

# Masterarbeit

erstellt von  
Iva Blazevic

## „GlasDoppel Fassaden am Beispiel von fünf verschiedenen Gebäuden“

Betreuer und Begutachter:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.jur. Dr.techn. Peter Kautsch

Erstellt am Institut für Hochbau und Bauphysik,

Technische Universität Graz, 27.01.2010

**▪ Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht. Die vorliegende Fassung entspricht der eingereichten elektronischen Version.

Graz, am 27.01.2010

---

## ▪ Danksagung

Ich möchte diese Masterarbeit meine Mutter Nada Blazevic widmen, die mir durch ihr großes Interesse an meiner Arbeit, sowie durch ihre moralische und finanzielle Unterstützung mein Studium in Österreich ermöglicht hat.

Diese Masterarbeit entstand am Institut für Hochbau und Bauphysik der Technischen Universität Graz unter der Betreuung von Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Mag. Dr.jur. Dr.techn. Peter Kautsch, bei dem ich mich an dieser Stelle für viele wertvolle Anregungen und für seine konstruktive Kritik bei der Vorbereitung dieser Arbeit bedanken möchte.

Bedanken möchte ich mich auch bei o. Univ. Prof. Arch. DI Karla Kowalsky und Frau Arch. DI Gabriele Steinmann aus dem Architekturbüro „Szyszkowitz-Kowalsky“, Herrn Ing. Joachim Eisenberger (Firma „Strabag“ ) und bei Herrn Ing. Wascher, deren Unterstützung eine große Bereicherung für meine Arbeit war.

Besonderer Dank gilt meinen Freunden Danilo Milovic und seiner Frau Dipl. –Ing. (FH) Mirela Milovic für die Begleitung meiner Arbeit.

Meinem Bräutigam Boris Raso innigen Dank für die alltägliche Unterstützung und Hilfe während der gesamten Studienzeit.

---

## ▪ Kurzfassung

Diese Masterarbeit ist am Institut für Hochbau und Bauphysik der Technischen Universität Graz verfasst worden. Die Masterarbeit beinhaltet einen Überblick über die Entwicklung von GlasDoppelFassaden, einen Vergleich der möglichen Ausbildungen von Doppelfassaden sowie ihre Vorteile und Nachteile im Gegensatz zur Einschaligen Fassade. Das Hauptaugenmerk liegt in der praktischen Verwendung auf bestehenden Gebäuden. Als theoretische Grundlage wurden Untersuchungen von bereits geplanten und gebauten Doppelfassaden, sowie andere wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema verwendet.

Durch die zwei nebeneinander aufgestellten Glassfassaden und den Hohlraum der dazwischen entsteht wird ein modernes und energiesparendes System, die so genannte „GlasDoppelFassade“, erreicht. Die natürliche Fensterlüftung im Fassadenzwischenraum verbessert das Raumklima bzw. den sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz. Die Sonnenschutzsysteme im Fassadenzwischenraum werden durch die Sekundärfassade besonders geschützt. Ein verbesserter Schallschutz, aufgrund des innerstädtischen Außenlärms, wird durch den Bau der Doppelfassaden als zusätzlichen Mehrwert erreicht. Sehr viele Vorteile beinhaltet dieses neuartige Fassadensystem im innerstädtischen Bereich und hat in der Gruppe des zukünftigen Baus von energieeffizienten Gebäuden Fuß gefasst, mit dem eine neue Bauepoche eingeleitet wurde.

Die entstehenden Mehrkosten dieser neuartigen Fassadensystemen stehen klarerweise dem erzieltem Mehrwert gegenüber. Deshalb wird in dieser Arbeit besonders auf mögliche Begründungen dieser Mehrkosten mit Hilfe praktischer Beispiele und bauphysikalischer Untersuchungen (wie in der Kapitel 8 beschrieben) hingewiesen.

---

## ▪ Summary

This master thesis was written at Institute of Structural Engineering and Building Physics at the Graz University of Technology. The thesis includes an overview of the development of glass double façades, a comparison of possible forms and varieties of double façades as well as their advantages and disadvantages in contrast to the single skin façade. The main focus lies in the practical use of existing buildings. The theoretical basepoint is analyzing already planned and existing double façades. Other scientific works have been also used for this topic.

Through the two adjacent set of glass façades and the cavity of the intermediate, results in a modern and energy - saving system, the so - called "double glass façade,". The natural window ventilation in space between two façades improves the indoor climate and provides summer and winter thermal protection. The sun protection in this space will be mainly protected by the second façade. An improved sound insulation, created to lower the level of external noise is achieved through the construction of double façades as an added value. There are many benefits in the downtown area from these new façade systems. This new system represents a foundation of future energy – efficient constructing, which launched a brand new architectural era.

The additional costs of these new façade systems clearly explain the added value created. Therefore in this work one will focus especially on description of possible explanations of these additional costs with the help of practical examples and building physical examinations (as pointed in Chapter 8).

## ▪ Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| ▪ Eidesstattliche Erklärung .....                         | i         |
| ▪ Danksagung.....   | I         |
| ▪ Kurzfassung .....                                       | II        |
| ▪ Summary .....   | III       |
| ▪ Inhaltsverzeichnis.....                                 | IV        |
| <b>1 Einleitung.....</b>                                  | <b>1</b>  |
| 1.1 Historische Entwicklung von Doppelfassaden .....      | 2         |
| 1.2 Warum Doppelfassaden? .....                           | 6         |
| 1.3 Werkstoff Glas .....                                  | 7         |
| 1.4 Definitionen .....                                    | 8         |
| 1.5 Glas als Basismaterial von Doppelfassaden .....       | 10        |
| <b>2 Arten und Prinzipien.....</b>                        | <b>12</b> |
| 2.1 Grundlage.....  | 12        |
| 2.2 Typologie .....                                       | 14        |
| 2.2.1 Unsegmentierte Vorhangfassade.....                  | 15        |
| 2.2.2 Umluftfassaden .....                                | 17        |
| 2.2.3 Korridorfassade.....                                | 18        |
| 2.2.4 Kasten-Kasten Fassaden.....                         | 20        |
| 2.2.5 Schacht-Kasten-Fassaden .....                       | 23        |
| 2.3 Vorteile und Nachteile von Doppelfassaden (GDF).....  | 24        |
| 2.4 Vergleich Einschalige Fassade vs. Doppelfassade ..... | 27        |
| <b>3 Außenklima.....</b>                                  | <b>29</b> |
| 3.1 Lufttemperatur .....                                  | 30        |
| 3.2 Sonnenstrahlung .....                                 | 31        |
| 3.3 Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert) .....             | 32        |

---

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 3.4       | Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert).....                                | 34         |
| 3.5       | Lichttransmissionsgrad ( $\tau_l$ -Wert).....                           | 36         |
| <b>4</b>  | <b><i>Ein- und Mehrschalige Glasfassade.....</i></b>                    | <b>37</b>  |
| 4.1       | Einschalige Fassade.....  | 37         |
| 4.2       | Doppelfassaden.....   | 38         |
| 4.3       | Beispiel.....   | 42         |
| <b>5</b>  | <b><i>Raumklima.....</i></b>  | <b>45</b>  |
| <b>6</b>  | <b><i>Sonnenschutz.....</i></b>   | <b>47</b>  |
| 6.1       | Grundlage zum Sonnenschutz.....   | 48         |
| 6.2       | Anforderungen an Sonnenschutzmaßnahme.....                              | 54         |
| 6.3       | Sonnenschutzmaßnahme.....   | 55         |
| <b>7</b>  | <b><i>Schallschutz.....</i></b>   | <b>64</b>  |
| 7.1       | Außenlärmpegel.....   | 65         |
| 7.2       | Interner Schallschutz.....  | 67         |
| <b>8</b>  | <b><i>Beispiele von Doppelfassaden an bestehenden Objekten.....</i></b> | <b>68</b>  |
| 8.1       | Steiermärkische Sparkasse- Andreas-Hofer-Platz 9, Graz.....             | 68         |
| 8.2       | Capitol Office Center- Conrad von Hötzendorf Straße 68, Graz.....       | 77         |
| 8.3       | Gebäude des Feuerwehr am Lendplatz, Keplerstrasse/ Lendplatz, Graz..... | 88         |
| 8.4       | Bürogebäude - Schubertstraße 39, Graz.....                              | 95         |
| 8.5       | Uniqa-Tower, Aspernbrückengasse/ Untere Donau Strasse, Wien.....        | 104        |
| <b>9</b>  | <b><i>Schlussfolgerungen.....</i></b>                                   | <b>117</b> |
| <b>10</b> | <b><i>Abbildungverzeichnis.....</i></b>                                 | <b>118</b> |
| <b>11</b> | <b><i>Tabellenverzeichnis.....</i></b>                                  | <b>122</b> |
| <b>12</b> | <b><i>Literaturverzeichnis.....</i></b>                                 | <b>123</b> |

---

## 1 Einleitung

Sehr stark wechselnde Klimabedingungen, wie z.B. Wind, Wärme oder Kälte wirken auf Gebäude ein. Die Fassade ist eine Schnittstelle zwischen Umwelt und dem Gebäude und muss daher wie eine durchlässige Membrane sein. Auch ist die Fassade ein zentrales Gewerk bei der Erstellung eines Gebäudes. Mit ihrer optischen Wirkung bestimmt sie das Erscheinungsbild und ist für die Gesamtkosten ein bestimmender Faktor (ca. 25 %) /4/

Ein proaktives Konzept für eine steuerbare Gebäudehülle ist die zweischalige Fassade, bei der durch Veränderung der Luftführung und durch verschiedene optische Elemente die Durchlässigkeit für Licht, Wärme, Luft und Schall geregelt werden kann. Die zweischalige Fassade beruht auf einem Prinzip, das auch in der Natur zu finden ist. „Konzeptionell ist die Mehrschichtigkeit der Fassade vergleichbar mit den verschiedenen Luftschichten der Erdatmosphäre, die durch jeweils unterschiedlich starke Filterung, Absorption, Transmission und Reflektion der verschiedenen kosmischen Strahlungen ein Klima auf der Erdoberfläche erzeugen, das Leben ermöglicht.“ /3/ Eine Gebäudehülle haben heißt daher, ähnlich wie eine atmosphärische Schicht, durch Luftbewegung zwischen den verschiedenen Schichten tauschen Stoffe und Energie.

Als Nomenklatur für das neue System benutzt man daher auch gerne „Membrane“ oder „Haut“, um eine neue Gebäudehülle zu beschreiben. Diese übertragen eine Idee von neuartigen Fassadenhüllen in unsere heutige Bauwelt. Laut Oswald: „...Sie wird nicht mehr angesehen als eine starre Grenze zwischen zwei abgeschlossenen Welten, sondern als eine vermittelnde Übergangszone zwischen zwei sich wechselseitig beeinflussenden Bereichen.“ /3/

Eine Doppelfassade kann als traditionelle einfache Glasfassade definiert werden, welche mit einer zusätzlichen verglasten Außenfassade ergänzt wird. Jede dieser beiden Fassaden wird als Schale (skin) bezeichnet. Globales Ziel war die Minimierung des Verbrauchs an Energie eines Gebäudes bzw. der Heizung, Lüftung, Beleuchtung und Kühlung, und restlich vorhandene Energie zu nutzen.

Moderne Fassaden sind nicht nur der klimatische Abschluss des Gebäudes. Die aktuelle Entwicklung in der Fassadentechnik geht in Richtung einer ganzheitlichen Betrachtung des Gebäudes. Dabei übernimmt die Fassade neben den Funktionen des Schall-, Regen- und Wärmeschutzes auch Aufgaben der technischen Gebäudeausstattung. Insbesondere bei der Sanierung von Bürobauten ist eine umfassende, integrale Betrachtung der Bauaufgabe wichtig.

## 1.1 Historische Entwicklung von Doppelfassaden

Die Geschichte der Doppelfassaden wird in vielen Büchern, Berichten und Artikeln dokumentiert und werden mit verschiedensten Begriffen wie Intelligente Fassade, Synergie-Fassade, High-Tech-Fassade oder Twin face bezeichnet.

Laut Saelens (2002) wurde eine frühe Version einer hinterlüfteten Mehrfachfassade schon 1849 von Jean-Baptiste Jobard beschrieben. Jobard, damals Direktor des Industriemuseums in Brüssel, erklärte wie im Winter heiße und im Sommer kalte Luft zwischen zwei Glasschichten strömen sollte. /6/ Laut Crespos erschienen zweischalige Vorhangwände das erste Mal im Jahre 1903, in der Steiff Fabrik in Giengen, Deutschland. /6/ Dabei war unter Berücksichtigung der Witterung und der starken Winde in dieser Region, die Maximierung der Tageslichtnutzung, das Hauptziel. Die Lösung bestand aus einem dreistöckigen Bau, mit einem Erdgeschoss für Lagerzwecke und den zwei oberen Stockwerken als Arbeitsbereich.



Abbildung 1: Glas-Fabrikhalle aus 1903, Blick aus der Cafeteria des Steiffmuseums auf eine der Produktionshallen, /7/

Durch den Erfolg des Gebäudes folgten zwei Zubauten in den Jahren 1904 und 1908, die ebenfalls auf einer Doppelfassade beruhten, aber aus Budgetgründen aus Holz anstelle von Stahl gebaut wurden. Alle Gebäude sind nach wie vor im Gebrauch./6/

1903 gewann Otto Wagner den Wettbewerb für die Postsparkasse in Wien, Österreich. Das Gebäude wurde in zwei Phasen zwischen 1904 und 1912, mit einem zweischaligen Dachfenster in der Haupthalle, errichtet.



Abbildung 2: Postsparkasse Wettbewerb Wien,  
Otto Wagner, 1903, /8/

Ende der 1920er Jahre wurden Doppelfassaden entwickelt, die andere Prioritäten erhalten. Zwei charakteristische Beispiele dafür finden sich einerseits in Russland, wo Moisei Ginzburg mit Doppelfassadenstreifen an Gemeindewohnbauten des Narkomfin Komplexes (1928) experimentierte. Andererseits in Frankreich, wo Le Corbusier ein Jahr nachdem er das Moskauer Centrosoyus entwarf, in Paris das Design für die Cite de Refuge (1929) und Immeuble Clarte (1930) vorlegte. /5/

Zu deren Beseitigung schlug Le Corbusier bereits 1929 zwei Gegenmaßnahmen vor: "la respiration exacte" ("ein genau reguliertes mechanisches Be- und Entlüftungssystem") und "le mur neutralisant": "... neutralisierende Mauern sind aus Glas, aus Stein oder beiden Materialien

(gemischt) gebaut. Sie bestehen aus zwei Membranen, die einen Zwischenraum von einigen Zentimetern haben. Durch diesen Membran Zwischenraum, der das Haus umgibt, leitet man zum Beispiel in Moskau Heißluft und in Dakar Kaltluft, ein.

Ergebnis: Auf diese Weise erreicht man, dass die Innenwand (die Innenmembran) konstant eine Temperatur von 18 ° behält. Das Haus ist hermetisch abgedichtet! Kein Staub wird künftig mehr eindringen. Keine Fliegen, keine Schnaken werden hereinkommen. Und kein Lärm!" /11/

Die Idee der Wandauflösung und des Einbaues geschoßhöher Glasscheiben wurden von Le Corbusier, Mies van der Rohe und Walter Gropius in den darauffolgenden Jahren fortgeführt. Das Konstruktionsprinzip der Vorhangfassade wurde dabei auch auf Hochhäuser angewendet.

Ebenfalls Ende der 50er Jahre ermöglichte das von Alastair Pilkington entwickelte Floatverfahren die Produktion von noch mehr Glas zu noch niedrigerem Preis. Etwa zur selben Zeit wurde allerdings auch die Kritik an der Energieverschwendung durch vollflächige Glashüllen unüberhörbar, und fand ihren Höhepunkt in der Energiekrise der Jahre 1973/74./9/

In den 60er Jahren wurden vereinzelt weitere „Zweit-Haut-Fassaden“ realisiert, wie die Bibliothek der Geisteswissenschaftlichen Fakultät der Universität Cambridge, England 1964 - 68 von James Stirling./9/Diese Gebäude ist unter den ersten neungeschossigen Gebäuden aus jüngerer Zeit.



*Abbildung 3: Bücherei der Geschichtlichen Fakultät in Cambridge, England (Architekt: James Stirling) /12/*

Bis in die späten 70er und frühen 80er gab es im Bereich der Doppelfassaden kaum Fortschritte. Erst Mitte der 80er gewann diese Art von Fassade wieder an Aufmerksamkeit, da Umweltaspekte

ein gutes Argument für ein derartiges Design waren; Beispiele aus dieser Zeit sind die Büros von Leslie und Godwin. In anderen Fällen war der ästhetische Eindruck der mehrfachen Glasschichten der Hauptgrund.

Seit etwa den 90er Jahren beschäftigte sich die Fachliteratur intensiver mit Thema „Doppelfassade“. Ab 1996 häufen sich kritische Stimmen, welche bauphysikalische Nachteile, nicht vorhersehbare energetische Auswirkungen sowie erhöhte Investitions- und Betriebskosten betonen. /9/

In Deutschland werden seit einigen Jahren rund die Hälfte aller großen Büro- und Verwaltungsgebäude (Höher als 100 m) sowie eine Vielzahl kleinerer Gebäude in doppelschaliger Bauweise ausgeführt. /10/ Die Fassaden haben die Aufgabe, Komfort und Energie gleichzeitig zu optimieren. Diese soll dadurch erreicht werden, dass die Komponenten der technischen Gebäudeausrüstung nur in Extremsituationen zum Einsatz kommen müssen und mit minimalem Energieeinsatz ein behagliches Raumklima sicher gestellt wird.

Forschungsergebnisse über den rund 200 bestehenden Gebäuden in Deutschland zeigen die Entwicklung von Doppelfassaden zwischen 1990 und 2001.

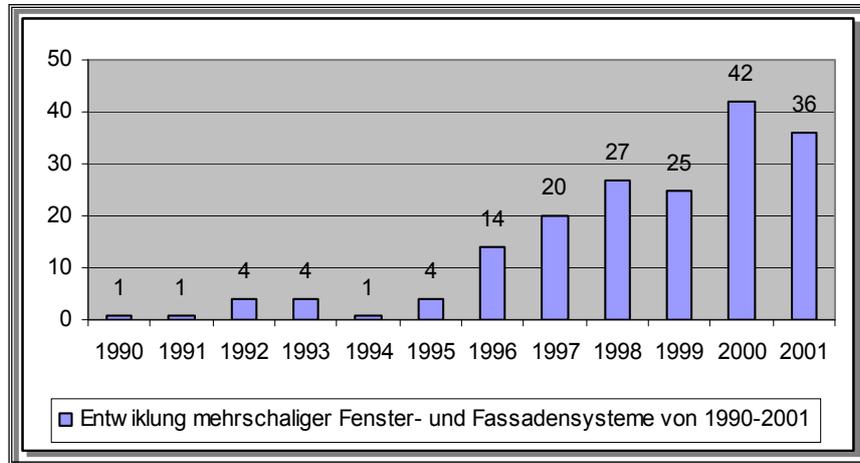


Abbildung 4: Entwicklung Mehrschaliger Fenster- und Fassadensysteme von 1990-2001, /13/

Ab der Mitte der neunziger Jahre erfolgt ein Aufstieg der Entwicklung von Mehrschaligen Systemen und im Jahr 2000 ihr Maximum erreichen. Im Vergleich zu 1995, ist die Entwicklung rasant gestiegen und erfährt eine Erhöhung um circa das zehnfache.

Die Auswertung der ausgeführten Mehrschaligen Systeme zeigt, dass es sich bei über 95% um Zweit-Haut-Systeme handelt. Hierbei liegen die Mehrgeschossfassaden mit 57 Gebäuden vor den Korridorfassaden mit 41, den Kastenfenstern mit 26 und den Kastenfensterfassaden mit 25

---

Gebäuden. Damit haben Kastenfenstersysteme einen Anteil von 51 Gebäuden und liegen knapp hinter den Mehrgeschosssystemen. Schachtkastenfassaden kommen nur bei 10 Gebäuden und damit relativ selten zur Anwendung. /13/

## 1.2 Warum Doppelfassaden? /13/

Der zunehmende und großflächige Einsatz von Glas in den letzten Jahrzehnten ist neben dem Wunsch nach konstruktiven und gestalterischen Veränderungen auch als Ausdruck einer energiesparenden Denkweise zu sehen. Die Verwendung und Entwicklung mehrschaliger Glaskonstruktionen kann neben der Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften der Außenhaut auch eine Verringerung des Energieverbrauchs ermöglichen.

Neben neuwertigen Gebäuden und ihrem verbesserten Sonnen-, Schall-, Wärme- und Witterungsschutz bzw. der modernen Gestaltung von Büro- und Verwaltungsgebäuden, haben Doppelfassaden auch ihre Anwendung bei der Sanierung bestehender Altbauten gefunden.

Gut 30 % der Gebäude sind Hochhäuser. Größtenteils haben diese Gebäude zwischen 8 und 20 Geschosse und nur 8% mehr als 20 Geschosse. Über die Hälfte aller Gebäude hat eine Höhe zwischen 4 und 7 Geschossen und repräsentiert eine innerstädtische und verdichtete Bauweise unter der Hochhausgrenze. Bei diesen Gebäuden und Standorten ist von einer hohen Verkehrs- und Lärmbelastung auszugehen.

Bei etwa 50% der Gebäude dient die „Mehrschaligkeit“ der Verbesserung des Schallschutzes in Kombination mit einer natürlichen Fensterlüftung.

Bei 15% der Gebäude können Energieeinsparungen im Bereich der Raumluftechnik und Heizung, als Folge einer natürlichen Fensterlüftung oder der Pufferwirkung, angenommen werden.

Bei 10% dient die „Mehrschaligkeit“ einer Verbesserung des Sonnenschutzes und bei etwa 7% des Schallschutzes, ohne dass damit eine natürliche Fensterlüftung angestrebt wird.

In einem Interview äußert sich Prof. Gertis Karl zu diesem Thema: „Ich habe gesagt, wir wenden sehr viel Intelligenz dafür auf, um Probleme zu lösen, die wir nicht hätten, wenn wir nicht „intelligent“ bauen würden. Man kann natürlich auch eine Doppelfassade mit vielen Klimazügen hinkriegen- die Frage ist nur, ob sie sinnvoll ist. Wenn sie die selbst erzeugten Probleme Schritt für Schritt abarbeiten und mit viel Intelligenz lösen- von der Akustik über Raumklima bis zur Energie, bis zum Sonnenschutz, bis zu den Anpressdrücken, bis zum Licht und zum Tauwasser- dann kommt ein einigermaßen passables Gebäude heraus. Aber wirtschaftlich ist das nach meiner Erfahrung nicht. Ich habe bisher kein einziges Objekt dieser Art kennengelernt, das unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten einem anders gebauten standgehalten hätte.“

---

Die Doppelfassade ermöglicht durch die Schutzfunktion der äußeren Glasfassade das Öffnen von Fenstern bei Gebäuden größerer Höhe. Außerdem bleibt der Sonnenschutz wegen des Windschutzes stets vereinbar.

Doppelfassaden schützen zudem vor Außenlärm und Fenster können zum Lüften auch dann geöffnet werden, wo bei einer Einschaligen Fassade der Lärmpegel schon unerträglich wäre und ermöglichen daher ein Bauen in hoch belasteten Einsatzgebieten.

Neben den vielen Vorteilen von Doppelfassaden wird eine neue Epoche der modernen Architektur auch aus optischer Sicht geprägt.

### 1.3 Werkstoff Glas /19/

Glas ist ein organisches Schmelzprodukt, welches durch eine kontrollierte Kühlungstechnik ohne Kristallisation vom flüssigen in den festen Zustand übergeht. Deshalb wird es auch als erstarrte Flüssigkeit definiert. Die besonderen Eigenschaften von Glas bezüglich Lichtdurchlässigkeit, thermisches Verhalten, Biegefestigkeit usw. sind bedingt durch den Strukturzustand und die Zusammensetzung. Glas ist isotrop wegen der fehlenden Kristallgitter, egal in welche Richtung gemessen.

Optische Eigenschaften: Die „Transparenz“ des Glases ist das wichtigste Merkmal bei seiner Verwendung im Bauwesen. Die Eigenschaften bezüglich Durchlässigkeit und damit Durchsichtigkeit sind auf den unterkühlten Zustand zurückzuführen. Da die kristalline Struktur fehlt, kommt es zur Lichtdurchlässigkeit und Streuung des Lichts.

Thermische Eigenschaften: Der Wärmedurchgang bei normalem Floatglas hängt am meisten von den Wärmeverlusten und damit verbundenem Heizaufwand ab. Durch konstruktive Maßnahmen, kann die Wärmestrahlung durch Beschichtungen und die Konvektion verändert werden, während der Wärmewiderstand infolge Wärmeleitung nur unwesentlich mit der Scheibenstärke abhängig ist.

Technische Kenngrößen: Die am wichtigsten Glas-Kenngrößen sind Lichtdurchlässigkeit, Strahlung und Wärmetransport. Die Strahlungsdurchlässigkeit einer oder mehrere Glasscheiben beschreiben Reflexion, Absorption und Transmission. Sie werden als prozentualer Anteil des gesamten Strahlungseinfalls ausgedrückt.

## 1.4 Definitionen /21/

**Wärmeübertragung** ist der Transport Thermischer Energie infolge eines Temperaturunterschiedes über mindestens eine Systemgrenze hinweg. Diese transportierte Energie wird als Wärme bezeichnet und ist eine Prozessgröße. Die Wärmeübertragung kann auf drei (3) Arten erfolgen:

Bei der **Wärmeleitung** (Konduktion), wird kinetische Energie zwischen benachbarten Atomen oder Molekülen ohne Materialtransport übertragen. Diese Art der Wärmeübertragung ist irreversibel und transportiert die Wärme, bilanzmäßig gesehen, immer vom höheren Energieniveau (mit höherer absoluter Temperatur) auf das niedrigere Niveau (mit niedrigerer Temperatur).

Die **Wärmestrahlung** (Radiation), nach dem Stefan-Boltzmann-Gesetz ist ein Teil der elektromagnetischen Wellen. Meist wird die Energie durch infrarote Wellen, die ein Teil des elektromagnetischen Spektrums sind, transportiert. Bei der Wärmestrahlung gibt es nicht nur eine Wärmeübertragung von warm nach kalt, sondern auch von kalt nach warm. Der Wärmestrom von warm nach kalt ist aber immer größer als umgekehrt, so dass die Resultierende von beiden Wärmeströmen immer von warm nach kalt zeigt.

Bei der **Wärmeströmung** (Konvektion) wird Wärme von einem festen System auf ein strömendes Fluid übertragen und als innere Energie mitgeführt oder es wird umgekehrt ein fester Körper von einem wärmeren Fluid angeströmt und „aufgeheizt“.

Unter **Reflexion** (lat. *reflectere*: zurückbeugen, drehen) wird in der Physik das vollständige oder teilweise Zurückwerfen von Wellen (elektromagnetischen Wellen, Schallwellen, etc.) an einer Grenzfläche, das heißt dort, wo sich der Wellenwiderstand (oder bei Lichtstrahlen die Brechzahl) des Mediums ändert. Bei glatten (bzw. gegenüber der Wellenlänge kleinen Rauigkeitsstrukturen) Oberflächen gilt das Reflexionsgesetz, welche am Beispiel elektromagnetische Welle erklärt wird:

Auf der *Abbildung 5* trifft ein Strahl von links oben auf die Oberfläche eines Mediums mit anderen Strahlungsausbreitungseigenschaften. Ein Teil der Strahlung wird zum Lot hin gebrochen, ein anderer reflektiert.

Der Einfallswinkel und der Reflexionswinkel (auch Ausfallswinkel) sind, bezogen auf das Einfallslot, gleich, was formal aus den Stetigkeitsbedingungen der Wellen an Grenzflächen folgt.

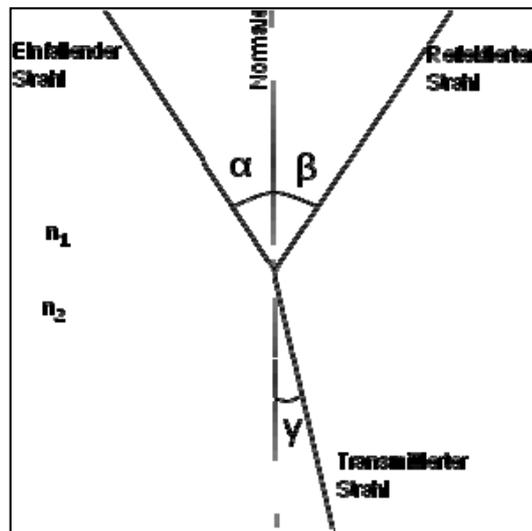


Abbildung 5: Strahlung trifft von links oben auf reflektierende Fläche, /20/

Der Begriff **Absorption** (lat.: absorptio = Aufsaugung) bezeichnet im Allgemeinen das Aufsaugen, das In-sich-Aufnehmen von etwas, und ist nicht zu verwechseln mit der Adsorption. Wenn Strahlung an einer Oberfläche reflektiert oder in einem Material absorbiert werden kann, wird die Stärke der Absorption durch einen Materialparameter beschrieben, den Absorptionsgrad  $\alpha$ , der in der Regel von einer Vielzahl von Parametern (Temperatur, Wellenlänge) abhängig ist und bei großen Feldstärken nichtlinear werden kann.

