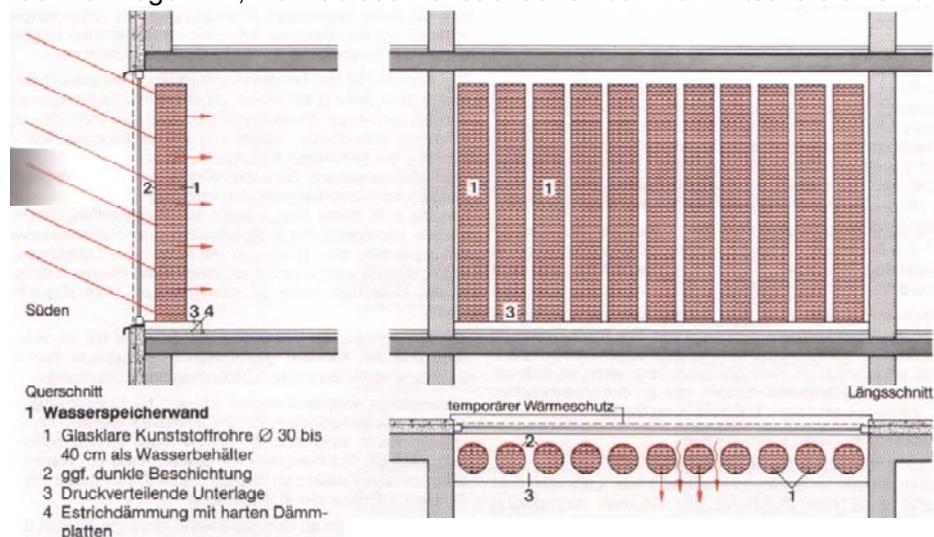


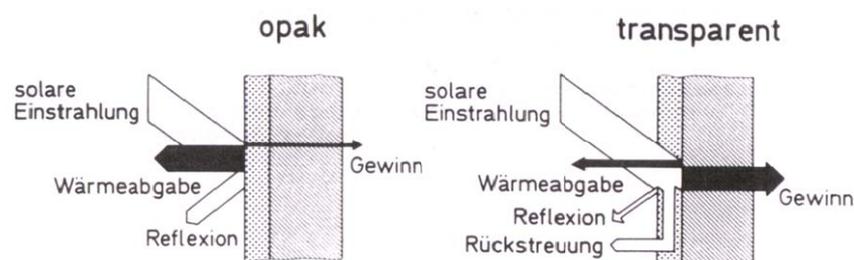
Abb. 4-7: Schemaskizze einer Wasser-Speicherwand, [11], S. 81

¹⁴⁶ vgl. [11], S. 78

4.3.3 TRANSPARENTE UND LICHTDURCHLÄSSIGE DÄMMUNGEN AUF DER AUSSENWAND

4.3.3.1 EINLEITUNG

Die Wirkungsweise eines klassisch transparenten Wärmedämm (TWD)-Systems beruht darauf, dass ein großer Teil der kurzwelligigen Sonnenstrahlung durch diese transparente und lichtdurchlässige Dämmschicht hindurchgelassen und an der Außenoberfläche der speicherfähigen Wandschale absorbiert wird.



Die TWD lässt den größten Teil der in die Wand eingeleiteten absorbierten Wärmeenergie nicht wieder durch Wärmestrahlung, Wärmeleitung und Konvektion nach außen. Die Wärmeleitung wird durch eine niedrige Wärmeleitfähigkeit der TWD Wärmedämmung verringert. Die Konvektion wird z.B. durch eine Glasabdeckung bei TWD-Paneelen oder Glasputz bei transparenten WDVS verhindert. Die abgegebene Wärmestrahlung von der Wand wird von dieser Glasabdeckung oder Glasputz wieder reflektiert. Durch diese Maßnahme entsteht der Treibhauseffekt wodurch eine stetige Erwärmung bei Sonneneinstrahlung auf die speicherfähige Wand erfolgt.¹⁴⁷

4.3.3.2 FUNKTIONSPRINZIPIEN VON TRANSPARENTEN WÄRMEDÄMMUNGEN (TWD)

Es gibt drei funktionale Grundtypen, die zur Anwendung bei transparenten Wärmedämmungen kommen.

¹⁴⁷ vgl. [22], S. 3

4.3.3.2.1 DIREKTGEWINNSYSTEM

Prinzipiell gelten hier die gleichen Überlegungen wie bei Wärmegewinnen durch transparente Bauteile. Beim Direktgewinnsystem wird die TWD als Hüllelement ohne eine dahinterliegende Speicherwand eingesetzt und ähnelt einer nicht klar durchsichtigen Fenster oder einer Glasfassade. Die Wärmeenergie wird aufgrund des Treibhauseffektes gewonnen. Dabei erwärmen sich die Innenoberflächen und die Raumtemperatur. Die Wärmeverluste sind durch die geringe Wärmeleitung der TWD gering. Der Nachteil bei dieser Konstruktion liegt darin, dass ein geringer zeitlicher Unterschied zwischen erwärmter Raumoberflächen und Innenraumtemperatur entsteht, der eine ungewollte Raumüberwärmung begünstigt. Direktgewinnsysteme müssen daher über Verschattung geregelt werden und sollten Heizsystem mit geringer Trägheit besitzen um eine gute Ausnutzung der Wärmegewinne zu gewährleisten.¹⁴⁸

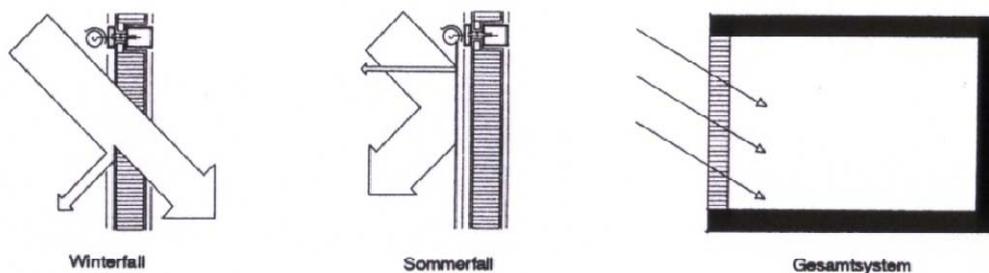


Abb. 4-9: Funktionsprinzip eines Direktgewinnsystemes einer TWD-Fassade. [20], S. 11

4.3.3.2.2 SOLARWAND

Das klassische Solarwandsystem absorbiert, nach dem Strahlungsdurchgang durch das TWD-Material die Sonnenstrahlung an der Außenseite der massiven Speicherwand. Beim Aufbau der massiven Speicherwand gelten prinzipiell die gleichen Ausführungsmaßnahmen wie bei der Trombe-Wand. Dabei fließt die Wärmeenergie zeitversetzt und gedämpft zur raumseitigen Wandoberfläche, wo diese dann an die Luft abgegeben wird. Bedingt durch die Dämmwirkung des TWD-Materiales strömt die Wärmeenergie verringert an die Außenoberfläche ab. Der Vorteil liegt in der Phasenverschiebung in die Nachtstunden, womit die Anheizzeiten verkürzt werden. In Kombination mit transparenten Bauteilen ergibt sich eine zeitliche Streckung der Solargewinne über den Tagesverlauf. Eine Verschattung ist auch hier gegen sommerliche Überwärmung unabdingbar.

¹⁴⁸ vgl. [20], S. 11 & 12

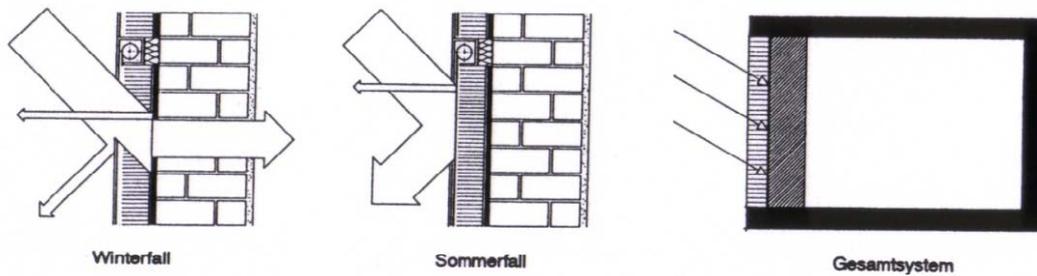


Abb. 4-10: Funktionsprinzip eines Solarwandsystems einer TWD-Fassade. [20], S. 12

Das konvektive entwärmte TWD-Solarwandsystem stellt eine Abwandlung zum ursprünglichen Solarwandsystem dar. Prinzipiell stellt die Trombe-Wand ein ähnliches System dar (siehe Abschnitt 4.3.2.2). Bei diesem TWD-System liegt der Absorber auf einem Blech oder einer Platte auf der Rückseite der TWD-Schicht, die einen Abstand zur Wand besitzt. Der Systemwirkungsgrad wird durch sogenannte selektive Absorber (hohen Absorptionsgrad bzw. Emissionsgrad ϵ , geringe Wärmeabstrahlung) erhöht. Sie sind in Form von Klebefolien oder Metallbeschichtungen realisierbar. Die Wärmeübertragung des Absorbers auf die Wand erfolgt durch Konvektion. Auf eine Verschattung kann hier verzichtet werden. Im Sommer wird durch unten und oben angebracht Lüftungsklappen in der Fassade kühle Außenluft angesaugt, die den Belüftungsraum durchströmt und die Oberfläche der Wand kühlt. Im Winter sind die äußeren Lüftungsklappen geschlossen.¹⁴⁹

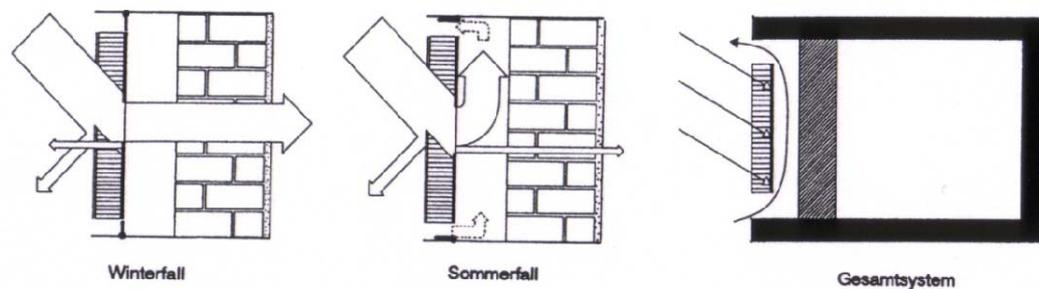


Abb. 4-11: Funktionsprinzip eines konvektiven entwärmte Solarwandsystems. [20], S. 23

4.3.3.2.3 THERMISCH ABGEKOPPELTE SYSTEME

Dieses thermisch abgekoppelte System stellt prinzipiell das günstigste Wandsystem bezüglich der zu erreichenden und nutzbaren Wärmegewinnung und der geringen Transmissionswärmeverluste dar.

¹⁴⁹ vgl. [20], S. 12,13 & 96

Beim thermisch abgekoppelten System wird nach dem Strahlungsdurchgang durch die TWD die Sonnenstrahlung an der Absorberfläche in Wärme umgewandelt. Diese Absorberfläche befindet sich hier auf der Außenseite der raumzugewandten hoch gedämmten Wand auf einem Blech oder einer Platte. Die Wärmeübertragung des Absorbers an die Luft erfolgt durch Konvektion.

In der Winternacht bei geschlossenen Lüftungsklappen wirkt der Luftpolster im Belüftungsraum als Pufferzone.

Einen kleinen Nachteil gegenüber einer Trombe-Wand mit massiver Speicherwand stellt der sehr geringe Wärmegewinn über die Wand aufgrund der Wärmedämmung zwischen Absorber und Innenraum dar. Dieser Wärmegewinn über die Wand ist sekundär und wird bei Gebäuden mit hohen Wärmedämmstandards prinzipiell nicht benötigt. Die Wärmeverluste in der Nacht sind nämlich sehr gering, womit keine nennenswerten Einsparungen aufgrund der Anheizzeit zustande kommen.

Verschattungsmaßnahmen sind aufgrund des im Sommer nach außen belüfteten Hinterlüftungsraumes nicht notwendig. Die warme Luft wird nach außen abgeführt und kühlere Frischluft nachgeführt, womit das TWD-Modul hinterströmt wird und somit eine konvektive Entwärmung erfährt.

Aufgrund des hohen baulichen Aufwandes und die damit verbundenen Material- und Fertigungskosten sowie die Empfindlichkeit gegenüber Undichtheiten ist dieses System in der Praxis noch nicht konkurrenzfähig.

Prinzipiell spricht bei diesen Systemen nichts dagegen, Wasserkollektoren in der Fassade mit einzubauen um die Warmwasserheizung und Brauchwasser damit zu unterstützen. Luftkollektoren können auch zur Frischluftvorwärmung eingesetzt werden.

Eine konstruktive gleiche Ausführung mit einer massiven Rückwand wie bei einer Tromben-Wand kann auch hier angewendet werden, nur dass die Verglasung bei diesem System aus TWD-Paneelen ausgeführt wird.

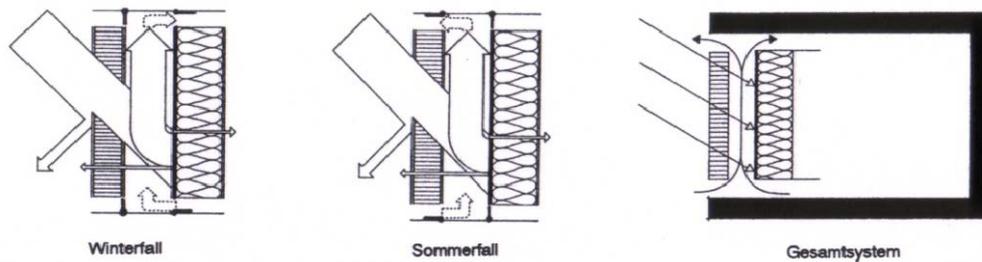


Abb. 4-12: Funktionsprinzip eines thermisch abgekoppelten System mit direkter Zirkulation ohne separaten Wärmespeicher. [20], S. 13

Aufgrund der verschiedenen konstruktiven TWD-Systeme sind die Anwendungen den verschiedenen Gebäudetypen entsprechend abzustimmen. Beispielsweise eignen sich Solarwandsysteme eher für kontinuierlich genutzte Gebäude, weil sich die zeitlich verschobenen Wärmegewinne über die Solarwand und die unverzögerten Wärmegewinne durch transparente Bauteile sehr gut ergänzen. Direktgewinnsysteme sind vorzugsweise in Bürogebäuden und Schulen sinnvoll, wo die tagsüber gewonnenen Wärmemengen direkt genutzt werden können.¹⁵⁰

4.3.3.3 TRANSPARENTE WÄRMEDÄMMATERIALIEN

Die Eigenschaften eines transparenten Dämmmaterials sind eine hohe Transmission für Licht bzw. Sonnenstrahlung, und besitzen gleichzeitig eine gute Wärmedämmeigenschaft. Die Grundstoffe einer TWD bestehen aus Kunststoffen und Glas.

Höhere solare Gewinne werden erzielt, je besser die Dämmeigenschaft und je größer der Strahlungstransmissionsgrad des transparenten Dämmmaterials ist.

Trotz vieler Materialtypen hat sich eine Klassifizierung der TWD auf die grundlegende Geometrie durchgesetzt. Diese Klassifizierung bezieht sich auf die Anordnung der wesentlichen Strukturbestandteile zur Absorberebene (Massivwand, Kollektor- oder Fensterebene).

¹⁵⁰ vgl. [20], S. 13 & 93

Man unterscheidet in vier Materialstrukturen:

▪ **absorber-parallele Struktur:**

- Verglasung
- Folien

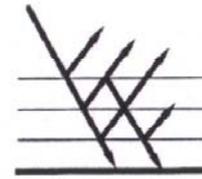


Abb. 4-13: Absorber-
parallele Struktur
(z.B.
Mehrfachverglasung),
[20], S. 46

Die Schichtungen der Folien oder der Verglasung sind parallel zur Absorberfläche gerichtet. Mit zunehmender Anzahl der Schichtungen bekommt man aufgrund der Reflexion an jeden der Randschichtungen einen reduzierteren Strahlungstransmissionsgrad.

▪ **absorber-senkrechte Struktur:**

- Wabenstrukturen
- Kapillarstrukturen
- Röhrchen
- Schlitzstrukturen

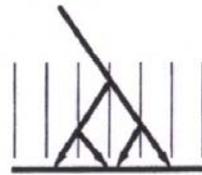


Abb. 4-14: Absorber-
senkrechte Struktur,
[20], S. 46

Die Struktur besteht aus feinen Kanälen und verläuft senkrecht zur Absorberfläche. Der abfallende Strahlungstransmissionsgrad mit zunehmender Dicke ist geringer als bei jenen der absorber-parallelen Struktur. Dies ist darauf zurückzuführen, da die Reflexion der Sonnenstrahlung an den Oberflächen der Kanäle senkrecht zum Absorber hin gerichtet ist und nicht vom Absorber weg, wie es bei dem absorber-paralleler Struktur der Fall ist. Deswegen ist die absorber-senkrechten Struktur effizienter als die absorber-parallelen Strukturen. Für ein gutes Wärmedämmvermögen sind folgende Kriterien wichtig:

- Ab einem Verhältnis der Zelldurchmesser zur Zellenlänge ab etwa 1:10 wird eine Konvektionsunterdrückung erreicht.
- Sowie eine geringe Wärmeleitfähigkeit λ des Materials.

Kammerstruktur:

- Stegplatten
- Transparente Schäume

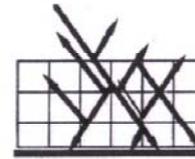


Abb. 4-15: Kammerstruktur, [20], S. 46

▪ **Quasi-homogenes Material:**

- Aerogel (granular, monolithisch)



Abb. 4-16: Quasi-homogene Material - Aerogel, [20], S. 46

Aerogel besitzt eine hochporöse Glasstruktur bei der keine Reflexion erfolgt, weil die Porendurchmesser deutlich kleiner sind als die Wellenlänge der Sonnenstrahlung.¹⁵¹

In der nachfolgenden Abbildung sind die Zusammenhänge einzelner transparenter Wärmedämmstoffe in Abhängigkeit vom Strahlungstransmissionsgrad bezogen auf die Schichtdicke und andermal bezogen auf den U-Wert dargestellt.