Die **Transmission** (von lat. trans „(hin)durch“ und mittlere „schicken“) ist in der Physik eine Größe für die Durchlässigkeit eines Mediums für Wellen wie zum Beispiel Schallwellen oder elektromagnetische Wellen (Licht usw.).

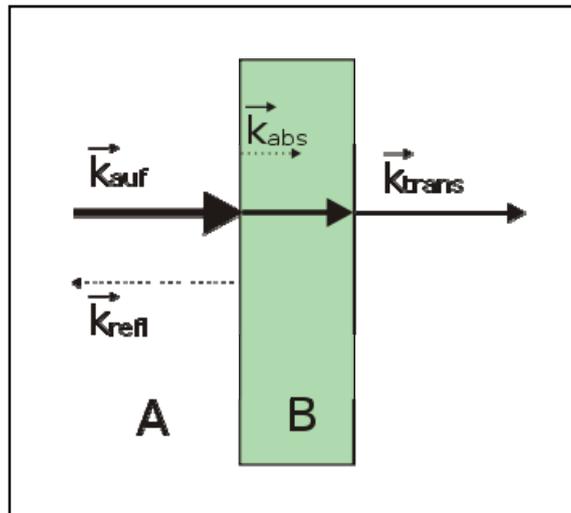


Abbildung 6: Transmission, Reflexion und Absorption einer Welle durch ein Medium B /20/

Trifft eine Welle, die sich im Medium A bewegt, auf ein Medium B endlicher Dicke, so wird sie je nach den Stoffeigenschaften des Hindernisses zum Teil an den Grenzflächen reflektiert und beim Durchqueren ganz oder teilweise absorbiert. Der verbleibende Rest wird durch das Medium B hindurch transmittiert und tritt an der gegenüberliegenden Seite des Mediums B wieder aus.

## 1.5 Glas als Basismaterial von Doppelfassaden

Sei es als Fensterscheibe in einer Lochfassade oder als Raum hohe Verglasung in einer vorgehängten Fassade, Glas kommt bei fast allen Fassadenformen zum Einsatz. An Glas werden unterschiedliche Ansprüche in verschiedenen Anwendungsgebieten gestellt.

Für eine Fensterscheibe hat das Glas folgende bauphysikalische Eigenschaften:

- Wärmedämmung,
- Schallschutz oder
- Absturzsicherung.

Für eine vorgehängte Fassade stellt sich

- Wärmedämmung,
- Schallschutz
- Absturzsicherung und
- Blendschutz

als besondere Anforderungen an die verwendeten Produkte. Häufig verwendete Erzeugnisse, die diese Anforderungen erfüllen, sind Wärmeschutz-, Sonnenschutz- oder Schallschutzgläser.

---

Außerdem können auch Verbundsicherheits- (VSG) oder Einscheibensicherheitsgläser (ESG) sowie Brandschutzgläser angewendet werden. Weiteres können gefärbte, verspiegelte und/oder bedruckte Gläser zu Einsatz kommen.

Bei GlasDoppelFassaden ist die äußere Verglasung meistens Weisglas mit hohem Lichttransmissionsgrad. Deshalb wird die Lichtdurchlässigkeit der Gesamtfassade obwohl der zusätzlichen Verglasungsebene nur unwesentlich herabgesetzt.

Durch die Verwendung einer äußeren Einfachverglasung kommt es zu einer reduzierten Befestigung welche aufgrund des geringeren Gewichts begünstigt wird. Diese Verglasungsart wurde bisher häufig als ESG ausgeführt, wird jedoch mittlerweile fast immer als VSG gefordert.

/13/

Nächste Auswertung zeigt Glaslagerung und –Befestigung Glasfassaden: /13/

- 49% linienförmige Lagerungen in Form von Rahmenkonstruktion
- 31% gebohrte Punkthalterung
- 12% kombinierte Linien- und Punkthalterung (die Punkthalterung trägt der horizontalen Winddruck- und Windsoglasten ab)
- 7% geklemmte Punkthalterungen

Die punktförmigen Befestigungen werden als gebohrte Halter, Klemmteller oder Klebungen ausgebildet.

Die innere Fassade wird meistens aus Glas-Holz-Konstruktionen hergestellt, wobei wird in der Regel Zweischiebenisolierversglasung verwendet. /9/ Aluminium dominiert in beiden Fassadenebenen als Rahmenmaterial zur Befestigung. Im Folgende werden vom Auftraggeber gewünschte Anforderungen beschrieben, Begriffe erläutert und auf Vorschriften und Normen hingewiesen: /14/

- Feuchteschutz/ Winddichtigkeit
- Schall
- Brandschutz
- Wärmedämmung
- Absturzsicherung
- Sonnenschutz/ Blendschutz
- Einbruchschutz
- Statik
- Optik und Funktionsfähigkeit
- Reinigung
- Toleranzen

- Bemusterung
- Sonderanforderungen (Radardämpfung, Solarenergie,...)

## 2 Arten und Prinzipien

### 2.1 Grundlage

„Eine hinterlüftete Doppelfassade kann als traditionelle Einschalige Fassade definiert werden, die innen oder außen durch eine zweite – in den meisten Fällen aus Glas bestehende – Fassade ergänzt wird.“ /5/

„Doppelfassaden“ oder „Mehrschalige Glaskonstruktionen“ stehen als Begriff für verschiedene Hüllkonstruktionen und Glasebenen. Sie bestehen aus zwei Glasebenen, Innenfassade (Primärfassade) und Außenfassade (Sekundärfassade), die durch einen Luftkorridor (Fassadenzwischenraum) getrennt sind. Die Glasebene ist nicht unbedingt luftdicht, wie zum Beispiel bei einer „Lüftungsklappe“-Fassaden./5/ Der bis dato meist unter Ausnutzung des thermischen Auftriebs entlüftete Fassadenzwischenraum kann sehr unterschiedlich sein. Die Konstruktionstypen reichen von wenigen Zentimetern tiefen Luftspalten über begehbare Zwischenräume bis hin zu wintergartenähnlichen Aufenthaltsräumen. /9/

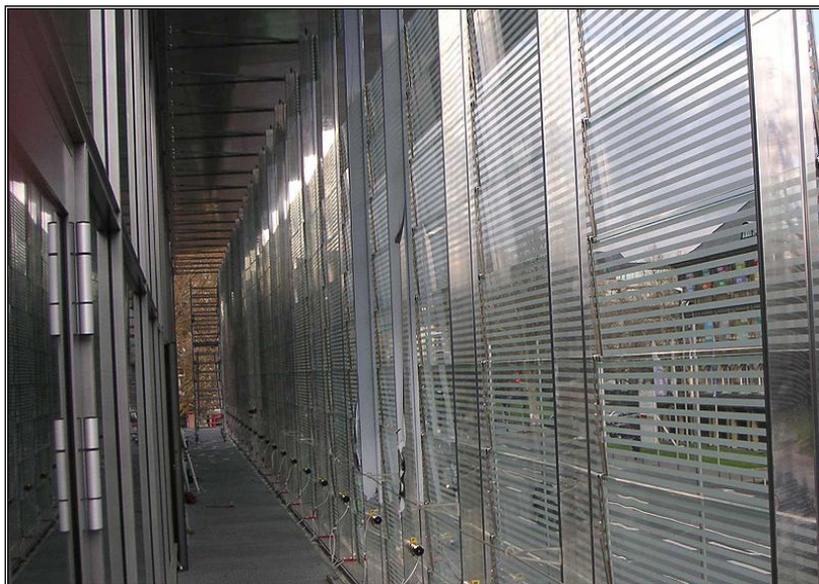


Abbildung 7: Zweit-Haut-Fassade mit Glaslamelle, /18/

---

**Außenfassade:** Hat die Funktion auftretende Umwelteinwirkungen wie solaren Wärmeeintrag, Windlast (vor allem bei hohe Gebäude), Sonnenschutz oder Witterungsbedingungen aufzunehmen. Oftmals werden transluzente Materialien für die äußere Haut verwendet. Sie dienen als Vorsatzschale im Bereich der massiven Brüstungszone und werden im Fassadenzwischenraum im Fenster- oder Oberlichtbereich zur Lichtlenkung eingesetzt. /13/ Die außen Fassaden sind meisten verschließbar (z.B. Lamellen im Kopf- und Fußbereich) und können damit im Winter die auftretenden Transmissionswärmeverluste reduzieren, während im Sommer, im geöffnetem Zustand, eine natürliche Be- und Entlüftung ermöglicht wird.

**Fassadenzwischenraum:** dient neben dem Wärmeschutz in der Regel zusätzlichen Funktionen wie dem Sonnenschutz, der geregelten Luftführung, dem Schallschutz, der Begrünung oder dem Aufenthalt von Personen. /17/ Die Größe, Tiefe und Ausbildung des Fassadenzwischenraumes bestimmen dabei wesentlich die konstruktive Umsetzung und die energetische Eigenschaften der Mehrschaligen Glaskonstruktionen. /17/ Die Belüftung des Fassadenzwischenraumes kann natürlich oder auf mechanische Weise erfolgen. Aus Schutzgründen und zur Unterstützung der Wärmeabfuhr in der Auskühlperiode wird häufig ein Sonnenschutz im Fassadenzwischenraum hergestellt. /5/

**Innenfassade:** dient als Verbesserung des Wärmeschutzes und kann als Isolier- oder Einfachverglasung hergestellt werden. Die Wahl des Glases hängt von der Nutzung und den raumklimatischen Anforderungen ab. Bei Anordnung einer inneren Isolierverglasung übernimmt diese primär die Wärme- und Schallschutzfunktion. Hierdurch werden die Transmissionswärmeverluste reduziert, die Oberflächentemperaturen der inneren Verglasung und die thermische Behaglichkeit erhöht. /13/

Der größte Unterschied zwischen hinterlüfteten Doppelfassaden und luftdichten Mehrfachverglasungen, ob mit oder ohne Sonnenschutz, besteht grundsätzlich in der beabsichtigen und teils kontrollierbaren Belüftung des Hohlraumes der Doppelfassade. /5/

## 2.2 Typologie

Die eindeutige Klassifizierung von Doppelfassaden ist meist schwer da eine Vielzahl an Autoren verschiedene Arten von Doppelfassaden definiert haben.

Nach Gertis (1999) gibt es folgende Unterteilung von Glas-Doppel-Fassade: /17/

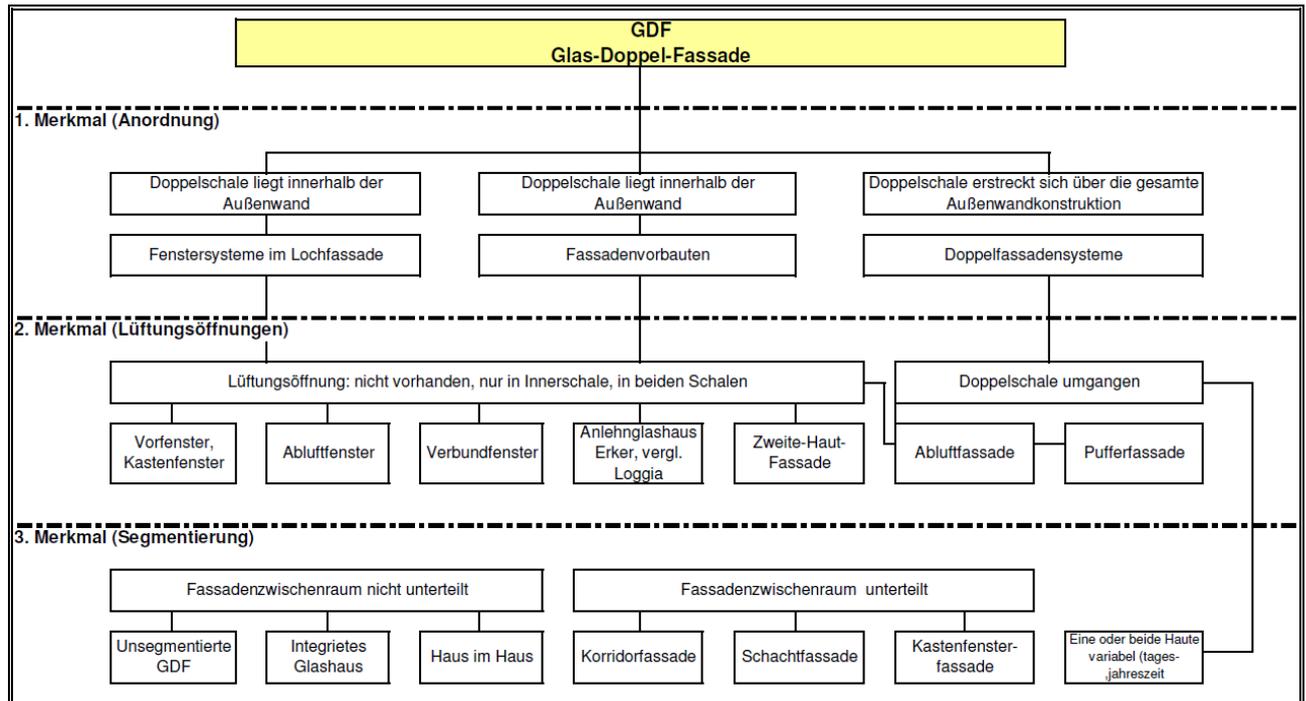


Abbildung 8: Schematische Ordnungsschema für Glasdoppelfassaden, /17/

Nach Blumenberg und Zöllner /10/ können Doppelfassaden unabhängig von lüftungstechnische Funktion unterteilt werden, wie:

- Unsegmentierte Vorhangfassaden
- Umlufffassaden
- Korridorfassaden
- Kasten-Kasten-Fassaden
- Schacht-Kasten-Fassaden

---

Nächste Arten von Doppelfassaden folgen aus verschiedener Fassadenkonstruktion, welche nach Oesterle sind:

- Kastenfenster
- Schacht-Kasten-Fassaden
- Korridorfassaden
- Mehrgeschossfassaden

### **2.2.1 Unsegmentierte Vorhangfassade /10/**

Dieser Fassadentyp ist die am einfachste Form von Doppelfassaden und dient hauptsächlich der Sanierung der Gebäudeaußenhaut und der Verbesserung des Schallschutzes. Andererseits beschränkt sich das Verwendungsgebiet bei Gebäuden mit geringer Bauhöhe. Der Abstand zwischen innerer und äußeren Glasfassade ist von 0,3 bis 2,0 m /9/ und der Fassadenzwischenraum ist weder in horizontaler noch in vertikaler Richtung unterteilt; diese Unterteilung kommt vor allem aus Schallschutzgründen zum Einsatz. Die Fassade ist in der Regel nach allen vier Seiten geöffnet. Aber eine bessere Lösung ist, an beiden Seiten durch vertikal verlaufende Lisenen den Fassadenzwischenraum zu schließen und unten am Fuß eine regelbare Klappe herzustellen. Diese Lösung verbessert den winterlichen Wärmeschutz. In der wärmeren Jahreszeit sind sie geöffnet, so dass die warme Luft oben herausströmen kann. Nachteile dieses Fassadentyps sind

- eingeschränkte Fensterlüftung, weil die Luft von unten kommt,
- Trennung in Brandabschnitte ist nicht möglich,
- Starke Aufheizung der Luft im oberen Teil der Fassade
- etc.

Ein bekanntes Beispiel dieses Fassadentyps ist das Verwaltungsgebäude „Victoria-Ensemble“ in Köln (Architekten: Thomas van den Valentyn (1996)), /9/

| Victoria-Ensemble, Köln |   |  |
|-------------------------|---|--|
| Systematik der Fassade  |   |  |
| Leitfunktion            | Umsetzung   | Lösungsvariante  |
| Sommerliche Wärmeschutz | Sonnenschutzvorrichtungen   | Lamellenjalousie im Zwischenraum an innerer Fassade<br>innen: WSG                                |
|                         | Öffnung nach außen  | verschwenkbare Klappe an Kopf und Fuß der Fassade  |
| Winterliche Wärmeschutz | Verglasung  | außen: VSG 2x einfach mit Wärmeschutzbeschichtung<br>innen: WSG                                  |
| Lüftung                 | kein Luftaustausch zwischen Fassade und Raum                      | Klimatisierung der Nutzungseinheiten, freie Zirkulation der Luft im Zwischenraum (Pufferfassade) |
| Lichtführung            |   | keine besondere Maßnahme   |
| Schallschutz            | Abtrennungen im Zwischenraum<br>Versperrungsgrad der Außenfassade | keine Trennung horizontal oder vertikal<br>verschwenkbare Klappe an Kopf und Fuß der Fassade     |
| Brandschutz             | Abtrennungen<br>aktive Maßnahmen                                  | keine Trennung horizontal oder vertikal<br>Sprinklerung der Nutzungseinheit                      |

Tabelle 1: Victoria-Ensemble, Köln /1/



Abbildung 9: Bürokomplex „Victoris-Ensemble“, Köln,  
Arch: Thomas van den Valentyn (1996) /23/

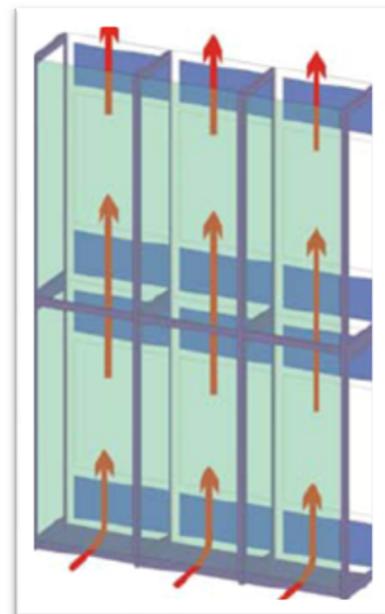


Abbildung 10: Unsegmentierte Vorhangfassade,(Funktionsschema), /9/

## 2.2.2 Umlufffassaden /10/

Dieser Fassadentyp ist ähnlich wie die unsegmentierte Vorhangfassade aber nach dem zweiten oder dritten Geschoss erfolgt ein horizontal verlaufender Riegel (Metall- oder Glaslisenen) im Fassadenzwischenraum. Dadurch entsteht ein umlaufender Fassadenkorridor mit doppelter Geschosshöhe, der an der Ober- und Unterseite klappengesteuerte Öffnungen hat, welche ähnlich wie unsegmentierten Vorhangfassaden bedient werden. Zudem werden über die Fassade mehrere vertikale Ventilatorschienen hergestellt, welche die Luft im Fassadenzwischenraum in horizontaler Richtung umwälzen. Dieses Lüftungssystem hat folgende Vorteile: im Winter kommt es dazu, dass das Gebäude an allen Fassadenorientierungen mit einer weitgehend homogen temperierten Pufferschicht umgeben ist, sowie im Sommer gelangt relativ kühle Luft aus der Fassadennordseite in die Südfassade des Gebäudes. Im Fassadenzwischenraum stellt sich Mischtemperatur ein, die unter dem Niveau einer Südfassade ohne Luftumwälzung liegt.

Ein bekanntes Beispiel dieses Fassadentyps ist das Verwaltungsgebäude der Götz GmbH Im Würzburg, (Architekt: Webler und Geissler) /9/,

| Verwaltungsgebäude II Götz, Würzburg |   |  |
|--------------------------------------|---|--|
| Systematik der Fassade               |   |  |
| Leitfunktion                         | Umsetzung   | Lösungsvariante  |
| Sommerliche Wärmeschutz              | Sonnenschutzvorrichtungen<br>Verglasung<br>Nachtlüftung   | Absorptionsjalousie (Aluminium) im Fassadenzwischenraum<br>außen: Isolierglas (8 ESG/22 Argo/6 LOW-E)<br>innen: Isolierglas (6 ESG/16 Argo/6 LOW-E)<br>passiv möglich (über Atrium)  |
| Winterliche Wärmeschutz              | Öffnung nach außen<br>Verglasung  | gesteuerte Lüftungsöffnungen im Fußpunkt und Attikabereich<br>außen: Isolierglas (8 ESG/22 Argo/6 LOW-E)<br>innen: Isolierglas (6 ESG/16 Argo/6 LOW-E)   |
| Lüftung                              | passive Lufttransport, Lüftaustausch zwischen Fassade und Raum<br>aktive Lufttransport in Fassade | Querlüftung über Atrium<br>Axialgebläse in den Eckpunkt zur Erzeugung einer Horizontalströmung   |
| Lichtführung                         | nachgeführte Systeme  | reflektierende Lamellenjalousien mit leitrechnergesteuerter Winkelansteuerung  |
| Schallschutz                         | Abtrennungen im Zwischenraum<br>Versperrungsgrad der Außenfassade                                 | horizontal: keine, nur Laufgitter<br>vertikal: in den Eckpunkt des Baukörpers durch Glaswände mit Axialgebläsen zur Erzeugung einer Horizontalströmung<br>gesteuerte Lüftungsöffnungen im Fußpunkt und Attikabereich,<br>sonst hermetisch geschlossene Front |
| Brandschutz                          | keine besondere Maßnahme  |  |

Tabelle 2: Verwaltungsgebäude II Götz, Würzburg /1/



Abbildung 11: Verwaltungsbau der Götz GmbH / Würzburg ,  
Arch. Webler & Geissler, 1995) /9/

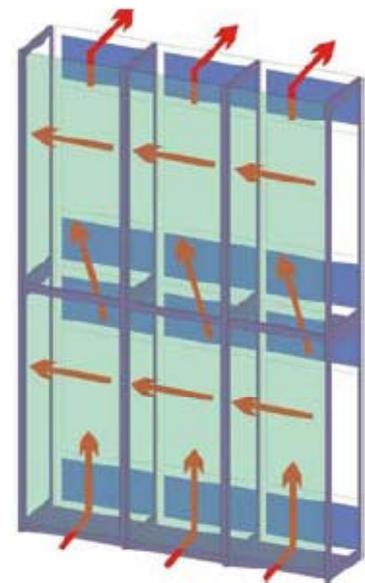


Abbildung 12: Umlufffassaden-  
Funktionsschema) /9/

### 2.2.3 Korridorfassade /10/

Korridorfassaden werden auch in vertikaler Richtung (vertikale Abschottungen) in separate Zonen unterteilt und haben nur, im Gegensatz von Umlufffassaden, horizontale Trennebenen als Korridore. So ergibt sich, dass eine Schalllängsübertragung zwischen den Räumen stattfinden kann, und auch mit Zu- und Abluftöffnungen am Boden und an der Decke nach dem jedem Stock, welchen die Gefahr der Reinfiltration verbrauchte Luft, verringern. Die Vielzahl an Lüftungsöffnungen bedeutet jedoch einen größeren Aufwand. Zur Vermeidung einer Durchmischung ausströmender Abluft und einströmende Zuluft nahe beieinanderliegender Lüftungsöffnungen, können Ein- und Ausströmungen zueinander seitlich versetzt oder mit ausreichenden vertikalen Abstände angeordnet werden. Der Fassadenzwischenraum oder „Fassadenkorridor“ ist oft begehbar. Dieser Fassadentyp hat, in Bezug auf den Brandschutz je ein Vor- und Nachteil. Aufgrund der Geschossabtrennung wird einerseits der Rauchweg verringert, jedoch Hitzestau in oberen Fassadenbereich gefördert.

Diese Fassadenart wurde unter Anderem bei den Projekten, dem Bürogebäude am Halensee in Berlin (Architekten Leon und Wohlhage) und Düsseldorfer Stadttor (Architekten: Petzinka und Partner), realisiert.

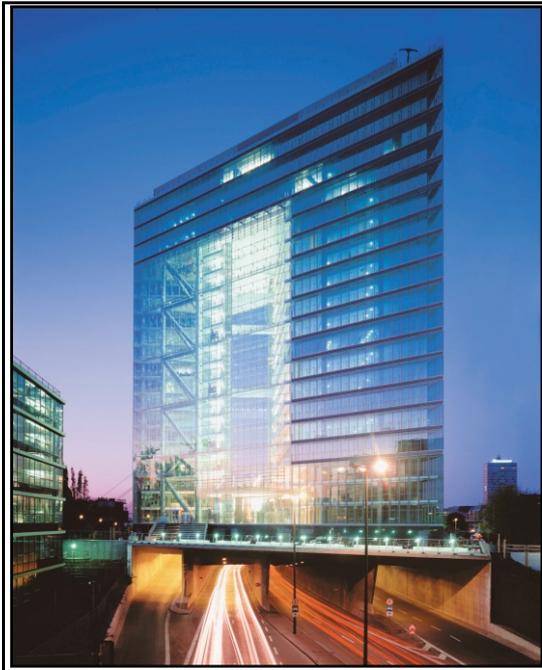


Abbildung 13: Düsseldorfer Stadttor, Arch. Petzinka und Partner, /37/

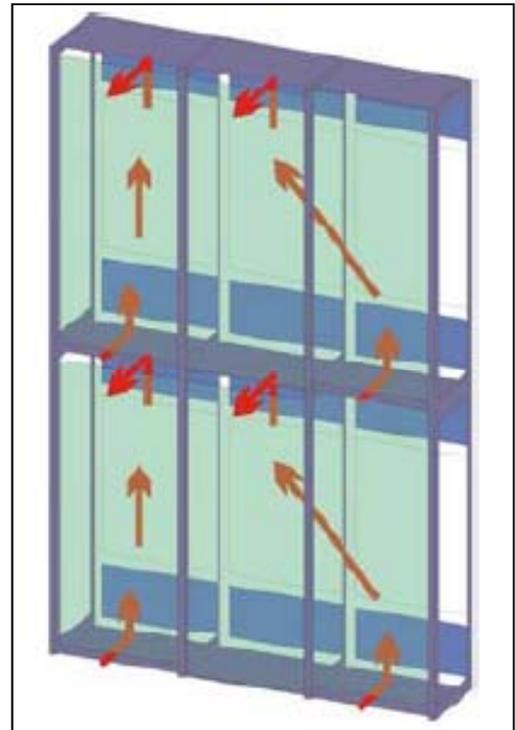


Abbildung 14: Korridorfassade (Funktionsschema)

/9/

Bürogebäude am Halensee:

Quelle:/36/ „Die Außenhaut der Doppelfassade bildet ein hermetisches System mit seiner feststehenden Einscheiben- Sicherheits- Verglasung. Auf Luftschlitze in der Außenhaut wurde



Abbildung 15: Bürogebäude am Halensee in Berlin, Arch.: Leon und Wohlhage, 1996 /9/

verzichtet, da diese den Schallschutz herabgesetzt hätten. Über das Dach wird nachströmende Zuluft in den Fassadenzwischenraum geführt und der 85 cm tiefe, begehbare Zwischenraum wirkt als Dämmolster (passiver Wärmeschutz) und bei Strahlung als Sonnenfalle (aktiver Wärmeschutz). So wird der Heizenergiebedarf erheblich gesenkt und Transmission- und Lüftungswärmeverluste minimiert. Die geringe Abkühlung der Innenfassade erzeugt eine Behaglichkeit an den fensternahen Arbeitsplätzen und durch transluzente Stores (Sonnenschutzrollos) dicht hinter der Außenhaut wird eine Überhitzung verhindert. Nach außen sichtbare

Abluftkanäle sind im Fassadenzwischenraum montiert, so dass die Räume mit einer geringen Luftwechselrate entlüftet werden. Eine flurseitige Querlüftung sorgt für zusätzliche Kühlung innerer Wärmelasten. Durch die zweischalige Fassadenkonstruktion kann das Gebäude in der Nacht problemlos auskühlen, doch muss für eine wirksame Nachtkühlung die gesamte Speichermasse des Gebäudes wirksam werden. Horizontale und vertikale Brandschutztüren unterteilen den Fassadenzwischenraum geschossweise, um Feuerüberschlag zu verhindern.“

| Bürohaus Halensee, Berlin |  |   |
|---------------------------|--|---|
| Systematik der Fassade    |  |   |
| Leitfunktion              | Umsetzung  | Lösungsvariante   |
| Sommerliche Wärmeschutz   | Sonnenschutzvorrichtungen<br>Verglasung  | Screens im Zwischenraum außen<br>innen: WSG   |
| Winterliche Wärmeschutz   | Verglasung   | außen: ESG<br>innen: WSG  |
| Lüftung                   | kein Luftaustausch zwischen Fassade und Raum<br>aktiver Lufttransport in Fassade | Klimatisierung der Nutzungseinheiten<br>Fassadenzwischenraum mit Zuluft-/Abluftsystem                                     |
| Lichtführung              |  | keine besondere Maßnahme  |
| Schallschutz              | Abtrennungen im Zwischenraum<br>Versperrungsgrad der Außenfassade                | nur horizontale Abtrennung<br>vollständig geschlossen   |
| Brandschutz               | Abtrennungen<br>aktive Maßnahmen   | horizontale und vertikale Betonscgürze F-90<br>Sprinklerung der Bürogebäude der Fassade wirkt im Brandfall als RWA-Anlage |

Tabelle 3: Bürohaus Halensee, Berlin /1/

#### 2.2.4 Kasten-Kasten Fassaden /10/

Die „Kasten-Kasten-Fassaden“ oder die „Kastenfenster-Fassaden“ zeichnet sich durch die Segmentierung des Fassadenzwischenraumes, dem neben der vertikale, geschossweise Schotte noch die horizontale Segmentierung durch vertikal Lisenen unterteilt, mit welchen die brand- und schallschutztechnische Anforderungen erfüllen werden können. Jede einzelne Fensterkästen haben eigene Zu- und Ablüftungsöffnungen, wobei die Luft nur in den einzelnen Kasten zirkuliert. Diese Zu- und Ablüftungsöffnungen sind meistens am Boden und an der Decke des Fassadenkastens horizontal verlaufend. Die Vorteile liegen in der individuellen Regelungsmöglichkeit, aber diese übereinander liegende Lüftungsöffnungen wirken sich auch nachteilig aus, weil die Abluft in tief liegende Geschosse die Zuluftqualität, der darüber liegenden Geschosse, beeinträchtigen kann. Dieses Problem wird durch seitliches Versetzen der Ein- und Auslassöffnungen vermieden.