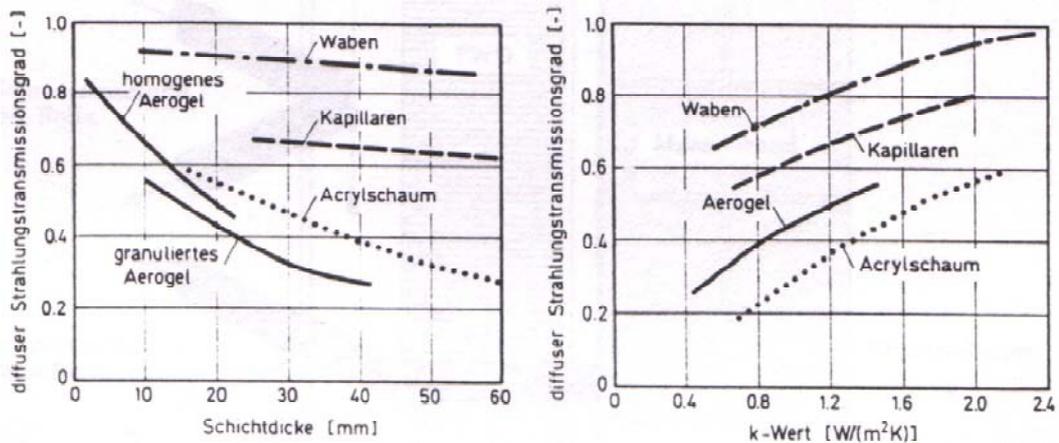


Abb. 4-17: Zusammenhang verschiedener Wärmedämmstoffe zwischen diffusem Strahlungstransmissionsgrad und Dämmschichtdicke (links) sowie U-Wert (rechts). [22], S. 5

¹⁵¹ vgl. [20], S. 45 – 50; [22], S. 4 & 5

4.3.3.4 VERGLASUNG UND TWD-PANEELE SOWIE DIE KONSTRUKTIVEN EINSATZMÖGLICHKEITEN VON TWD-SYSTEMEN

Viele TWD-Produkte ähneln dem Aufbau von Mehrfachisolierverglasungen und stellen damit ein Konkurrenzprodukt dar. Die Wärmeschutzverglasungen zählen in diesem Sinne zu der absorber-paralleler Struktur und stellen damit ein TWD-System dar.

Hauptsächlich kommen Verglasungen und klar durchsichtige TWD-Paneele bei Direktgewinnsystemen zum Einsatz.

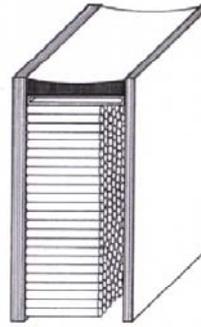


Abb. 4-18: TWD- Paneel: KAPILUX-H, Hersteller OKALUX Kapillarglas GmbH, Röhrrchen – absorber-senkrechter-Struktur, [20], S. 58

Prinzipiell gelten die gleichen Konstruktion-Regeln von TWD-Paneeelen wie bei Wärmeschutzverglasungen um die Wärmeverluste zu reduzieren.

Der Unterschied zwischen Verglasungen und TWD-Paneeelen liegt bei den größeren Elementdicken wodurch der Randverbund entsprechend angepasst werden muss. TWD-Paneeelen eignen sich für z.B. Fensterbrüstungen, Oberlichten oder opake Fassadenpaneele zum Einbau in Aluminium- oder Holz-Pfosten-Riegelkonstruktionen.

Aber es gibt noch einige speziell Konstruktions-Regeln für TWD-Paneele.

Die Glasscheiben dienen in der Nutzungsphase als Schutz vor UV-Strahlung, Witterungsschutz, Regenwasser und Staub von dem TWD-Material und sind bei Bedarf zu reinigen um den Wirkungsgrad aufrecht zu erhalten.

Offenzellige Materialien sind dicht an die senkrechte Wand oder an die Glasscheibe zu pressen.

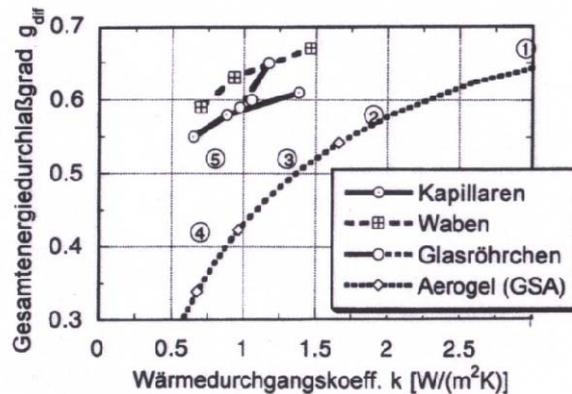
Wird das TWD-Material nicht dicht an die Glasscheibe angepresst, so treten interzellulären Luftströmungen auf. Die Luft strömt im Paneel durch die feinen Zellen des offenen TWD-Materials, steigt wandseitig an der warmen Seite hoch und zirkuliert an einer anderen undichten Stelle des Materials zurück auf die kalte Seite. Diese auftretenden Konvektionserscheinungen verschlechtern die Wärmedämmeigenschaft.

Aufgrund des großen Luftzwischenraumes zwischen den beiden Deckscheiben sind TWD-Paneele offen zu gestalten ab einer Dicke von >40 mm, wodurch besondere Maßnahmen zu ergreifen sind. Bei Scheibenabständen unter 40 mm können geschlossene Paneele eingesetzt werden.

Die Luft muss entweichen können, weil ansonsten durch thermische Expansion der Luft durch Erwärmung ein Überdruck entsteht, der die Scheibe im schlimmsten Fall zum Platzen bringt wenn nicht vorher der Randverbund versagt.

Bei diesen offenen TWD-Paneeelen, dringt Luft und auch Wasserdampf von außen ein und wird ausgetauscht. Folglich müssen Filter verhindern, dass Staub, Ungeziefer und andere Verunreinigungen in das Paneelinnere eindringen. Der Luftwechsel wird durch thermische Wechselbelastung oder von dynamisch wechselnden Windverhältnissen durchgeführt.

Kondensaterscheinungen an der Frontscheibe des Paneels können aufgrund des enthaltenen Wasserdampfgehaltes im Paneel entstehen. Dabei wird feuchte Außenluft beim Abkühlen des Paneels, z.B. nach einem Regenguss, angesaugt und es entsteht dann an der Innenseite der Außenscheibe Kondensat beim Abkühlen unter dem Taupunkt. Prinzipiell stellt dieses Kondensat nur eine kurzzeitige optische Beeinträchtigung und keine Funktionsbeeinträchtigung der Fassade dar.¹⁵²



- 1 Zweifach-Isolierverglasung
- 2 Dreifach-Isolierverglasung
- 3 Zweifach-Wärmeschutzverglasung (Füllgas Argon)
- 4 Dreifach-Wärmeschutzverglasung (Füllgas Krypton)
- 5 Dreifach-Wärmeschutzverglasung (Füllgas Krypton)
 – optimiert für solare Gewinne und Niedrigenergiehäuser

Abb. 4-19: Überblick und Vergleich über optisch und thermische Eigenschaften von TWD-Materialien und Isolier- und Wärmeschutzverglasungen, [20], S. 62

¹⁵² vgl. [20], S. 53 – 56, 62 & 63

Unverkleidete TWD-Materialien auf der Baustelle sind empfindlich gegenüber Eindringen von Wasser oder Staub in das Material, Stege oder Folienteile können abgebrochen werden oder eine Verschlechterung des Aussehens bzw. der Funktionsweise kann eintreten. Deswegen ist die Verwendung von vorgefertigten TWD-Paneele in der Baupraxis vorteilhafter und üblich.

Es gibt TWD-Komplettsysteme aus:

- Aluminium- und Holz-Pfosten-Riegelkonstruktionen,
- Aluminium- und Holz-Modulfassaden,
- transparente Wärmedämm-Verbundsysteme,
- TWD-Einhängesysteme,
- TWD-Profilglasfassaden oder
- konvektiv entwärmte TWD-Systeme.

Bauphysikalisch müssen besonders TWD-Aluminiumfassaden auf Wärmebrücken (siehe Kapitel 4.7), thermische Dehnungen (siehe Kapitel 4.8), Tauwasserbildung und der Luftdichtheit abgestimmt werden.¹⁵³

- 1 Vertikalprofil Aluminium
- 2 Stufenfalzpaneel mit TWD und integriertem Plisséerollo
- 3 Absorberanstrich
- 4 Speicherwand Kalksandstein
- 5 Wandverkleidung opak

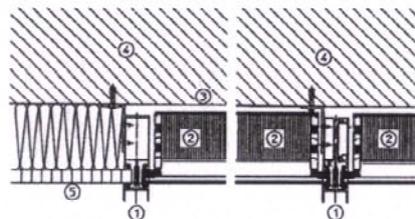


Abb. 4-21: Fassadenkonstruktion mit Stufenfalzpaneel, [20], S. 55

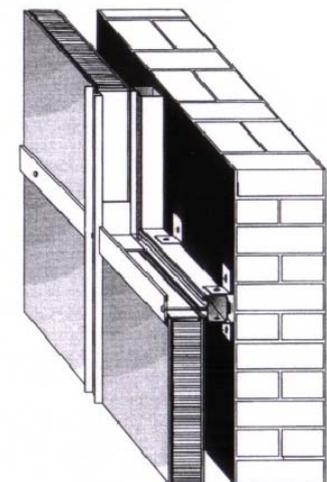


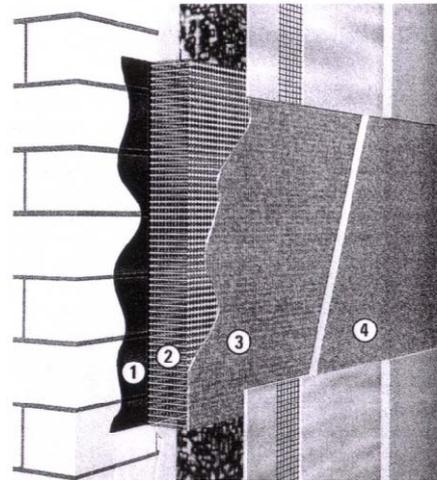
Abb. 4-20: Schüco Aluminium-Pfosten-Riegelkonstruktion, klassische Solarwand, [20], S. 64

Prinzipiell gelten für TWD-Systeme die gleichen konstruktiven Ansätze wie bei Wärmeschutzverglasungen und Pfosten-Riegel-Konstruktionen.

¹⁵³ vgl. [20], S. 62 & 63

- Transparentes Wärmedämm-Verbundsystem (Solarwand)

Bei diesem System werden vorerst opake Wärmedämmungen angebracht, wobei definierte Aussparungen für die TWD frei bleiben. Danach wird in den ausgesparten Bereichen ein dunkler Absorberanstrich (1) aufgebracht, der zusätzlich als Kleber für das TWD-Material, das aus widerstandsfähigen, lichtdurchlässigen Polycarbonat-Kapillaren (2) mit einer Glasabdeckung besteht, dient. Außen wird ein Glasputz (4) mit 2-3 mm dicken Glaskugeln in einer transparenten Matrix aufgebracht. Zwischen



Glasputz und TWD-Material wird zur Stabilisierung ein Glasvlies (3) angeracht.

Abb. 4-22: transparentes Wärmedämm-Verbundsystem, [20], S. 68

Wärmeschutztechnisch wird mit einem transparenten Wärmedämm-Verbundsystem ein homogenes und wärmebrückenfreies System geschaffen, das ein optimales Wandsystem für solare Wärmegewinne darstellt. ¹⁵⁴

¹⁵⁴ vgl. [20], S. 68

4.3.4 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass durch spezielle Außenwandkonstruktionen die Wärmegewinne erhöht werden:

- *Der Absorptionsgrad (ϵ [-]) von Absorberflächen ist umso wirksamer je dunkler die Farbe (für Sonnenstrahlung) und je rauer die Oberflächenbeschaffenheit (für Wärmestrahlung) ist.*
- *Durch Reflexionsstrahlung kann die solare Einstrahlungen mittels einer gezielten Umgebungsgestaltung, deren Oberfläche einen geringen Emissionsgrad ϵ besitzen, verbessert werden.*
- *TWD-Systeme mit absorber-senkrechter-Struktur haben den besten Wirkungsgrad bezüglich Strahlungstransmission zu Schichtdicke und U-Wert.*
- *Thermisch abgekoppelte TWD-Systeme sind effizient, da sie einen hohen Wärmedurchgangswiderstand besitzen sowie diese für direkte Wärmegewinne sorgen und keine zusätzliche Verschattung benötigen, da der Belüftungsraum im Sommer nach außen entlüftet wird.*
- *Prinzipiell gelten die gleichen Konstruktion-Regeln von TWD-Paneelen wie bei Wärmeschutzverglasungen um die Wärmeverluste zu reduzieren.*
- *Wärmeschutztechnisch stellt ein transparentes Wärmedämm-Verbundsystem ein homogenes und wärmebrückenfreies System dar.*

4.4 WINTERGARTEN

4.4.1 EINLEITUNG

Der Anbau eines Wintergartens hat Einfluss auf den Heizwärmebedarf, indem die passiven Sonnenenergienutzungen erhöht werden.

Durch Verstärken des Treibhauseffektes zufolge einer optimierten Entwurf- und Bauausführung und durch die richtige Nutzung bzw. Bedienung der Be- und Entlüftungen sowie den Sonnenschutz kann der Heizwärmebedarf für das Gebäude gesenkt werden. Dabei ist der Wintergarten auf das energetische Gebäudekonzept abzustimmen.

Der Wintergarten kann für verschiedene Funktionen und Nutzungen dienen, wobei man aufgrund des bauphysikalischen Verhaltens und hinsichtlich ihrer Nutzeranwendung unterschieden wird:

- Wohn-Wintergarten bzw. Wohnraumtyp: ständig bewohnbar, beheizt, bepflanzt

Dieser Typ ist für einen dauerhaften Aufenthalt von Menschen bestimmt, wodurch er auch beheizt werden muss um die gleichen Anforderungen wie bei Wohnräumen (thermische Behaglichkeit, Wärmeschutz, Luftdichtheit, etc.) zu erfüllen.

- Wintergartentyp: zeitweise bewohnt, nicht beheizt, mäßig bepflanzt
- Gewächshaustyp: bedingt bewohnt, beheizt, extrem bepflanzt
- Puffertyp: nicht bewohnt, kaum bepflanzt

Der Wintergarten bzw. Glasan- oder Glasvorbau stellt hinsichtlich passiver Sonnenergienutzung ein komplexes System dar.

Eine ideale Form und Funktion des Wintergartens, beruht auf einer geeigneten Baukörpergestaltung mit deren Einbindung zum Gebäudevolumen, Auswahl zweckmäßiger Materialien für die Gebäudehülle und der speicherfähigen Massen, dem Sonnenschutz und dem Lüftungsbetrieb im Sommer- und Winterbetrieb bzw. in der Heizperiode.¹⁵⁵

¹⁵⁵ vgl. [11], S. 72; [16], S. 323; [72]

4.4.2 FUNKTIONSPRINZIP DES WINTERGARTENS

Die thermische Wirkungsweise von Wintergärten beruht auf den großen Glasflächen, die die Sonnenenergie einfangen und die es optimal zu nutzen gilt. Der Wintergarten schafft einen thermischen Pufferraum zwischen Raum- und Außenklima, der ein gestaffeltes Temperaturgefälle von Innenraum → Pufferzone → Außenluft bewirkt. Der verglaste Wintergarten wirkt unabhängig von Tag, Nacht oder Himmelsrichtung immer als vorgelagerter Pufferraum. Folglich erfährt die dem Wintergarten zugewandte Hausseite geringere Transmissionswärmeverluste und Lüftungswärmeverluste, vorausgesetzt, dass der Luftaustausch über die Pufferzone stattfindet.¹⁵⁶

Entscheidend für Wintergärten ist eine gut funktionierende Be- und Entlüftung. Diese ist für den Sommerbetrieb und Winterbetrieb unterschiedlich durchzuführen. Es muss gewährleistet sein, dass die unerwünschte Hitze schnell abgeführt, die Luftfeuchtigkeit und die Sauerstoffzufuhr reguliert werden. Motorisch betriebene Lüfter, die bei Bedarf automatisch in Betrieb gehen sind gegenüber den handbetriebenen besser und alternativ vorzuziehen.

- Sommerbetrieb

Im Sommer wird die warme Innenluft durch Lüftungsöffnungen über die Glasfassade des Wintergartens abgeführt. Dabei strömt kühlere Frischluft z.B. durch Erdkollektoren oder von Schattenseiten, an der unteren Glasfassade ins Gebäudeinnere. Aufgrund der natürlichen Thermik steigt die heiße Luft auf und strömt über die obere Lüftungsöffnung in der Glasfassade nach außen. Eine Nachtlüftung soll dafür sorgen, dass die Speichermassen abkühlen.