In der Praxis werden meisten zwei nebeneinander liegende Kästen zusammengefasst, um mögliche Kurzschlussströmungen zu vermeiden.

Bei dieser Konstruktionsform werden je Abschnitt eine Zuluftöffnung am Fuß und eine Abluftöffnung am oberen Ende des daneben liegenden Abschnitts ausgeführt, sodass die Luft „diagonal“ zirkuliert. (Siehe Abbildung 17).



Abbildung 16: Hochhaus RWG, Essen B., /39/

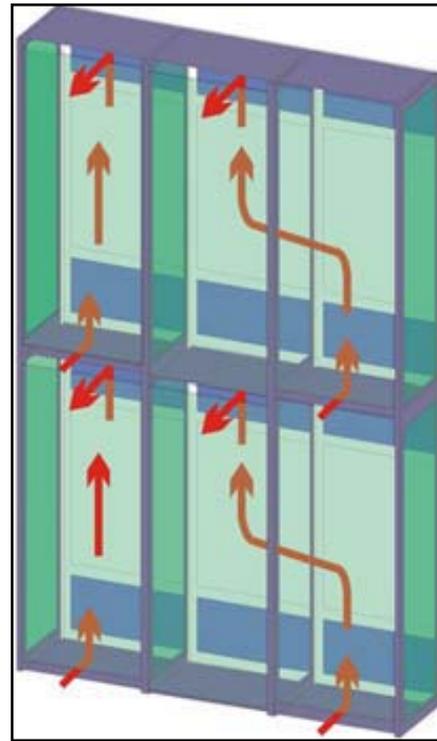


Abbildung 17: Kastenfenster-Fassade-Funktionsschema, /9/

Dieser Fassadentyp ist konstruktiv gesehen die aufwändigste. Bekannte Beispiele mit einer Kastenfensterfassade ist zu einem das RWE Hochhaus in Essen (Architekten: Ingenhoven Overdiek Kahlen & Partner) als auch die Commerzbank in Frankfurt (Architekt: Sir Norman Foster Associates). /1/

| Hochhaus RWE AG, Essen  |  |   |
|-------------------------|--|---|
| Systematik der Fassade  |  |   |
| Leitfunktion            | Umsetzung  | Lösungsvariante   |
| Sommerliche Wärmeschutz | Sonnenschutzvorrichtungen<br>Verglasung<br>Nachtlüftung            | Lammellenjalousie im Zwischenraum innen<br>innen: WSG<br>passiv möglich   |
| Winterliche Wärmeschutz | Verglasung<br>Öffnung nach außen                                   | außen: ESG<br>innen: WSG<br>immer geöffnet  |
| Lüftung                 | passiver Lufttransport, Luftaustausch<br>zwischen Fassade und Raum | Zu- und Abluft im Wechsel in Höhe der Geschossdecke (Diagonallüftung)<br>Kastenfenstereinheiten über jeweils zwei Achse |
| Lichtführung            |  | keine besondere Maßnahme  |
| Schallschutz            | Abtrennungen im Zwischenraum<br>Versperrungsgrad der Außenfassade  | horizontale (geschossweise) und vertikale Abtrennungen (Kastenfensterprinzip)<br>mit ständige Öffnungen                 |
| Brandschutz             | Abtrennungen<br>aktive Maßnahmen                                   | horizontale ("Fischgraul") und vertikale (Glas) ohne Brandschutzklassifizierung<br>Sprinklerung der Büroräume           |

Tabelle 4: Hochhaus RWE AG, Essen, /1/

| Commerzbank, Frankfurt  |  |   |
|-------------------------|--|---|
| Systematik der Fassade  |  |   |
| Leitfunktion            | Umsetzung  | Lösungsvariante   |
| Sommerliche Wärmeschutz | Sonnenschutzvorrichtungen<br>Verglasung<br>Nachtlüftung            | Lammellenjalousie im Fassadenzwischenraum<br>innen: SSV<br>passiv   |
| Winterliche Wärmeschutz | Verglasung<br>Öffnung nach außen                                   | außen: ESG<br>innen: SSV<br>immer geöffnet                          |
| Lüftung                 | passiver Lufttransport, Luftaustausch<br>zwischen Fassade und Raum | Zu- und Abluft nur auf einen Raum bezogen (Kastenfensterprinzip)    |
| Lichtführung            |  | keine besondere Maßnahme  |
| Schallschutz            | Abtrennungen im Zwischenraum<br>Versperrungsgrad der Außenfassade  | horizontale und vertikale Abtrennungen mit Öffnungen                |
| Brandschutz             | Abtrennungen   | vertikale F-90 Abtrennungen im Brüstungsbereich der inneren Fassade |

Tabelle 5: Commerzbank, Frankfurt, /1/

### 2.2.5 Schacht-Kasten-Fassaden /10/

Schacht-Kasten-Fassaden oder „Twinface“ sind von der Konstruktionsweise gleich mit den Kastenfenster-Fassaden zu setzen, aber mit verschiedenen Lüftungsprinzipien ausgestattet. Diese Fassadenart besteht aus aneinander gereihten, nach Stockwerk unterteilten Fassadenkästen und vertikalen Lüftungskanälen (-Schächte), die im Gebäudeinneren, als Treppenhaus oder Abluftkanalsystem angeordnet sein können. In diesem Fall ist die Fensteröffnung zum Innenraum nicht möglich. Aufgrund der Kaminwirkung der Schächte, wird die erwärmte Luft aus dem Fassadenzwischenraum über Öffnungen am Elementkopf nach außen geleitet. Eine mechanische Absaugung der Luft aus dem Fassadenzwischenraum ist zwar möglich, aber aus energetischen Gründen ist dies unwirtschaftlich. Daher ist diese Art der Unterteilung und der Lüftung nur bei natürlich belüfteten Doppelfassaden relevant. Kurzschlussströme bei der Belüftung der Fensterkästen sind hier bei einer ausreichenden Strömungsgeschwindigkeit im Schacht nicht möglich. Durch das Schließen der Schachtein- und -auslassöffnungen kann es im Winter den Heizenergiebedarf minimieren, oder im Sommer, durch eine Zwangsbelüftung der einzelnen Fassadenschächte eine zu starke Erwärmung der Luft im Zwischenraum zu verhindern. Eine nicht unterschätzbare Herausforderung bei dieser Fassadenart ist, dass sich im Brandfall Rauch und Feuer, durch diese Abluftschächte, leichter ausbreiten können. Beim ARAG Tower in Düsseldorf (Architekten: Foster und Partner) wurde ebenso eine Schacht-Kasten-Fassade verwendet. /13/



Abbildung 18: ARAG Tower,  
Düsseldorf /40/

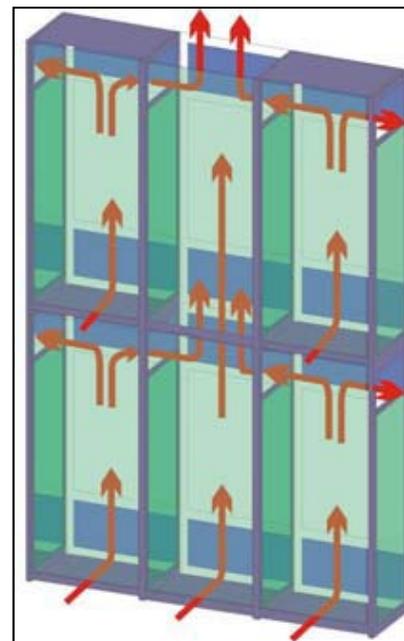


Abbildung 19: Schacht-Kasten-Fassade,  
(Funktionsschema) /9/

### 2.3 Vorteile und Nachteile von Doppelfassaden (GDF)

Die expandierende Städteentwicklung in den letzten Jahren, hat eine Erhöhung des Energieverbrauches verursacht. Aufgrund der steigenden Landflucht leben ca. 50 % der Menschen in urbanen Gebieten. Des Weiteren steigt die Anzahl der zugelassenen Kraftfahrzeuge stetig an sowie die fortlaufende Erweiterung Industrieller Zonen. Alle diese Faktoren führen zum plötzlichen Anstieg des Energieverbrauches.

Die Frage der Energienutzung versus Energieerzeugung ist ein bekanntes Problem, dem wir heute mehr als in der Vergangenheit gegenüberstehen. Die mit Abstand größten Energieverbraucher sind Gebäude (kommerziell und privat) welche mit fast 50% zum gesamten Energieverbrauch beitragen. Den zweiten und dritten Platz der größten Energieverbraucher teilen sich die Industriebetriebe und der öffentliche und private Verkehr.

Die Lösung der Energiefrage kann nur bedingt in der Erschließung von neuen Energiequellen- ob regenerativ oder nicht- bzw. in der Optimierung von technischen Anlagen von Gebäuden gefunden werden. Beide Ansätze sind wichtig und richtig, doch das einheitliche Ziel muss sein, den allgemeinen Energiebedarf zu senken.

In Großstädten mit hoher Lärmbelastigung befindet sich die größte Anzahl an Bürogebäuden. Diese Positionierung der Bürogebäude erfolgt einerseits wegen der attraktiven Verkehrsverbindung des öffentlichen Verkehrs als auch wegen dem Prestige nahe architektonisch berühmten Bauten beruflich tätig zu sein. Besonders im Kerngebiet einer Stadt müssen die neuen Bürogebäude „sehr klug“ entwickelt, geplant und ausgeführt werden, damit ein Höchstmaß an Schallschutz garantiert wird.

Neben dem Verkehrslärm, darf die Hitzeentwicklung in einem Gebäude, insbesondere Gebäude mit Glasfassade, nicht außer Acht gelassen werden. Ein guter Sonnenschutz, um einen nicht gewollten „Glashauseffekt“ zu vermeiden, sowie Raumtemperatur müssen optimal und justierbar sein. Erst dadurch kann mit einer Verbesserung der Produktivität am Arbeitsplatz gerechnet werden, welche aus ökonomischer Sicht für Unternehmer weitaus interessanter ist, als eine Einsparung der Energiekosten.

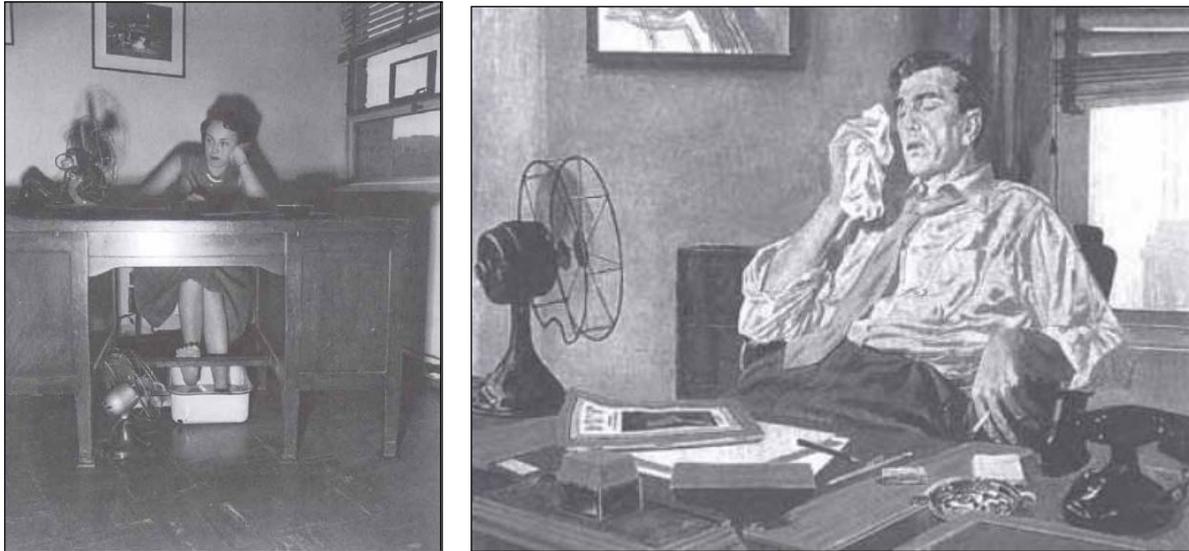


Abbildung 20: Problem in nicht durchlüftete Büroräume /70/

Nicht nur Hitze sondern auch der Mangel an Frischluft verringert die Effizienz der Angestellten und Arbeiter. Die Frischluftströmung ist notwendig, aber in vielen Fällen nicht realisierbar, weil bei großen Gebäudehöhen das Öffnen von Fenstern nicht möglich ist. Aus diesem Grund muss die Luftströmung mechanisch durchgeführt werden, was jedoch wiederum höhere Betriebskosten verursacht. Es ist nachgewiesen, dass durch optimale thermische Bedingungen am Arbeitsplatz, die Effektivität der Beschäftigten erhöht wird.

Die Entwicklung von sogenannten intelligenten Fassaden bzw. Doppelfassaden ermöglicht einerseits den Energieverbrauch zu minimieren, sowie die natürliche Raumlüftung und optimierte Raumtemperatur zu fördern. Das sind nur einige Vorteile von Doppelfassaden welche eingehender in der *Tabelle 6* beschrieben werden.

Die äußere Glashaut der Doppelfassade erreicht, dass während kälterer Wintertage bis zu 50% /26/ weniger Innenraumwärme verloren geht. Die Energie zum Heizen liefert in diesem Fall die Sonne kostenlos, und das auch bei Minustemperaturen. Aber auch an heißen Sommertagen kann die Doppelfassade durch Be- und Entlüftung des Fassadenzwischenraums, gespeicherte oder zirkulierende Luft kühl halten.

...“Denn das Wohlbefinden der Mitarbeiter steigt, wenn sie auf natürliche Weise für individuelle Belüftung sorgen können. Selbst bei Hochhäusern ist das Öffnen der Fenster mit den neuen Doppelfassaden möglich. Darüber hinaus fängt die äußere Fassade auch in größeren Geschoßhöhen den Winddruck ab und erlaubt das Arbeiten bei geöffnetem Fenster selbst bei Unwetter. Auch Nachtlüftung im Sommer ist möglich - und kostensparend.“ /26/

| Sachgegenstand      | Argumente   |   |
|---------------------|---|---|
|                     | pro GDF   | contra GDF  |
| Schall              | verstärkter Schallschutz bei Außenlärm  | durch die Fensteröffnungen sinkt der Schallschutz und der Luftspalt steigert die Schallübertragung                                      |
| Heizenergie, Winter | sind energiesparend, weil sie Solarenergie wie ein Kollektor einfangen  | Bei den in Frage stehenden Gebäuden mit hohen internen Wärmelasten ist Energieeinsparung kein Thema                                     |
| Kühlenergie, Sommer | Sommerliche Hitze kann über den GDF-Luftspalt abgeführt werden  | starke sommerliche Erwärmung macht den dahinterliegenden Raum zum Brutkasten  |
| Raumklima, Lüftung  | verbessern das Raumklima bei natürlicher Lüftung  | Bei GDF ist ein behagliches Raumklima nur mit (mechanischer) HVAC-Anlage möglich. Im GDF Luftspalt findet eine Geruchsübertragung statt |
| Sonnenschutz        | GDF gestattet im Luftspalt eine sturmsichere Anbringung des Sonnenschutzes  | Ein sicherer Sonnenschutz kann auch in einer Hochhaus-Lochfassade integriert werden   |
| Fensteröffnungen    | Fensteröffnungen sind möglich bei großen Gebäudehöhen   | Mit arretierbaren Fensterbeschlägen sind Fensteröffnungen auch bei normalen Hochhaus-Fassaden möglich                                   |
| Innen-Anpressdrücke | reduzieren bei Windanströmungen in großen Gebäudehöhen die Staudrücke im Raum, die zu hohen Anpress-Drücken bei Innentüren führen | Mit Prallscheiben vor den Fensteröffnungen können die Staudrücke auch bei normalen Lochfassaden reduziert werden                        |
| Licht               | ermöglichen den Einbau lichtlenkender Elemente  | Lichtlenkung ist auch bei Lochfassaden möglich. Die äußere Glashaut mindert den Tageslichteinfall erheblich                             |
| Brand               | Mit Horizontal- und Vertikalschotten kann die Brandausbreitung im Luftspalt verhindert werden                                     | Die äußere Glashaut verhindert den Rauchabzug. Der Luftspalt steigert den Feuerüberschlag   |
| Tauwasser           | Mit ausreichende Belüftung des GDF-Luftspaltes tritt kein Tauwasser auf   | An der Innenoberfläche der Außenscheibe ist Tauwasser unvermeidbar. Deshalb häufige Reinigung   |
| Kosten              | senken die Betriebskosten des Gebäudes (Energiekosten)  | sind von den Investitionskosten extrem teuer. Sie verursacht ferner hohe Betriebskosten (Reinigung von 4 Glasoberflächen)               |

Tabelle 6: Vorteile und Nachteile von GlasDoppelFassaden /9/

## 2.4 Vergleich Einschalige Fassade vs. Doppelfassade /41/

Auf dem Energieforum in Zürich hat Dipl.-Ing. Architektin TU/ Dipl. EPG EPFL Steif Neuber über das Thema „Doppelfassade: Idee und gebaute Realität“ referiert. Dabei wurden die Kriterien zur Beurteilung von Doppelfassaden und ihrem Vergleich mit verschiedenen Fassaden präsentiert. Ein Beispiel war der Messeturm in Basel.

Gebäudedaten:

|                                |                       |
|--------------------------------|-----------------------|
| Gebäudehöhe:                   | 105m hoch             |
| Geschosse:                     | 2 UG+EG+31 OG         |
| Investitionskosten:            | 167 Mio. Franke       |
| Geschossfläche:                | 30.000 m <sup>2</sup> |
| Fassade:                       | 14.000 m <sup>2</sup> |
| Wettbewerb (Doppelfassade):    | 1998-1999             |
| Konzept (einschalige Fassade): | 02/2000-09/2001       |
| Ausschreibung (Ablufffassade): | 10/2001               |
| Montage Fassade:               | 08/2002-12/2002       |



Abbildung 21: Messeturm Basel /20/

Folgende Ergebnisse wurden evaluiert:

| Messturm-Basel   |  |   |  |  |  |    |    |
|--|--|---|--|--|--|----|----|
| Vergleich geschlossene Einschalige Fassade/Doppelfassade/Ablufffassade |  |   |  |  |  |    |    |
|  | Einschalige Fassade  | Doppelschalige Fassade 3IV  | Doppelschalige Fassade 2IV   | Ablufffassade  |  |    |    |
|  | Spezial-Dreifachverglasung                                   | innen Dreifachverglasung als Putzflügel   | innen Zweifachisolierverglasung als Putzflügel   | außen Dreifachisolierverglasung festverglast   |  |    |    |
|  | Blendschutz innenliegend                                     | außen VSG Verglasung  | außen VSG Verglasung   | innen VSG-Verglasung als Putzflügel  |  |    |    |
|  |  | in der Pufferzone liegendem Sonnen/Blendschutz in der Pufferzone                                | in der Pufferzone liegendem Sonnen/Blendschutz in der Pufferzone                           | in der Pufferzone liegendem Sonnenschutz elektr. über Solarzelle und Gebäudeleitsystem gesteuert |  |    |    |
| 1  | Mittlere U-Wert Fassade (1.1 W/m <sup>2</sup> K gefordert)   | 0.9 W/m <sup>2</sup> K  | 0.8 W/m <sup>2</sup> K (nachts) am Tag U-Wert-Verbesserung aufgrund Sonnenkollekturwirkung | 1,1 W/m <sup>2</sup> K (nachts) am Tag U-Wert-Verbesserung aufgrund Sonnenkollekturwirkung       | 0.8 W/m <sup>2</sup> K   |    |    |
| 2  | Rahmen U-Wert  | 2.0 W/m <sup>2</sup> K (Aluminiumelementrahmen)   | 2.0 W/m <sup>2</sup> K (Aluminiumelementrahmen)  | 2.0 W/m <sup>2</sup> K (Aluminiumelementrahmen)  | 2.0 W/m <sup>2</sup> K   |    |    |
| 3  | Isolierglas U-Wert   | 0.6 W/m <sup>2</sup> K  | 0.5 W/m <sup>2</sup> K   | 0.9 W/m <sup>2</sup> K   | 0.5 W/m <sup>2</sup> K   |    |    |
| 4  | U-Wert-Verbesserung durch Doppelschaligkeit                  | Dreifachisolierverglasung gasgefüllt  | Dreifachisolierverglasung gasgefüllt (Selekt 70/40)  | Dreifachisolierverglasung gasgefüllt (Selekt 70/40)  | Dreifachisolierverglasung gasgefüllt (Stopray Carat 52/26)                     | ja | ja |
| 5  | g-Wert Gesamtverglasung mit Sonnenschutz (und Hinterlüftung) | 12% - 19% in Abhängigkeit von Beschichtung, Transparenz, Reflexion und Farbe des Sonnenschutzes | < 15% unter Voraussetzungen einer ausreichenden Hinterlüftung der Pufferzone               | < 15% unter Voraussetzungen einer ausreichenden Hinterlüftung der Pufferzone                     | 15% - 20% unter Voraussetzung einer ausreichenden Hinterlüftung der Pufferzone | ja | ja |
| 6  | g-Wert Isolierverglasung                                     | 13% - 20%, siehe separate Übersichtstabelle Gläser  | ca. 28%  | ca. 33%  | ca. 20%  |    |    |
| 7  | Schalldämmung Fassadenelement                                |   |  |  |  |    |    |
| 8  | Schalldämmung bei geschlossener Fassade                      | Ca. 38 dB   | Ca. 42 - 45 dB   | Ca. 42 - 45 dB   | Ca. 42 - 45 dB   |    |    |

Tabelle 7: Vergleich Einschalige Fassade/Doppelfassade/ Ablufffassade /41/

### 3 Außenklima

Das Klima unserer Erde hat sich in den letzten Jahren durch die Zunahme der Abgasemissionen, bedingt durch Verbrennung fossiler Brennstoffe (CO<sub>2</sub>- Emissionen oder „Treibhauseffekt“) und durch Austreten von halogenierten Kohlenwasserstoffen (Ozonloch-Bildung) verändert. /1/

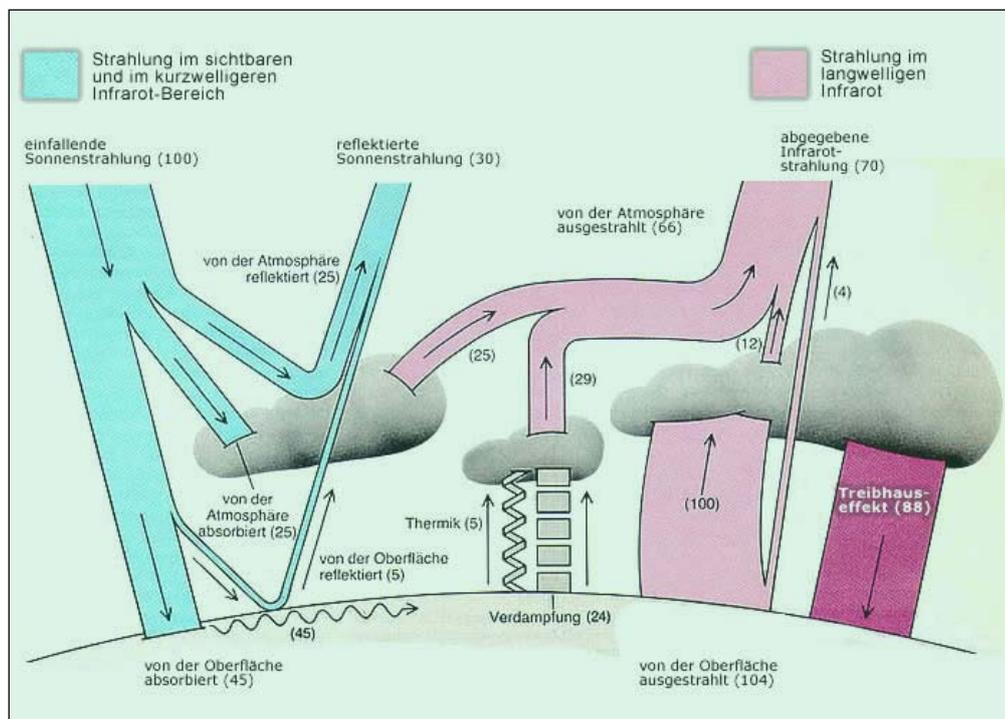


Abbildung 22: Treibhauseffekt /41/

Der **Treibhauseffekt** entsteht, weil die Lufthülle Wärme über der Erdoberfläche festhält. Kohlendioxid, Wasserdampf und andere Gase sind verhältnismäßig durchlässig für Strahlung im sichtbaren und im kurzwelligeren Infrarot-Bereich (blau), die die meiste Sonnenenergie transportiert. Hingegen absorbieren diese Gase einen großen Teil des langwelligeren Infrarots (rot), das die Erde ausstrahlt. Diese Energie kehrt fast vollständig als Strahlung zur Erde zurück (dunkelrot). Dadurch wärmen die Treibhausgase die Erdoberfläche auf." (Siehe Abbildung 22) /41/

Wichtigste Klimarandbedingungen, welche auf eine Gebäude wirken, sind: nach /42/

- Lufttemperatur
- relative Feuchte
- Sonnenstrahlung
- Niederschlag
- Wind

### 3.1 Lufttemperatur

Die Entwicklung von Lufttemperatur hängt vom Luftdruck und der jährlichen Sonnenstrahlung ab. Mit zunehmender Höhe nimmt die Temperatur auf der Grundlage der Thermodynamik mit einem Wert von 1 K/100m ab /1/. Diesen Wert bezeichnet man als „adiabatischer Temperaturgradient“.  
/1/

Bei einer adiabatischen Zustandsänderung tauscht das betrachtete Gasvolumen keine Energie mit der Umgebung aus. Es bildet also ein abgeschlossenes System. Ein Luftpaket, das in der Atmosphäre adiabatisch aufsteigt, kühlt sich um etwa 1K pro 100m /1/ ab. Das gilt, solange keine Kondensation im Luftpaket eintritt. Wird es zum Absinken gezwungen, dann erhöht es dementsprechend seine Temperatur. Die Temperaturänderung des Luftpaketes während der Vertikalbewegung wird *Hebungskurve* genannt. Die Temperatur in einem abgeschlossenen Luftvolumen ändert sich also in einer ganz bestimmten Weise, wenn es sich von seinem Ursprungsniveau wegbewegt. Diese Tatsache ist von ganz entscheidender Bedeutung bei der Entstehung von Vertikalbewegungen.

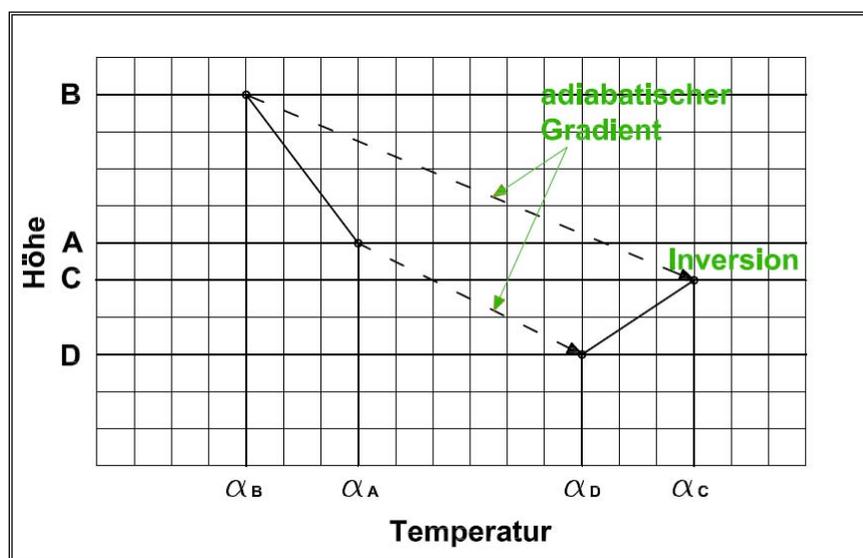


Abbildung 23: Änderung der Temperaturgradienten bei Absink- und Hebungsvorgängen, /1/

Der Weg vom Bereich BC ist länger als vom Bereich CD, daraus folgt eine stärkere Erwärmung. Der Absinkvorgang hat eine atmosphärische Struktur gebildet, eine Inversion. Neben dem der Absink- gibt es noch eine Strahlung- und Turbulenzinversion.

Die Lufttemperatur ist eine wichtige Kenngröße während der Gebäudeplanung, weil sie sich direkt aus der Solarstrahlung ergibt und diese einen großen Einfluss auf Wärmeverluste hat, welche proportional zur Temperaturdifferenz sind.

### 3.2 Sonnenstrahlung

Die Sonnenstrahlung ist ein wichtiger Energiefaktor, der bei einem Gebäude besondere Bedeutung hat, weil diese eine der oben erwähnten Klimarandbedingungen ist. Die so genannte passive Sonnenenergie soll mit dem größten Maß für die Heizung und Beleuchtung von Gebäude genutzt werden. Daher bietet die Wärme- und Stromerzeugung mit aktiven Solarsystemen die zukünftige Energiestrategie von modernen Gebäuden.

Gerade bei der Gebäudeplanung ist eine Analyse der Wechselwirkung zwischen „natürlichem Energieangebot“ und dem Energiebedarf eines Gebäudes, der sich aus klimatischen Einflüssen ergibt, unerlässlich, um je nach Jahreszeit positive und negative Klimaelemente gezielt:

|  |          |
|--|----------|
| Sonnenstrahlung zum Heizen und Beleuchtung<br>Wind zur Kühlung   | positive |
| Wärmeverluste durch niedrige Umgebungstemperatur und Wind<br>Überhitzung und Blendung durch Sonnenstrahlung, | negative |

zu begrenzen. /43/

In der Europäischen Union werden vier Makroklimazonen unterschieden. In der Gebäudeplanung ist zu beachten, welcher Standort für ein neues Gebäude gewählt wird und welche dieser Klimatischen Unterteilungen beim individuellen Projekt zu tragen kommt. Diese unten angeführte Unterteilung ist ein Richtmaß: /43/

- Nordeuropäische Klima  
sehr kalte Winter mit geringer Sonnenstrahlung, mäßig warm Sommer
- Mitteleuropäische Klima  
kühle Winter mit geringer Sonnenstrahlung, milde Sommer

- Kontinentalklima  
relativ kalte Winter mit hoher Sonnenstrahlung, warme Sommer
- Südeuropäische Klima  
milde Winter mit hoher Sonnenstrahlung, heiße Sommer.

In der Bauphysik wirkt die Solarstrahlung als treibende Kraft für sämtliche Wetter- und Klimasituationen. Die Strahlungsleistung bzw. Bestrahlungsstärke der Sonne wird in Watt bzw. Kilowatt pro Quadratmeter [ $\text{W}/\text{m}^2$ ,  $\text{kW}/\text{m}^2$ ] angegeben. /43/ Die Strahlungsleistung hängt von der elektromagnetischen Welle bzw. der Wellenlänge ab.

### 3.3 Gesamtenergiedurchlassgrad (g-Wert)

Die über die Fassadenfläche in den Raum eingebrachte Strahlungsenergie setzt sich unter der Annahme gleicher Innen- und Außentemperaturen nach DIN 67507 aus der primären, direkt transmittierten Strahlung und der sekundären, emittierten Wärmestrahlung zusammen, die aus der Strahlungsabsorption in den Glasscheiben resultiert. /10/

Die Sonnenstrahlung mit der Intensität  $I$  wird teils ungehindert hindurch gelassen ( $\tau$  : Transmissionsgrad), teils reflektiert ( $r$  : Reflektionsgrad), und teils vom Glas absorbiert ( $a$  : Absorptionsgrad). Der Zusammenhang zwischen den drei Anteilen ist, dass die Summen von  $\tau + r + a$  immer 1 ist. Die absorbierte Wärme wird über die langwellige Strahlung oder Konvektion an die Luft teils nach außen und teils nach innen als sekundäre Wärme, die von der Lage der Verglasung oder Windgeschwindigkeit abhängig ist.

Die g- Werte Isolierverglasungen liegen in der Regel zwischen 60 und 80 %./10/ Dieser Wert kann stark verändert werden, weil er von der Wellenlänge der Strahlung, der Geometrie, der Orientierung, dem Einfallswinkel und der Zusammensetzung des Glases usw. abhängig ist.

Tabelle 8 zeigt, dass verschiedene Glasarten bei senkrechtem Strahlungseinfall unterschiedliche Gesamt-g-Werte haben können.

| Glasarten                 | Scheibendicke in mm | Gesamtenergiedurchlassgrad g in % | Mittl. Temperaturerhöhung g über Luft in °C |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------------|---|
| Klarglas, einfach         | 2,8                 | 87                                | 11  |
| Absorptionsglas           | 5,6                 | 52                                | 36  |
| Reflexionsglas            | 6,6                 | 46                                | 14  |
| Isolierverglasung, 2-fach | 11,4                | 79                                | 19  |
| Isolierverglasung, 3-fach | 17,9                | 70                                | 21  |

Tabelle 8: Strahlungsdurchlässigkeit von Glasarten bei senkrechtem Strahlungseinfall /25/

Eine eingehende experimentelle Untersuchung des kombinierten Wärmetransports ist zwischen den beiden Fassadenoberflächen, sowie konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten im Fassadenzwischenraum zu erfassen und daraus eine empirische Korrelationen abzuleiten, die dann zur rechnerischen Ermittlung der g-Werte verwendet werden können.

Auf der nächsten Abbildung sind die Ergebnisse eines Laborversuchs dargestellt und verschiedene g-Werte in Beziehung mit unterschiedlichen Fassadenentwicklungen angegeben.

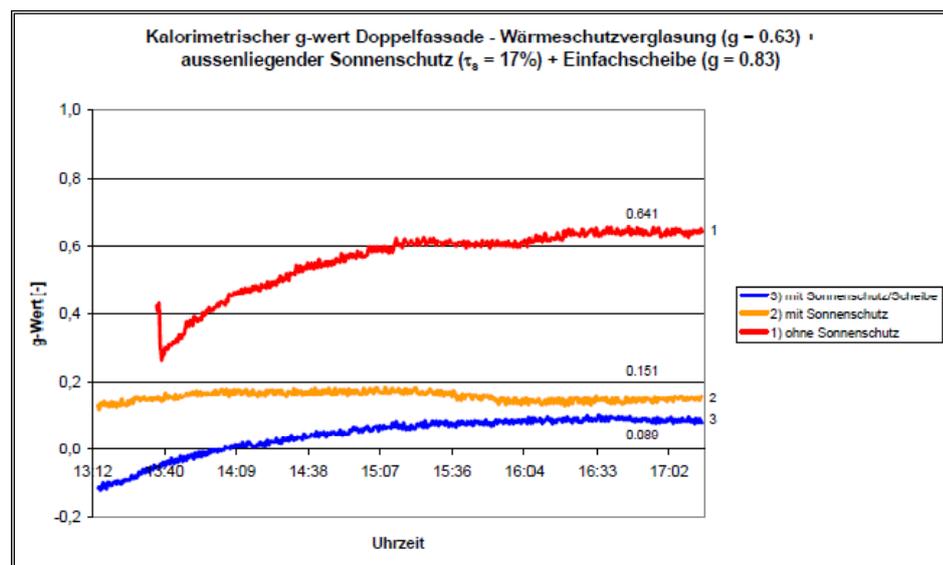


Abbildung 24: kalorimetrische g-Wert Prüfung der Doppelfassade /59/

### 3.4 Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)

In den neuen EN - Normen wird nicht mehr der K-Wert angegeben, sondern der U-Wert (EN 673).

|                | Europäisch (neu) | Deutsch (neu)      | Deutsch (alt)      |
|----------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Fenster        | $U_w$ (window)   | $U_F$ (Fenster)    | $K_F$ (Fenster)    |
| Verglasung     | $U_g$ (glazing)  | $U_v$ (Verglasung) | $K_v$ (Verglasung) |
| Rahmenmaterial | $U_f$ (frame)    | $U_R$ (Rahmen)     | $K_R$ (Rahmen)     |

*Tabelle 9: Alte deutsche, neue deutsche und neue europäische Schreibweise /40/*

Im Unterschied der einstigen Berücksichtigung der Temperaturdifferenz des Materials, ist beim U-Wert das „Material Luft“ außen und innen ebenso berücksichtigt. Um den Wärmedurchgang (U-Wert) eines Bauteils mit mehreren Schichten berechnen zu können, benötigt man einen speziellen Dämmwerten der einzelnen Schichten. Dieser Wärmedämmwert heißt Wärmedurchlasswiderstand. Der Widerstand „R“ entsteht beim Durchströmen eines Bauteils mit Wärme. Dieser wird berechnet mit dem Stoffdicken in „m“ und dividiert durch die Wärmeleitfähigkeit. Für mehrschichtige Bauteile ist für jede Schicht der jeweilige Wert zu ermitteln.

Eine entscheidende Verbesserung des wärmeschutztechnischen Verhaltens von Mehrscheiben-Isolierglas wird durch infrarotreflektierende Beschichtungen erreicht. In Verbindung mit dem Einfüllen von Spezialgasen in die Zwischenräume wird der Wärmedurchgangskoeffizient von Verglasungen um 50% und mehr reduziert, ohne die Strahlungsdurchlässigkeit gegenüber Licht- und Sonnenenergie zu verschlechtern. Multifunktionsgläser, d.h. Glasprodukte die neben dem Wärmeschutz auch Anforderungen an erhöhten Schallschutz, Einbruchschutz, Durchschusshemmung etc. erfüllen, können aus physikalischen bzw. technologischen Gründen nicht den gleichen Wärmeschutz aufweisen, wie dies bei Glasprodukten mit der alleinigen Funktion Wärmeschutz der Fall ist.

Der U-Wert ist somit abhängig von den Wärmeübergangswiderständen innen und außen und vom Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils.

Zusammenfassend:

- Je niedriger der U-Wert ist, um so geringer ist der Wärmeverlust
- Je kleiner der U-Wert, desto besser die Dämmung.
- Je besser die Fenster, desto weniger Geld verheizen Sie

Auf der folgenden Tabelle werden die verschiedenen Glasarten und ihre dazu gehörigen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) aufgelistet:

| Beispiele hierfür:   | U [W/m <sup>2</sup> K] |
|--|------------------------|
| Einfach-Verglasung   | 4,8                    |
| Isolierglas 2-fach (4 mm~12 mm Luft~4 mm)  | 3,0                    |
| Isolierglas 2-fach (4 mm~12 mm Argon~4 mm)   | 2,7                    |
| Isolierglas 3-fach (4 mm~10 mm Luft~4 mm~10 mm Luft~4 mm)                                | 2,2                    |
| Isolierglas 3-fach (8 mm~8 mm Argon~4 mm~8 mm Argon~4 mm)                                | 1,7                    |
| Isolierglas 2-fach edelmetallbeschichtet (4 mm~20 mm Argon~4 mm)                         | 1,3                    |
| Isolierglas 3-fach edelmetallbeschichtet<br>(4 mm~10 mm Argon~4 mm~10 mm Argon~4 mm)     | 0,9                    |
| Isolierglas 3-fach edelmetallbeschichtet<br>(4 mm~10 mm Krypton~4 mm~10 mm Krypton~4 mm) | 0,6                    |
| Isolierglas 3-fach edelmetallbeschichtet<br>(4 mm~12 mm Argon~4 mm~12 mm Argon~4 mm)     | 0,7                    |
| Isolierglas 3-fach edelmetallbeschichtet<br>(4 mm~12 mm Krypton~4 mm~12 mm Krypton~4 mm) | 0,5                    |
| Doppelfenster/Kastenfenster  | 2,3                    |
| Spezial-Wärmeschutzverglasung  | 0,4                    |
| Einbruchhemmende Verglasung  | 1,6                    |

Tabelle 10: Wärmedurchgangskoeffizient für verschiedene Verglasungen /57/

### 3.5 Lichttransmissionsgrad ( $\tau_l$ -Wert)

Der Lichttransmissionsgrad, gemäßen DIN EN 410 oder DIN 67507, gibt den Anteil der sichtbaren Strahlung (380 nm bis 780 nm /25/) an, der senkrecht durch das Glas oder die Glaseinheit direkt hindurch tritt. Dieser Prozentsatz wird unter anderem von dem Glasdicken beeinflusst. Der Lichttransmissionsgrad trägt die Bezeichnung  $T_l$  und wird in Prozent oder in Dezimalstellen angegeben.

Die *Abbildung 25* zeigt das Transmissionsverhältnis von verschiedenen Scheibendicken an. Gemäß DIN EN 410 gibt der Tageslichtdurchlassgrad oder die Lichtdurchlässigkeit den direkt durchgelassenen sichtbaren Strahlungsanteil im Wellenlängenbereich  $\lambda$  von 380 bis 780 nm an.

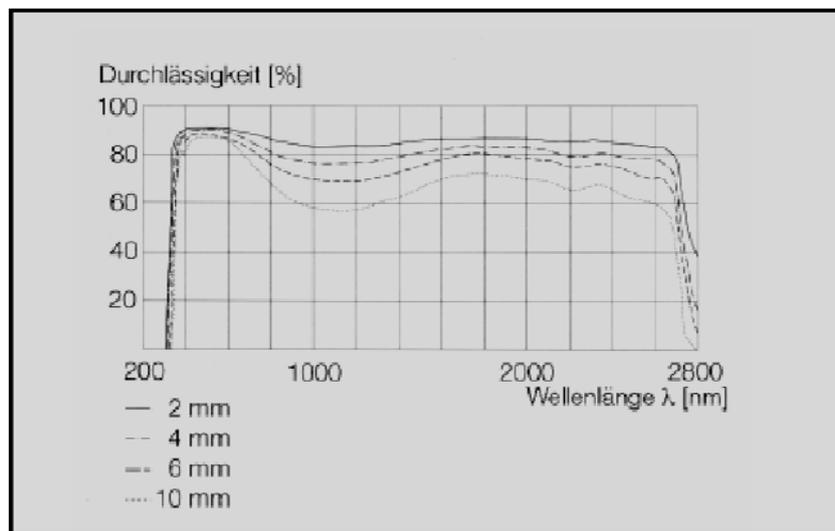


Abbildung 25: Verlauf der spektralen Transmission verschiedener Scheibendicken von Floatglas mit einem mittleren Gehalt von 0,1%  $Fe_2O_3$  im Glas /25/

## 4 Ein- und Mehrschalige Glasfassade /10/

Unter Wärmeübertragung versteht man den Transport von Wärme durch Leitung, Konvektion und Strahlung. Für die Berechnung der Wärmeübertragung einer Glasfassade sind Konvektion und Strahlung maßgeblich. Je mehr Strahlung durch die Glasoberfläche absorbiert wird, desto mehr steigt die Oberflächentemperatur. Mit der steigenden Oberflächentemperatur steigt die sekundäre Wärmeabgabe.

### 4.1 Einschalige Fassade

Bestandteile der Wärmeschutzverglasung bei dieser Einschaligen Fassade wie in der *Abbildung 26* dargestellt wird:

- 2-schichtiges Floatglas,
- Dicke: 2x6 mm

Bei einem Isolierglas ist der Wärmedurchgangskoeffizient wesentlich geringer. Diese Mehrscheibenkonstruktion (2 oder 3-fach) hat eine Luft- oder Edelgasfüllung, wie z.B. Argon- oder Krypton, zwischen den Scheiben. Damit verringert sich die Wärmeleitfähigkeit deutlich.

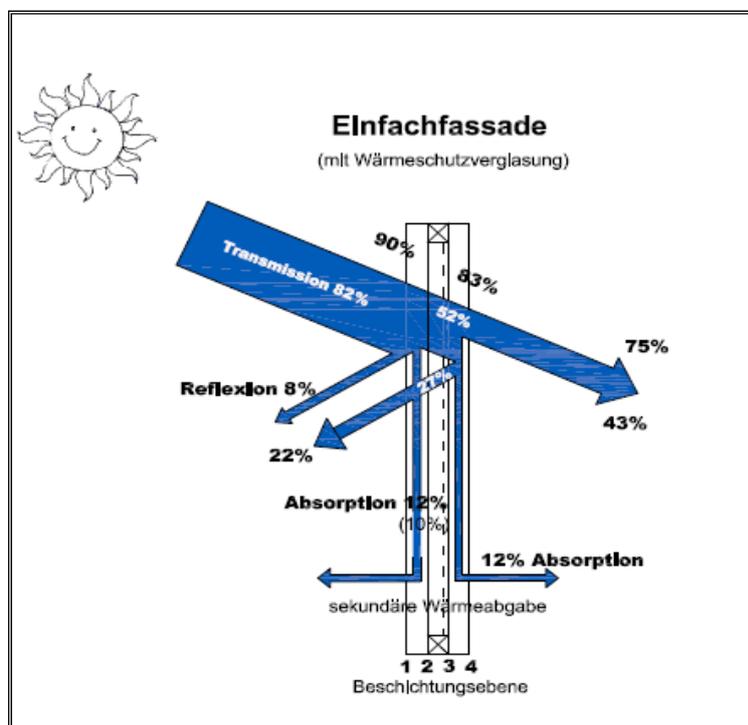


Abbildung 26: Strahlungsbilanz der Einschaligen Fassade /10/

Wie in der *Abbildung 26* dargestellt besteht die äußere Scheibe aus einem einfachen Floatglas mit dem Transmissionsgrad ( $\tau$ ) von 82 %. „8% der auftretenden Solarstrahlung werden reflektiert und 10% werden von der Scheibe absorbiert. Aufgrund der Silber bedampften (low- $\epsilon$ -Beschichtung) auf der Ebene drei, die zur Reduzierung des Strahlungsaustausches zwischen der warmen Innen- und kalten Außenscheibe aufgebracht werden, besitzt die typische Innenscheibe einen Transmissionsgrad von  $\tau=52\%$ . Infolge der low- $\epsilon$ -Beschichtung steigt der Reflexionsgrad auf 22%. Demzufolge werden durch die beiden Scheiben ca. 30% (22%+8%) der gesamt auftreffenden Strahlung reflektiert und je Scheibe ca. 12% absorbiert. Der Gesamttransmissionsgrad der Sonnenstrahlung beträgt 43%. „

Der Lichttransmissionsgrad  $T$  von Wärmeschutzverglasungen, welche eine Silberbeschichtung auf der Innenscheibe haben, wirken sich nur geringfügig auf die Durchlässigkeit des Glases aus. So sinkt der Wert einer unbehandelten Floatglasscheiben von 90% durch eine Beschichtung auf 83%, wodurch sich für die betrachtete Doppelverglasung ein Lichttransmissionsgrad von  $T=75\%$  ergibt.

## 4.2 Doppelfassaden

Im Gegensatz zu einschaligen Fassaden kann die sekundäre Wärmeabgabe der Glasscheiben in den Raum, den Fassadenzwischenraum und damit auch der Gesamtenergiedurchlassgrad eines Doppelfassadensystems nicht generalisiert angegeben werden. Diese fassadenspezifische Werte sind abhängig von:

- Unterteilung (Kasten-Kasten, Schacht-Kasten)- *Kapitel 2.2.4 und 2.2.5*,
- Geometrie (Schachttiefe),
- Durchströmung des Fassadenzwischenraumes (unterschiedliche Wärmeübergang)
- Einbauten (Sonnenschutzvorrichtung, Kollektoren)

Die in Folge dargestellte Doppelfassade besteht aus:

- Der Primären Fassade (Wärmeschutzverglasung aus Floatglas) und
- Der Sekundären Fassade (Einscheibenisolierverglasung (ESG), 12mm)

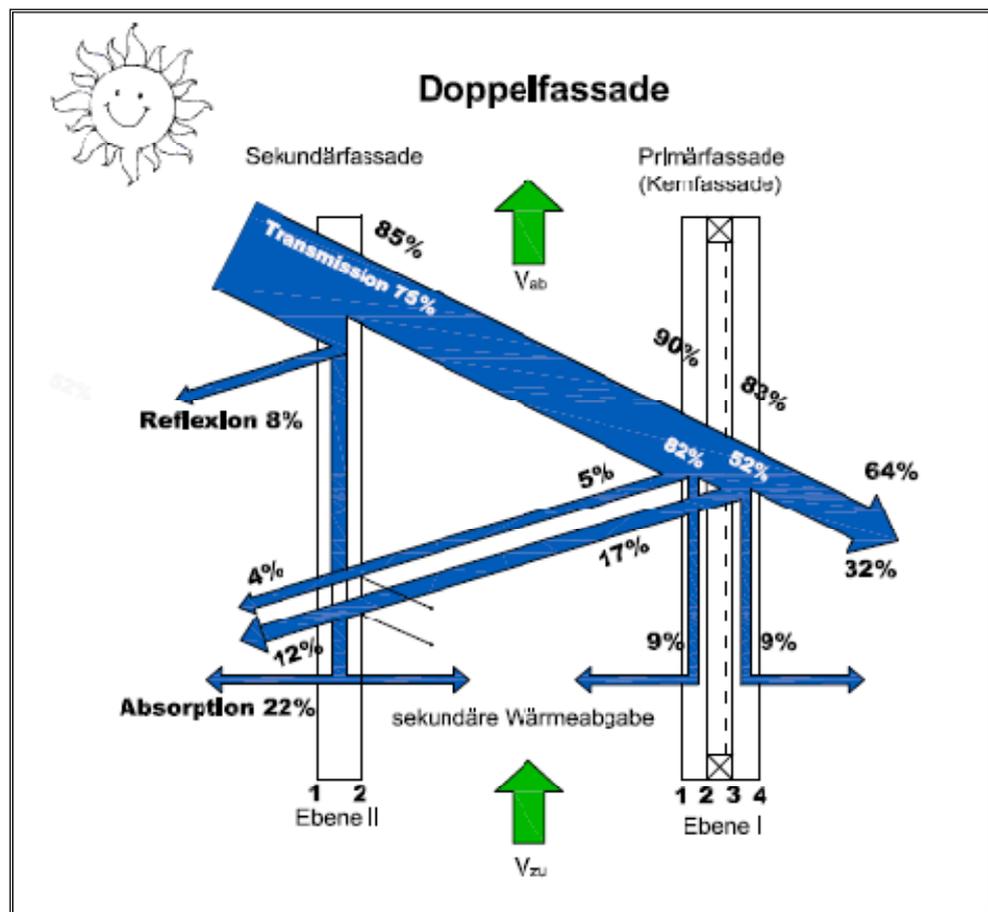


Abbildung 27: Strahlungsbilanz an einer Doppelfassade mit 1-fach beschichteter Wärmeschutzverglasung WWW /10/

Die *Abbildung 27* erklärt beispielhaft die Emissions- und Immissionswerte dieser Doppelfassade. „Durch die Sekundäre Fassade aus Einscheiben-Isolierglas (ESG) erfolgt ein Wärmedurchgang mit einem Transmissionsgrad von  $T_{sol}=75\%$  bzw. ein Lichtdurchgang mit dem Lichttransmissionsgrad von  $T_{vis}=85\%$ . „8% der Strahlung werden durch die Sekundärfassade reflektiert. Demzufolge werden 17% der auftreffenden äußeren Strahlung in der Primären Fassade aus Floatglas reflektiert. Durch die Sekundärverglasung aus 12mm ESG reduziert sich die Eingangsstrahlung um 25%. Dies hat zur Folge, dass bei einer Einschaligen Fassade der Transmissionsgrad von 43% (siehe *Abbildung 26*) sich auf einen Transmissionsgrad von 32% bei einer Doppelfassade (siehe *Abbildung 27*), reduziert. Ein beträchtlicher Anteil der Solarstrahlung wird an der Wärmeschutzverglasung (Primärfassade) zurückreflektiert und somit steigt der Anteil der in der Sekundärfassade absorbierten Strahlung auf 22% (5%+17%), siehe *Abbildung 27*. Die thermische Belastung der Verbundscheibe hingegen beträgt in der doppelschaligen Fassadenkonstruktion statt 12% (siehe *Abbildung 26*) nur noch 9%“ (siehe *Abbildung 27*).“

Der Lichttransmissionsgrad der doppelschalige Fassade ist nicht im gleichen Maße gegeben, wie die Strahlungstransmission. Der Lichttransmissionsgrad sinkt von 75% (Einschalige Fassade) auf 64% (Doppelfassade) ab.

In einer Doppelfassade ist nicht nur der Wärmeübergang vom Absorber an die durchströmende Luft zu berücksichtigen, sondern es wird in besonderem Maß auch von den begrenzenden, von der Sonnenstrahlung direkt beheizten Glas- und Metallflächen, Wärme an die Luft abgegeben.

Aufgrund des geringen Transmissionsgrades der zweiten Fassadenebene im langwelligen Wärmerückstrahlungsbereich der Kernfassade (Primärfassade), stellt sich in der Fassade eine Art „Strahlungsfalleneffekt“ ein. Der bedeutet, dass die kurzwellige Solarstrahlung über die Glasflächen in den Fassadenzwischenraum eintritt und von den Glas- und Metallflächen teilweise absorbiert wird, so dass die von den so erwärmten Bauteilen emittierte, langwellige Wärmestrahlung den Fassadenzwischenraum aber nicht mehr verlassen kann, weil die Verglasung dafür undurchlässig ist. Der gegenseitige Wärmeaustausch durch die Wärmestrahlung findet demnach im Fassadenzwischenraum nur zwischen den umgrenzenden Oberflächen statt. Von den erwärmten Oberflächen findet der Wärmeübergang an die Luft wiederum durch Konvektion statt.

Im Winter ermöglichen die Doppelfassaden die Verringerung der Wärmeverluste und zugleich die Erhöhung solarer Gewinne aufgrund folgender Effekte:

- Der Wärmeübergangskoeffizient ändert sich positiv, da der direkte Zutritt des Windes an die wärmeabgebende Oberfläche der inneren Fassade verhindert wird.
- Die außen Fassade wirkt als Barriere für die Wärmestrahlung von innen nach außen und
- der Fassadenzwischenraum fungiert als ein thermischer Kollektor (Wintergarteneffekt).

Die Temperatur im Fassadenzwischenraum ist normalerweise zwei Grad über der Umgebungstemperatur. Noch dazu kann man die Verbesserung dieser Effekte durch eine variable Gestaltung der Öffnungen nach außen, z.B. regelbare Klappen, realisieren.

Der winterliche Wärmeschutz hat die Aufgabe: /47/

- Die Wärmeverluste eines Gebäudes in der kalten Jahreszeit und damit dessen Energieverbrauch und die damit verbundenen Schadstoffemissionen möglichst gering zu halten,
- die Grundlage für behagliche Verhältnisse in Gebäuden zu schaffen,
- die Baukonstruktionen vor Schäden zu bewahren.

Im Sommer fließt ein zusätzlicher Wärmestrom vom Fassadenzwischenraum in das Gebäude und damit wird die Kühllast des Gebäudes erhöht. Deshalb hat der sommerliche Wärmeschutz die

Aufgabe, die zusätzlichen Kühllasten aufgrund solarer Einstrahlung zu vermeiden. Diese hat den besten Effekt, wenn die Wirkung aus einer Kombination von Sonnenschutz und Verglasung sowie durch eine effiziente Nachtauskühlung des Bauwerks, forciert wird. Der sommerliche Wärmeschutz hat die Aufgabe, dass die Außenlufttemperatur in ihren Maximalwert in Gebäudeinneren nicht überschreitet. Deshalb wird zur Beurteilung des sommerlichen Wärmeverhaltens die Innenlufttemperatur als Maß herangezogen.

In *Kapitel 4.2* wird ein potentieller Typ von Doppelfassaden und damit der zusammenhängende Gesamtenergiedurchlässigkeitsgrad beschrieben (siehe *Abbildung 27*). „Zur Verbesserung des Wärmeschutzes sollte entweder die Wärmeschutzverglasung (WSV) in Ebene I oder die Vorsatzscheibe (Ebene II) zusätzlich auf Ebene II mit einer low- $\epsilon$ -Beschichtung versehen werden. Bei der Fassadenreinigung würde die Beschichtung auf Ebene II der außen Fassade jedoch definitiv beschädigt werden, so dass dieses Problem mit einer Wärmeschutzverglasung (2-fach innenliegenden Beschichtung) lösbar ist, welche in der nächsten *Abbildung 28* dargestellt ist. Dadurch kann /10/ der Anteil des primären Energieeintrags im Raum von ca. 32% (Siehe *Abbildung 27*) auf nur 24% (Siehe *Abbildung 28*), der auf die Fassadenfläche treffenden Solarstrahlung, reduziert werden.