- Winterbetrieb bzw. Heizperiode

Im Winter bzw. während der Heizperiode wird die Überschusswärme aus dem Wintergarten, dem Kernhaus über die Fenster, Türen oder Lufteinlässe in der massiven

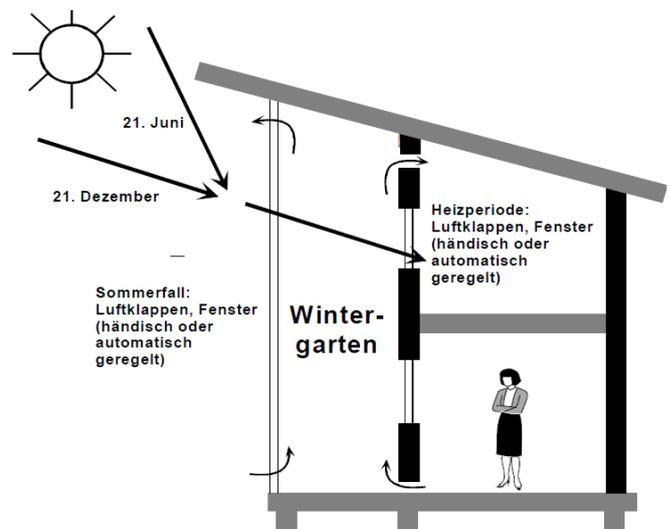


Abb. 4-23: Funktionsprinzip der Be- und Entlüftungsvorgänge eines Wintergartens im Sommer und im Winter bzw. Heizperiode. [31]

¹⁵⁶ vgl. [16], S. 323

Gebäudefwand zugeführt, um damit die direkt angrenzenden Innenräume zu erwärmen. Über Lüftungskanäle kann diese erwärmte Luft auch an abseits gelegene Räume verteilt werden. Dem entgegen strömt die Luft aus dem Kernhaus in den Wintergarten um dort wieder erwärmt zu werden. Durch die Wärmeabfuhr aus dem Wintergarten in das Kernhaus wird zusätzlich eine Überhitzung des Wintergartens vermieden. Nachts werden die Öffnungen des Kernhauses geschlossen da der Wintergarten in der Nacht abkühlt.¹⁵⁷

4.4.3 WIRKSAME PRINZIPIEN FÜR ENTWURFSTECHNISCHE UND KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN

4.4.3.1 GEBÄUDEORIENTIERUNG

Prinzipiell sind Wintergärten durch Bildung eines Pufferraumes auch im Norden aus energetischer Sicht geeignet.

Ein nach Norden ausgerichteter Wintergarten schafft geringe Wärmeverluste aufgrund des Pufferraumes ist aber ungeeignet für solare Wärmegewinne.

Die Ostseite birgt geringe Überwärmung. Deswegen erweist sich diese Ausrichtung als unvorteilhaft, weil die Speichermassen am Nachmittag auskühlen.

Die Westseite bekommt keine Morgensonne, erwärmt sich aber im Laufe des Tages und kann die Wärme bis in den Abend halten. Damit wird er ganzjährig bewohnbar, vorzugsweise am Nachmittag.

Über eine Südorientierung, sind die höchsten passiven Solarstrahlungsgewinne im Winter und in den Übergangszeiten erreichbar, dessen Wärmegewinne für die restlichen Räume des Gebäudes genutzt werden sollten. Der Sonnenschutz muss sommerliche Überwärmung unterbinden (siehe Abschnitt 4.5). Prinzipiell ist daher ein nach Süden orientierter Wintergarten aufgrund der Strahlungsintensitäten und –dauer optimal nutzbar.¹⁵⁸

¹⁵⁷ vgl. [11], S. 72; [71]; [72]

¹⁵⁸ vgl. [16], S. 323; [72]

4.4.3.2 OPTIMALE WINTERGARTENFORM

Die größten passiven solaren Gewinne lassen sich über die Glasfassade erzielen. Gegensätzlich gehen die größten Wärmeverluste über die Glasflächen verloren.



Abb. 4-24: Wintergarten mit einer günstigen Form, [31]

Um die wärmeabgebenden Glasfassadenflächen gering zu gestalten und dennoch gleich große Strahlungsgewinne zu

erzielen ist eine Bogenform, die nicht zu tief ist (Bogenstich in der Mitte max. 6 m) und über die ganze Südseite des Gebäudes verläuft, am effizientesten. Diese Form ermöglicht es, dass eine große speicherfähige Rückwand durch die Sonnenstrahlen bestrahlt wird und die wärmeabgebende Fläche gering gehalten wird. Das Einziehen einer Zwischengeschoßdecke sollte vermieden werden, damit nicht unnötig die speicherfähige Rückwand beschattet wird. Der Grundriss ist so zu entwerfen, dass die dahinterliegenden Räume diese Wärme zur Raumheizung nutzen können (z.B. Schlafzimmer, Essplatz/Esszimmer, Küche, Arbeitsräume). Untergeordnete Räume sind dagegen ganz an die Nordfassade zu platzieren (z.B. Eingänge, WC, Stiegen, Flure, Abstellräume, Speisekammern, Nebenräume).

Aus Kapitel 3.3 wurde ersichtlich, dass ein trichterförmiger Grundriss mit einem nach Süden steigendem Pultdach ein optimiertes ausgewogenes Verhältnis (A_B/V_B) hinsichtlich der Kompaktheit aufweist. Mit einem davor situierten bogenförmigen Wintergarten, der ganzjährig bewohnbar ist, ergibt sich eine optimierte Kombination, um hohe passive solare Wärmegewinne zu erlangen.

4.4.3.3 KONSTRUKTIVE BAUTEILAUFSÜHRUNGEN DES WINTERGARTENS

4.4.3.3.1 DACHKONSTRUKTION

Aus Abschnitt 3.4.3 geht hervor, dass Dachkonstruktionen erhöhte Wärmeverluste zu verzeichnen haben. Nach Tabelle 2-5, Anforderungen an wärmeübertragbare Bauteile aus der OIB-Richtlinie 6 gibt es für Dachflächen folgende Anforderungen:

DACHFLÄCHENFENSTER gegen Außenluft	1,70
Sonstige TRANSPARENTE BAUTEILE horizontal oder in Schrägen gegen Außenluft	2,00
DECKEN gegen Außenluft, gegen Dachräume (durchlüftet oder ungedämmt) und über Durchfahrten sowie DACHSCHRÄGEN gegen Außenluft	0,20

Tab. 4-2: Allgemeine Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile von Dachkonstruktionen deren U-Werte nicht überschritten werden dürfen, [34], S. 6

Folglich wäre es nicht sinnvoll die Dachflächen in Glas auszuführen, aufgrund ihres schlechteren Wärmedämmvermögens gegenüber opaken Dachkonstruktionen.

Zusätzliche Sonneneinstrahlung die über Dachflächen aus Glas erzielt werden können, gehen aber durch erhöhte Transmissionswärmeverluste verloren.

Bei opaken Dachflächen erzielt man keine zusätzlichen Sonneneinstrahlung wie dies bei Glasflächen der Fall ist. Das ist aber im Winter aufgrund des tiefen Einfallswinkels der Sonnenstrahlung sekundär vorausgesetzt, dass die Dachneigung nach Süden steigt. Vorteilhaft sind die geringen Transmissionswärmeverluste und man benötigt keinen Sonnenschutz wie das bei Dachflächen aus Glas der Fall ist.

Folglich sollten Dachkonstruktionen von Wintergärten immer opak mit einem niedrigen U-Wert ausgeführt werden.

4.4.3.3.2 GLASSASSADE

Hauptsächlich Anteil für die Transmissionswärmeverluste von Wintergärten stellt die Verglasung dar. Für den Aufbau von Wärmeschutzverglasung siehe Abschnitt 3.4.6.2. Wärmeschutztechnisch bezüglich Transmissionswärmeverluste (lt. OIB-Richtlinie 6) und Kondensatfreiheit (ÖNORM B 8100-2) sind mindestens 2-fach-Isolierverglasungen anzuwenden, da der Wintergarten ganzjährig für Wohnzwecke genutzt wird. Ein Warmluftschleier durch Bodenkonvektoren kann störende Heizkörper im Raum ersetzen und Kondensat und unbehagliche tiefe Oberflächentemperaturen verringern.

Die tragenden Konstruktionen können aus Aluminium-, Holz-, Kunststoff-Konstruktionen oder aus einer Kombination daraus bestehen.

Die am üblichsten ausgeführten Fugen bei Pfosten-Riegel-Konstruktionen sind:

- Pressleisten, die mit einer Gummidichtung auf beiden Seiten das Wärmeschutzglas durch Anschrauben auf das Tragprofil gepresst werden,
- offene Fugen oder
- Punkthalterungen, deren Stoßfugen zwischen den Gläsern mit Silikon oder Dichtprofilen abgedichtet werden.

Die Wärmeverluste bei Pfosten-Riegel-Konstruktion, die mit einer Pressleiste die Stoßfugen der aneinander gereihten Wärmeschutzverglasung abdichten, sind nicht nennenswert groß.

Die Tragkonstruktion befindet sich auf der warmen Seite und besitzt eine Abdichtung, die durch ein Klemmprofil an die Wärmeschutzverglasung gepresst wird. Das Wärmeschutzglas wird durch ein außenseitiges Klemmprofil punktförmig an das tragende Profil befestigt. Durch diese punktförmige Befestigung die zusätzlich thermisch getrennt sein sollte, sind Wärmeverluste vernachlässigbar klein.

Die Fugen von Glasfassaden können verschieden ausgeführt werden, wobei die mit einer Pressleiste die wenigsten Wärmeverluste erfahren.

Die an den Scheibenenden entstehenden Stoßfugen müssen die Einbau- und Bewegungstoleranzen (thermischen Dehnung siehe Kapitel 4.8, Durchbiegung) unbeschadet aufnehmen, um nicht durch aufspreizende Fugen die Lüftungswärmeverluste zu erhöhen.



Abb. 4-25: Pfosten Riegelkonstruktion mit Pressleiste, Produkt Schüco SMC 50 Modulfassade, [80]

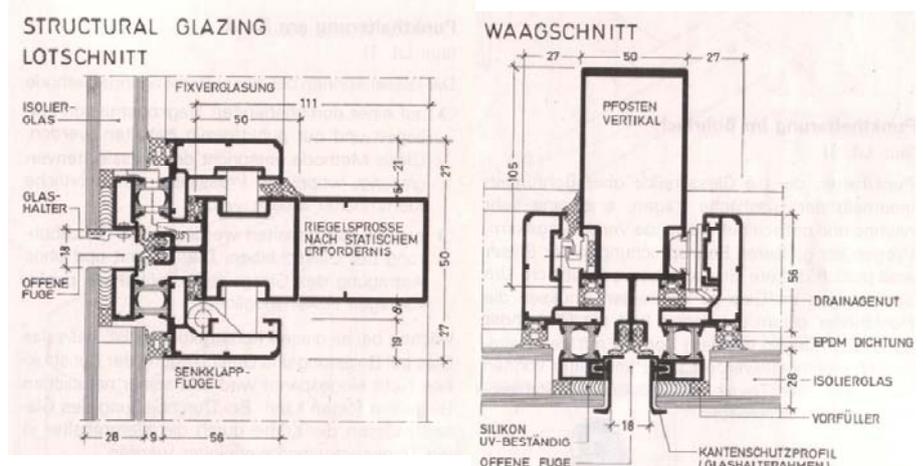
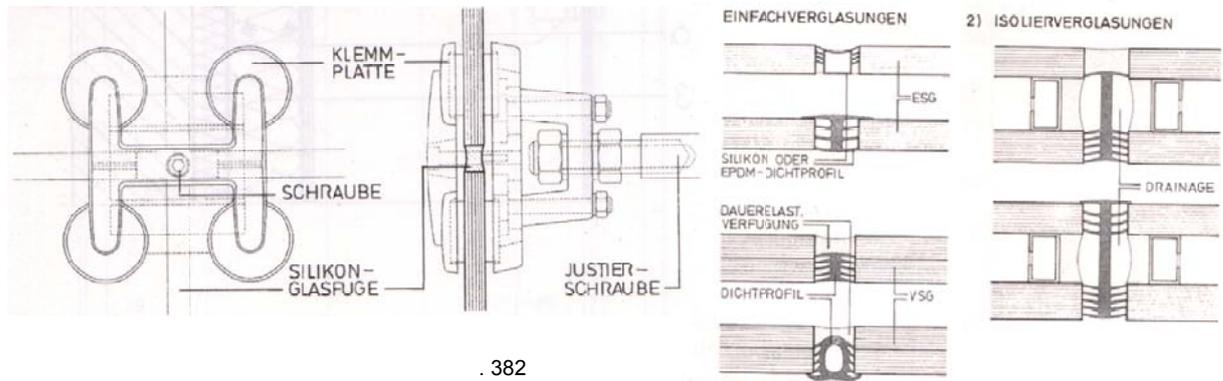


Abb. 4-26: offene Fuge: Hier wird ein speziell gefertigte Isolierglasscheibe mit UV-beständigen Silikon auf einen Rahmen verklebt der mit Kunststoffstegen (der für eine unterbrochene Wärmebrücke sorgt) an die Pfosten-Riegelprofile montiert wird. [25], S. 381



9

4.4.3.3 SPEICHERWIRKSAME GEBÄUDEMASSEN IM WINTERGARTEN

Um die Wärme zu einem hohen Maß zu absorbieren sind speicherwirksame Massen anzuordnen. Die im Wintergarten zu nutzenden wärmespeicherfähigen Massen sind generell nur die dahinterliegende und dem Haus zugewandte Gebäudemauer (Rückwand) und der Fußboden. Es sollte darauf geachtet werden, dass speicherwirksame Massen nicht durch Möbel oder Teppiche verdeckt werden.

Wirkungsweisen und die zu verwendeten Materialien von speicherwirksamen Massen siehe Kapitel 4.2.

Um zusätzliche Erhöhungen der Strahlungswärme durch Reflexionsstrahlung auf die speicherfähigen Gebäudeteile zu bringen empfiehlt es sich auch hier, reflektierende Oberflächen vor dem Wintergarten anzulegen.

Fußboden:

Für Fußböden empfiehlt es sich dunkle Beläge zu wählen. Günstige speicherfähige Massen für Fußbodenaufbauten stellen 6-8 cm dicke Verbund-Zementestriche auf der Bodenplatte dar, auf denen Fliesenbeläge oder ein Klebeparkett aufgebracht werden. Desweiteren muss der Aufbau unter der Bodenplatte eine gute durchgehende Wärmedämmebene besitzen, damit die gespeicherte Wärme nicht über dem Boden verloren geht und die Transmissionswärmeverluste gering bleiben.

Spezielle Konstruktionen für speicherfähige Wandausführungen sind:

- Trombe-Wand
- Wasserspeicherwand
- Transparente und lichtdurchlässige Wärmedämm-Systeme

4.4.3.4 SONNENSCHUTZ

Temporärer Sonnenschutz siehe Abschnitt 3.4.8.

Sonnenschutzeinrichtungen zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung siehe Kapitel 4.5.

Optimiertes Nutzerverhalten der Verschattung siehe Abschnitt 5.3.2.

4.4.4 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass aufgrund eines Wintergartens die Wärmegewinne erhöht werden:

- *Sinnvoll sind Wintergärten, die ganzjährig bewohnbar sind, die aber zusätzlich beheizt werden müssen.*
- *Die effizienteste Form des Wintergartens stellt eine Bogenform dar, die nicht einen zu tiefen Raum schafft (Bogenstich in der Mitte max. 6 m) und über die ganze Südseite des Gebäudes verläuft.*
- *Dachkonstruktionen von Wintergärten sind opak mit einem niedrigen U-Wert auszuführen.*
- *Eine Pfosten-Riegel-Konstruktion, die mit einer Pressleiste die Stoßfugen der aneinander gereihten Wärmeschutzverglasung abdichten, ist wärmeschutztechnisch am günstigsten.*
- *Spezielle optimierte speicherfähige Wandkonstruktionen als Rückwand für Wintergärten sind Trombe-, Wasserspeicher-Wand oder TWD-Systeme.*
- *Günstige speicherfähige Fußböden sind mit dunklen Fliesenbelägen oder Klebeparketten mit Verbund-Zementestrich auszuführen. Die Bodenplatte ist mit einer unten durchgehenden Wärmedämmebene auszuführen.*

4.5 VERMEIDUNG VON SOMMERLICHER ÜBERWÄRMUNG

4.5.1 EINLEITUNG

Die Vermeidung von sommerlicher Überwärmung hat Einfluss auf den Kühlenergiebedarf (KEB).

In unseren Klimazonen sollte man durch ein energieeffizientes Gebäudekonzept mit geeigneten Sonnenschutzmaßnahmen, eine sommerliche Überwärmung verhindern ohne dass Klimatisierungsgeräte zur Anwendung kommen, wenn es die Nutzung und die internen Wärmelasten es zulassen.

Der sommerliche Wärmeschutz muss vermeiden, dass das Gebäude durch Sonneneinstrahlung zu starke Erwärmung erfährt und bei aktiv gekühlten Gebäuden der Kühlbedarf reduziert wird. Grundsätzlich muss die thermische Behaglichkeit gewährleistet sein.

In Österreich wird in der ÖNORM B 8110-3 der Nachweis zu Vermeidung sommerlicher Überwärmung geführt. Darin lautet die Definition der Sommertauglichkeit von Räumen:

„Sommerliche Überwärmung wird als vermieden betrachtet, wenn die empfundene Raumtemperatur¹⁵⁹ in dem betrachteten Raum während einer Hitzeperiode festgelegte Grenztemperatur nicht überschreitet. Diese Grenztemperatur t^* beträgt für die Nutzungszeit am Tag $+27\text{ °C}$ und in der Nacht $+25\text{ °C}$.“¹⁶⁰

Zusätzliche Wärmemengen werden durch innere Wärmequellen verursacht, wie z.B. durch Personen-, Tier-, Beleuchtungs- und Gerätewärme die gesondert zu berücksichtigen sind. Kritische Räume, die erhöhte innere Wärmemengen außerhalb der Heizperiode verursachen, sind z.B. Räume mit hohen technischen Geräteausstattungen (Bürogebäude) oder Menschenansammlungen (Schulen, Kino, Gastronomie, Geschäfte), deren inneren Wärmemengen verstärkt zu einer sommerlichen Überwärmung führen kann.

Wirksame Mittel zur Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung von Räumen durch Sonnenstrahlung in den Sommer- und Übergangszeiten stellen dar:

¹⁵⁹ Erläuterung: Die empfundene Raumtemperatur bzw. Empfindungstemperatur entspricht annähernd den errechneten Mittelwert der Raumlufitemperatur und der Raumoberflächentemperatur, bei der eine Person in der Mitte eines quadratischen Raumes steht. [73]

¹⁶⁰ von [37], S. 6

- der Sonnenschutz (mechanischer od. baulicher Sonnenschutz, Sonnenschutzglas od. -folien, Bepflanzungen),
- die Raumlüftung (natürlich oder mechanisch, insbesondere die Nachtlüftung),
- die speicherwirksamen Massen der raumumschließenden Bauteile sowie Möbel
- die Orientierung der strahlungsdurchlässigen transparenten Bauteile.¹⁶¹

Für die Menge der eingestrahelten Energie durch transparente Bauteile sind der Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert [-]) und der Abschattungsfaktor (z [-]) maßgebende Kennwerte.