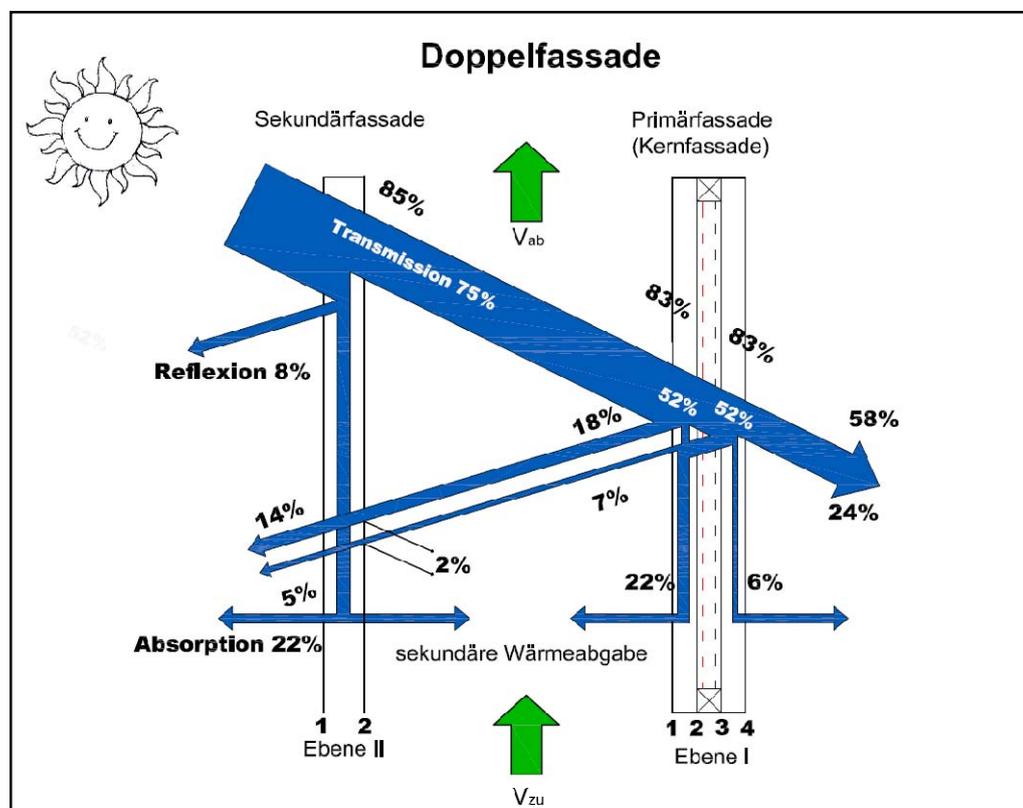


Abbildung 28: Strahlungsbilanz an einer Doppelfassade mit 2-fach beschichteter Wärmeschutzverglasung /10/

Die Auswirkung dieser Maßnahme auf die Ausleuchtung der Räume mit natürlichem Tageslicht hingegen kann angesichts eines Absinken von 64% (Abbildung 27) auf 58% (Abbildung 28) vernachlässigt werden.“

### 4.3 Beispiel /62/

Eine Verbesserung durch Doppelfassaden ist in der Zeitschrift von Hr. Markus Offenmann bezeichnet:

Der Autor weist zunächst darauf hin, dass die immer höher werdenden Anforderungen an die Fassaden in Bürogebäuden die Entwicklung von speziellen Fassadensystemen erforderlich machen. Für die Untersuchung drei verschiedener Fassadensysteme wird zunächst ein Referenzraum definiert (siehe Abbildung 29).

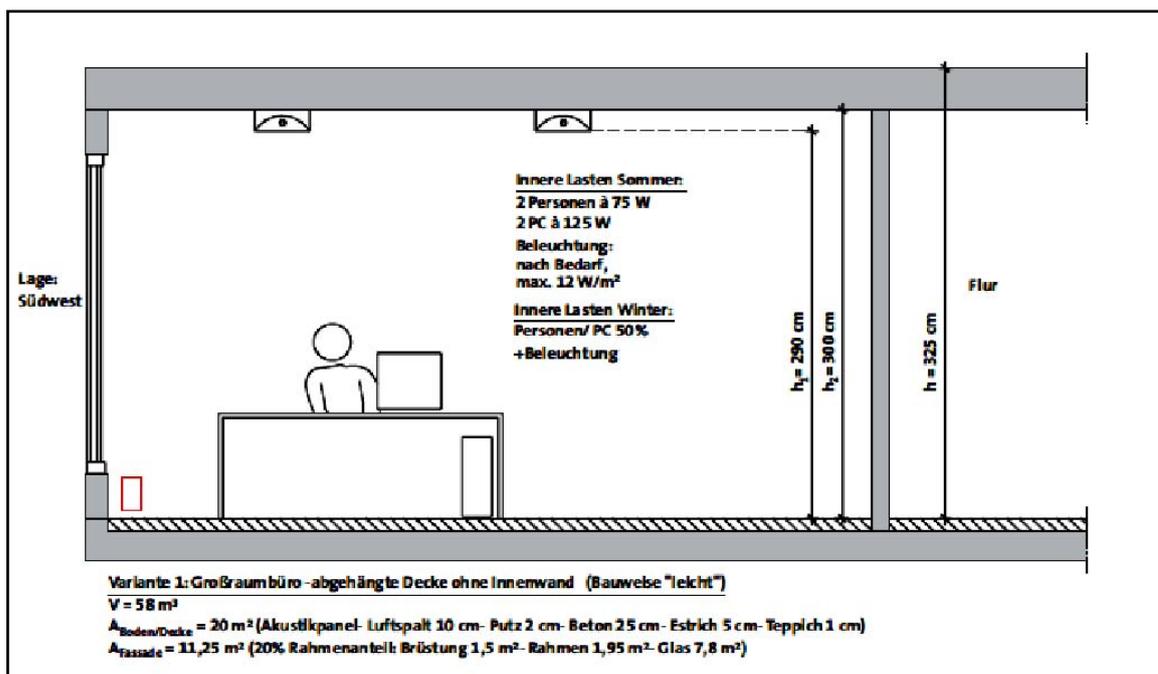


Abbildung 29: Aufbau des Referenzraumes /62/

Der Referenzraum (siehe Abbildung 29):

Bei dem untersuchten Referenzraum handelt es sich um einen 20 m<sup>2</sup> großen Ausschnitt aus einem 100 m<sup>2</sup> messenden Team-Office. Das untersuchte Team-Office verfügt über manuell zu öffnende Fenster, denen zwei Fassadenorientierungen zugeordnet werden, so dass eine Querlüftung möglich ist. Die Belegungsdichte beträgt eine Person pro zehn Quadratmeter.

Die Fassadenvarianten:

Folgende Fassadensysteme (siehe Abbildung 30) werden durch den Autor unterschieden:

- Einfachfassade
- Doppelfassade
- variable Doppelfassade

Hierbei handelt es sich um ein System bei dem die äußere Scheibe motorisch parallel abgestellt werden kann. Dadurch wird eine kontrollierte Fensterlüftung ermöglicht.

Aus Vergleichbarkeitsgründen wurde für die untersuchten Varianten jeweils ein Glasanteil von ca. 70 % angenommen.

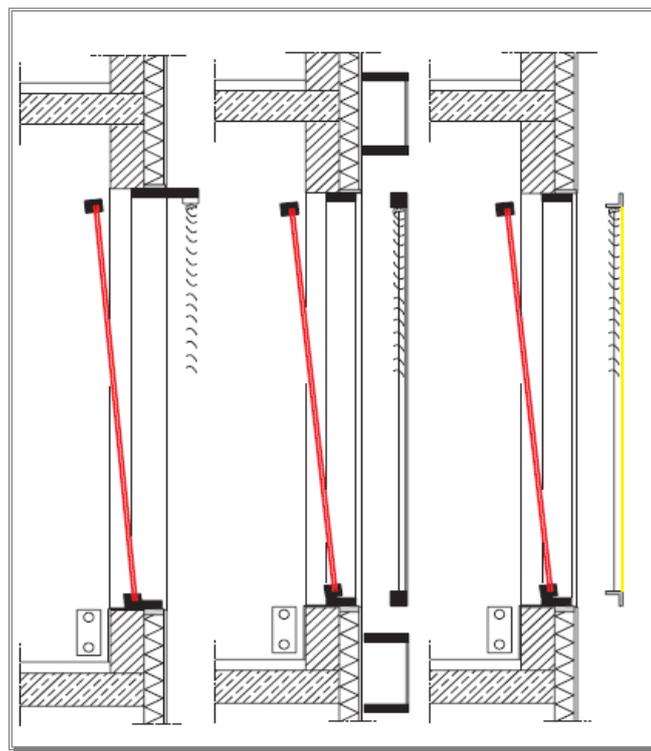


Abbildung 30: Untersuchte Fassaden:

Variante 1: Einfachfassade: (links), Variante 2: Doppelfassade: (mitte), Variante 3: Variable Doppelfassade (rechts) /62/

Für die Variante 1, die Einschalige Fassade, wurde ein außen liegender Sonnenschutz vorausgesetzt. Bei der Variante 2, der Doppelfassade, wurde der Sonnenschutz im Fassadenzwischenraum angesetzt. Die Öffnungsfläche zur Hinterlüftung wurde mit 10 % angenommen, einem üblichen Wert, der sowohl eine ausreichende Hinterlüftung im Sommer gewährleistet als auch unter schalltechnischen und optischen Gesichtspunkten einen akzeptablen Wert darstellt. Bei der Variante 3 handelt es sich um eine variable Doppelfassade bei der die

äußere Scheibe als Sonnenschutzverglasung ausgeführt wird, die motorisch, parallel abgestellt werden kann. Die dadurch erreichte Variabilität in der Öffnungsweite kann zum einen auf die außenklimatischen Anforderungen (großer Hinterlüftungsquerschnitt im Sommer und möglichst kleiner Querschnitt im Winter) reagiert werden, zum anderen ist da durch eine kontrollierte Fensterlüftung möglich. Die Eigenschaften des Sonnenschutzes Transmission, Absorption und Reflexion, wurden für alle Varianten als gleich vorausgesetzt. (siehe Abbildung 30)

Gesamtenergetische Betrachtung der Betriebskosten:

Bei der gesamtenergetischen Betrachtung wurde das für den Raum Frankfurt gültige Testreferenzjahr des Deutschen Wetterdienstes zu Grunde gelegt. Berücksichtigt wurde zum einen der Energiebedarf für Heizung, zum anderen der elektrische Energiebedarf zur Kälteerzeugung mittels konventioneller Kompressionskältemaschinen. Obwohl eine natürliche Lüftung in allen drei Fassadensystemen möglich ist, ist zur Einhaltung der Behaglichkeitsanforderungen während extremer sommerlicher und winterlicher Witterungsbedingungen eine unterstützende mechanische Lüftung notwendig.

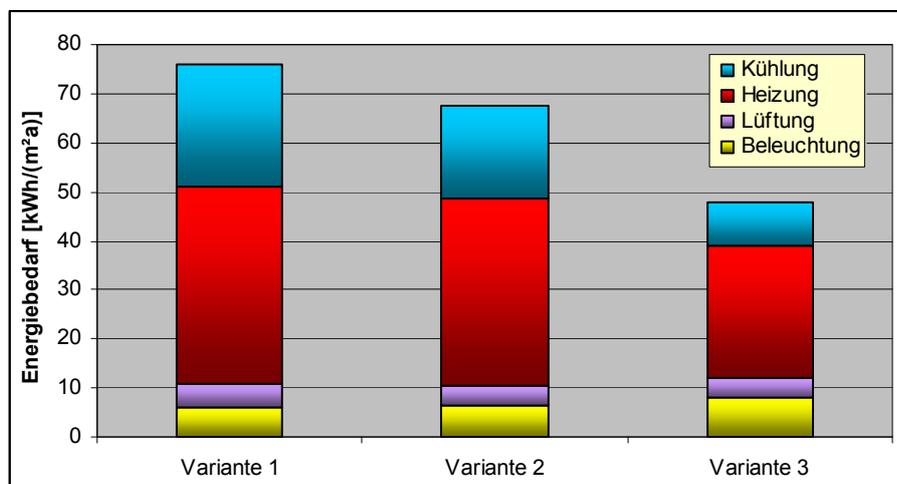


Abbildung 31: Jahresenergiebedarf /62/

Bedingt durch die reduzierten freien Lüftungsquerschnitte bei den Doppelfassaden-Varianten, insbesondere jedoch auch bei der Variablen Doppelfassade (Variante 3) können hier die Zeiten, an denen eine mechanische Belüftung im Winter oder bei Wind zur Vermeidung von Zugscheinungen in Folge von Querlüftung, reduziert werden. Bedingt durch den einfachen Verglasungsaufbau der Einfachfassade zeigt die Variante 1 hier deutliche Vorteile gegenüber den zwei untersuchten Doppelfassadenvarianten. Vor dem Hintergrund, dass ein Großteil der

Umwelteinwirkungen durch den Primärenergieverbrauch während der Betriebsphase verursacht wird, wird klar, dass die Variable Doppelfassade mit einem jährlichen Primärenergiebedarf der hier untersuchten Größen von ca. 70 kWh/(m<sup>2</sup>a) mit einer Verbesserung gegenüber der Einfachfassade von nahezu 30% und gegenüber der Doppelfassade von immerhin noch knapp 25% auch einen entscheidenden Umweltbeitrag leisten kann. Durch die Simulation für einen durchschnittlich warmen Sommertag zeigt der Autor auf, dass durch die variable Doppelfassade eine Einsparung von 15%-35% in der Kühlenergie erreicht werden kann. (siehe Abbildung 31)

## 5 Raumklima

Unter Raumklima versteht man das Klima in Innenräumen von Gebäuden. /17/ Ein gleichmäßiges Raumklima ist die Voraussetzung für einen behaglichen und gesunden Aufenthalt des Menschen in einem Gebäude.

Daher kann man guten Gewissens sagen, dass der Fassade eine wichtige Bedeutung zukommt, weil sie einzelne raumklimatische Komponenten steuern kann. Die Doppelfassaden können ebenfalls bzw. in diversen Fällen als „Klimafassaden“ /1/ bezeichnet werden, weil die Mehrschaligkeit einer Fassade häufig einen reduzierenden Einsatz von zusätzlichen Raumklimaanlagen begründet.

### Thermische Behaglichkeit:

Die thermische Behaglichkeit kann man als eine Koppelung zwischen Raumklima und dem körperlichen Empfinden des Menschen bezeichnen. Es stellt sich die Frage, ob die thermische Behaglichkeit passend ist, ob sie gewohnt und gesund ist. Das Raumklima ergibt sich aus zusammenwirkenden Einflussgrößen wie der körperlichen Tätigkeit, Bekleidung der Menschen, Raumlufttemperatur, -feuchte, -geschwindigkeit, Belichtung und dem Schallschutz. /17/ Die folgende Tabelle stellt maßgebliche Werte für ein gutes Raumklima dar:

|                         |                                |
|-------------------------|--------------------------------|
| Raumlufttemperatur      | 20-26 °C                       |
| Raumluftfeuchte         | 35-65/ 55-80 %                 |
| Raumluftgeschwindigkeit | 0,1-0,3 m/s                    |
| Temperaturdifferenz     | ≤ 6 K zwischen außen und innen |
| Belichtung              | 300-1000 lx                    |
| Lärmpegel innen         | 25-40/55 dB(A)                 |

Tabelle 11: Raumklimatische Bezugsgrößen /17/

---

Die thermische Behaglichkeit ist dann erfüllt, wenn der Mensch in dem Raum mit dem Temperatur, Feuchte und Luftbewegung zufrieden ist und sich wohl fühlt.

### Raumlufttemperatur

Bei dem Büroalltag entsprechend gekleideten, sitzenden Menschen ohne körperliche Arbeit wird im Winter eine operative Temperatur von 22 °C als behaglich empfunden. Im Sommer ist eine operative Temperatur von 22 bis 24 °C am günstigsten. Die höhere Temperatur im Sommer ist zu erlauben, da der Mensch im Sommer im Allgemeinen leichter bekleidet ist. Für den unbekleideten Menschen wird eine optimale Temperatur mit 28 °C angegeben. /25/

### Raumluftfeuchte

Der Mensch kann die Raumluftfeuchte nicht unmittelbar wahrnehmen. Bei der normalen Raumtemperatur von 20 °C spielt allerdings die Wärmeabgabe durch Verdunstung nur eine geringe Rolle. Es ist daher anzunehmen, dass auch die Luftfeuchte in diesem Bereich keinen großen Einfluss hat. Bei steigender Temperatur und Luftfeuchte wird der Wasserdampfgehalt der Luft zugleich mit dem Wärmegefühl erfasst. /25/

### Luftbewegung

Die Luftbewegung hat einen erheblichen Einfluss auf die Behaglichkeit und dem wohl fühl Empfinden eines Menschen. Während eine mäßige Luftbewegung bei Menschen im Freien als nicht unangenehm empfunden wird, reagieren diese in geschlossenen Räumen empfindlich auf jede Luftbewegung. Für den Wärme- und Stofftransport ist eine Mindestluftbewegung aber immer erforderlich. Gleichzeitig ist darauf zu achten, dass die Luftgeschwindigkeit in Räumen den Wert 0,15 m/s niemals überschreitet. Sonst steigt die Zegerscheinungsgefahr. /25/

Die Fassadenausbildung Einfluss auf die thermische Behaglichkeit (Strahlungsintensität, Intensität der Raumluftströmung) im Innenbereich eines Gebäudes .

Eine gute Außenluftqualität und ein niedriger Außenlärmpegel sind die Voraussetzung für eine Fensterlüftung. Es sei denn, man behauptet, dass bei freier Lüftung eine Nichteinhaltung der Behaglichkeitskriterien akzeptabler erscheint, als bei maschineller Lüftung. Die entsprechenden Gründe sind im psychologischen Bereich zu suchen, da eine mechanische Lüftung häufiger abgelehnt wird. Allerdings ist das Prinzip der freien Lüftung sehr problematisch bei Windstille und hoher Außentemperatur. Die Fenster, die großzügig geöffnet werden können, sollten auf jeden Fall zur Verfügung stehen, so dass ein ausreichender Luftwechsel auch bei kleinen

Temperaturdifferenzen erreichbar ist. Zusätzlich müssen die Fensteröffnungen möglichst genau einstellbar sein, damit sie im Winter sehr klein und in der Übergangszeit groß gehalten werden können.

Dann kann der benötigte Fensterlüftung scheint bei Hochhäusern wegen des hohen Winddruckes grundsätzlich problematisch. Voraussetzung ist, dass die Fenster dicht schließbar sind. Der Mindestluftwechsel muss auch bei Sturm und geschlossenen Fenstern erreicht werden. Zusätzlich muss ein Gebäude von Raum zu Raum und von Geschoss zu Geschoss möglichst dicht sein. Ansonsten treten große Luftgeschwindigkeiten im Gebäude infolge der Auftriebskräfte und Schachtwirkungen auf.

## 6 Sonnenschutz

Gebäude sind die größten Energieverbraucher in der EU. Ungefähr 50% des Primärenergieverbrauchs in Europa entfällt auf die Errichtung und Nutzung von Gebäuden – mehr als in den Sektoren Verkehr oder Industrie. Das erklärt auch, warum die EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) so wichtig ist. /63/

Der Sonnenschutz hat die Aufgabe bei nicht klimatisierten Gebäuden, ein menschliches Behaglichkeitsempfinden der Raumlufttemperatur, auch bei stärkerer Sonnenstrahlung aufrechtzuerhalten. Bei klimatisierten Gebäuden können die Kühlleistung (bzw. Investitionskosten der Kühleinrichtungen) und die anfallenden Betriebskosten verringert werden.

Die Konzeption der Fassade mit ihrem Sonnenschutz ist deshalb ein wichtiger Punkt der Gebäudeplanung. Die Zeiten, in denen man zunächst ein Gebäude baute, um sich anschließend Gedanken über die Verschattung zu machen, sind endgültig vorbei. Eine wichtige Funktion der Fassade ist die Fähigkeit, auf Tages- und jahreszeitlich bedingtes Wetter- und Klimaschwankungen reagieren zu können, um mit minimalem Energieaufwand ein behagliches Raumklima zu schaffen.

Weitere wichtige Funktionen des Sonnenschutzes sind:

- Kontrollierbare Tageslichtumlenkung
- Einstellbarer Gesamtenergiedurchlassgrad (gtot-Wert) der Fassade
- Individuell einstellbarer Blendschutz
- Verbesserung der Raumakustik
- Solarenergienutzung

- 
- Visueller Bezug zur Außenwelt
  - Steuerung der Be- und Entlüftung

Neben all diesen technischen Funktionen, die das Sonnenschutzsystem erfüllt, darf nicht vergessen werden, dass insbesondere der außenliegende Sonnenschutz die Optik eines Gebäudes in entscheidendem Maße prägt. Der innenliegende Sonnenschutz setzt dagegen eher Akzente bei der Gestaltung der Innenräume.

Bei der Fassadenplanung und dem daraus folgendem erforderlichen Sonnenschutz stehen verschiedenste Kombinationen zur Verfügung, die sich in typischen Varianten zuordnen lassen. Dies sind Einschalige Fassaden mit Sonnenschutz außen, innen oder im Scheibenzwischenraum sowie Doppelfassaden mit integriertem Sonnenschutz. Außen- und Innenliegende Sonnenschutz bei Einschaligen Fassaden wirken ähnlich, weil die Wärme, die durch Absorption der Sonnenstrahlung entsteht und außerhalb der Gebäude bleibt.

Aber im Fall der gegebenen Witterungseinflüsse und die damit verursachten Reinigungs- und Wartungskosten, bestehen verschiedenste Anforderungen an die Positionierung des Sonnenschutzes. Das ist z.B. bei hohen Gebäuden (über 20 m) mit außenliegendem Sonnenschutz, aufgrund häufig vorherrschender großer Windangriffskräfte, nur eingeschränkt möglich. Liegt der Sonnenschutz in einer Doppelfassade, d.h. im Fassadenzwischenraum, reduziert dies einerseits die Betriebs- und Unterhaltskosten und andererseits erfolgt ein Schutz der Gebäude von Windangriffskräften. Hierfür sind Kenntnisse der Strömungsverhältnisse notwendig.

## **6.1 Grundlage zum Sonnenschutz**

Die Haupteinflussgrößen zur Ermittlung der Bedingungen von Sonnenschutzmaßnahmen stellen gleichzeitig die konzeptionellen Randbedingungen zur Entwicklung sowie Anwendung optimaler Sonnenschutzsysteme dar. Die Haupteinflussgrößen sind: /1/

- Am Gebäudestandort vorherrschende Außenbedingungen,
- Konzeption und Ausführung des Gebäudekörpers,
- Konzeption, Ausführung und Betrieb der Gebäudehülle,
- Konzeption und Ausführung des Innenraumes,
- Konzeption, Ausführung und Betrieb der technische Einrichtungen,
- Nutzung des Gebäudes und Nutzverhalten.

---

Außenbedingungen in Bezug auf Sonnenschutzsysteme sind Höhe, Stärke bzw. zeitlicher Verlauf der Außentemperatur und Windgeschwindigkeit sowie das Solarstrahlungsangebot mit seiner zeitlichen und räumlichen Verteilung, maßgeblich.

Die Einflussgrößen für spezielle Sonnenschutzeinrichtungen in Doppelfassaden sind: /1/

- Die Breite, Tiefe und Geometrie der Fensterrahmen und des Fassadenzwischenraumes sowie die darin befindlichen Einbauten,
- Die Anzahl, Größe, Formgebung und Öffnungsart sowie der Strömungswiderstand der Lüftungsöffnungen in der inneren und äußeren Fassade,
- Die räumliche Anforderung der Wärme- und Windschutzebene in der Fassade.

Bei Doppelfassaden mit einem über mehrere Geschosse durchlaufendem Fassadenzwischenraum muss beachtet werden, dass sich die Luft im Fassadenzwischenraum bei Sonnenstrahlung mit zunehmender Höhe, stetig erwärmt. In diesem Fall kann durch wirksamen Wärmeschutz diese resultierende Wärmebelastung des Innenraumes gemindert werden. Diese gilt nicht bei Fassaden, die einem Luftaustausch zwischen Innenraum und Fassadenzwischenraum über Fenster oder Luftschlitze zulassen.

Den Sonnenschutz bei Doppelfassaden kann man

- raumseitig,
- in der Innenfassade,
- in Fassadenzwischenraum,
- in der Außenfassade oder
- außenseitig

orientieren.

Im Vergleich der Sonnenschutzorientierung bei Einschaligen Fassaden und gleicher Orientierung bei Doppelfassaden, sind keine Vorteile vorhanden. Diese bewirken Sonnenschutz auf der Raumseite, auf der Außenseite sowie innerhalb der inneren Ebene. Dagegen wirkt die Anordnung innerhalb der äußeren Ebene von Doppelfassaden, aufgrund der zwangsläufigen Erwärmung der „Sonnenschutzebene“, praktisch nicht negativ auf die Kühllast im Raum aus. Das verursacht die Kühlung der äußeren Verglasung mit Raum- bzw. Außenluft.

Die Orientierung des Sonnenschutzes im Fassadenzwischenraum ist nur spezifisch für Doppelfassaden. Für diese gelten einige grundlegende Gesetzmäßigkeiten: /1/

- 
- Ist der Abstand zwischen Sonnenschutz und der Innen- bzw. Außenfassade nicht groß genug, wird der Sonnenschutz nicht ausreichend mit Außenluft umströmt.
  - Ist er zu weit von der Innen- und Außenfassade entfernt, so stellt sich eine zu geringe auftriebsbedingte Strömungsgeschwindigkeit zwischen Sonnenschutz und angrenzender Verglasung ein. Dadurch verringert sich die konvektive Wärmeabfuhr, und der Sonnenschutz heizt sich stärker auf. In der Folge reduziert sich abermals die Sonnenschutzwirkung.

Insbesondere bei Doppelfassaden, mit nichttransparenten horizontalen und vertikalen Begrenzungen, kommt ein weiterer Effekt zu tragen: je weiter der Sonnenschutz von der äußeren Verglasung entfernt ist, desto größer ist die Fläche der horizontalen und vertikalen Begrenzungen, die von der auftreffende Sonnenstrahlung aufgeheizt wird. Die Temperatur im Fassadenzwischenraum steigt aus diesem Grund wodurch sich daher die Sonnenschutzwirkung wieder verschlechtert. Auch die Windanfälligkeit des Sonnenschutzes hängt von seiner Positionierung ab: je freier er im Fassadenzwischenraum hängt, desto eher neigt er bei Wind zum „Flattern“. /1/

Im Fall diffuser Sonnenstrahlung (Himmelstrahlung) wird im Fassadenzwischenraum nur geringfügig Wärme durch die äußere Strahlung freigesetzt, wodurch sich der Raumlüftungscharakter nicht verändert.

Im Fall direkte Sonnenstrahlung erwärmt sich die Luft im Fassadenzwischenraum und erzeugt von unten nach oben eine wirkende Konvektionsströmung. Daher verändert sich die Raumlüftungscharakteristik und Strömungseigenschaft im Fassadenzwischenraum, welche in der u.a. Abbildung dargestellt ist.

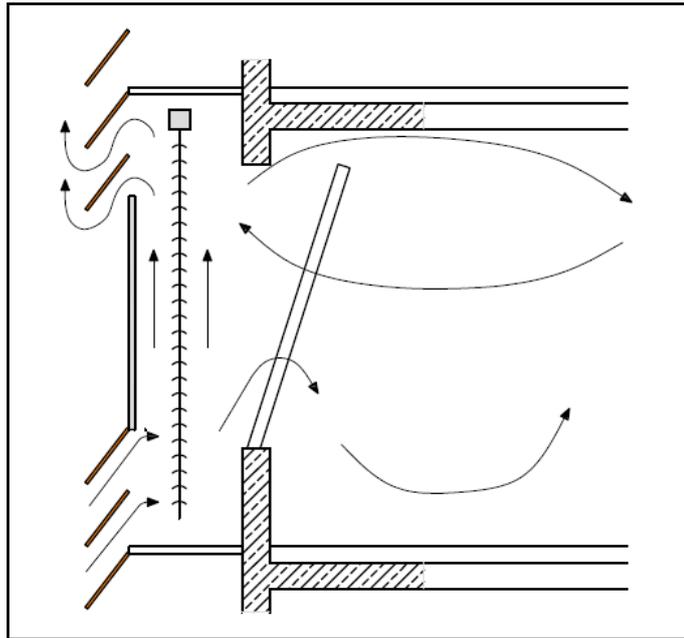


Abbildung 32: Freie Raumlüftungsströmung bei Sonnenstrahlung /1/

Im unteren Fassaden- bzw. Fensterbereich strömt von außen Frischluft in den Raum ein und es bildet sich eine Raumwalze aus, die jedoch in etwa Raummitte durch das Fenster zurück in den Fassadenzwischenraum führt. Ein Teil der einströmenden Außenluft strömt direkt von unten nach oben am Sonnenschutz entlang und leitet somit Wärme nach außen ab. Ist die Temperatur im Fassadenzwischenraum höher als die des Raumes, tritt unterhalb der Raumdecke die warme Luft wieder in den Raum ein, kühlt sich ab und verlässt den Raum ebenfalls in der Mitte des Fensterbereichs. Die Menge der warmen Raumlufte bzw. die Menge der Rückstromhöhe ist abhängig von der Strahlungsbelastung der Fassade. Je höher die Sonnenstrahlungsbelastung ist, desto größer ist der Anteil der in den Raum eintretenden warmen Luft. Dieser Effekt hat den Vorteil, dass im Winter Heizenergie eingespart werden kann jedoch im Sommer, während der warmen Jahreszeit, die Heißluft minimiert werden muss.