In der ÖNORM B 8100-3 sind Tabellen für Sonnendurchlässigkeiten transparenter Bauteilen g-Werte und Abminderungsfaktoren z von Abschattungsvorrichtungen angeführt.

Zeile	Glasart und Bezeichnung	Aufbau Glas-ZR ¹⁾ /Glasdicke (mm)	Lichttransmissionsgrad τ	Strahlungs-transmissionsgrad τ_s	Gesamtenergie-Durchlassgrad g ²⁾
1	Einfachglas ³⁾	4	0,90	0,85	0,87
2	Doppelverglasung ³⁾	4/ZR/4	0,80	0,72	0,75
3	3fach-Ver Glasung ³⁾	4/ZR/4/ZR/4	0,72	0,64	0,67
4	4fach-Ver Glasung ³⁾	4/ZR/4/ZR/4/ZR/4	0,64	0,55	0,6
5	Wärmeschutzglas 1,4 goldbeschichtet	4/ZR/4	0,60	0,45	0,57
6	Wärmeschutzglas 1,6 goldbeschichtet	4/ZR/4	0,65	0,53	0,65
7	Wärmeschutzglas neutral goldbeschichtet	4/ZR/4	0,62	0,44	0,50
8	Wärmeschutzglas neutral silberbeschichtet	4/ZR/4	0,79	0,52	0,67
9	Sonnenschutzglas	5/ZR/5	0,66	0,4	0,5
10	Profilbauglas einfach	6	0,89	0,81	0,84
11	Profilbauglas doppelt	6/ZR/6	0,79	0,60	0,70
12	Profilbauglas zinnoxidbeschichtet	6/ZR/6	0,72	0,54	0,60
13	Profilbauglas kobaltoxidbeschichtet	6/ZR/6	0,27	0,23	0,33

¹⁾ ZR = Zwischenraum von 6 mm bis 12 mm
²⁾ Werden gegenüber der Tabelle 6 günstigere Rechenwerte für die Sonnenenergiedurchlässigkeit transparenter Bauteile deklariert, so sind Nachweise einer akkreditierten Prüfstelle vorzulegen.
³⁾ ungefärbtes Fensterglas

Tab. 4-3: Richtwerte für die Sonnenenergiedurchlässigkeit transparenter Bauteile, [37], S. 10

¹⁶¹ vgl. [37], S. 3

Der Abschattungsfaktor z , gibt den prozentuellen Anteil an Energie, der einen bestimmten Sonnenschutz durchdringt an.

Zeile	Abschattungsvorrichtung	Abminderungsfaktor ¹⁾ z
1	keine Abschattungsvorrichtung	1,00
2	Außenjalousie, Fensterläden mit Jalousiefüllung (beweglich, unterlüftet, Belichtung ohne künstliche Beleuchtung möglich)	0,27
3	Zwischenjalousie	0,53
4	Innenjalousie (je nach Farbe und Material)	0,75
5	beschattungswirksame Vordächer, Balkone und horizontale Lamellenblenden	0,32
6	Markisen (seitlicher Lichteinfall möglich)	0,43
7	Rolläden, Fensterläden mit voller Füllung	0,32
8	helle Innenvorhänge ²⁾ , Reflexionsvorhänge ²⁾ und Innenmarkisen	0,75
9	Bepflanzung ²⁾	0,50 bis 1,00 ³⁾

¹⁾ Werden gegenüber der Tabelle 7 günstigere Abminderungsfaktoren von Abschattungsvorrichtungen deklariert, sind Nachweise einer akkreditierten Prüfstelle vorzulegen.
²⁾ Bei baubehördlichen Nachweisen ist dieser Abminderungsfaktor unter Umständen nicht zu berücksichtigen.
³⁾ Ohne besonderen Nachweis ist der ungünstigste Wert zu wählen.

Tab. 4-4: Richtwerte für die Abminderungsfaktoren z von Abschattungsvorrichtungen, in Kombination mit Doppelverglasung ($g=0,75$), [37], S. 10

Kühllast (Kältebedarf) =		
innere Wärmegewinne	+	äußere Wärmegewinne
+		Lüftungskältebedarf
<i>Einflussgrößen :</i>		<i>Einflussgrößen :</i>
<ul style="list-style-type: none"> o Anzahl anwesender Personen o Aktivität anwesender Personen o Intensität der Beleuchtung o Anschlusswerte elektrischer Geräte o Gleichzeitigkeit des Geräteeinsatzes 		<ul style="list-style-type: none"> o Außentemperatur o Solare Einstrahlungsintensität o geforderte Raumlufttemperatur o Größe der Bauteile o Wärmedämmung der Bauteile o Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile o Größe der Fensterflächen o Orientierung der Fensterflächen o Durchlassfaktoren von Verglasungen o Durchlassfaktoren des Sonnenschutzes
		<ul style="list-style-type: none"> o Außenlufttemperatur o Außenluftfeuchte o geforderte Raumlufttemperatur o geforderte Raumluftfeuchte o geforderte Raumlufterneuerung

Abb. 4-29: Einflussgrößen der Kühllastberechnung, [18], S. 104

4.5.2 REDUKTION DER STRAHLUNGSENERGIE DURCH TRANSPARENT BAUTEILE

Neben einer guten wärmeschutztechnischen Gebäudehülle müssen Verschattungseinrichtungen die einstrahlende Sonnenenergie in den Innenraum durch transparente Bauteile reduzieren, um eine sommerliche Überwärmung zu vermeiden.

Prinzipiell gilt, dass Sonnenschutzvorrichtungen vor der Verglasungseinheit eine besser Wirkung erzielen als in oder hinter der Verglasungseinheit.

Die auftreffende Energie gelangt somit nicht bis an die Verglasungseinheit und verhindert eine Erwärmung der Glasscheiben. Dadurch entsteht keine sekundäre Wärmeabgabe der Verglasung an den Innenraum.

Der Abschattungsfaktor ist umso größer je dichter der Sonnenschutz vor dem Fenster schließt und deren Oberfläche möglichst einen niedrigen Emissionsgrad besitzt.

Bei einem erhöhten Absorptionsgrad des Sonnenschutzes besteht die Gefahr, dass er zum Wärmestrahler wird. Daher wird die Gefahr des Wärmestrahlers durch eine Hinterlüftung des Sonnenschutzes, helle Farbwahl oder reflektierte Oberflächen und eine geringe Speichermasse des Sonnenschutzmaterials verringert.

Ein Nachteil einer außenliegenden Abschattungsvorrichtung stellt starker Schlagschatten dar. Dabei wird das Glas einer unterschiedlichen starken thermischen Beanspruchung ausgesetzt und ist vor allem bei thermisch vorgespannten Gläsern von Nachteil.

Ein innenliegender Sonnenschutz ist nicht wirklich wirksam da die Verglasungseinheit erwärmt und die Sonnenstrahlung in Wärme umgewandelt wird, wodurch sich der Raum erwärmt. Eine geringe Verbesserung des innenliegenden Sonnenschutzes lässt sich dann erreichen, wenn die eindringende Sonnenstrahlung zum Großteil wieder nach außen reflektiert und nicht in Wärme umgewandelt wird z.B. innenliegendes Schiebelelemente mit reflektierender Oberfläche.

4.5.2.1 MECHANISCHE SONNENSCHUTZEINRICHTUNGEN

Mechanische Sonnenschutzvorrichtungen ermöglichen eine zusätzliche Verschattung der transparenten Bauteile oder ganze Fassadenflächen. Die Richtwerte der Abschattungsfaktoren (α [-]) für die Wirksamkeit der verschiedenen Abschattungsvorrichtung sind in der Tabelle 5-5 angeführt.

Eine Unterscheidung der Abschattungsvorrichtung wird vollzogen in:

- starre, unbewegliche: starre Sonnenschutzlamellen, Sonnensegel, Starrjalousien, u.ä.
- bewegliche: Fensterläden, Jalousien, Rollläden, Schiebeelemente, Vorhänge, Markisen,

Nur ein starrer Sonnenschutz für Aufenthaltsräume stellt keine brauchbare Lösung dar. Er kann eventuell zusätzlich als Blendschutz eingesetzt werden. Aufgrund der fixen Stellung des Sonnenschutzes ergeben sich immer veränderliche Lichtverhältnisse. Aufenthaltsräume sollten daher immer eine gewisse Nutzerautonomie besitzen durch bewegliche Abschattungseinrichtungen.

4.5.2.2 BAULICHER SONNENSCHUTZ

Bauliche Maßnahmen am Gebäude sind unter Rücksichtnahme des Strahlungsverlaufes sinnvoll einsetzbar.

Bauliche Maßnahmen wie ein großzügig gewählter Dachvorstand oder eine Balkonplatte sind hauptsächlich an der Südseite äußerst wirksam, da die Sommersonne steil steht. Dabei kommt es zu keinen Einbußen bezüglich der Aussicht, Belichtung und der winterlichen Sonnenenergiegewinnung. Bei Ost- und Westfassaden ist aufgrund der schräg und tiefer stehenden Sonne ein baulicher Sonnenschutz unwirksam.

4.5.2.3 NATÜRLICHER SONNENSCHUTZ UND ADIABATE KÜHLUNG

Ein natürlicher Sonnenschutz durch Bepflanzungen bietet je nach Dichte des Bewuchses der Bepflanzungsart und der Lage zu den Gebäudeflächen einen unterschiedlich starken Abschattungsfaktor.

Desweiteren wird durch Bepflanzungen und Wasserflächen eine erhöhte adiabate Kühlleistung geschaffen, die die Lufttemperatur in deren Umgebung senken, wodurch der Kühlenergiebedarf gedenkt werden kann.

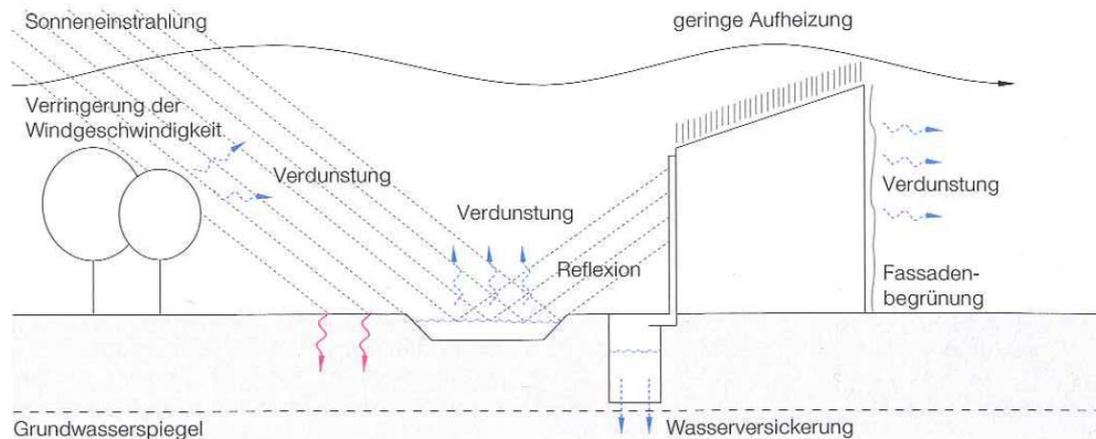


Abb. 4-30: mikroklimatische wirksame Elemente und ihre Wirkung auf den Baukörper, [14], S. 69

Günstig sind im Süden Außenbepflanzungen wie Laubbäume, die im Sommer blühen und durch die Blätter eine gute Verschattung und dabei zusätzlich eine adiabate Kühlung der Umgebungsluft schaffen. Im Winter können die Sonnenstrahlungen durch das Abfallen der Blätter im Herbst ungehindert in den Raum einstrahlen.

Begrünte Fassaden verbessern das Mikroklima und reduzieren die Sonneneinstrahlung auf die Wandoberfläche.

Immergrüne Kletterpflanzen als Fassadenbegrünung verhindern, dass die Außenwandoberflächen einer erhöhten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind. Damit werden keine zusätzlichen unnötigen Wärmemengen von außen nach innen geleitet.

Einige Kletterpflanzen wie der Efeu schaffen im Sommer noch einen nützlichen Nebeneffekt. Wenn die Fassadenbegrünung voller Wasser ist, stehen die Blätter ab und lassen somit den Wind durchströmen. Damit kann die Außenwand im Sommer abgekühlt werden. ¹⁶²

In urbanen Räumen sollte eine erhöhte adiabate Kühlleistung durch Bepflanzungen geschaffen werden da prinzipiell dort erhöhte Durchschnittstemperaturen auftreten.

Durch das vermehrte Anlegen von Grünflächen, Bäumen und Wasserflächen wird eine Senkung der Außenlufttemperaturen herbeigeführt. Mögliche Ansätze könnten darin liegen, dass pro Parkplatz eine gewisse Menge an Bäume gepflanzt werden sollten.

¹⁶² vgl. [11], S. 29 & 122

Oder es könnten Baumalleen die bei den Hauptverkehrsstraßen durch einer Stadt führen, angelegt werden. Oder es werden vermehrt begrünte Flachdächer gebaut statt Steildächer.

Darauf hinzuweisen ist das die Lage und Höhe der Bepflanzungen einen ausreichenden Abstand zum Gebäude aufweisen sollte damit Algenwachstum sowie mechanische Schäden verhindert werden und das die Fassade getrocknet werden kann.

Raumpflanzen oder ein Wasserbrunnen schaffen ebenfalls eine adiabate Kühlleistung im Innenraum und wird vom Nutzer als behaglich empfunden.

4.5.3 REDUKTION DER STRALUNGSENERGIE VON VERGLASUNGEN

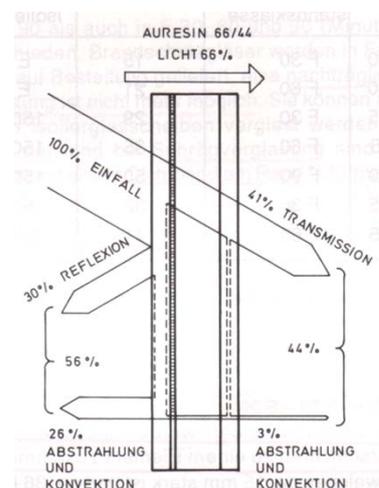
4.5.3.1 SONNENSCHUTZVERGLASUNGEN

Die Aufgaben einer Sonnenschutzverglasung liegen darin, dass:

- die Sonnenenergie durch einen niedrigen g-Wert vom Raum abgehalten wird,
- die Wärmeübertragung nach innen durch einen geringen U_W -Wert verringert und
- das ein ausreichendes Tageslichtangebot durch eine hohe Lichttransmission sichergestellt ist.

Sonnenschutzverglasungen sind insbesondere bei Büro- und Verwaltungsbauten mit großen Glasfassaden erforderlich um eine übermäßige Erwärmung der Raumluft zu verringern und desweiteren den Kühlenergiebedarf zu reduzieren. In der Regel sind reine Sonnenschutzgläser zur Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung nicht ausreichend, daher sind zusätzliche Beschattungseinrichtungen vorzusehen.

Werden Sonnenschutzgläser verwendet, ist zu beachten, dass neben der unerwünschten Sommersonne auch die



von
|, S. 198

Wintersonne an der Einstrahlung gehindert wird und dadurch die Wärmegewinne verringert werden.

Das Kennzeichen solcher Sonnenschutzgläser ist ein niedriger g-Wert, der bei bis zu ca. 20 % liegen kann. Diesen Effekt erhalten Gläser durch Einfärbung oder Oberflächenbeschichtungen, wodurch Sonnenschutzgläser eine erhöhte Strahlungsabsorption (Absorptionsgläser) oder Strahlungsreflexion (Reflexionsgläser) erreichen.

Die Wirkungsweise ist dabei unterschiedlich.

Absorptionsgläser erhalten durch Zugabe von Eisenoxyd eine Eigenfärbung (grün, blau, bronze, grau) und erfahren durch die Sonneneinstrahlung eine Eigenerwärmung. Je dunkler die Farbe desto höher der Absorptionsgrad. Dabei wird die äußere Scheibe der Isolierverglasungen erwärmt und ihre Wärme wieder konvektiv nach außen abgegeben. Je dicker die Glasscheiben werden desto dunkler werden sie. Bei diesen Gläsern ist darauf zu achten, dass es zu keiner unterschiedlichen Erwärmung durch Beschattung kommt, da diese entstehenden erhöhten Spannungen bis zum Bruch führen können.

Beschichtetes Glas reflektiert die einstrahlende Energie nach außen. Die Gläser haben eine besondere Reflexionswirkung gegen UV- und Infrarotstrahlung (siehe Abschnitt 3.4.6.2.1).¹⁶³

4.5.3.2 SONNENSCHUTZFOLIEN

Eine auf die Fensterscheibe nachträglich außen oder im Werk innen der Fensterscheiben aufgebrachte Sonnenschutzfolie reduziert die Sonnenstrahlung durch transparente Bauteile. Dabei wird hauptsächlich durch den Spiegeleffekt der Metallbeschichtung der Folie die Sonnenstrahlung reflektiert und ein Teil absorbiert. Diese Sonnenschutzfolie besteht meist aus Polyethylenterephthalat (PET) und metallischen dünnen Filme aus Aluminium oder anderen Metallen die im Vakuum bedampft werden.

¹⁶³ vgl. [11], S. 64; [27], S. 198 & 199

Der Aufbau einer modernen und qualitativ hochwertigen Sonnenschutzfolie besteht aus mindestens 6 Schichten:

- Transparente Schutzfolie
- Klebeschicht mit UV-Absorbern
- Klare und getönte Polyesterfolie mit UV-Absorbern
- Aluminiumbedampfung (oder andere Metalle)
- Klare Polyesterfolie
- Kratzfeste Beschichtung

Außen aufgetragene Folien besitzen eine Haltbarkeit von etwa 6 bis 13 Jahren, solche im Innenbereich von etwa 15 bis 20 Jahren. Außenfolien müssen mindestens einmal jährlich von Schmutz befreit werden, weil sich ansonsten der Schmutz und die Verunreinigungen bei hohen Außentemperaturen in die Folien einbrennen und das Material zerstören. Für die Reinigung der Fenster von außenliegenden Sonnenschutzfolien sollte viel Flüssigkeit und keine scheuernden Mittel verwendet werden, da die Oberfläche der Beschichtung damit zerkratzt und zerstört werden.¹⁶⁴

4.5.4 REDUKTION DER INTERNEN WÄRMEGEWINNE

Die Einflussgrößen der internen Wärmegewinne sind die Anzahl der anwesenden Personen (90 W/Person bei geringer Tätigkeit (Sitzen, Gehen, Stehen)), Tätigkeiten der Personen, Intensität und Dauer der Beleuchtung und der eingesetzten elektrischen Geräte.

Eine Reduktion der internen Wärmegewinne kann herbeigeführt werden, indem die Belegungszahl und die Anzahl der technischen Geräte pro Raum gesenkt werden sowie die Geräte und Beleuchtungsmitteln mit geringer Abwärme verwendet werden.

Räume mit hohen Geräteanteilen, die hohe Abwärme verursachen, z.B. Kopier- und Druckerräume, sind vordringlich in kühleren Zonen im Gebäude bzw. Grundriss zu situieren und ansonsten mit zusätzlichen mechanischer Kühlung auszustatten. Kühlerer

¹⁶⁴ vgl. [47]

Zonen mit geringen solaren Wärmegewinnen stellen Untergeschosse, nordseitige Räume oder schattige Gebäudeabschnitte dar.

Die Beleuchtungswärme kann verringert werden, indem das natürliche Tageslicht weit in die Raumtiefe reicht, wodurch der Kunstlichtbedarf tagsüber vermieden werden sollte.

In der ÖNORM B 8110-3 sind technische Geräte und deren Wärmeabgaben in Watt [W] angegeben.

Kochstelle	100 W bis 200 W
Geschirrspüler	50 W
Waschmaschine	35 W
PC-Terminal	70 W
PC, Workstation	170 W
Fotokopierer	500 W
elektrische Schreibmaschine	15 W

Tab. 4-5: anzunehmende Leistungen technischer Wärmequellen, [37], S. 11

4.5.5 SPEICHERWIRKSAME MASSEN

Speicherwirksame Massen verursachen geringere Raumlufttemperaturen, indem die Wärmeeinträge an heißen und strahlungsintensiven Sommertagen deren Wärmespeicher vorerst auffüllen müssen, bevor es zu einer wesentlichen Erwärmung des Innenraumes kommt. Diese Dämpfung der Raumluft funktioniert nur dann, wenn die erwärmten Speichermassen wieder abgekühlt werden. Dies kann erfolgen durch:

- Nachtlüften

Effiziente Lüftungsarten um das Abkühlen von Speichermassen herbeizuführen ist eine natürliche bzw. freie Wohnraumlüftung. Wirksam ist eine mehrstündige Nachtlüftung. Kurzzeitiges Stoßlüften ist unwirksam, da keine Abkühlung der Speichermassen erzielt wird. Außer dass Stoßlüften wird über einige Nachtstunden durchgeführt, wo aber ein Einbruchschutz zur Anwendung kommen muss.

- vorgekühlte Raumluft

Durch mechanische Lüftungsanlagen oder über Erdwärmetauscher oder durch Verdunstungskühlung über Wasserflächen kann die Zuluft abgekühlt werden.

- thermische Bauteilaktivierung

Eine thermische Bauteilaktivierung kann die Speichermassen von innen abkühlen. Dieses System kann auch für den Heizbetrieb in der Heizperiode verwendet werden. Das System der Betonkernaktivierung oder –temperierung führt durch das Abkühlen der Bauteilmassen zu einer Dämpfung der Raumtemperatur. Dabei werden in Decken oder Wände bauteilintegrierte Rohrleitungen verlegt, die mit Wasser, Luft, Sole oder sonstigen Wärmeträgern gefüllt sind. Die Betonkernaktivierung ist ein träges System. Das System fährt mit geringen Unter- bzw. Übertemperaturen, wodurch die Temperaturunterschiede zwischen Raum und Bauteil gering sind. Folglich ist eine sofortige Kompensation von Temperaturspitzen nicht möglich. Daher sollte das System einmal ins thermische Gleichgewicht gebracht werden, damit die Raumtemperaturen im thermisch behaglichen Bereich zum Liegen kommen. Aufgrund der Konvektion der Raumluft ist ein Abkühlen an der Decke prinzipiell gut, da die warme Luft aufsteigt. Desweiteren wird die gleichmäßige Abgabe der Strahlungswärme als angenehm empfunden, da die Oberflächentemperatur nur gering unter der Raumtemperatur liegt.

¹⁶⁵

¹⁶⁵ vgl. [7], S. 8

4.5.6 ZUSAMMENFASSUNG

Folgende Kriterien tragen dazu bei, dass eine sommerliche Überwärmung verhindert wird:

- *Der Abschattungsfaktor z einer Abschattungsvorrichtung ist umso niedriger, je weiter draußen dieser angebracht ist, je geringer die Strahlungsdurchlässigkeit ist, je dichter er vor dem Fenster schließt und dessen Oberfläche einen möglichst niedrigen Emissionsgrad ε besitzt.*
- *Bauliche Maßnahmen wie ein großzügig gewählter Dachvorstand oder eine Balkonplatte sind hauptsächlich an der Südseite äußerst wirksam, da die Sommersonne steil steht.*
- *Durch Bepflanzungen und Wasserflächen wird eine erhöhte adiabate Kühlung geschaffen, die die Lufttemperatur in deren Umgebung senkt.*
- *Immergrüne Kletterpflanzen als Fassadenbegrünung verhindern, dass die Außenwandoberflächen einer erhöhten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind damit keine zusätzlichen unnötigen Wärmemengen von außen nach innen geleitet werden.*
- *Eine Reduktion der internen Wärmegewinne kann herbeigeführt werden, indem die Belegungszahl und die Anzahl der technischen Geräte pro Raum gesenkt werden sowie die Geräte und Beleuchtungsmitteln mit geringer Abwärme verwendet werden.*
- *Räume mit hohen Geräteanteilen, die hohe Abwärme verursachen, z.B. Kopier- und Druckerräume, sind in kühleren Zonen im Gebäude bzw. Grundriss zu situieren und ansonsten mit zusätzlichen mechanischer Kühlung auszustatten. Kühlere Zonen mit geringen solaren Wärmegewinnen stellen Untergeschosse, nordseitige Räume oder schattige Gebäudeabschnitte dar.*
- *Die Beleuchtungswärme kann verringert werden, indem das natürliche Tageslicht weit in die Raumtiefe reicht, wodurch das Benutzen des Kunstlichtes tagsüber vermieden werden sollte.*

4.6 WÄRMEGEWINNE DURCH KONVEKTION

4.6.1 EINLEITUNG

Wärmegewinne durch Konvektion haben Einfluss auf den Kühlenergiebedarf.

Bei Fensterlüftungsvorgängen an heißen Tagen, gelangt warme Außenluft in den Innenraum wodurch eine erhöhte Kühlleistung notwendig wird.

Im Entwurf sind Fenster und Lüftungsanlagen oder –einrichtungen im Grundriss dahingehend zu gestalten, dass die Frischluftzufuhr dort zugeführt werden sollte, wo geringe solare Erwärmungen des Außenraums stattfinden.

Die Dichtheit der Gebäudehülle sollte solar induzierte Infiltrationsluftströme in den Innenraum reduzieren. Werden die Grenzwerte der Luftwechselrate n_{50} nach DIN 4108 Teil 7 für das jeweilige Gebäude mit deren Lüftungsart eingehalten, sollten keine nennenswerten Erhöhungen der Raumluft entstehen.

4.6.2 MÖGLICHKEITEN UM KONVEKTIVE WÄRMEGEWINNE ZU VERMEIDEN

Ein erhöhter Wärmeluftstau entsteht unter Balkonen.

Besonders betroffen von diesem Effekt sind Balkone in Innenhöfen. Vor allem durch eine geringe Luftzirkulation oder durch Wind kann die warme, gestaute Luft unter dem Balkon nicht abtransportiert werden. Prinzipiell steigt die warme Luft auf und kann durch die dichte Balkonkonstruktion nicht hindurch entweichen. Dabei sammelt sich unter dem Balkon ein warmer Luftpolster an. Beim Öffnen der Balkontür die nahe bis unter die Balkondecke reicht, strömt dieser sofort in den Raum ein.

Abhilfe würden Schlitze oder Lüftungsöffnungen an der Fassade schaffen, wo die warme aufsteigende Luft hindurch abtransportiert werden kann.

Günstige Lüftungsvorgänge, wo eine kühle Umgebungsluft auftritt, stellen Nordseiten, unterschiedlich auftretende verschattete Bereiche oder eine adiabate Kühlung, verursacht durch Vegetation oder Wasserflächen, dar.

Prinzipiell ist in beschatteten Bereichen die Luft kühler als in sonnigen.

Daher sind Gebäuden, die exakt nach Süden ausgerichtete sind, im Sommer überwiegend über die nordseitigen Gebäudefenster zu lüften. Dabei sollte im Entwurf die Grundrissgestaltung dementsprechend berücksichtigt werden, dass eine derartige Lüftung möglich ist.

Nahe am Gebäude vorhandene verschattete Bereiche, wie dichte Bepflanzungen oder Waldgebiete, sollten ausgenutzt werden. Aber nicht nur Bepflanzungen, sondern auch Wasserflächen schaffen durch ihre adiabaten Kühlleistung eine kühlere Umgebungsluft.

In urbanen Räumen treten höhere Umgebungstemperaturen auf als in anderen Gebieten (näheres siehe unter 3.1.3).

In urbanen Räumen sind Gebäude meist nur durch eine Straße und beidseitig anschließenden Gehsteigen voneinander getrennt. Dabei entstehen durch den dunklen Fahrbahnbelag und den Gebäudemassen erhöhte Lufttemperaturen. Die dadurch entstehende warme Luft, die aufsteigt, kommt beim Lüftungsvorgang in oberen Geschossen in den Innenraum. Dadurch sollte man über die straßenabgewandten Seite lüften. Innenhöfe sollten daher erhöhte Wasserflächen oder Bepflanzungen aufweisen um eine Reduktion der Luft durch adiabate Kühlung zuzulassen.

In ländlichen Gebieten kommt es durch die Vegetation (Wiesen, Bepflanzungen, etc.) prinzipiell immer zu einer geringeren Lufttemperatur als in urbanen Räumen.

Die Frischluftzufuhr für Lüftungsanlagen ist hauptsächlich von kühleren umliegenden Bereichen zu gewährleisten.

5 NUTZERVERHALTEN

Das Nutzerverhalten hat wesentlichen Einfluss auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf.

Der Nutzer hat durch sein Verhalten einen nicht zu unterschätzenden Anteil von -30 % bis +40 % daran, die Energiegewinne, -verluste und den Kühlenergiebedarf durch die ihm zur Verfügung stehenden Möglichkeiten zu beeinflussen.

Dem Nutzer sollte eine anwenderfreundliche Technik für Bedienung, Wartung und Regelung des Heizsystems, Lüftung und Verschattung für die Erhaltung eines behaglichen Raumklimas ermöglicht werden.

Derzeit ist eine umfangreiche Gebrauchsanweisung für Gebäude, wie es bei jedem technischen Gerät heute der Fall ist, noch nicht umgesetzt. Prinzipiell ist eine Gebrauchsanweisung abhängig von dem Energiekonzept eines jeden einzelnen Gebäudes. Daher sollt der Planer den Nutzer über die wesentlichsten baulichen und technischen Einflussparameter des Gebäude und der technischen Einrichtungen aufklären, damit durch sein Verhaltensmuster schlussendlich der Heiz- und Kühlbedarf niedrig gehalten und eventuelle Bauschäden vermieden werden.¹⁶⁶

5.1 DIE MITTLERE RAUMTEMPERATUR

5.1.1 EINLEITUNG

Prinzipiell gilt je niedriger der Temperaturunterschied ΔT von innen nach außen ist desto geringere Wärmeverluste erfährt man.

Daher ist die mittlere Raumtemperatur über die Heizperiode ein entscheidender Parameter zur Reduktion des Heizenergiebedarfes.

Das Behaglichkeitsempfinden und die Toleranz des Nutzers sind ausschlaggebend, ob eine niedrigere Temperatur eingegangen werden kann. Das Behaglichkeitsempfinden¹⁶⁷ eines jeden Menschen ist sehr unterschiedlich und hängt hauptsächlich von folgenden Parametern ab:

¹⁶⁶ vgl. [6], S. 127

¹⁶⁷ fachliche Anm.: Der PMV-Index (predicted mean vote – vorhergesagte mittlere Zustimmung) dient zur zahlenmäßige Erfassung der Behaglichkeit eines Menschen.

- Raumlufttemperatur (zwischen 19 und 23° C)
- Die Oberflächentemperatur der raumumschließenden Bauteilflächen sollte nicht um mehr als 4 Kelvin von der Raumluft abweichen. Sonst treten aufgrund des Strahlungsklimas von niedrigen Umfassungsflächentemperaturen ein unangenehmes Gefühl von Zegerscheinungen auf.
- Luftgeschwindigkeit und Luftschichtung (akzeptabel sind 0,15 bis 0,25 m/s bei 20° C Raumtemperatur, bei Fugen kann durch Infiltrationsluftströme dieser Wert überschritten werden → Luftdichtheit des Gebäudes)
- Luftfeuchtigkeit (im Wohn- und Arbeitsbereich sind relative Raumluftfeuchten zwischen ca. 35 bis 65% anzustreben, optimal sind 45 bis 55%, eine relative Luftfeuchtigkeit von <30% ist aus wohnmedizinischer Sicht ungünstig (höhere Staubbelastung, Austrocknen der Schleimhäute) bei eine relative Luftfeuchtigkeit von >80% besteht erhöhte Gefahr der Schimmelpilzbildung),
- Wärmeableitung über Füße (Fußbodentemperatur nicht < 18° C)
- Betätigung und Bekleidung der Bewohner. ¹⁶⁸

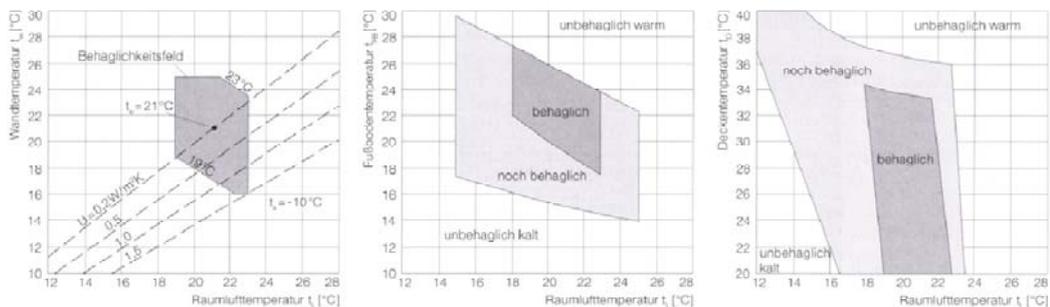
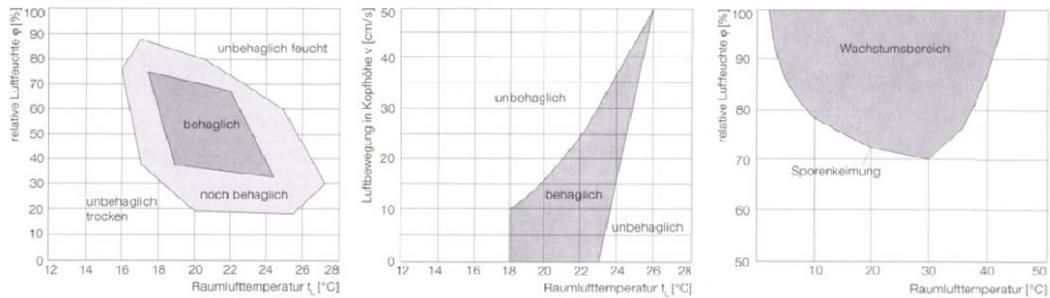


Abb. 5-1: Die Diagramme 1 bis 3 beschreiben die Behaglichkeit in Abhängigkeit von (von links nach rechts):

- 1.) Raumlufttemperatur, mittlerer Raumumschließungstemperatur und U-Wert der Gebäudehülle
- 2.) Raumluft- und Fußbodentemperatur
- 3.) Raumluft- und Deckentemperatur, [14], S. 58

¹⁶⁸ vgl. [6], S. 82 - 86



:hts):

5.1.2 MÖGLICHKEITEN ZUR REDUKTION DER RAUMTEMPERATUR

Bei wärmeschutztechnisch höherem Gebäudestandard ist der relative Einfluss von Wärmegewinnen über Sonneneinstrahlung und Personen auf die Innentemperatur höher. Daher kann durch Zulassen von einer geringeren Raumtemperatur, ein höherer Verlustanteil abgedeckt werden.

Der Wärmedurchlasswiderstand der Kleidung kann durch das Überstreifen eines Pullovers und das Benutzen von geschlossenen Hausschuhen (Pantoffeln) im Winter das Behaglichkeitsgefühl erhöhen, und eine niedrigere mittlere Raumtemperatur kann beim Heizsystem eingestellt werden.

Eine um 1° C niedrigere Raumtemperatur spart für Niedrigenergiehäuser ca. 14% der Heizenergiekosten ein.

Durch Absenkung und Abschaltung von Heizsystemen in der Nacht oder bei Abwesenheit sollte ein zeitweises eingeschränktes Beheizungsverfahren praktiziert werden, um die Raumtemperatur zu verringern. Untergeordnete Räume sind ebenfalls auf eine geringere Raumtemperatur abzusenken.

Zeitaufwendig und kritisch ist die Bedienung von Regelungseinrichtungen wenn keine Thermostatventile vorhanden sind. Der Nutzer muss dann dies selbst übernehmen, was meist zu erhöhten Raumtemperaturen führt z.B. durch Gewöhnungseffekte,

Schwierigkeit der Einstellungen, etc.. Bedenkt muss werden, dass bei Stoßlüftung die Thermostatventile geschlossen werden müssen, damit diese nicht bei Einströmen der kalten Luft voll aufregeln.¹⁶⁹

Das Behaglichkeitsempfinden steigt mit erhöhter Oberflächentemperatur der raumumschließenden Bauteile und sind durch Erhöhen des baulichen Wärmeschutzes aufrecht zu erhalten.

Für den Nutzer gibt es daher mehrere Möglichkeiten, die Raumtemperatur zu senken.