Die hohen Temperaturen, besonders im Bereich des Sonnenschutzes, werden durch eine Konvektionsströmung abgeleitet und der dazu benötigte Bedarf an Frischluft, der durch die Außenfassadenöffnungen in den Fassadenzwischenraum gelangt, wird erhöht.

Also, muss eine ausreichende Belüftung des Fassadenzwischenraumes gewährleistet sein, damit die Übergangstemperatur ableitbar ist. /1/

Der Strömungswiderstand in der äußeren Haut und im Fassadenzwischenraum bestimmt dessen Durchlüftung. Diese wird beeinflusst durch die Geometrie der Lüftungsöffnungen und des

---

Fassadenzwischenraumes sowie durch die Sonnenschutzvorrichtung. Bei ausreichender Hinterlüftung kann infolge der am Sonnenschutz absorbierten Sonnenstrahlung entstehende Wärme voll abgeleitet werden.

Unabhängig von äußeren Witterungseinflüssen, ist die Anordnung des Sonnenschutzes im Fassadenzwischenraum, genauso effektiv wie die Außenanordnung bei Einschaligen Fassaden.

Dabei ergibt sich ein interessanter Selbstregelungseffekt: Der Luftwechsel im Fassadenzwischenraum, wird zusammen mit der Solarstrahlung auf die Fassade, erhöht. Dies ist auf die Erwärmung der Fassadenbauteile (Glas, Rahmen und Sonnenschutz) zurückzuführen. Nachströmende Umgebungsluft erwärmt sich an den Oberflächen der Fassade (sie wirken als Absorber) und erfahren eine Auftriebskraft. Je wärmer die Fassadenbauteile gegenüber der Umgebungsluft sind, umso ausgeprägter ist die Auftriebswirkung und desto stärker wird die Luftzirkulation im Fassadenzwischenraum. Folglich wird auch von den Sonnenschutzoberflächen mehr Wärme abgeleitet. Letztendlich verbessert sich die Sonnenschutzwirkung der Fassade mit zunehmender Solarstrahlung. /1/

Die Anforderungen einer optimalen Fassadenkonstruktion sind allerdings teilweise komplementär, da verschiedene Betriebszustände optimiert werden sollen (wie z.B. Sommer, Winter, verminderte Sonneneinstrahlung bei Schlechtwetter usw.).

- Die direkte Einstrahlung in den Raum soll möglichst gering sein. Eine komplette Verdunkelung führt aber dazu, dass kein Sichtkontakt mehr nach außen besteht, und dass das Licht angeschaltet werden muss.
- Der Sonnenschutz soll vom Innenraum durch eine möglichst gut dämmende Verglasung abgetrennt werden. Die gute Dämmung ist also sowohl im Winter, als auch im Sommer wichtig!
- Die Verglasung soll möglichst wenig Energie, bei Gewährleistung hoher Transmission im sichtbaren Bereich ohne Sonnenschutz, durchlassen. Solche Gläser haben aber hohe Absorptionsanteile, die zu starker Erwärmung führen, und Reflexionsanteile, die zu unerwünschten Blendeffekten führen können.
- Der Sonnenschutz selbst soll möglichst wenig absorbieren und möglichst viel reflektieren. Diese Eigenschaft wird durch die Farbe des Materials oder bei Lamellen durch die Beschichtung bestimmt. Eine weiße Beschichtung kann eine Absorption von 25% und eine Reflexion von 75% erreichen. Eine dunkle Beschichtung dagegen kann eine Absorption von 90% und eine Reflexion von 10%, mit unterschiedlichen Auswirkungen auf den Innenraum, aufweisen.

- 
- Eine möglichst hohe Hinterlüftung kann die anfallende Wärme gut abführen und zu akzeptablen Innenwerten führen. Ohne Hinterlüftung kann im Zwischenraum, bei ungünstigem Sonnenschutz, eine Temperatur von 60 Grad oder mehr erreicht werden. Für eine gute Hinterlüftung sind möglichst große Öffnungen, unter Berücksichtigung von Strömungseinschränkungen infolge von Wetterschutz, Insektengittern, enge Umlenkungen usw., vorzusehen.

Die Kombination von intelligentem Sonnenschutz und natürlicher Lüftung (auch zur Nachtauskühlung) mit potentiell solarem Gewinn im Winter, lässt die Doppelfassade zu jeder Jahreszeit, als energiesparende Lösung erscheinen.

## 6.2 Anforderungen an Sonnenschutzmaßnahme

Neben der Haupeinflussgröße für Energieverbrauch in Bürogebäuden, die in Kapitel 6.1 schon erläutert wurden, gibt es für Sonnenschutzmaßnahmen einige sehr spezielle Aspekte:

|   |   |  |
|---|---|--|
| Die Fensterfläche gegen Sonnenstrahlung sollen durch Sonnenschutzsysteme streifenfrei abgeschattet werden, in den Fällen: | - | bei nicht klimatisierten Gebäuden zur Aufrechterhaltung der dem menschlichen Behaglichkeitsempfinden entsprechenden Raumlufthtemperatur, |
|   | - | bei klimatisierten Gebäuden zur Senkung der durch Sonnenstrahlung bedingten Kühllast,  |
|   | - | zur Unterbindung einer Direktbestrahlung der im Gebäude befindlichen Personen  |

Guter Sonnenschutz muss:

|   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| - | so dimensioniert sein, dass absorbierte Solarstrahlung möglichst frei weggeschafft wird | → | "sekundäre Wärmestrahlung"  |
| - | die Beleuchtungskosten durch Tageslicht minimieren, was dadurch erzeugt wird:           | → | mögliche Erhöhung des Beleuchtungsniveaus im Innenraum und                                |
|   |   | → | mögliche Ausgleich der Beleuchtungsstärkeverteilung um minimierende Kühllast zu forcieren |
| - | der Lichttransmissionsgrad sollte im Allgemeinen also möglich groß sein, wobei          | → | das transmittierte Licht vorteilhafterweise gestreut oder                                 |
|   |   | → | in die Raumtiefe gelenkt werden sollte  |
| - | der Transmissionsgrad muss nach oben begrenzt sein, damit                               | → | eine unerwünschte Wärmebelastung des Raumes oder  |
|   |   | → | eine Blendung der Raumnutzer nicht einträte   |

|   |   |  |
|---|---|--|
| Daraus ergibt sich, dass eine gute Sonnenschutzvorrichtung: | → | bei Strahlungsüberschuss, unabhängig vom Sonnenstand und Himmelzustand, einen erheblichen Anteil der direkte Sonnenstrahlen in die Umgebung reflektiert muss,              |
|   | → | dabei für diffuses Tageslicht vom restlichen sichtbaren Himmel und für an der Umgebung reflektierte direkte und diffuse Sonnenstrahlung möglichst durchlässig sein sollte, |
|   | → | bei vollständig bedecktem Himmel und bei Himmelszuständen, bei denen die Sonne durch Wolken verdeckt ist, für Tageslicht möglichst durchlässig sein muss.                  |

Wenn Sonnenschutzvorrichtungen nicht windfest sind, müssen sie, unabhängig von der momentanen Notwendigkeit der Sonnenschutzfunktion, manuell oder automatisch („Windwächter“ /1/) in eine windgeschützte Position gefahren werden, da sonst eine Gefahr der Beschädigung besteht. Das Beschädigungsrisiko ist geringer, wenn der Sonnenschutz konstruktiv stabilisiert wird oder die Luftdurchlässigkeit gewährleistet ist. Luftdurchlässige Sonnenschutzeinrichtungen neigen zum „Segeleffekt“ /1/, der in der Regel auf Dauer eine Beschädigung zur Folge hat. Je größer die einzelne Sonnenschutzfläche ist, umso größer ist das Risiko der Beschädigung. Der Zeitraum, in dem sich der Sonnenschutz trotz starker Sonnenstrahlung nicht in Funktionsposition befindet, ist durch konstruktive und steuerungstechnische Maßnahme zu minimieren. Aus diesem Grund erweist sich die Anordnung des Sonnenschutzes im windgeschützten Zwischenraum von Doppelfassaden als vorteilhaft. /1/

### 6.3 Sonnenschutzmaßnahme

Sonnenschutzsysteme bei Doppelfassaden untergliedern sich in:

- Starrer Sonnenschutz
- Beweglicher Sonnenschutz

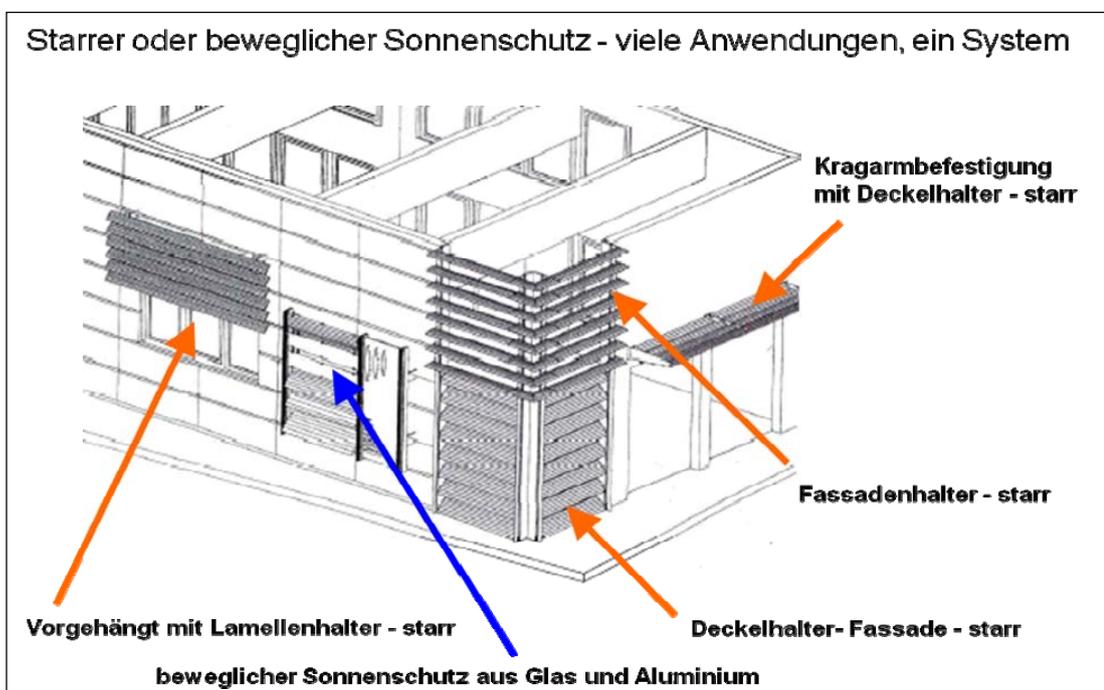


Abbildung 33: Starre und bewegliche Sonnenschutzsysteme /104/

---

Starre Sonnenschutzsysteme sind: /1/

- Auskragend Bauteile (z.B. Dachvorsprünge oder Balkone) aus nicht- und teiltransparenten Materialien (Beton oder Blech, evtl. gelocht),
- Feststehende Lamelle bzw. Gitterroste aus nichttransparenten Materialien (z.B. Aluminium-Strangpreßprofile),
- Feststehende Lamelle aus teiltransparenten Materialien (verspiegelte bzw. bedruckte Gläser, Lochbleche)...

Starre Sonnenschutzsysteme werden in Abhängigkeit der Neigung und Orientierung der Verglasung so gestellt, dass die direkte Sonnenstrahlung im Winter, bei niedrigem Sonnenstand, auf die Verglasung auftreffen kann, während sie im Sommer, bei großen Sonnenhöhenwinkel, die Verglasung verschatten. Darüber hinaus kann bei der Konzeption und Dimensionierung starrer Sonnenschutzmaßnahmen kann dir gewohnte Transmission diffuser Strahlung (Himmelstrahlung) als Optimierungssatz dienen. Gut durchachte Dimensionierungen können zu sehr gute Ergebnisse führen.

Verschiedene Lamellen und unterschiedliche Abstände zwischen den Lamellen steuern den Grad der Strahlungsausblendung und die Transparenz. Die Lamellen können parallel oder horizontal auskragend vor senkrechte Glasflächen oder auch an Glasdachflächen montiert werden. /67/

Die Anordnung des Sonnenschutzes sollte abgestimmt sein auf:

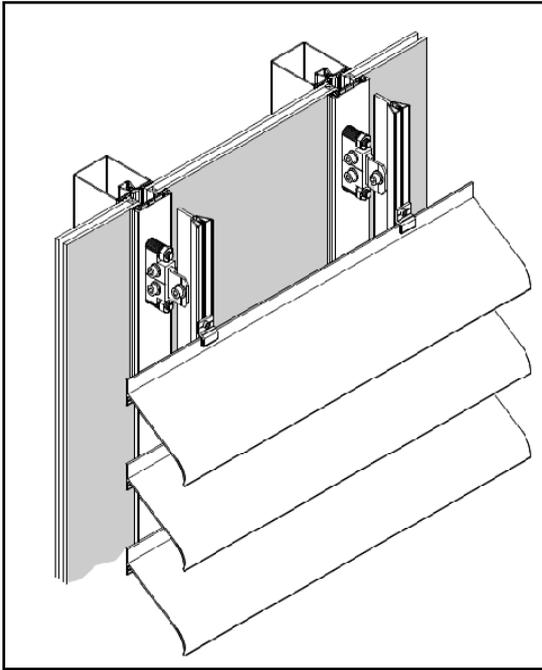


Abbildung 34: Stabalux-Lamelle /67/

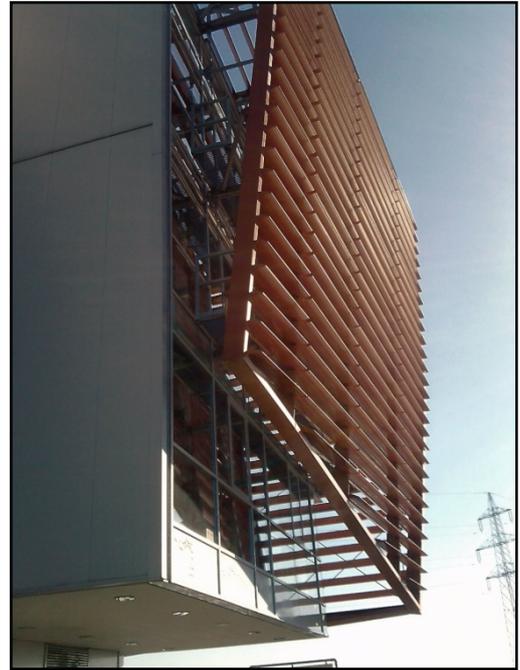


Abbildung 35: Strabaghaus- Graz

Die Reduzierung der Einstrahlungsenergie den Blendschutz die gewünschte Transparenz die zeitlichen Einstrahlungsmengen.

Zur Wahl der geeigneten Lamellen und Lamellenabstände stehen Sonnenstandsdiagramme zur Verfügung.

Der Sonnenschutz kann an alle üblichen Fassaden- und Glasdachsysteme und an Massivbaukörper montiert werden.

Stabalux SOL - Sonnenschutz ist in Alunaturfarben eloxiert oder in pulverbeschichteter Ausführung erhältlich. Sonderlackierungen sind möglich. Für Reinigungszwecke lassen sich die Lamellen feldweise über spezielle Trennungselemente öffnen und anheben oder abklappen. /67/

Beispiel:

Der SUNCLIPS® ist ein stabiler Sonnenschutz, der waagrecht, senkrecht oder unter Neigung montiert werden kann. Die Kombination natürliche Lüftung und Sonnenschutz bietet eine energiesparende Alternative für eine Klimaanlage und lässt Freiraum für Kreativität zur Gestaltung der Räume. /68/ neue Produkte sind:

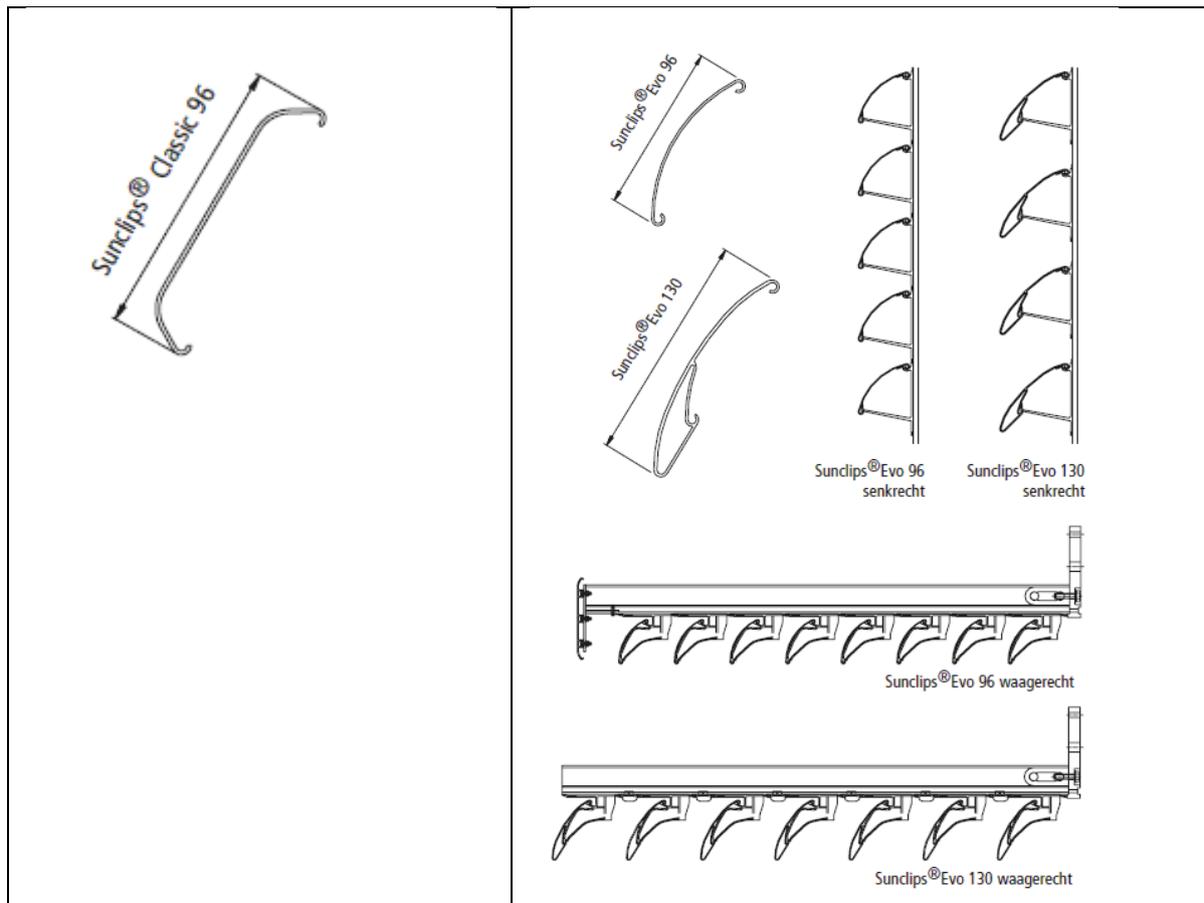


Abbildung 36: horizontale und vertikale Sonnenschutzsysteme SUNCLIPS /68/

### Sonnenschutzgläser und bedrückte Gläser:

Sonnenschutzglas wird als Einzelglasscheibe und als Isolierglas hergestellt und hat die Aufgabe möglichst Reduzierung der äußeren Kühllast. Die Gläser haben jedoch keine Blendschutzwirkung. Sonnenschutzglas kann eingefärbt und damit stärker absorbierend wirken, oder beschichtet sein und die Solarstrahlung reflektieren. Der Effekt beruht dann auf einer Beschichtung der Glasoberflächen, meist im Scheibenzwischenraum der Isolierverglasung (Metalloxidbeschichtung /40/). Moderne Metalloxidbeschichtungen (Low-e-Beschichtungen) wirken wie ein Filter und werden daher auch als selektive Beschichtungen bezeichnet. Der Lichttransmissionsgrad der Scheibe wird durch die Beschichtung dennoch herabgesetzt, so dass weniger Tageslicht in den Raum hineinkommt als bei unbeschichtetem Glas. Die Beschichtung wird an der Innenseite der Außenscheibe angeordnet. /40/ Bei der Wahl eines beschichteten Sonnenschutzglases sollte auf die Farbwirkung des Glases geachtet werden (bläulich, gräulich, grünlich), um diese bewusst in die Gestaltung einer Fassade mit einfließen lassen zu können.

Vor allem im Sommer soll Sonnenschutzglas das Aufheizen der Räume hinter verglasten Flächen verhindern oder zumindest verzögern. Es hat eine relativ hohe Durchlässigkeit für den sichtbaren Bereich des Lichtes bei gleichzeitiger geringer Transmission der wärmewirksamen Sonnenstrahlung.

Neben selektiv beschichteten Gläsern mit gleichmäßiger Transparenz der Scheibe, werden neuerdings Siebdruckemaillierungen partiell auf Gläser beschichtet um eine geringere Solareinstrahlung zu erzielen.

Die Sonnenschutzfunktion wird in der Regel durch Beschichtungen erreicht, die auf der Innenseite der Außenscheibe aufgedampft werden. Dabei wird zwischen zwei Wirkungsweisen unterschieden: Reflexionsgläser reflektieren das einfallende kurzwellige Sonnenlicht zu großen Teilen, sind für das sichtbare Licht jedoch weitgehend durchlässig und dabei relativ farbneutral. /40/

Das Sonnenschutzglas lässt sich geringere Energien ins Gebäude hinein als das Wärmeschutzglas. Die maximale Raumkühllast ändert sich in Verhältnis 1:1,32 beim Abluffenster und 1:1,40 bei der Doppelverglasung mit innenliegende Beschattungseinrichtung. /64/

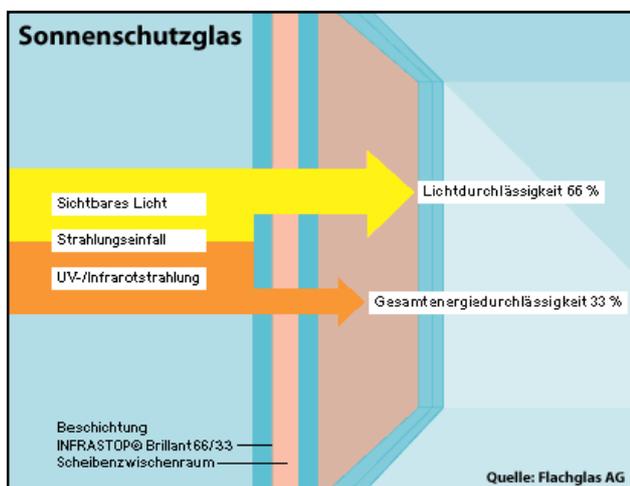


Abbildung 37: Sonnenschutzglas (Skizze) /65/

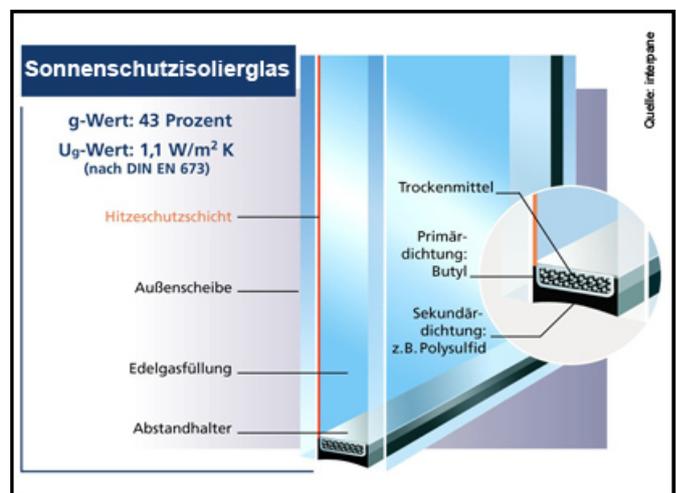


Abbildung 38: Sonnenschutzisolierglas /66/

Bei einem Versuch wird die verschiedenen Fassadentypen mit dem Sonnenschutz- und Wärmeschutzglas dargestellt. bzw. mit diesen die Vorteile von Sonnenschutzglas im Gegensatz zu Wärmeschutzglas: /64/

| Fassadentyp   | Verglasung   | Sonnenschutz  |          | W/m <sup>2</sup> |
|---------------|--------------|---------------|----------|------------------|
| Zweischeiben  | Sonnenschutz | außenliegende | DG-SSV/A | 47,1             |
| Doppelfassade |              |               | DF       | 48,3             |
| Abluftfenster | Sonnenschutz |               | AF-SSV   | 53               |
| Zweischeiben  | Wärmeschutz  | außenliegende | DG-WSV/A | 56,2             |
| Abluftfenster | Wärmeschutz  |               | AF/WSV   | 69,7             |
| Zweischeiben  | Sonnenschutz | innenliegende | DG-SSV/I | 78,7             |
| Zweischeiben  | Wärmeschutz  | innenliegende | DG-WSV/I | 110,8            |

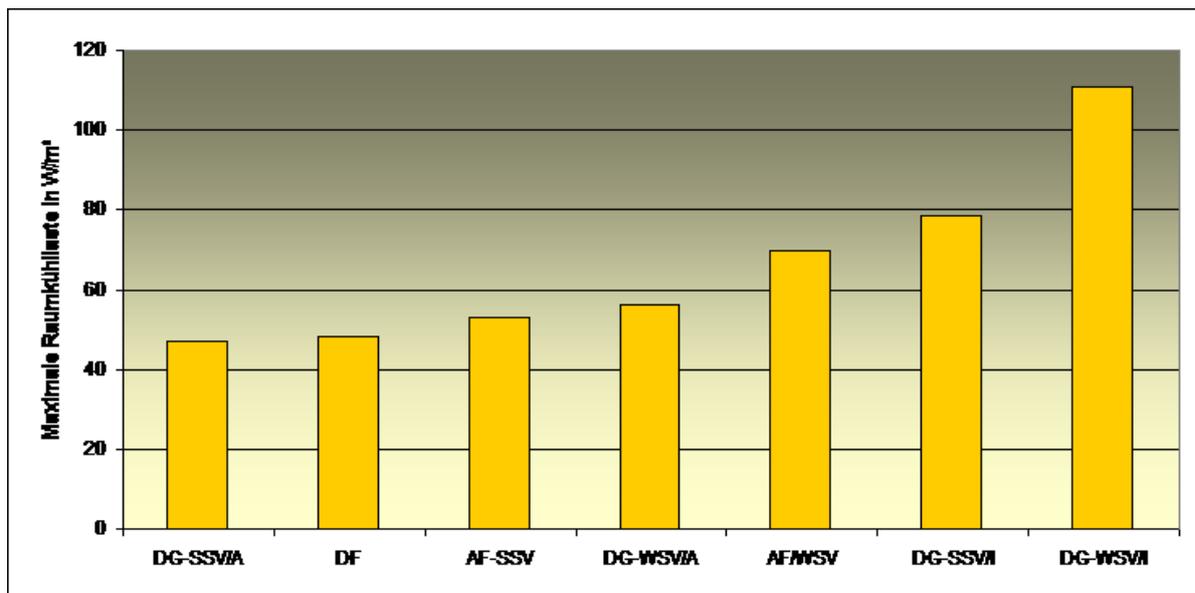


Abbildung 39: Verglasung und Fassadenarten im Vergleich /64/

Neben der Verwendung als Sonnenschutzglas werden bedruckte Gläser häufig auch für starre oder bewegliche außen liegende Sonnenschutzsysteme verwendet.

Es erspart vielerorts bauliche Eingriffe in die Sprache der Architektur oder ersetzt aufwendige und auffällige Maßnahmen an den Fenstern im Raum.

Eine Verringerung der Strahlungstransmission ist durch partiell undurchsichtige Flächen möglich, die im Siebdruckverfahren auf Verglasungen aufgebracht werden. Bei diesem Verfahren werden keramische Schichten während der Glasherstellung in die Oberfläche eingebrannt. Die Glasscheibe ist nur noch bedingt durchsichtig, die transparente Fläche für die Sonneneinstrahlung ist geringer geworden. Aus der Intensität der Bedruckung, d.h. aus dem Verhältnis von transparenter zu nicht transparenter Fläche, ergibt sich die Sonnenschutzwirkung.



Abbildung 41: Casino Basel /66/



Abbildung 40: Gemeindehaus Wollerau /66/

Die Bedruckung besteht in der Regel aus einem gleichmäßigen Punkt- oder Linienraster (Linien, Quadrat, Divers, Antigloss T) /66/, kann aber auch frei gestaltet werden. Denn hinsichtlich Formen, Farben und Mustern sind der Glasoberflächengestaltung kaum Grenzen gesetzt. So lassen sich mit Motivdruck beispielsweise fotorealistische Bilder im Vierfarbsatz auf Glas herstellen.