5.2 LÜFTUNGSVERHALTEN

5.2.1 EINLEITUNG

Das Lüftungsverhalten des Nutzers hat Einfluss auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf.

Prinzipiell muss hygienische Luftwechsel sichergestellt und der entstehende Wasserdampf hinausgelüftet werden.

Der hygienische Luftwechsel ist eine Grundvoraussetzung für ein gesundes Wohnen durch Sicherstellung der Innenluftqualität. Der entstehende Wasserdampf in Gebäuden durch Atmung der Personen, Kochen, Waschen, Spül-, Wascheinrichtungen und Zimmerpflanzen muss abgeführt werden, um Kondensat- und Schimmelpilzerscheinungen vorzubeugen.

Im Sommer muss zusätzlich die warme Raumluft abgeführt werden um eine sommerliche Überwärmung des Innenraumes zu vermeiden. Im Winter hat der Nutzer durch sein Lüftungsverhalten wesentlichen Einfluss auf den Heizwärmebedarf.

Die Höhe der erforderlichen Frischluftzufuhr hängt von den Bedürfnissen des Raumes ab besonders von der Personenanzahl und deren Tätigkeiten, der Raumgröße sowie der Aufenthaltsdauer.

Nach ÖNORM B 8110-1 gelten folgende Rechenwerte, die für die Lüftung von Innenräumen angesetzt werden:

¹⁶⁹ vgl. [6], S. 128 - 130

- wohnhygienische Lüftung:
entweder der 0,4-facher Luftwechsel je Stunde oder
30 m³/(h · Person), sofern dies zu einem höheren Luftwechsel führt
- arbeitshygienische Lüftung:
30 m³/(h · Person) in Wohnungen,
bei anderen Widmungen Luftwechsel gemäß ÖNORM H 6000-3¹⁷⁰

Unter dem Luftwechsel versteht man das Austauschen der Raumluft von geschlossenen Räumen. Die Luftwechselzahl (n_L [1/h]) von 1/h bedeutet, dass das gesamte Luftvolumen des umbauten Raumes innerhalb einer Stunde genau einmal ausgetauscht wird.¹⁷¹

Die Frischluftstraten müssen gewährleisten, dass die Verunreinigungen (ausgeatmetes CO₂, CO, Gerüche, Wasserdampf, Stickoxide, Bakterien, Staub, etc.) und der Wasserdampfgehalt der Luft abgeführt sowie Sauerstoff zugeführt werden.

5.2.2 LÜFTUNGSARTEN

Diese Lüftungsvorgänge können entweder natürlich durch den Benutzer selbst oder mechanisch durchgeführt werden.

- kontrollierte Wohnraumlüftung mit Wärmerückgewinnung

Der Vorteil gegenüber natürlicher Lüftung liegt in der automatisch optimierten Frischluftzufuhr mit Wärmerückgewinnung durch Wärmetauscher (Kreuz- oder Gegenstromwärmetauscher). Bei diesen mechanisch betriebenen Lüftungsanlagen erfolgt die Lüftung kontinuierlich und langsam.

Das Funktionsprinzip des Wärmetauschers liegt darin, dass die abgeführte, verbrauchte und

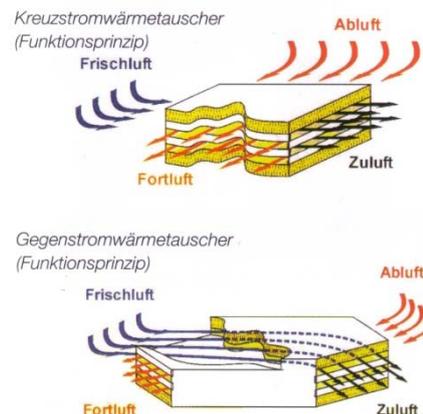


Abb. 5-3: Funktionsprinzip eines Kreuz- und Gegenstromwärmetauschers, [32], S. 5

¹⁷⁰ vgl. [35], S. 16

¹⁷¹ vgl. [45]

warme Rauminnenluft die kühlere Frischluft, die von außen ansaugt wird, beim Vorbeiströmen erwärmt. Diese können durch Lüftungskanäle, die glattwandig und kurz sind sowie eine Strömungsgeschwindigkeit <3 m/s aufweisen sollen, im Gebäudeinneren verteilt werden.

Dadurch wird eine Verringerung der Lüftungswärmeverluste erzielt.

Mit diesen Geräten werden auch ein besseres hygienisches Luftverhältnis und eine Komfortsteigerung durch die Feuchtigkeitsregulierung, Kühlung im Sommer, Schutz vor Insekten und CO₂-Abtransport bei zunehmender Luftdichtheit von Gebäuden erreicht. Die eingebauten Filter halten die Wärmetauscher staubfrei und schützen die Bewohner vor Pollen und anderen Partikeln. Bei der Verwendung dieser Geräte ist auf die Einhaltung der Pflege- und Reinigungsvorschriften sowie die Wartungsintervalle des jeweiligen Herstellers zu achten.

Der Zeitaufwand und eine optimierte Frischluftzufuhr sind die wesentlichsten Vorteile gegenüber einer natürlichen Lüftung. Deswegen wird einer optimierte Planung und Ausführung dieser kontrollierten Wohnraumlüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung eine hohe Benutzerzufriedenheit folgen.

Für wärmeschutztechnisch effiziente Gebäude wie Passivhäuser sind maschinelle Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung erforderlich um einen geringen Heizwärmebedarf zu erlangen.¹⁷²

Im Sommer können natürlich auch die Fenster geöffnet werden, damit eine zusätzliche Nachtkühlung erfolgt.

- natürliche bzw. freie Wohnraumlüftung

Bei der natürlichen Wohnraumlüftung muss der Nutzer selbst die regelmäßige Raumluftherneuerung übernehmen. Effizient ist das regelmäßige Stoßlüften. Durch das vollständige Öffnen der Fenster wird für eine kurze Zeit für etwa 5 bis 15 Minuten in regelmäßigen Zeitabständen etwa alle zwei Stunden durchgeführt, je nach Bedürfnis der Frischluftzufuhr.

Im Winter erfolgt das Stoßlüften hauptsächlich über den Tag.

¹⁷² vgl. [6], S. 73; [32], S. 5

Im Sommer dagegen muss in der Hitzeperiode eine Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung von unklimateisierten Innenräumen durch Nachtlüften vermieden werden, da die Außenluft dort geringe Temperaturen aufweist. Am Tag sind hier die Fenster vollkommen geschlossen zu halten wenn die äußere Lufttemperatur am Tag $>+27\text{ °C}$ beträgt. Durch kontinuierliches Nachtlüften werden die Speicherwirksamen Massen abgekühlt.

Eine Wärmerückgewinnung ist mit einer natürlichen bzw. freien Lüftung nicht möglich.

Nach der folgenden Tabelle sollten Bewohner ihr Lüftungsverhalten anpassen:

Fensterstellung	Luftwechselzahl [1/h]
Fenster und Türen zu	0,1 bis 0,3
Fenster gekippt, Rollläden zu	0,3 bis 1,5
Fenster gekippt, kein Rollläden	0,8 bis 4,0
Fenster halb offen	5 bis 10
Fenster ganz offen	9 bis 15
Gegenüberliegende Fenster offen (Durchzug)	bis etwa 40

Gebäudeart, Widmung	Luftwechsel n_L [1/h]
Einfamilienhäuser	0,4
Mehrfamilienhäuser	0,4
Bürogebäude	1,2
Kindergärten und Pflichtschulen	1,2
Höhere Schulen und Hochschulen	1,8
Krankenhäuser	2,0
Pflegeheime	1,0

Tab. 5-1: Luftwechselzahl für verschiedene Fensterstellungen, [6], S. 69

Tab. 5-2: Luftwechselzahl zu Nutzungsprofilen nach ÖNORM B 8110-5, [18], S. 135

Die Praxis zeigt, dass eine bewusste, regelmäßige und entsprechende Stoßlüftung nicht praktiziert wird und es meist zu geringeren Luftwechselzahlen kommt. Die Folge könnte ein Dauerlüften hervorrufen, wo Fenster gekippt oder halboffen stehen gelassen werden, wodurch ein erhöhter Wärmeverlust zustande kommt und die Speichermassen

auskühlen. Außerdem führt längeres Kippen der Fenster im Winter zu Laibungsflächenabkühlung, womit die Gefahr für Oberflächenkondensat steigt.

Daher ist dem Benutzer erhöhte Informations- und Aufklärungsarbeit zu leisten, damit ein verantwortungsbewusstes Lüftungsverhalten erreicht wird.¹⁷³

Eine Verringerung der Lüftungszeit kann im Entwurfsstadium unterstützt werden, indem die Anordnung der Fenster im Grundriss eine Querdurchlüftung schafft. Vor allem im Sommer kann durch eine nächtliche Querdurchlüftung eine bessere Abkühlung der Speichermassen geschaffen werden, indem diese gut von der kühleren Außenluft umspült werden.

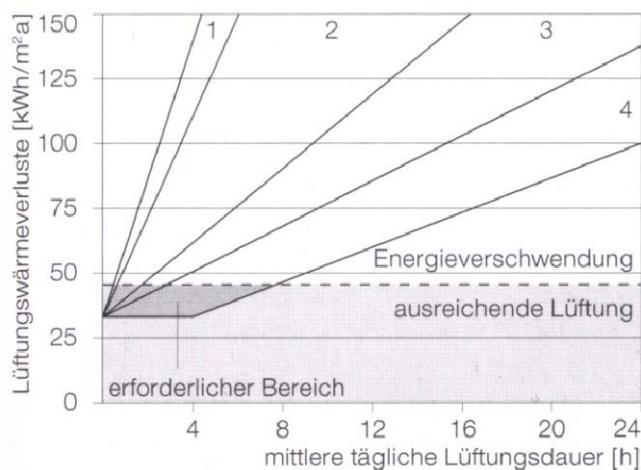


Abb. 5-4: Lüftungswärmeverluste in Abhängigkeit von der Lüftungsart und –dauer, [14], S. 100

- 1.) Fester ganz offen
- 2.) Fenster halb geöffnet
- 3.) gekippt mit Querdüftung
- 4.) gekippt ohne Querdüftung

- maschinelle Abluftsysteme

Maschinelle Abluftsysteme kommen meist in Bad, WC und Küche zum Einsatz, wo erhöhter Wasserdampf im Raum auftritt. Dabei erzeugt ein Ventilator einen geringen Unterdruck, wodurch die verbrauchte Innenluft meist über das Dach abgeführt wird.

¹⁷³ vgl. [6], S. 68 & 69

Die Vorteile dieses Systems sind:

- Der Benutzer kann die Höhe des Abluftstroms in verschiedenen Stufen einstellen und kann das System raumweise einbauen.
- Dieses System ist unabhängig von Wind- und Auftriebsbedingungen und gewährleistet dadurch immer eine ausreichende Frischluftzufuhr.
- Der Stromverbrauch des Abluftventilators ist gering und auch die Systemkosten sind relativ kostengünstig.

Die Nachteile dieses System sind:

- Die Zuluft wird direkt aus der Raumluft zugeführt, wodurch die Lage der Zuluftöffnung und die Strömung im Raum so gehalten werden muss, dass keine unbehaglichen Zugscheinungen auftreten.
- Die Energie der verbrauchten, abgeführten Fortluft wird ungenutzt an die Außenluft als Lüftungswärmeverluste abgegeben.¹⁷⁴
 - Fugenlüftung

Die Fugenlüftung ist für einen hygienischen Luftwechsel nicht ausreichend und schadet. Die ungewollten Lüftungswärmeverluste zufolge der Leckagen in der Gebäudehülle sind durch eine hohe Luftdichtheit des Gebäudes und durch eine dauerhafte, umlaufende, vollständig geschlossene luftdichte Dichtungsebene um das beheizte Raumvolumen gering zu halten. Die Nachteile undichter Stellen in der Gebäudehülle sind hohe Lüftungswärmeverluste, Abkühlen von Bauteilen, die in weiterer Folge Bauschäden verursachen und einen ungenügenden Schallschutz bieten.¹⁷⁵

¹⁷⁴ vgl. [6], S. 71 & 72

¹⁷⁵ vgl. [6], S. 66

5.3 BEDIENUNG DER HAUSTECHNIK

5.3.1 REGELUNG DES HEIZSYSTEMS

Die Regelung der Heizsystems hat Einfluss auf den Heizwärmebedarf.

Aufgrund der täglich schwankenden Außentemperaturen sowie der veränderlichen Sonneneinstrahlung durch die Fenster (passive Sonnenenergiegewinne), wechselnden Lüftungsverhältnisse (Änderung des Lüftungswärmebedarfes) und der wechselnden Wärmemengen durch die interne Wärmequellen (wechselnde Belegung, Nutzung der technischen Geräte, Beleuchtung) ändert sich ständig die zur Aufrechterhaltung einer behaglichen Raumtemperatur erforderliche zusätzliche Wärmeabgabe der Heizung.

Deswegen muss das Heizsystem schnell auf diese veränderlichen Einflüsse reagieren können, um einen Wärmeüberschuss zu vermeiden und stets eine behagliche Raumtemperatur zu gewährleisten.

Bei Wärmeüberschuss muss die Wärmezufuhr des Heizsystems rasch gedrosselt und bei fehlendem Wärmebedarf komplett abgestellt werden. Grundsätzlich gilt, dass alle Teile einer Heizungsanlage z.B. Heizkörper, Wärmeverteilung, Wärmeerzeuger etc. vollständig abgeschaltet werden sollten, wenn kein Wärmebedarf benötigt wird.

Träge Heizsysteme, z.B. Fußbodenheizung, elektrische Nachtspeicherfußbodenheizungen oder Kachelöfen sind durch ihre träge ungünstig, da sich die Wärmeabgabe kaum drosseln lässt. Damit wird die Ausnutzung der passiven solaren Gewinne schlecht möglich.

Daher sollten bei schnell regelfähigen Heizsystemen die Masse des Systems zur Wärmeabgabe möglichst gering gehalten werden, damit die Restwärme nach dem Zurückregeln oder Abschalten auch möglichst gering bleibt.

Dafür kommen Konvektoren, Flachheizkörper, Warmluftheizung, Plattenradiatoren oder Fußleistenheizungen in Frage.

Für die richtige Bedienung und Wartung muss der Heizkörper bei Bedarf entlüftet, Wärmeabgabegeräte und Regeleinrichtungen nicht verdeckt, die Heizungsanlage regelmäßig gewartet und die Regeleinrichtungen richtig bedient werden. Die zentralen Regelsysteme sollten für den Nutzer betriebssicher und nutzerfreundlich sein.

Die Regelfähigkeit sollte auch in jedem einzelnen Raum möglich sein durch eigenen Vor- und Rücklauf (dezentrale Regelung). Es kann mitunter der Fall eintreten, dass

Südräume zu Mittag keinen Wärmebedarf benötigen, jedoch nordseitig liegende Räume sehr wohl. Aufgrund der Anfangs erwähnten täglich schwankenden Temperaturen eines Raumes aufgrund der verschiedenen Einflüsse ist eine dezentrale Regelung im Bezug auf die Reduktion des Heizenergiebedarfs unverzichtbar.

Eine gute zentrale Regelung besitzt eine Zeitschaltuhr, in der ein Wochenprogramm voreingestellt wird und über die eine Nachtabstaltung der Anlage gesteuert wird.

Vor allem Gebäude mit einem hohen wärmeschutztechnischen Standard, die hohe Sonnenenergiebeiträge erhalten, sollten für ein optimiertes Energiekonzept des Gebäudes schnell auf diesen unterschiedlichen Wärmebedarf reagieren können.¹⁷⁶

5.3.2 VERSCHATTUNGEN

Die Verschattung hat Einfluss auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf.

Sonnenschutzeinrichtungen und temporäre Sonnenschutzeinrichtungen dienen bei Fenstern himmelrichtungsunabhängig zur Reduktion des Energiebedarfes.

Im Sommer liegt das Ziel der Verschattung darin, möglichst wenig an solarer Strahlung in den Innenraum zu lassen, um eine sommerlichen Überwärmung zu vermeiden und dadurch eine niedrige Raumtemperatur und eine hohe Behaglichkeit zu erhalten.

Ein Bedarf stellt sich daher im Sommer nur ein, wenn solare Sonneneinstrahlung auftritt. Daher sind Sonnenschutzeinrichtungen vor dem Sonnenaufgang zu schließen und tagsüber geschlossen zu halten.

Im Winter dagegen verringern temporäre Sonnenschutzeinrichtungen die Wärme- und Strahlungsverluste gegen den kalten, klaren Nachthimmel. Zusätzlich bieten geschlossene Läden einem Komfortvorteil, da die Oberflächentemperatur der Fensterscheibe beim Schließen vorerst ansteigt wenn noch geheizt wird bzw. in der Nacht bei Heizungsunterbrechung langsamer abkühlt.

Diese temporären Sonnenschutzeinrichtungen, die vor dem Fenster angebracht sind, müssen kurz vor Sonnenuntergang geschlossen und kurz nach Sonnenaufgang wieder

¹⁷⁶ vgl. [6], S. 86 - 92

geöffnet werden. Hohe passive Gewinne werden erreicht, wenn in der Heizperiode die Sonnenstrahlen durch das Fenster hereingelassen werden und die Fenster unverschattet bleiben.

Auch bei trüben kalten Wintertagen können nach dem Lüftungsvorgang die temporäre Sonnenschutzrichtungen wieder geschlossen werden, vorzugsweise bei Räumen, die tagsüber nicht ständig benutzt werden, z.B. Schlafräume, WC, Bad oder Abstellräume.

Benutzerfreundlicher wäre natürlich ein elektrisches, zentral gesteuertes System das diese Elemente automatisch schließt und öffnet. Sonst kann das für den Nutzer mit der Zeit mittunter mühsam werden, diese Prozesse täglich selbst für ein ganzes Gebäude zu praktizieren.¹⁷⁷

Fenster müssen aufgrund der vielen Öffnungsvorgänge gewartet werden. Dabei sollten die Fenster nachgestellt werden, damit sie wieder dicht schließen und keine Zugscheinungen und erhöhten Lüftungswärmeverluste auftreten.

¹⁷⁷ vgl. [11], S. 66

6 RESÜMEE

6.1 ZUSAMMENFASSUNG

Das Thema meiner Masterarbeit hatte zum Inhalt, dass die baulich optimierten Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien einen vorrangigen Stellenwert besitzen bzw. bewusst angewandt werden sollen bevor mit Planung und Berechnung begonnen wird.

Um eine Reduktion des Energiebedarfes herbeizuführen, sind vorerst die Wärmeverluste zu minimieren und erst danach können die Wärmegewinne optimiert werden. Die beiden Grundsätze:

- Minimieren der Wärmeverluste und
- Optimieren der Wärmegewinne

sollten sich daher gegenseitig ergänzen, damit sich ein optimales, energieeffizientes Gebäudekonzept ergibt. Eine effektivere Auswirkung auf die Reduktion des Energiebedarfes hat dabei immer eine Minimierung der Wärmeverluste als eine Optimierung der Wärmegewinne zur Folge.

Mit einer zielbewussten günstigen Standortwahl, einschließlich einer sonnenorientierten Ausrichtung und einer ausgezeichneten Kompaktheit, wird vorweg die Basis für ein energieeffizientes Gebäude gelegt, damit die Wärmeverluste auf ein Minimum reduziert und die Wärmegewinne daraufhin optimiert werden.

Bleiben diese Entwurfsprinzipien unberücksichtigt, so wird dies kompensiert indem die Transmissionswärmeverluste der Gebäudehülle reduziert werden um einen gleich hohen Heizenergieverbrauch zu erlangen. Diese Gegenmaßnahme kann mitunter sehr kostenintensiv werden. Zur Verminderung der Lüftungswärmeverluste ist eine luftdichte Gebäudehülle maßgebend. Demgemäß sind eine unkomplizierte Detailplanung und eine sorgfältige Ausführung von luftdichten Anschlüssen von großer Wichtigkeit.

Wärmegewinne durch transparente Bauteile sollten eine optimale Ergänzung der solaren Gewinne bewerkstelligen und nicht auf ein Maximum erhöht werden. Eine Maximierung kann nämlich auch zu einer Überwärmung an sonnigen Wintermonaten führen. Jegliche Überwärmung, voran die sommerliche Überwärmung, ist durch

geeignete Sonnenschutzmaßnahmen zu verhindern um den Kühlenergiebedarf zu reduzieren. Wärmegewinne durch transparente Bauteile sind im Hinblick auf deren Orientierung, Größe, Fensterlage, -form und Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) in der Fassade maßgeblich an den solaren Wärmegewinnen des Gebäudes beteiligt.

Jedem Benutzer eines Gebäudes muss erläutert werden, dass seine Verhaltensweise großen Einfluss auf den Heizwärmebedarf hat. Benutzerfreundliches und richtiges Anwenden der Haustechnik für die Steuerung der Lüftung, Verschattung und Rauminnentemperatur ist von entscheidender Wichtigkeit. Nur das Vorliegen eines z.B. Energieausweises heißt nicht, dass ohne Zutun auch dieser wünschenswerte Energieverbrauch zustande kommt.

Das Ergebnis der Masterarbeit konnte aufzeigen, dass mit den Entwurfs- und Konstruktionsprinzipien die wesentlichsten Beiträge für eine Reduktion des globalen und lokalen Energiebedarfes herbeigeführt werden können.

Das Ziel darf daher nicht sein, durch eine geeignete Wahl von Heizung- und Klimaanlage die baulichen Aspekte dadurch vergessend zu machen.

6.2 AUSBLICK

Steigende Ansprüche an Komfort, Energieeffizienz und Umweltfreundlichkeit können durch erhöhte technische Standards erlangt werden. Material- und baustoffbedingt werden sich in der Zukunft weitere Errungenschaften ergeben. Die heutigen Dämmwirkungen von Baustoffen und Bauteilen müssen dahingehend verbessert werden um die Dicke der Wandkonstruktionen zu reduzieren um damit Wohnnutzflächen zu gewinnen. Durch verbesserte Wärmedämmungen wie Vakuumwärmedämmung (Kieselsäure, Hochvakuum), Lichtdurchlässige Wärmedämmung, hochwertige konventionelle Wärmedämmung oder nanoporöse Superdämmstoffe sind einige Dämmstoffe, die in der Zukunft den Wärmedämmstandard entscheidend beeinflussen können.

Das Verlangen nach transparenter Bauweise, um eine naturnahe Verbundenheit mit der Umgebung zu verspüren, wird immer größer. Infolgedessen ist die Fensterindustrie bemüht den höheren Ansprüchen gerecht zu werden, um noch geringere

Wärmeverluste von transparenten Bauteilen zu erhalten wie das die Entwicklung der Vakuumfenster zurzeit zeigt.

Vermeehrt müsste auf eine regionale Planung der Nutzungsgebiete geachtet werden. Das Schaffen von zentralen Wohn-, Erholungs-, Industrie- oder Gewerbegebieten sollte eine vorrangiges streng einzuhaltendes Thema in der Gesetzgebung und Bauordnung werden und nicht untergeordnet bleiben. In weitere Folge ist auch auf die lokalen Gegebenheiten einzugehen und Gebäude in, z.B. einer Mulde oder topographisch bedingte schattige Standorte sind zu unterbinden, um ein sonnenorientiertes Bauen verstärkt ausführen zu können.

Eine strikte Anwendung und Einhaltung der Normen muss nicht immer vollzogen werden. Denn meist wird nicht genug auf lokale Gegebenheiten Rücksicht genommen, wodurch die berechneten Werte oftmals nicht in der Praxis erzielt werden. Zum Beispiel treten in einem topographisch ungünstig gelegenen Standort, wie in einer Mulde, tiefere Temperaturen auf als die Norm-Außentemperatur es vorgibt. Oder es können bei Gebäudestandorten erhöhte Nebelfelder auftreten, die den jährlichen Globalstrahlungsanteil genau für diesen Standort verringern und dadurch jenem in der Norm nicht entsprechen. Hierfür könnte der Ansatz darin liegen von der Norm hin zu eventuell bestehenden lokalen Beobachtungswerten zu gehen bzw. dafür Messwerten oder verminderte Prozentsätze in der Berechnung anzunehmen.

Das hauptsächliche Entwurfsprinzip stellt die Kompaktheit (A/V -Verhältnis) des Gebäudes dar. Daher können Grenzwerte für die charakteristische Gebäudelänge l_c eingeführt werden, die dafür sorgen, dass im Entwurfsstadium beziehungsweise in der Ausführung eine kompakte Gebäudeform eingehalten wird.

Das Bedienen von Gebäuden durch den Benutzer hat einen wesentlichen Anteil am Energiebedarf. Aufgrund oft komplizierter Haustechnik und des vom Planer überlegten Energiekonzeptes des Gebäudes muss dem Nutzer klargemacht werden, welche Aufgabe er zu erbringen hat um einen geringen Energiebedarf zu erhalten und welche Auswirkungen sein Verhalten bei Nichteinhalten auf den Energieverbrauch hat. Folglich können Seminare, Einschulungen, Informationsabende oder Benutzerhandbücher für

die Bedienung von Gebäuden angeboten bzw. bei der Schlüsselübergabe überreicht werden.

Der Beginn für energieoptimiertes Bauen beginnt bereits mit dem Lehrplan in der Ausbildung für Personen, die im Bezug mit dem Thema zur Reduktion des Energiebedarfes zu tun haben. Dabei sollten vorerst die grundlegenden Prinzipien für diesen Themenbereich gelehrt und verstanden werden. Hierfür wird die Basis geschaffen um weitere optimierte Denkweisen zu schärfen. Das Rechnen mit Computerprogrammen sollte vorerst sekundär sein und erst praktiziert bzw. gelehrt werden, wenn man das Ergebnis der Berechnung grob abschätzen kann. Prinzipiell ist das Rechenprogramm nur so gut wie die Eingaben des Anwenders. Blindes Vertrauen in Computerprogrammen zu setzen ist mit Vorsicht zu genießen.

Die Grundsteine für energieeffizientes Bauen zur Verringerung des CO₂-Ausstoßes werden schon heute für die Zukunft gelegt. Ferner muss dies so lange weitergeführt werden bis eine bedenkenlose Sicherstellung durch die Gefährdung des Klimawandels der nachfolgenden Generationen gewährt ist.

QUELLENVERZEICHNIS

BÜCHER, ZEITSCHRIFTEN UND ARTIKEL

- [1] Eichler, F. und Arndt, H.; Bauphysikalische Entwurfslehre, Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz; 2. Aufl., VEB, Berlin, 1989, ISBN 3-345-00198-5.
- [2] Erhorn, H., Gierga, M., Reiß, H. und Volle, U.; Niedrigenergiehäuser, Zielsetzung-Konzepte-Entwicklung-Realisierung-Erkenntnisse; 1. Aufl., Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart, 1994.
- [3] Fa. Singer & CO Bauges.m.b.H., 8230 Hartberg, Singergasse 4.
- [4] Faskel, B.; Die Alten bauten besser, Energiesparen durch klimabewusste Architektur, Was für unsere Ahnen selbstverständlich war, müssen wir neu entdecken; Eichborn, Frankfurt am Main, 1982, ISBN 3-8218-1703-8.
- [5] Feist, W.; Grundlagen der Gestaltung von Passivhäusern; Das Beispiel, Darmstadt, 1996, ISBN 3-923974-50-7.
- [6] Feist, W. und Klien, J.; Das Niedrigenergiehaus, Energiesparen im Wohnungsbau der Zukunft; Band 24, C.F. Müller, Karlsruhe, 1989, ISBN 3-7880-7343-8.
- [7] Gaich, A. und Sammer, W.; Diplomarbeit - Thermische Bauteilaktivierung, Betonkernaktivierung zur Raumkühlung und zur Deckung der Grundheizleistung; 1. Aufl., Graz, 2004.
- [8] Gascha, H.; Taschenbuch Physik, Formeln und Gesetze, genehmigte Sonderausgabe, ISBN 978-3-8174-5098-5.
- [9] Greiner, R.; Skriptum Baustatik 2, Bauwerksicherheit; TU-Graz, Institut für Stahlbau und Flächentragwerke, S-5-14/2007.
- [10] Grobbauer, M.; Hochbau SJ 2008/09 Skriptum, Teil1 – Anforderungen und Schichten; TU-Graz, Institut für Hochbau und Bauphysik, 02/2009.
- [11] Hebgen, H.; Bauen mit der Sonne, Vorschläge und Anregungen; 2. Aufl., Energie, Heidelberg, 1982, ISBN 3-87 200-636-3.
- [12] Hebgen, H. und Heck, F.; Außenwandkonstruktionen mit optimalen Wärmeschutz, Grundlagen und Richtwerte Stoffwerttabellen 58 Außenwände

- in je 5 Varianten; 2. überarbeitete Aufl., Vieweg, Braunschweig, 1977, ISBN 3-528-18842-1.
- [13] Heck, F.; Energiekosten senken, Kosten und Nutzen von Wärmedämmmaßnahmen; Fraunhofer IRB, Stuttgart, 2007, ISBN 978-3-8167-7372-6.
- [14] Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T. und Zeumer, M.; Energie Atlas, Nachhaltige Architektur; 1. Aufl., Edition Detail, Birkhäuser, Basel, 2008, ISBN 978-3-7643-8385-5.
- [15] Heyer, E.; Witterung und Klima, Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie; 10. völlig Neubearb. Aufl., Teubner, Stuttgart [u.a.], 1998, ISBN 3-519-00208-6.
- [16] INTERPANE GLAS INDUSTRIE AG; Gestalten mit Glas; 7. überarbeitete Aufl., Colter-Druck, Holzwinden, 2007.
- [17] ISOVER, Produkt- und Preiskatalog; 01.01.2009; URL: <http://www.isover.at>.
- [18] Jens, K.; Skriptum – Vorlesung über Gebäudetechnik; Version 2008, Wien, 2008.
- [19] Kautsch, P.; Hassler, E.F.; Vorlesungsunterlagen Bauphysik, Master-Ausbildung Bauingenieurwissenschaften; TU-Graz, Institut für Hochbau und Bauphysik, 10/2008.
- [20] Kerschberger, A.; Platzer, W.; Weidlich, B.; Transparente Wärmedämmung, Produkte, Projekte, Planungshinweise; Bauverlag, Wiesbaden und Berlin, 1998, ISBN 3-7625-3444-6.
- [21] Neufert, P. und Neff, L.; Gekonnt Planen richtig Bauen, Haus – Wohnen - Garten; 2. erweiterte Aufl., Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 1997, ISBN 3-528-18109-5.
- [22] Köb, G.; Transparente Wärmedämmung, Diplomarbeit; 1. Aufl., Hubert Lang, Graz, 1992.
- [23] Neumann, D., Weinbrenner, U., Hestermann, U. und Rongen, L.; Frick/Knöll Baukonstruktionslehre 2; 32. Vollst. überarb. U. aktualisierte Aufl., Teubner, Stuttgart [u.a.], 2003, ISBN 3-519-45251-0.
- [24] Pokorny, W., Zelger, Th. und Torgehele, K.; Passivhaus-Bauteilkatalog, Ökologisch bewertete Konstruktionen; Springer, Wien, 2008, ISBN 978-3-211-29763-6.

- [25] Riccabona, Ch.; Baukonstruktionslehre 2, Ausbauarbeiten; 6 Aufl., Manz, Wien, 1999, ISBN 3-7068-0378.
- [26] Riccabona, Ch.; Baukonstruktionslehre 4, Bauphysik; 5 neubearbeitete Aufl., Manz, Wien, 1996, ISBN 3-7068-0380-1.
- [27] Riccabona, Ch.; Baustoffkunde; 3 Aufl., Manz, Wien, 1997, ISBN 3-7068-0382-8.
- [28] Riccabona, Ch.; Gebäude- und Gestaltungslehre 1, Wohnbau; 2. Aufl., Manz, Wien, 1997, ISBN 3-7068-0517-0.
- [29] Rupprecht, M.; Perner, N. und Frank, R.; Bauvorschriften für das Land Steiermark; 7 erweiterte Auf., Medienfabrik, Graz, 2000.
- [30] Schild, E., Casselmann, H.-F., Dahmen, G. und Pholenz, R.; Bauphysik, Planung und Anwendungen; 4. neubearbeitete Aufl., Vieweg, Braunschweig, 1990, ISBN 3-528-38662-2.
- [31] Streicher, W.; Grundlagen der Gebäudetechnik; TU Graz, IWT (Institut für Wärmetechnik); Vortrag SS09, LV: VU Gebäudetechnik (219.461).
- [32] Wienerberger, Porotherm, Systemempfehlung für energieeffizientes Bauen; Ausgabe Jänner 2009; URL:<http://www.wienerberger.at>.
- [33] Zürcher, Ch. und Frank, Th.; Bauphysik, Bau und Energie – Leitfaden für Planung und Praxis; Band 2, B.T. Teubner, Stuttgart, 1995.

NORMEN UND RICHTLINIEN

- [34] OIB-Richtlinie 6; Energieeinsparung und Wärmeschutz; Österreichisches Institut für Bautechnik, 04.2007; URL: <http://www.oib.or.at/>, (22.03.2010).
- [35] ÖNORM B 8110-1; Wärmeschutz im Hochbau – Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen; Ersatz für Ausgabe 2000-09 (Vornorm), Wien, 2004-12-01.
- [36] ÖNORM B 8110-2; Wärmeschutz im Hochbau – Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationsschutz; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 2003-07-01.

- [37] ÖNORM B 8110-3; Wärmeschutz im Hochbau – Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1999-12-01.
- [38] ÖNORM B 8135; Vereinfachte Berechnung des zeitbezogenen Wärmeverlustes (Heizlast) von Gebäuden; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1983-02-01.
- [39] ÖNORM EN ISO 6946; Bauteile, Wärmedurchlaßwiderstand und Wärmedurchgangskoeffizienten-Berechnungsverfahren; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1997-01-01.

INTERNETQUELLEN

- [40] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Emissionsgrad>, (16.04.2010).
- [41] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Isolierkanne>, (19.06.2010).
- [42] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Klima>, (08.04.2010).
- [43] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kontinentalklima>, (30.04.2010).
- [44] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Luftdichte>, (11.04.2010).
- [45] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Luftwechsel>, (04.06.2010).
- [46] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Seeklima>, (30.04.2010).
- [47] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenschutzfolie>, (01.06.2010).
- [48] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Stadtklima>, (02.05.2010).
- [49] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Stefan-Boltzmann-Gesetz>, (16.04.2010).
- [50] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Transmissionsw%C3%A4rme>, (07.04.2010).
- [51] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Treibhausgas>, (16.04.2010).
- [52] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Trombe-Wand>, (19.05.2010).
- [53] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Troposph%C3%A4re>, (28.04.2010).
- [54] URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Verdunstung>, (01.05.2010).

- [55] URL: <http://homepage.boku.ac.at/h9027481/dateien/diagramm.html>, (07.05.2010).
- [56] URL: <http://nergico.com/windkraft/enstehung.html>, (30.04.2010).
- [57] URL: http://www3.al-ko.de/presse/pm/lt/text/al-ko_pr-lt11.doc, (30.04.2010).
- [58] URL: http://www4.architektur.tudarmstadt.de/powerhouse/db/248,id_848,s_Terms.fb15, (27.04.2010).
- [59] URL: <http://www.aee.at/themen/solarthermie/einleitung.htm> (1 von 6)13.04.2007 10:27:43, (28.3.2010).
- [60] URL: <http://www.austrotherm.at/upload/folder/bauphysik.pdf>, (25.05.2010).
- [61] URL: <http://www.bda.at/downloads/805/>, (19.06.2010).
- [62] URL: <http://www.bewaehrungsprobe.de/ausruestung/kueche/thermoskanne>, (15.05.2010).
- [63] URL: <http://www.eewa.de/images/BDGrafik.jpg>, (12.03.2010).
- [64] URL: <http://www.energieausweise.net>, (19.04.2010).
- [65] URL: http://www.flybee.at/gallery/main.php/v/2DieLuftbilder/8430Gralla/Jan/Home_2009-11-14_0449_Ad.jpg.html, (20.04.2010).
- [66] URL: <http://www.glasfandel.de/produkte/isolierglaspalette/tps-isolierglas/>, (28.03.2010).
- [67] URL: http://www.glasfandel.de/uploads/media/TPS_01.pdf, (20.04.2010).
- [68] URL: <http://www.hausbautipps24.de/ausenanlagen/hausbau-wintergarten/hausbau-wintergarten-checkliste-rund-um-den-wintergarten.html>, (23.04.2010).
- [69] URL: <http://www.heiz-tipp.de/ratgeber-854-waermeschutzverglasung.html>, (28.03.2010).
- [70] URL: http://www.hoval.at/docs/Hallenklima_pdf/Umluft_adiabat_kuehlen.pdf, (11.04.2010).
- [71] URL: <http://www.huebner-wintergarten.de/prinzipien.htm>, (22.04.2010).
- [72] URL: <http://www.ibp.fhg.de/literatur/ibpmitt/149.pdf>, (19.05.2010).