Wo direkte Sonneneinstrahlung stört, bewähren sich die Muster von SWISSDECO als einfachster und optisch unauffälliger Blendschutz. Die bedruckten Scheiben können als Einfachglas eingesetzt werden. Eine Weiterverarbeitung zu Verbundglas oder Isolierglas ist selbstverständlich auch möglich. Generell können alle Floatgläser bedruckt werden. Pyrolytisch beschichtete Gläser auf Anfrage.

Sonnenschutzgläser und bedruckte Gläser sind darüber hinaus in ihrem Transmissionsverhalten in einem großen Bereich praktisch unabhängig von Sonneneinfallswinkel. Sie können prinzipiell auch bei Doppelfassaden verwendet werden.

Bewegliche Sonnenschutzsysteme:

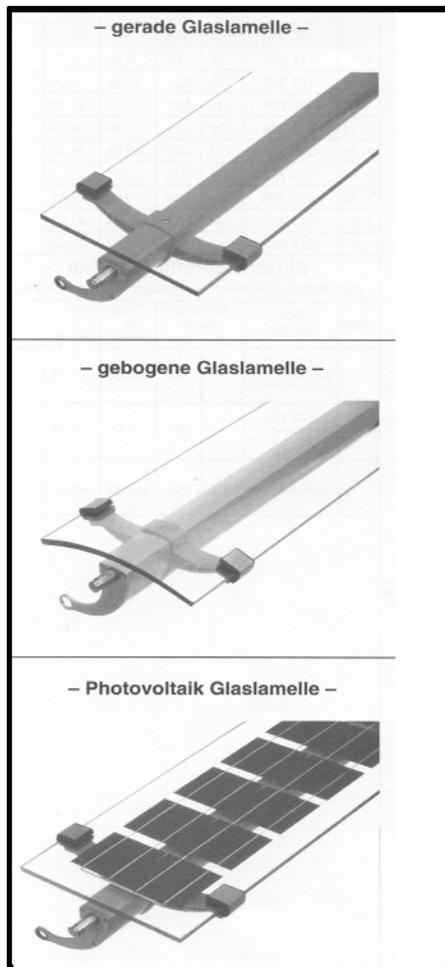


Abbildung 42: Bewegliche Glaslamellen  
der Firma „Schüco“ /104/



Abbildung 43: Bewegliche Metalllamellen  
der Firma „Schüco“ /104/

Praktische Anwendungsbeispiele für den beweglichen Sonnenschutz aus der Produktpalette der Firma Schüco sind in den *Abbildungen 42* und *43* dargestellt. Dieses Sonnenschutzsystem wird oft bei den Doppelfassaden als Sekundärfassade verwendet. Bei der Anwendung von beweglichen Sonnenschutzsystemen steigen die Investitions- und die Wartungskosten wegen zusätzlicher Antriebsmechanismen.

Die günstigere Variante sind die üblichen Jalousien welche bei den Doppelfassaden im Fassadenzwischenraum angeordnet werden können und manuell gesteuert werden.

Eine bessere Lösung wird durch den Einbau von Speziellen Jalousien zur Lichtlenkung erzielt welche folgende Aufgaben erfüllen: /1/

- Sonnenschutz,
- Blendungsbegrenzung,
- Bedingte Aussicht,
- Gleichmäßige und tiefe Raumausleuchtung,
- Einsparung der künstliche Beleuchtung,
- Nachtführung.

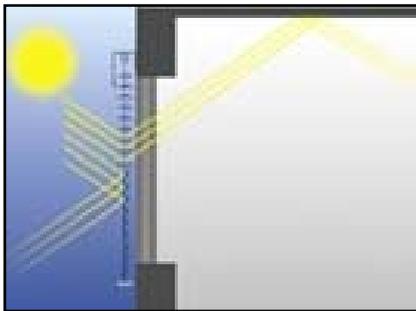


Abbildung 44 :  
Tageslichtoptimierte Jalousien  
/71/

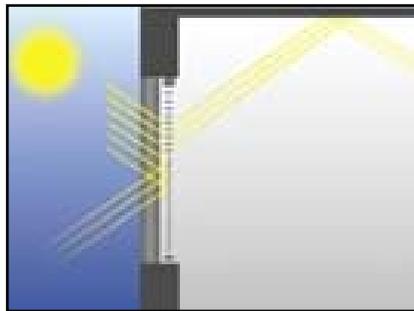


Abbildung 45 : Tageslicht  
Transparentelemente /71/

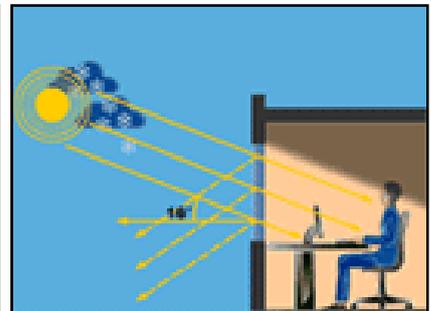


Abbildung 46 : EU-Richtlinie  
Bildschirmarbeitsplatzverordnung  
/71/

Die offenstehenden Lamellen reflektieren das Licht gegen die Zimmerdecke und leuchten so den Raum aus, während die geschlossenen die Sonnenstrahlen abwehren und Computer-Arbeitsplätze vor störenden Reflexionen schützen.

## 7 Schallschutz

Die Erhöhung des Verkehrslärms in Baugebieten hängt von der Lage und von der voraussichtlichen Verkehrsentwicklung ab. Die Städteentwicklung und dazu steigende Mobilität der Bevölkerung, insbesondere Straßenverkehr, bringt mehr Lärmemissionen. In diesem Orten, mit schlechter Luftqualität, ist nur selten eine natürliche Lüftung möglich, weil durch die große Konzentration von Staub und Lärm eine konventionelle Lüftung keinen zufriedenstellenden Effekt bewirkt. Dadurch ist meistens die Vollklimatisierung der Gebäude die einzige Lösung die anwendbar ist. Durch viele in den letzten Jahren realisierte Gebäude mit einer doppelschaligen Fassade, konnte ein besserer Schallschutz gegen Außenlärm, ermöglicht werden. Egal ob dies neuwertige oder sanierte Objekte sind, die Doppelfassade gibt die Möglichkeit den Außenlärm radikal zu reduzieren. Die Schalldämmung der Bauteile und die Größe der Lüftungsöffnungen spielt eine große Rolle bei der Schallübertragung im Fassadenzwischenraum, so dass während der Planung der Gebäude ebenso diese wichtigen Teilkomponenten beachtet werden müssen. In Abhängigkeit von der Funktion des Bauteils wird das erforderliche bewertete Schalldämmmaß  $R'_w$  festgelegt, welches zur Beschreibung der Schalldämmwirkung das Schalldämmmaß eines Bauteils im gebauten Zustand beschreibt. Das folgende Beispiel zeigt die verschiedenen Schalldämmmaße auf den Einschaligen und Doppelschaligen Fassaden.

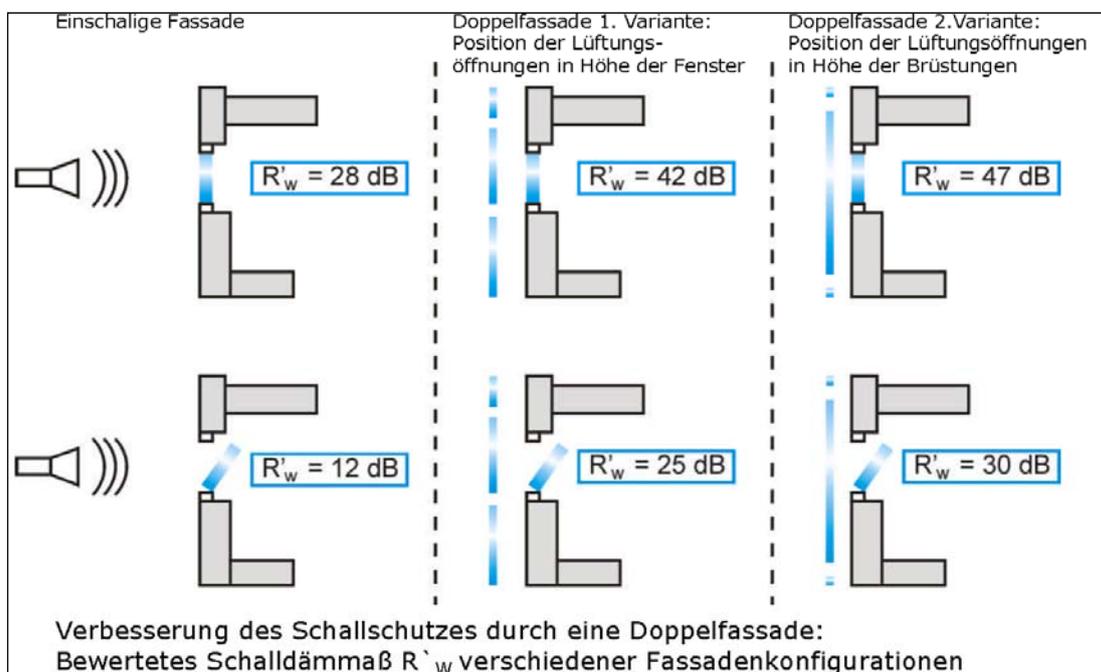


Abbildung 47: Schalldämmmaß /90/

Für die Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen wird der maßgebliche Außenlärm in verschiedene Lärmpegelbereiche in 5-dB-Schritten eingestuft. (siehe folgende Tabelle)

| Mindest erforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen |   |         |           |           |           |           |           |           |       |
|--|---|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| Bauteile von zu schützenden Räumen (Aufenthaltsräumen) | Mindestschallschutz in dB ( $R'_{res,w}$ , $R'_w$ , $R_w$ bzw. $R_w + C_{tr}$ ) für maßgebliche Außenlärmpegel-Stufen |         |           |           |           |           |           |           |       |
|  | Spalte  | 1       | 2         | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         | Zeile |
|  | Stufe   | A, B, C | D         | E         | F         | G         | H         | I         | 1     |
|  | Tag   | ≤ 50    | 51 bis 55 | 56 bis 60 | 61 bis 65 | 66 bis 70 | 71 bis 75 | 76 bis 80 | 2     |
|  | Nacht   | ≤ 40    | 41 bis 45 | 46 bis 50 | 51 bis 55 | 56 bis 60 | 61 bis 65 | 66 bis 70 | 3     |
| Entspricht den Richtwerten der Tabelle 1, Zeile(n)     |   | 1, 2    | 3         | 4         | 5         | -         | -         |           | 4     |

Tabelle 12: Mindest erforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen nach ÖNORM B 8115- 2 /102/

Die Arbeitsstättenrichtlinien geben den am Arbeitsplatz zulässigen Geräuschpegel an, der nicht überschritten werden darf. Dieser Pegel ist abhängig vor der Art der Tätigkeit. Dieser Beurteilungspegel darf in der Summe von Außen- und Innengeräuschen bei Büroräumen 55 dB(A) nicht überschreiten.

## 7.1 Außenlärmpegel

Die äußere Glasfassade ermöglicht eine Absenkung des Außenlärmpegels und ist ein Hauptgrund für ihren Einsatz. Die Innere Fassade muss daher den verringerten Außenlärmpegel zusätzlich abbauen und ermöglicht zudem ein Öffnen der Fenster zur Lüftung der Räumlichkeiten. Man geht davon aus, dass die schalltechnischen Anforderungen an die dahinterliegende Fassade entsprechend erreicht werden können. Das Schalldämmmaß der gesamten Fassadenkonstruktion hängt von dem Öffnungsanteil der äußeren Verglasung (wie Fugen, Lamellen oder Klappen) ab. Die zur Hinterlüftung notwendigen Öffnungen vermindern die Abschirmwirkung. Man kann somit dem Wunsch des Nutzers nach Fensteröffnen folgen, ohne dass der Außenlärm ihn störe. Eine gute Abstimmung der beiden gegensätzlichen Bedürfnisse ist notwendig. Die Schalldämmwirkung wird bei einem Öffnungsanteil von 8 bis 10 % mit 5 bis 8 dB angegeben. /17/

Die durch eine Außenhaut erreichbare Pegelminderung ist in der folgenden Abbildung zu sehen. Man erkennt, dass die Pegelminderung umso stärker zunimmt, je kleiner der zu Lüftungszwecken geöffnete Anteil der Außenschale ist.

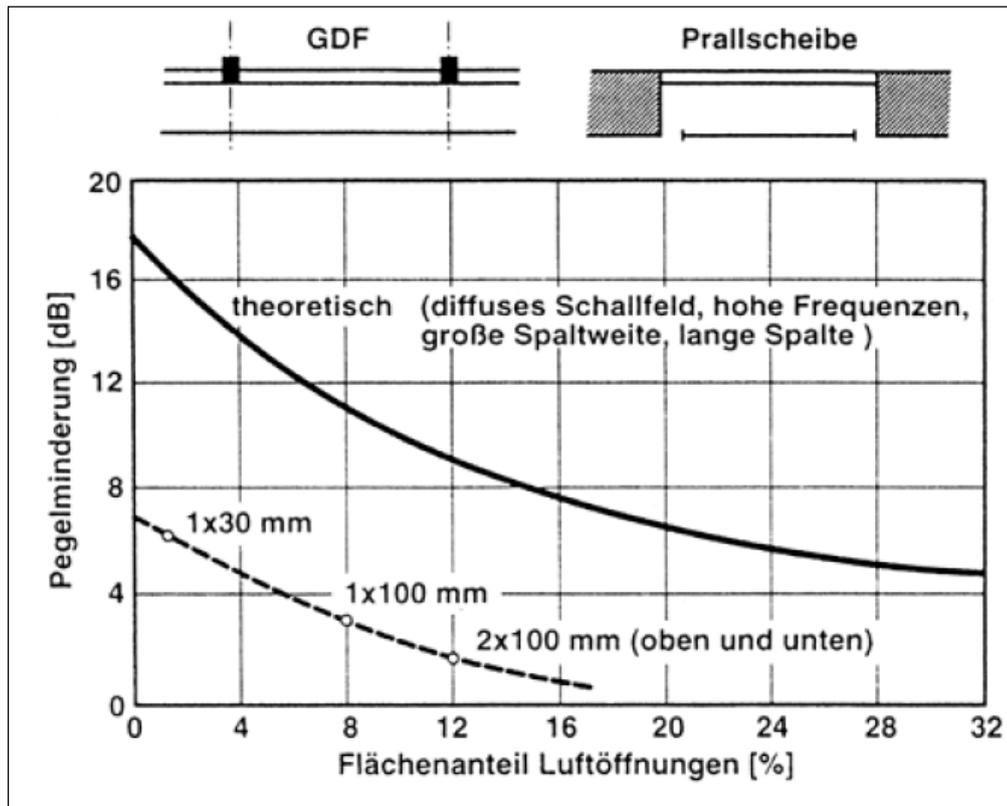


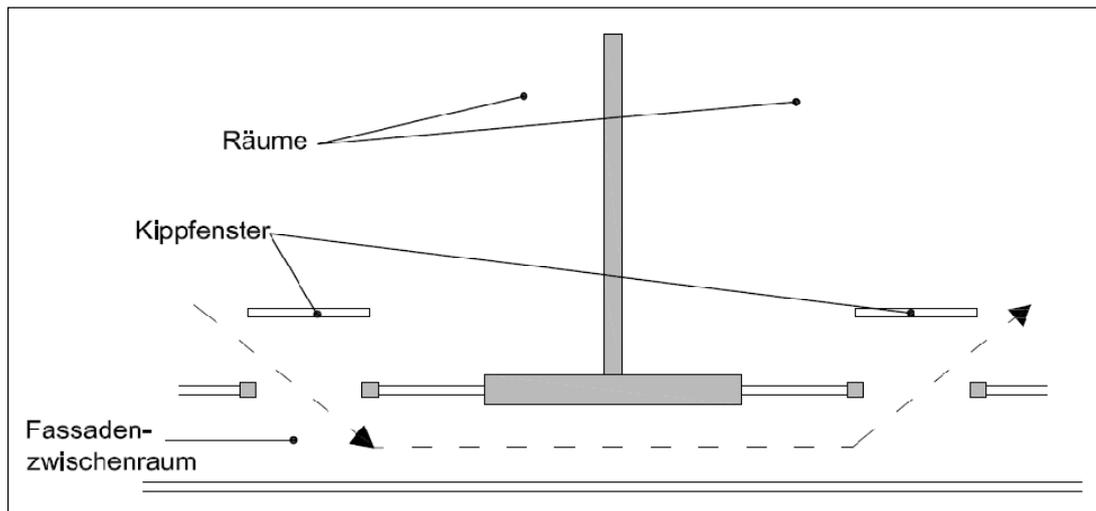
Abbildung 48: Schallpegelminderung durch eine Glas-Doppelfassade (GDF) oder durch eine vorgesetzte "Glasprallscheibe" einer Lochfassade in Abhängigkeit vom Flächenanteil der Lüftungsöffnungen in der Außenschale /17/

Die obere Kurve auf der *Abbildung 48* zeigt den theoretischen Verlauf, während die untere Kurve den gemessenen Wert von Fassaden bei verschiedenen Öffnungsgrößen (Prüfstand) zeigt. Am Luftspalt sind keine schalldämmenden Elemente angeordnet. Der dargestellte Pegelminderungsverlauf gilt nicht nur für Glasdoppelfassaden, sondern auch für z.B. transparente „Prallscheiben“ vor dem Fenster. Daraus folgt, dass man zum Lärmschutz nicht unbedingt Doppelfassaden braucht.

Als Obergrenze für die Fensterlüftung mit einer Einschaligen Fassade wird ein Außenlärmpegel von 68 dB(A) bis maximal 70 dB(A) angegeben. /17/ Der Einsatz einer Doppelfassade zur Fensterlüftung ist dagegen bei höheren Außenlärmpegeln sinnvoll, da in diesem Fall der hohe Außenlärmpegel die im Fassadenzwischenraum übertragenden Geräusche überdeckt.

## 7.2 Interner Schallschutz

Wie in *Tabelle 6* beschrieben, verstärkt der Fassadenzwischenraum die Schallübertragung zwischen den Räumen. Ein kritischer Gesichtspunkt ist auf der folgenden *Abbildung 49* dargestellt, wobei der Schall im Fassadenzwischenraum ohne Abschottungen im Korridor gebündelt wird.



*Abbildung 49: Horizontalschnitt, Prinzipdarstellung zur Längsschalldämmung bei nebeneinander liegenden Räumen mit Doppelfassade ohne Schottung /1/*

Ohne zusätzliche Absorberelemente kann sich der Schall demnach fast ungedämmt ausbreiten und zwischen den Räumen verstärkt werden. Der Begriff ist weitgehend als „Telefonie“ bekannt. Für die innere Schallübertragung sind die Geometrie und das Material des Fassadenzwischenraums ebenso von Bedeutung, wie die Höhe des Ausgangspegels und das Grundgeräusches im empfangenen Raum. Die Ausbildung des Fassadenzwischenraumes und der Innenbauteile ist deshalb genau zu überprüfen.

## 8 Beispiele von Doppelfassaden an bestehenden Objekten

In den folgenden Kapiteln werden praktische Anwendungsbeispiele von Doppelfassaden gezeigt und analysiert.

### 8.1 Steiermärkische Sparkasse- Andreas-Hofer-Platz 9, Graz

Die Steiermärkische Sparkasse wurde im Jahr 2005 am Andreas-Hofer-Platz als ein Erweiterungsbau der Firmenzentrale errichtet. Nach dem Umbau und der Fassadensanierung im Jahre 2006, wurde ein weiteres architektonisches Zeichen in der Grazer Altstadt geschaffen. Auf der westlichen Seite, nämlich zum Andreas-Hofer-Platz zugewandt, ergibt sich eine zentrale Positionierung des Gebäudes im Gesamtbild.



Abbildung 50: Steiermärkische Sparkasse und ihre Umgebung, Andreas-Hofer-Platz 9 /80/



Abbildung 51: Blick auf der Gebäude /76/

#### Objektbeschreibung:

Zufolge eines innovativen Raum- und Energiekonzeptes wurde die Steiermärkische Sparkasse im Jahr 2005 saniert. Der Entwurf des Gebäudes stammt vom ausgezeichneten Architektenbüro Szyszkowitz-Kowalsky. Die Hauptziele während der Planung und der Ausführung stellten die Bedingung, dass für circa 300 Mitarbeiter optimale Arbeitsbedingungen geschaffen werden und ein ökologisches und innovatives Fassadenkonzept entsteht.

Das Gebäude verfügt über insgesamt 12 Etagen, davon sind sieben oberirdisch und fünf unterirdisch angeordnet. Das Erdgeschoss und das erste Obergeschoss des Gebäudes sind zu einem Gebäudesockel zusammengefasst, wobei das zweite Geschoss leicht auskragt und formal aufgrund der Aluminiumvorsatzschale den Übergang zu den übrigen Obergeschossen bildet. Die weiteren fünf Obergeschosse wurden mit einer Glashülle verkleidet (Doppelfassade).



Abbildung 52: Steiermärkische Sparkasse: und nach dem Sanierung /80/

Das Gebäude wurde zwischen 1970 und 1972 /78/ errichtet und damals war die Stahlskelettbauweise sehr populär. Alleine der ästhetische Änderungsbedarf an der Gebäudehülle und eine daraus resultierende negative Energiebilanz, brachten die Verantwortlichen dazu, dass das Gebäude einer grundlegenden Neu- und Umgestaltung unterzogen wird. Der Energiebedarf lag vorher bei  $96 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  /78/. Die Verbesserung welche im Jahr 2005/2006 realisiert wurde schaffte für das Bauwerk durch die neue äußere Glasfassade eine Energieeinsparung von über fünfzig Prozent. /78/. Der neue Energiebedarf liegt heute bei  $43 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  /78/.

#### Fassadenkonzept und Sonnenschutz:

In diesen Teil werden das Fassadenkonzept und der Sonnenschutz zusammen beschreiben, weil die energetisch optimierte Außenhülle eine feingliedrige Glaslamellenkonstruktion aufweist, welche als großflächiger Sonnenschutz vorgesetzt wurde.

- Die Innere Fassade:

Die Innere Fassade besteht aus einer kombinierten Konstruktion aus hochwertiger und hochisolierender Verglasung in den Stahlbetonwänden inklusive Vollwärmeschutz ( $0,93 \text{ W/m}^2\text{K}$ ).

- Die Außen Fassade:

Die Äußere Fassade mit vorgehängten Glaslamellen auf einer Stahlkonstruktion gewährleistet eine bessere Belichtung durch die Bewegung der Lamellen im Fensterbereich. Das

Sonnenschutzglas ist auf dem gesamten Gebäude montiert. Die Außenfassade besteht neben den Glaslamellen auch aus einer Tragkonstruktion mit Glashaltern, dem Antrieb und einer multifunktionalen Steuerung.



Abbildung 53: Außenfassade- Blick auf Glaslamellen

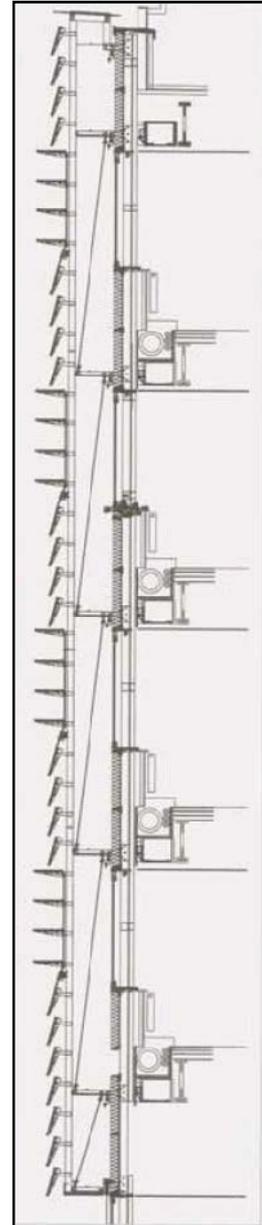
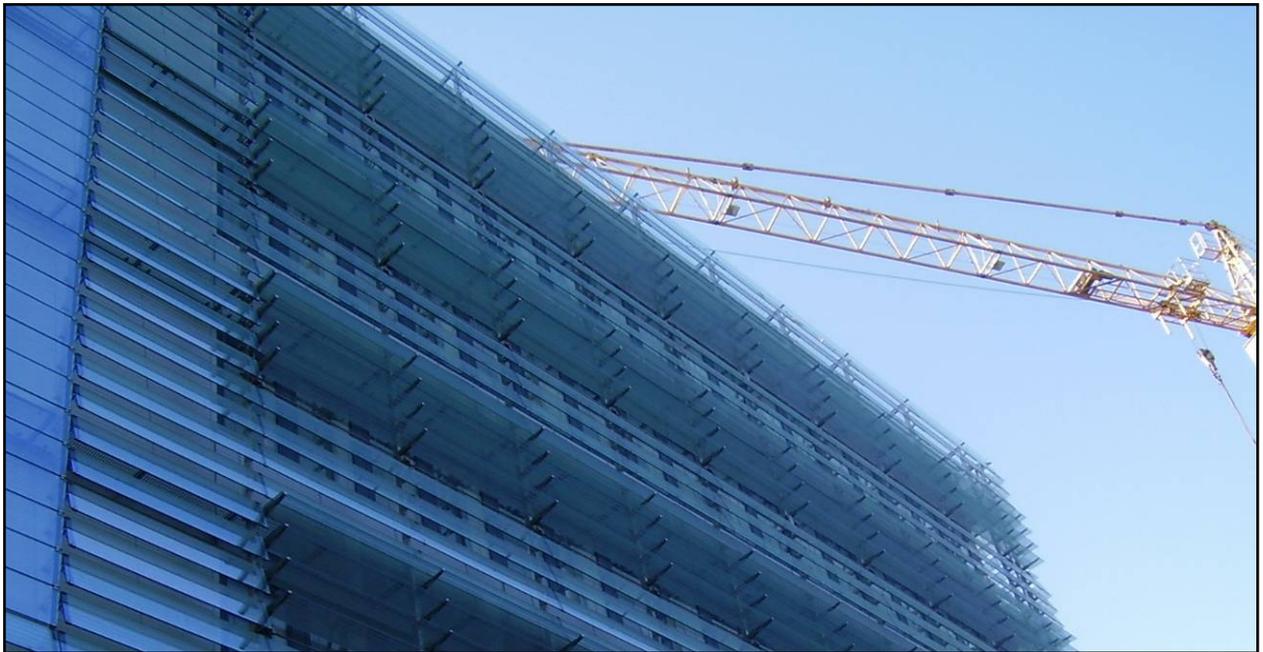


Abbildung 54: Fassadendetail /76/

Die Lamellenflächen sind stufenlos von unten 0° nach oben 90° außenseitig schwenkbar, wie man auf der *Abbildung 53* und *54* sehen kann. Die äußere Verglasung besteht aus den verschiedenen Lamellenarten, wie folgt /76/:

- 600 m<sup>2</sup> bewegliche Glaslamellen, die durch Elektromotoren mit einem Drehwinkel von 0 ° bis 90 ° stufenlos drehbar sind, welche sich im Bereich der Fensterbänder befinden, siehe *Abbildung 53* und *Abbildung 54*
- 1450 m<sup>2</sup> feststehende Lamellen, die in einem Winkel von 15 ° geöffnet sind, welche sich im Bereich der unteren Fensterbänder, sowie im Bereich des Treppenhaus befinden.
- 350 m<sup>2</sup> feststehende geschlossene Lamellen.