- [73] URL: <http://www.industrieheizungen.ch/homepage/detailbeschreib.html>, (22.06.2010).
- [74] URL: http://www.internorm-fenster.de/Fenster-Holz_Alu_1663.html, (29.03.2010).
- [75] URL: http://www.isolar.de/media/sz_randverbund.pdf, (28.03.2010).
- [76] URL: <http://www.klimabuendnis.at> > Klima-Problematik > , (15.03.2010).
- [77] URL: http://www.offenburg.de/dynamic/assets/thumbnails/haus_battiany_web.jpg, (22.03.2010).
- [78] URL: <http://www.oib.or.at/>, (22.03.2010).
- [79] URL: <http://www.passivehouse.com/>, (27.04.2010).
- [80] URL: http://www.schueco.com/web/de/architekten/produkte/fassaden/aluminium/pfosten_riegel_fassaden/schueco_smc_50, (06.05.2010).
- [81] URL: <http://www.seilnacht.com/Lexikon/Treibh.htm>, (.29.04.2010).
- [82] URL: <http://www.swisspacer.com/produkte.html>, (28.03.2010).
- [83] URL: <http://www.thermix.de/t-de/thermix-tx-n/thermix-warme-kante.php>, (28.03.2010).
- [84] URL: <http://www.wenk-sachverstaendiger.de/PDF/4403.pdf>, (12.05.2010).
- [85] URL: <http://www.wienerberger.at>, (28.03.2010).
- [86] URL: <http://www.zamg.ac.at/fix/klima/jb2008/index.html>, (15.03.2010).

Absätze ohne Quellenangaben sind Tatsachen sowie generelles und fachliches
Allgemeinwissen!

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1: energetisches System des Gebäudes, [31]	3
Abb. 2-2: Verschieden auftretende Lüftungsverluste am Gebäude, [63].....	16
Abb. 3-1: Durchschnittlich jährliche Globalstrahlung in Europa, [14], S. 53	21
Abb. 3-2: Verteilung der jährlichen Globalstrahlung, [14], S. 51	21
Abb. 3-3: Mittlere Globalstrahlungssumme über das Jahr 2008 für verschieden Regionen in Österreich, [59].....	21
Abb. 3-4: Wirkung unterschiedlicher topografischer Lagen des Gebäudes auf mögliche solare Energiegewinne und –verluste infolge von Wind und Temperatur, [14], S. 69.....	33
Abb. 3-5: Kaminwirkung und der schemahafte dazugehörige auftretende Innen- und Außendruck. [33], S. 52	35
Abb. 3-6: Auftretende Innen- und Außendrucke der verschiedenen Gebäudetypen. [33], S. 53	36
Abb. 3-7: Belüftungskonzepte des Hohlraumes: 1.) Außen-Luftvorhang (höherwertige Glasebene innen), 2.) Innen-Luftvorhang (höherwertige Glasebene außen), 3.) Luftzufuhr (höherwertige Glasebene innen), 4.) Luftabfuhr (höherwertige Glasebene außen), 5.) geschlossener Pufferraum, [31]	37
Abb. 3-8: Windschutzbepflanzung und Verbesserung der klimatischen Unzulänglichkeiten im Shimane Distrikt im westlichen Japan, [4], S. 28	41
Abb. 3-9: Die prozentuell steigenden Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Rauigkeit α und der Höhe über den Grund, [14], S. 67	42
Abb. 3-10: typische Effekte auf die Windströmung infolge der Gebäudeanordnung, [33], S. 51	45
Abb. 3-11: Das Gebäude aus der Südsteiermark wurde leicht in den Hang gebaut, hat eine Windschutzbepflanzung auf der Luvseite und hat zusätzlich noch eine windschlüpfrige bzw. aerodynamische Gebäudehülle. Damit sind drei sehr gute windschutztechnische Prinzipien eingehalten worden.....	47
Abb. 3-12: Kompaktheit und thermische Hülle, [14], S. 86	50
Abb. 3-13: Erkerbildung im Erdgeschoss bei einem Einfamilienhaus aus der Südsteiermark	51
Abb. 3-14: Erhöhung der wärmeabgebenden Außenfläche durch viele stehende Gaupen im Dachgeschoss, [77].....	51
Abb. 3-15: quadratischer Grundriss mit einer Mischdachform aus Pult- und Tonnendach, [17], S. 6	56
Abb. 3-16: Kreisrunder Grundriss mit Flachdach, [17], S. 17	56
Abb. 3-17: Rundliche Grundrissform mit schalenförmiger Dachform	56
Abb. 3-18: Quadratischer Grundriss mit Walmdach, [65]	56

Abb. 3-19: Ungeschützte Außenwand ohne Wärmedämmung, zu gut gedämmter Außenwand, die viel Geld spart, [17], S. 71.....	58
Abb. 3-20: Vergleich der Wohlfühl-Temperatur einer Kaffeekanne zu einer Thermoskanne, [17], S. 6.....	58
Abb. 3-21: Aufbau einer Thermoskanne, [62].....	59
Abb. 3-22: Wärmeverluste zufolge verschiedener Konsolenausbildungen.....	64
Abb. 3-23: schematischer Isolierglaseffekt von 2- und 3-Scheiben-IV, [23], S. 367.....	69
Abb. 3-24: Schnitt durch eine optimierte Drei-Scheiben-Wärmeschutzverglasung, [20], S. 52.....	70
Abb. 3-25: g-Wert und U _g -Wert verschiedener Verglasungen, [31].....	71
Abb. 3-26: Energiebilanz eines Wärmeschutzglases, [27], S. 192.....	71
Abb. 3-27: Verschiedenen Fenstertypen mit Klarsichtfolie zur Verbesserung des Wärmeschutzes. [11], S. 51.....	73
Abb. 3-28: Sprossen im Scheibenzwischenraum.....	75
Abb. 3-29: Der Randverbund als Wärmebrücke – Die warme Kante. [66].....	76
Abb. 3-30: monolithische Außenwand mit seichter Laibung, [25], S. 341.....	78
Abb. 3-31: monolithische Außenwand mit tiefer Laibung und Außenwand mit Vollwärmeschutz, [25], S. 340.....	79
Abb. 3-32: Warmluftschleier am Fenster, [25], S. 332.....	79
Abb. 3-33: 4-fach-Verglasung des Fensters VARION 4 von Internorm, in Kombination mit der Vorsatzscheibe wird der Top-Wärmedämmwert U _w =0,63 W/m ² K erreicht (Vetro-Design mit Duette), [74].....	80
Abb. 3-34: waagrecht laufender Schiebeladen, [11], S. 68.....	82
Abb. 3-35: Fallladen vor einer Fenstertür frei vor der Wand angebracht, [11], S. 70.....	82
Abb. 3-36: flexible Dämmelemente: A.) zum Einstellen in die Fensternische und B.) vor der Fensternische angebracht, [11], S. 71.....	83
Abb. 3-37: Funktionsschema eines Blower-Door-Test, [14], S. 94.....	88
Abb. 3-38: Fachgerechtes luftdichtes Abkleben eines 3D-Werkstoffplattenanschlusses (Bild OSB-Platten). Vorerst wird die Ecke dreifach zwischen zwei Platten abgeklebt (linkes Bild) und erst danach werden die daran anschließenden linienförmigen Plattenverbindungen verklebt (Bild rechts). [24], S.28.....	90
Abb. 3-39: Spachtelung der Fenstersturz-, Fensterparapett- und Fensterlaibungsfläche, [3].....	91
Abb. 3-40: Spachtelung für einen luftdichten Innenwandanschlusses, [3].....	91
Abb. 3-41: Spachtelung der Stiegenwange bevor die Stiege betoniert wird, [3].....	91
Abb. 3-42: 3D-Dichtungbahnmanschlüsse für die luftdichte Verbindung von drei Folien (Wand/Wand/Decke). Nach dem Verkleben der überlappenden Wandfolien wird die Deckenfolie gefaltet und auf beiden Wandfolien mit ausreichendem Folienspiel (Bauteilbewegung!) verklebt. [24], S. 28.....	92

Abb. 3-43: äußerer Fensteranschluss verklebt, [3].....	92
Abb. 3-44: So nicht! Ungeeignet eingesetzte Steckdose in einer Ziegelwand (Altbausanierung). Hier sind auch nach dem Verputzen der Wandflächen Leckage an den Kabeleinführungen und Dosenrückseiten zu erwarten. [24], S. 29	93
Abb. 3-45: Installationsschlitze müssen verspachtelt werden, [3]	93
Abb. 3-46: Einlegen der Deckendichtschnur, [3].....	95
Abb. 3-47:Detailplan der Attikaausbildung beim Passivhaus Singer in Hartberg (A, Stmk.), [3]	99
Abb. 3-48: Montage der Attika beim Passivhaus Singer, [3]	99
Abb. 3-49: Detailplan der Fensteranschlüsse wie sie beim Passivhaus Singer in Hartberg ausgeführt wurden. [3]	101
Abb. 3-50: Montage des Raffstorkasten beim Passivhaus Singer in Hartberg, [3].....	101
Abb. 3-51: konvektive Wärmebrücke bei einer unsachgemäßen Entlüftungsrohrdurchführung durch die Dichtebene des Daches, [84].....	102
Abb. 3-52: Temperaturgradient im Sommer (S) und Winter (W) an einer Außenwand abhängig von der Lage der Wärmedämmung.	106
Abb. 4-1: Sonnenstandsdiagramm für 48°15' nördlicher Breite (Wien), [55].....	112
Abb. 4-2: Sonnenstrahlungseinfall auf ein um 20° gedrehtes Gebäude. Blau = 20° gedrehter trichterförmiger Grundriss, rot = 20° gedrehter rechteckiger Grundriss.....	117
Abb. 4-3: Der Einfluss von Sturz und Laibung auf die Sonneneinstrahlung durch Fenster auf der Südseite, [11], S.46.....	120
Abb. 4-4: Detailvorschläge für Verbesserung des Licht- und Sonneneinfalls durch schräge Fensterlaibungen, [11], S.50	120
Abb. 4-5: Günstige Anordnungsvorschläge der einzelnen Räume in Abhängigkeit der Himmelrichtungen. [21], S.1	124
Abb. 4-6: Schemaskizze einer Tromben-Wand (solare Speicherwand) an der Südseite eines eingeschossigen Wohnhauses, [11], S. 80.....	133
Abb. 4-7: Schemaskizze einer Wasser-Speicherwand, [11], S. 81	135
Abb. 4-8: Das Prinzip der transparenten Wärmedämmung (TWD) im Vergleich zur opaken Wärmedämmung. [22], S. 3	136
Abb. 4-9: Funktionsprinzip eines Direktgewinnsystemes einer TWD-Fassade. [20], S. 11	137
Abb. 4-10: Funktionsprinzip eines Solarwandsystems einer TWD-Fassade. [20], S. 12	138
Abb. 4-11: Funktionsprinzip eines konvektiven entwärmte Solarwandsystem. [20], S. 23 .	138
Abb. 4-12: Funktionsprinzip eines thermisch abgekoppelten System mit direkter Zirkulation ohne seperaten Wärmespeicher. [20], S. 13	140
Abb. 4-13: Absorber-parallele Struktur (z.B. Mehrfachverglasung), [20], S. 46	141
Abb. 4-14: Absorber-senkrechte Struktur, [20], S. 46	141
Abb. 4-15: Kammerstruktur, [20], S. 46	142

Abb. 4-16: Quasi-homogene Material - Aerogol, [20], S. 46.....	142
Abb. 4-17: Zusammenhang verschiedener Wärmedämmstoffe zwischen diffusem Strahlungstransmissionsgrad und Dämmschichtdicke (links) sowie U-Wert (rechts). [22], S. 5	142
Abb. 4-18: TWD- Paneel: KAPILUX-H, Hersteller OKALUX Kapillarglas GmbH, Röhrrchen – absorber-senkrechter-Struktur, [20], S. 58.....	143
Abb. 4-19: Überblick und Vergleich über optisch und thermische Eigenschaften von TWD-Materialien und Isolier- und Wärmeschutzverglasungen, [20], S. 62	144
Abb. 4-20: Schüco Aluminium-Pfosten-Riegelkonstruktion, klassische Solarwand, [20], S. 64	145
Abb. 4-21: Fassadenkonstruktion mit Stufenfalzpaneel, [20], S. 55.....	145
Abb. 4-22: transparentes Wärmedämm-Verbundsystem, [20], S. 68.....	146
Abb. 4-23: Funktionsprinzip der Be- und Entlüftungsvorgänge eines Wintergartens im Sommer und im Winter bzw. Heizperiode. [31].....	149
Abb. 4-24: Wintergarten mit einer günstigen Form, [31].....	151
Abb. 4-25: Pfosten Riegelkonstruktion mit Pressleiste, Produkt Schüco SMC 50 Modulfassade, [80].....	153
Abb. 4-26: offene Fuge: Hier wird ein speziell gefertigte Isolierglasscheibe mit UV-beständigen Silikon auf einen Rahmen verklebt der mit Kunststoffstegen (der für eine unterbrochene Wärmebrücke sorgt) an die Pfosten-Riegelprofile montiert wird. [25], S. 381	153
Abb. 4-27: Vierpunkt-Klemmhalter, [25], S. 382	154
Abb. 4-28: Glasstöße für Einfach- und Isolierverglasung aus Dichtprofilen und Silikon, [25], S. 385	154
Abb. 4-29: Einflussgrößen der Kühllastberechnung, [18], S. 104.....	158
Abb. 4-30: mikroklimatische wirksame Elemente und ihre Wirkung auf den Baukörper, [14], S. 69	161
Abb. 4-31: Energiebilanz von Sonnenschutzgläser, [27], S. 198.....	162
Abb. 5-1: Die Diagramme 1 bis 3 beschreiben die Behaglichkeit in Abhängigkeit von (von links nach rechts):	171
Abb. 5-2: Die Diagramme 1 & 2 beschreiben die Behaglichkeit in Abhängigkeit von (von links nach rechts):	172
Abb. 5-3: Funktionsprinzip eines Kreuz- und Gegenstromwärmetauschers, [32], S. 5.....	174
Abb. 5-4: Lüftungswärmeverluste in Abhängigkeit von der Lüftungsart und –dauer, [14], S. 100 1.) Fester ganz offen 2.) Fenster halb geöffnet 3.) gekippt mit Querlüftung 4.) gekippt ohne Querlüftung	177

Abbildungen ohne Quellenangaben sind Eigentum des Autors!

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 2-1: schematische Darstellung der Wärmebilanz eines Gebäudes, [14], S. 86	3
Tab. 2-2: Energieklasseneinteilungen, deren Grenzwerte nach der steirischen Wohnbauförderung (Stand: September 2008) eingeteilt sind. [64]	5
Tab. 2-3: Norm-Innentemperaturen $\theta_{int,i}$ für verschiedene Gebäude- oder Raumtypen, [18], S. 83	6
Tab. 2-4: Rechenwerte für innere Wärmequellen, bezogen auf die Heizperiode und Brutto-Geschossfläche, [35], S.16	8
Tab. 2-5: Allgemeine Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile deren U-Werte nicht überschritten werden dürfen, [34], S. 6	9
Tab. 3-1: Absorptions- und Reflexionsgrad für Licht in Abhängigkeit der Farbe und Materialien. [28], S. 54	20
Tab. 3-2: Tages- und Monatssumme der Globalstrahlung an der Messstation Graz Universität, aus dem Jahrbuch 2008. [86]	22
Tab. 3-3: Klimaeinteilung in Abhängigkeit vom räumlichen und zeitlichen Maßstab (nach Hupfer 1989), [15], S. 296	24
Tab. 3-4: Dichte der Luft in Abhängigkeit der Temperatur. [44]	43
Tab. 3-5: Verschiedene Bautypologien und ihre energetischen Eigenschaften im Vergleich. [14], S. 70	52
Tab. 3-6: verschiedene übliche Grundrissformen mit jeweils einer Grundfläche von 100 m ² und einem konstanten Volumen des Erdgeschosses von 300 m ³ . *) RH = Raumhöhe und wird überall im Erdgeschoss mit 3,00 m angenommen; **) G.fl.= Grundrissfläche, bei allen Grundrissformen 100 m ²	54
Tab. 3-7: Berechnung der wärmeabgebenden Dachgeschossflächen A_B in Abhängigkeit der Dachformen und verschiedenen Dachneigungen	55
Tab. 3-8: Wärmeleitfähigkeiten von Wasser, Eis und Schnee, [26], S. 273	66
Tab. 3-9: Werte für verschieden verwendete Fenstermaterialien, [16], S. 320	70
Tab. 4-1: Speicherwirksame Massen im Vergleich zu einer 45 cm dicken porierten Ziegelwand (gemäß ÖNORM B 8110-3), [60]	128
Tab. 4-2: Allgemeine Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile von Dachkonstruktionen deren U-Werte nicht überschritten werden dürfen, [34], S. 6	152
Tab. 4-3: Richtwerte für die Sonnenenergiedurchlässigkeit transparenter Bauteile, [37], S. 10	157
Tab. 4-4: Richtwerte für die Abminderungsfaktoren z von Abschattungsvorrichtungen, in Kombination mit Doppelverglasung (g=0,75), [37], S. 10	158
Tab. 4-5: anzunehmende Leistungen technischer Wärmequellen, [37], S. 11	165
Tab. 5-1: Luftwechselzahl für verschiedene Fensterstellungen, [6], S. 69	176

Tab. 5-2: Luftwechselzahl zu Nutzungsprofilen nach ÖNORM B 8110-5, [18], S. 135 176

Tabellen ohne Quellenangaben sind Eigentum des Autors!