Die so angeordneten Sonnenschutzlamellen ermöglichen zu jeder Zeit einen optimalen Sonnenschutz, welche die direkte Sonnenstrahlung sowie Tageslichtnutzung sehr gut regulieren kann und individuell in jeder Periode und unabhängig von Lichteinfällen kontrollierbar ist. Während der Heizperiode (im Winter) dringt ein definiertes Maß an Sonnenlicht durch die Verglasung, wodurch Heizenergie gespart wird. Pro Geschoss gibt es in je vier Reihen bewegliche Glaslamellen (Öffnung von 0° bis 90°) sowie auch vier Glaslamellen mit einem Öffnungsgrad von 15°. (*Siehe folgende Abbildung*)



*Abbildung 55 : Einordnung der Sonnenschutzglaslamellen*

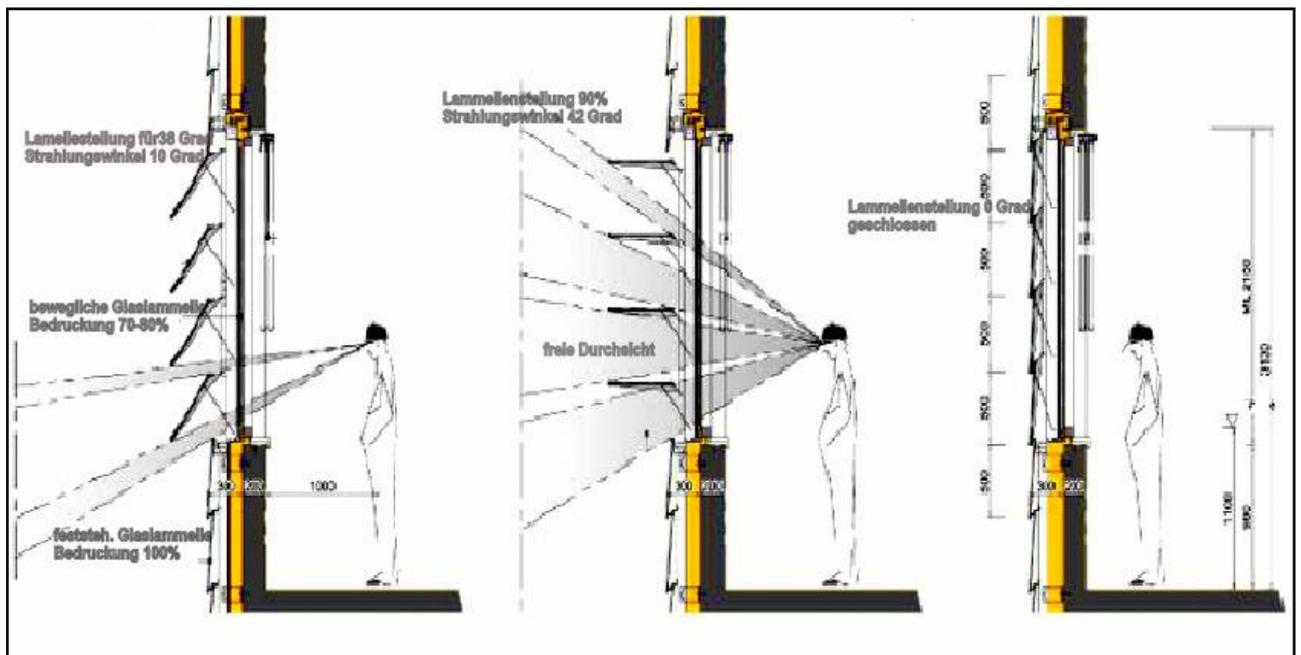


Abbildung 56: Durchsicht durch bewegliche Lamellen /81/

Eine Verbesserung ist die Herstellung einer zusätzlichen Beschichtung auf der äußeren Seite der Glaslamellen. Diese spezielle Beschichtung nennt man „Pilkington Activ“ /76/ oder „Lotusbeschichtung“ /77/. Das heißt, bei Tageslicht zersetzt die Beschichtung eine organische Schutzablagerung, Regenwasser breitet sich als Film auf der Glasoberfläche aus und entfernt gelöste Schmutzpartikel. /76/ Die Mehrkosten dieser Beschichtung werden binnen kürzester Zeit durch eine Ausdehnung der Reinigungsintervalle amortisiert. /77/

Die Tragkonstruktion der vorgesetzten Sonnenschutzpaneele besteht aus schmalen Lisenen, die punktuell über begehbare und mit einem Seilsicherungssystem untereinander verspannter Gitterroststege an der Primärfassade (Innere Fassade) gehalten werden. /77/

Fassadenzwischenraum:

Der Fassadenzwischenraum dient als Klimapuffer, weil in der warmen Jahreszeit die Luft ungehindert strömen kann und es kommt zur besseren Be- und Entlüftung sowie zu einer natürlichen Kühlung. Schlussfolgernd können erhebliche Kosten bei der künstlichen Klimatisierung der Innenräume eingespart werden. Die Breite des Fassadenzwischenraums ist ca. 60 cm und somit begehbar. Da der Sonnenschutz nicht in dem Fassadenzwischenraum gelegen ist, wie bei den meisten Doppelfassaden, kann die Luft ungestört zirkulieren und ermöglicht dadurch eine bessere Kühlung. Diese Gestaltung des Fassadenzwischenraumes stellt ein klassisches Beispiel

---

der Umlufffassade (siehe Abbildung 12) oder Mehrgeschossfassade dar. Der Vorteil dieser Fassadenart ist, dass die Luft auch in horizontaler Richtung durchströmen kann. Das ermöglicht im Winter an allen Fassadenorientierungen eine homogene temperierte Pufferschicht, bzw. im Sommer gelangt kühle Luft aus der Fassadennordseite in die Fassadensüdseite des Gebäudes.



Abbildung 57 : Fassadenzwischenraum



Abbildung 58: Fassadengestaltung /80/

---

Auf dieser *Abbildung 58* kann man eindeutig die Fassadengestaltung erkennen, sowie den Zuluftzugang am Fuß. Hier ist die Position der Glaslamellen klar dargestellt: feststehende geschlossene Lamellen und starr schräg gestellte Lamellen im Winkel von 15°.

Schallschutz:

Das Objekt befindet sich im Grazer Zentrum bzw. in der Altstadt. Eine gute Schallschutzdämmung ist bei allen Objekten erwünscht, aber in diesem Beispiel wurde die Generalsanierung nicht aus schallschutztechnischen Gründen durchgeführt. Zwischen dem Andreas-Hofer-Platz und der Sparkasse, in der Neutorgasse, ist die Kraftfahrzeugkonzentration hoch, somit wird die Idee der Sanierung zusätzlich unterstützt. Der Schallschutz wird überhaupt nicht von der vorgesezten Glaswand (äußere Glasfassade) übernommen, sondern ist nur durch die neuen ausgetauschten Fenster verbessert. Die äußeren Glaslamellen bestehen aus drei verschiedenen Lammelenarten, es sind also immer mindestens 1450 m<sup>2</sup> der Fassade geöffnet, so dass Lärm sehr leicht übertragen werden kann. Somit kann durch die Sekundärfassade der Lärm nicht reduziert werden.

Aus dem Verkehrslärmkataster der Stadt Graz gibt es Daten für den Lärmpegel am Andreas-Hofer-Platz, sowie für die angrenzende Umgebung.

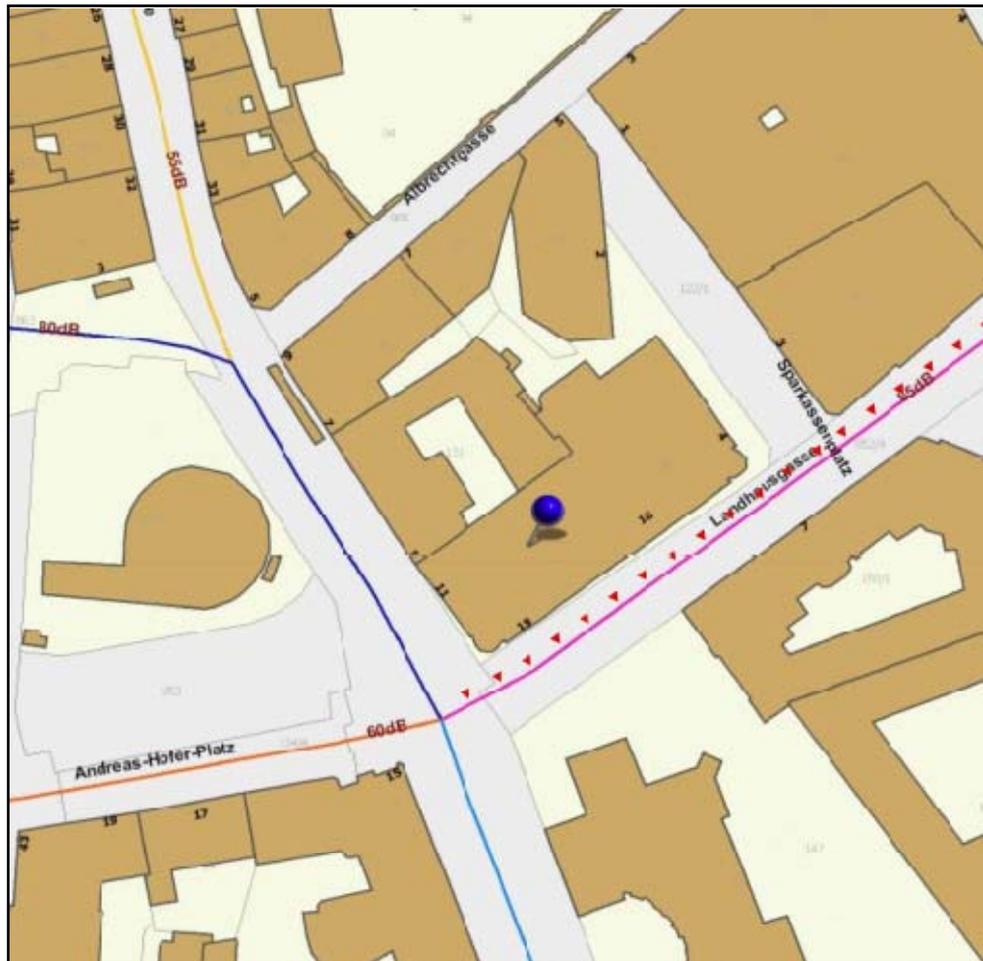


Abbildung 59: Verkehrslärmbelastung- Andreas-Hofer-Platz /72/

Genau neben dem Bürogebäude am Andreas-Hofer-Platz bezeichnet die dunkelblaue Linie den Lärmpegel von 80 dB(A) am Tag /72/, bzw. die violette Linie einen Lärmpegel von 65 dB(A) in der Landhausgasse. In der Nacht liegen die Werte bei 70 dB(A) /72/, bzw. bei 55 dB(A). Auf der vielbefahrenen Hauptstraße gibt es durchschnittliches Verkehrsaufkommen von 27 500 Kraftfahrzeugen pro Tag (in 24 Stunden). /72/.

## 8.2 Capitol Office Center- Conrad von Hötzendorf Straße 68, Graz

Das Bürogebäude in der Conrad von Hötzendorf Straße befindet sich gegenüber der Stadthalle und der Messe sowie im Zentrum, wo ist Konzentration von Menschen und Fahrzeugen stark ausgeprägt ist. In der Nähe zum Objekt verläuft die Obere Bahnstraße, so dass der zusätzliche Lärm die Arbeit im Bürogebäude stört.



Abbildung 60: Bürogebäude in Conrad von Hötzendorf Straße 68 (rote Kennzeichnung) und ihre Umgebung, bzw. Blick auf Messe Congress Graz als „Nachbarin“ von diesem Gebäude /103/



*Abbildung 61: Ausblick auf Bürogebäude*

Objektbeschreibung:

Das Bürogebäude besteht aus Erdgeschoss, drei Obergeschossen und dem Dachgeschoss. Das Gebäude ist so ausgerichtet, dass der größte Teil der Fassade die Ausrichtung zur Hauptstraße aufweist (Nord-Ost-Fassade), während die Süd-West-Fassade zu den etwas ruhigeren Bereichen zählt. Die Büros sind somit den Emissionen aus dem Verkehrslärm ausgesetzt. In der Nähe des Gebäudes gibt es keine Bäume und sehr wenig Pflanzen welche zumindest partiell zur Lärmregulierung beitragen könnten, in dem sie Schall absorbieren.



*Abbildung 62: Ausblick auf Conrad von Hötzendorf Straße*

Fassadenkonzept:

Für die Fassade ist eine doppelschalige Konstruktion gewählt worden, mit dem grundlegenden Gedanken, einen Klimapuffer zwischen dem Gebäudeinneren und der Außenwelt zu schaffen. Die nordöstliche- und südwestliche Fassade ist eine doppelschalige Konstruktion mit einem gebäudehohen Fassadenzwischenraum. Erdgeschoss und Dachgeschoss weisen eine Einschalige Fassade auf. Die Außen Fassade (Sekundärfassade) ist eine Pfosten-Riegel Konstruktion mit einer dazwischen liegender Einfachverglasung. Im ca. 90 cm breiten Fassadenzwischenraum sind Laufstege mit Gitterrost für die Wartung eingebaut. Einzig oberhalb des dritten Obergeschosses ist ein Überhang aus der Betonkonstruktion realisiert, weil der Teil des Fassadenzwischenraumes oberhalb des dritten Stocks als ein Balkon für die vierte Etage dient. Deshalb weist die äußere Fassade des 3. Geschosses, wie in der folgenden Abbildung ersichtlich ist, Öffnungen auf welche für die Luftströmung dienen. (siehe Abbildung 63)

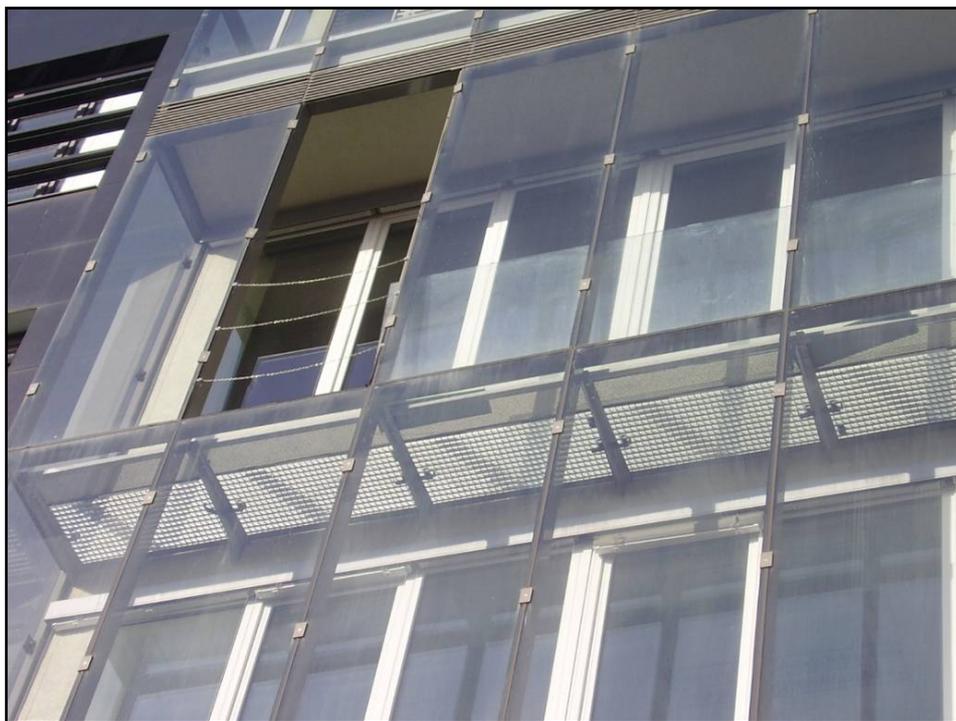


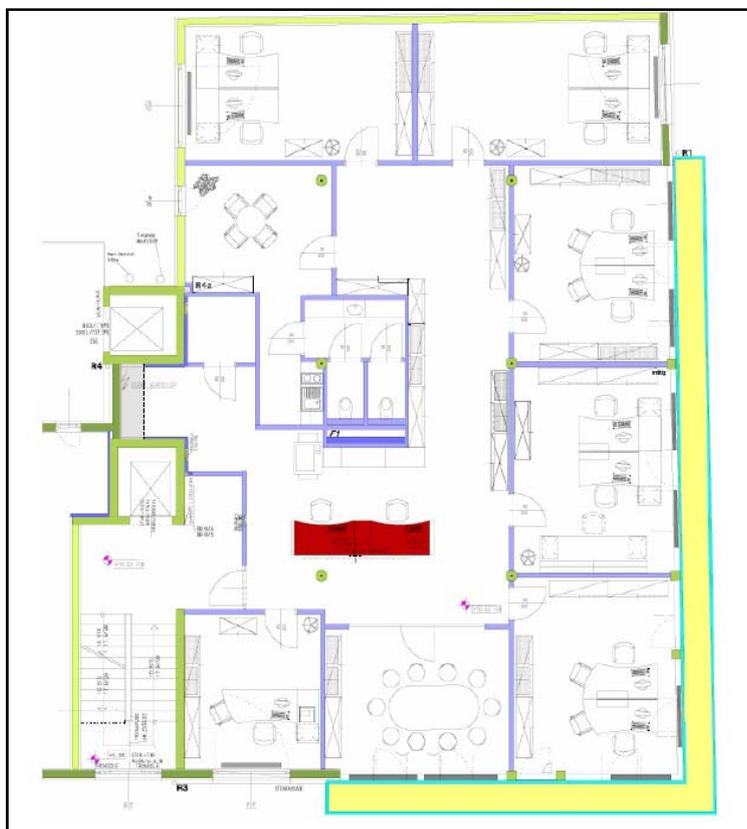
Abbildung 63: Fassadenkonstruktion

Die Innere Fassade (Primärfassade), siehe Abbildung 64, im ersten Obergeschoss besteht aus geschosshohen Wendeflügeln mit Rahmen, während die Fassade im zweiten und dritten Geschoss aus normalen Fenstern besteht. Die gesamte Verglasung wurde mit Wärmeschutzgläsern durchgeführt.



Abbildung 64: Innere Fassade (Primärfassade) /74/

Auf der folgenden Abbildung kann man das gesamte dritte Obergeschoss im Grundriss samt der Büroaufteilung, der Raumaufteilung und den Bereich der doppelschaligen Fassade mit dem Fassadenzwischenraum, sehen.



LEGENDE:

 Fassadenzwischenraum

 Äußere und Innere Fassade

Abbildung 65: Grundriss 3. OG /74/

### Sonnenschutz:

Die Lamellen aus Aluminium für den Sonnenschutz sind in dem Fassadenzwischenraum direkt neben der inneren Fassade eingebaut. Der so positionierte Sonnenschutz erreicht nicht die erforderlichen Luftströme zwischen der Primärfassade und den Lamellen, wie im *Kapitel 6.1* erklärt. Der Luftstrom im Fassadenzwischenraum wurde in der *Abbildung 32* erklärt.

Sehr wichtig ist, dass der Sonnenschutz beidseitig von der strömenden Luft umspült werden kann, also, dass der Abstand von Sonnenschutz zur Außenfassade eine Umströmen zulässt. Der Abstand zur Innenfassade sollte so groß sein, damit möglichst wenig Wärme an den Raum abgegeben werden kann. /1/

Der so orientierte Sonnenschutz in diesem Gebäude hat, wie aus den oben angeführten Erläuterung entnommen werden kann, Nachteile.



Abbildung 66: Sonnenschutzsystem /74/

An Hand folgender Abbildung kann man sehen, dass über das vierte Geschoss ein starrer Sonnenschutz (Dachvorsprung) eingebaut wurde. Mit dieser Lösung wird verhindert, dass in der

Übergangszeit, besonders im Sommer, wenn die Sonne sehr hoch steht, direkte Sonneneinstrahlung zur Überhitzung des Fassadenzwischenraumes führt. Dieses Sonnenschutzsystem wirft auf das Gebäude einen Schatten und behindert die Sonnenstrahlung. Der Balkon im vierten Obergeschoss, direkt über den Fassadenzwischenraum, absorbiert und lagert die Wärme, und ruft sehr wichtige Vorteile hervor. Mit diesem Effekt sinkt die Temperatur im Fassadenzwischenraum und mit guter Lüftströmung im darunterliegenden Zwischenraum werden bessere Kühllasten im Sommer erreicht.



Abbildung 67: starrer Sonnenschutz-Dachvorsprung

Vorteile:

- einfache Wartung, u. U. Nutzung als Fluchtbalkon möglich

Nachteile:

- eingeschränkter Tageslichteinfall,
- nur direkte Sonneneinstrahlung bei niedrigem Sonnenstand.

Lüftung:

Der Fassadenzwischenraum hat nur Geschossabtrennungen, bzw. horizontale Abtrennungen und zwischen den Geschossen strömt die Luft frei. Nur am Rand des Gebäudes befinden sich vertikale Glasabschottungen, wie in der *Abbildung 63* zu sehen ist. Die Luft gelangt in den Fassadenzwischenraum durch den Gitterrost am Fußpunkt (über das Erdgeschoss), wird zum oberen Gebäudeabschluss geführt und strömt durch Öffnungen in der Sekundärfassade im dritten Obergeschoss aus. Diese Öffnungen dienen zusätzlich als Rettungsweg im Brandfall bzw. als

---

Zugang für die Feuerwehr. Durch diese Anordnung der Lüftung entsteht eine Querströmung und die Abluft tritt nicht im Bereich der Zuluftöffnungen auf. Auch im oberen Bereich der Sekundärfassade im dritten Stock, wie in der *Abbildung 67* gezeigt, befindet sich der Lüftungskasten zur Abluft, welches als Unterstützung der besseren Luftzirkulation dient. Es bildet sich im Winter jedoch keine temperierte Pufferzone.



*Abbildung 68: Begehbarer Gitterrost im Fassadenzwischenraum, bzw. Luftdurchgang zwischen den Geschossen*



*Abbildung 69: Fassadenzwischenraum: links- Gitterrost über Erdgeschoss als Zuluftöffnung und rechts- horizontale Trennung des Fassadenzwischenraumes zwischen zwei Geschosse*  
Diese Doppelfassadenkonstruktion ermöglicht eine natürliche Lüftung der Räume durch die Öffnungen auf der äußeren Fassade aber schützt teilweise das Gebäude vor Lärm und Staub.

#### Schallschutz:

Die Lage und die Position des Objekts in der Conrad von Hötzendorf Straße führen zu einem hohen Immissionsgrad an Außenlärm.

Aus dem Verkehrslärmkataster der Stadt Graz kann man die Daten für den Lärmpegel erheben.

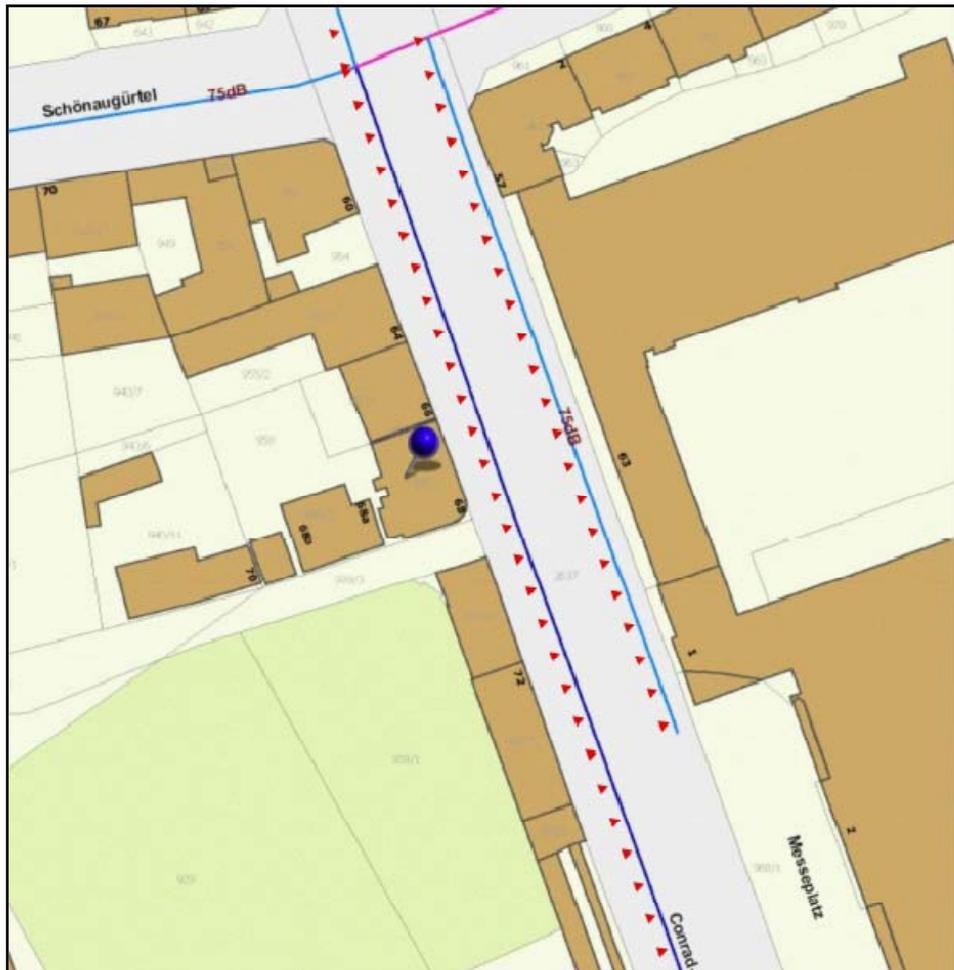


Abbildung 70: Verkehrslärmbelastung- Conrad von Hötendorf /72/

Genau neben dem Bürogebäude in der Conrad von Hötendorf Strasse 68 bezeichnet die dunkelblaue Linie den Lärmpegel von 80 dB(A) am Tag /72/, bzw. die hellblau Linie einen Lärmpegel von 75 dB(A) auf der gegenüber liegenden Seite. In der Nacht liegen die Werte bei 70 dB(A) /72/, bzw. 65 dB(A). Auf der vielbefahrenen Hauptstraße gibt es durchschnittliches Verkehrsaufkommen von 27 500 Kraftfahrzeugen pro Tag (in 24 Stunden). /72/

Wie im Kapitel 7.1 beschrieben, ist die Obergrenze für die Fensterlüftung mit einer Einschaligen Fassade ein Außenlärmpegel von 68 dB(A) bis maximal 70 dB(A) angegeben wird, damit die Doppelfassaden die Außenlärmpegel von 80 dB(A) verringert werden können./17/

In den Abbildungen 71, 72 und 73 kann man verschiedene Varianten der Fenster, bzw. verschiedene Fensterarten sehen und ihre Vorteile erkennen.

Das Bürogebäude befindet sich direkt am Straßenrand, bzw. ca. 5 Meter von Verkehrslärmquelle entfernt. In die Nähe vom Gebäude, sowie genau vor dem Gebäude, gibt es keine Bäume und Grünflächen somit ergibt sich dadurch keine Lärmabschirmung. Der Bodenbelag vor dem Gebäude ist eine Mischung von Asphaltflächen und befestigten Flächen. Daher sind diese als reflektierende Fläche anzusehen und der Schall kann nicht absorbiert werden. Durch den Abstand zwischen dem Gebäude und Lärmquelle sinkt der Schall um nur ca. 7 dB(A), so dass der Lärm direkt vor dem Gebäude noch immer im kritischen Lärmpegelbereich liegt. Durch den Bau einer Doppelfassade kann hier ein besserer Schallschutz im Gebäudeinneren erreicht werden.

Die Höhe der Lärmbelastung direkt an den Räumlichkeiten im Gebäude wird anhand der kommenden Abbildungen verdeutlicht.

- Variante 1: Einschalige Fassade mit offenen Fenster (Abbildung 71)
- Variante 2: Einschalige Fassade mit geschlossenen Fenster (Abbildung 72)
- Variante 3: „Lärmschutzfenster“, der mit GlasDoppelfassaden vergleichen werden kann (Abbildung 73)

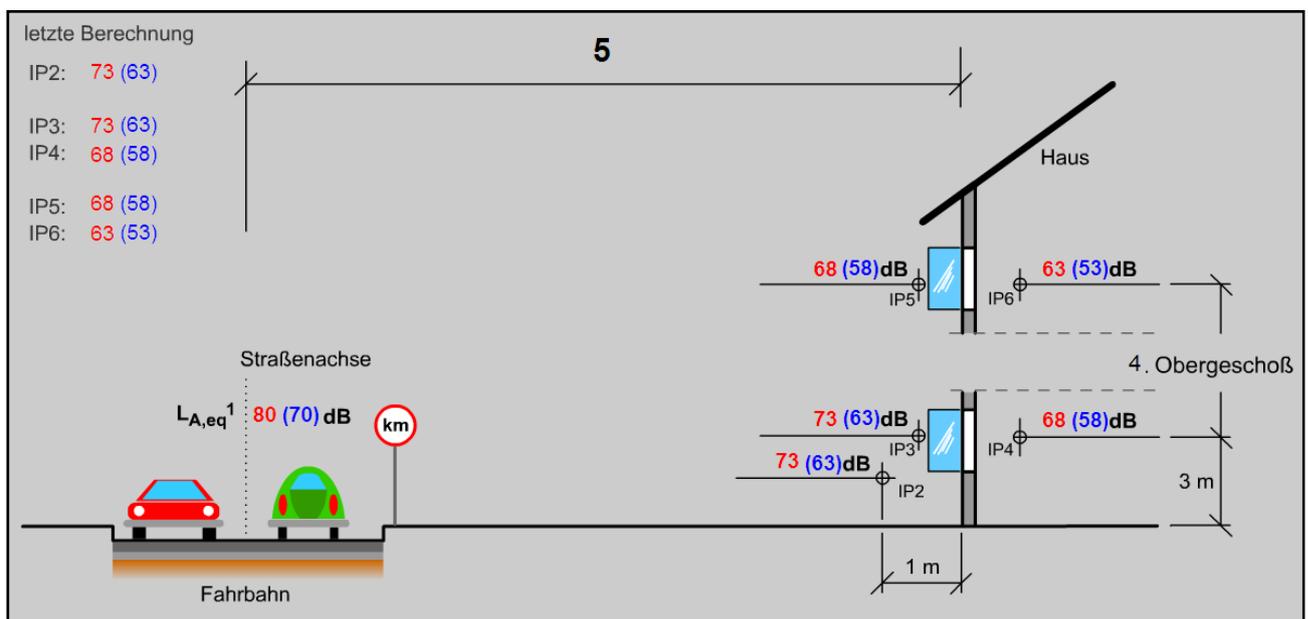


Abbildung 71 : Lärmbelastung bei offene Fenster (Einschalige Fassade) /73/

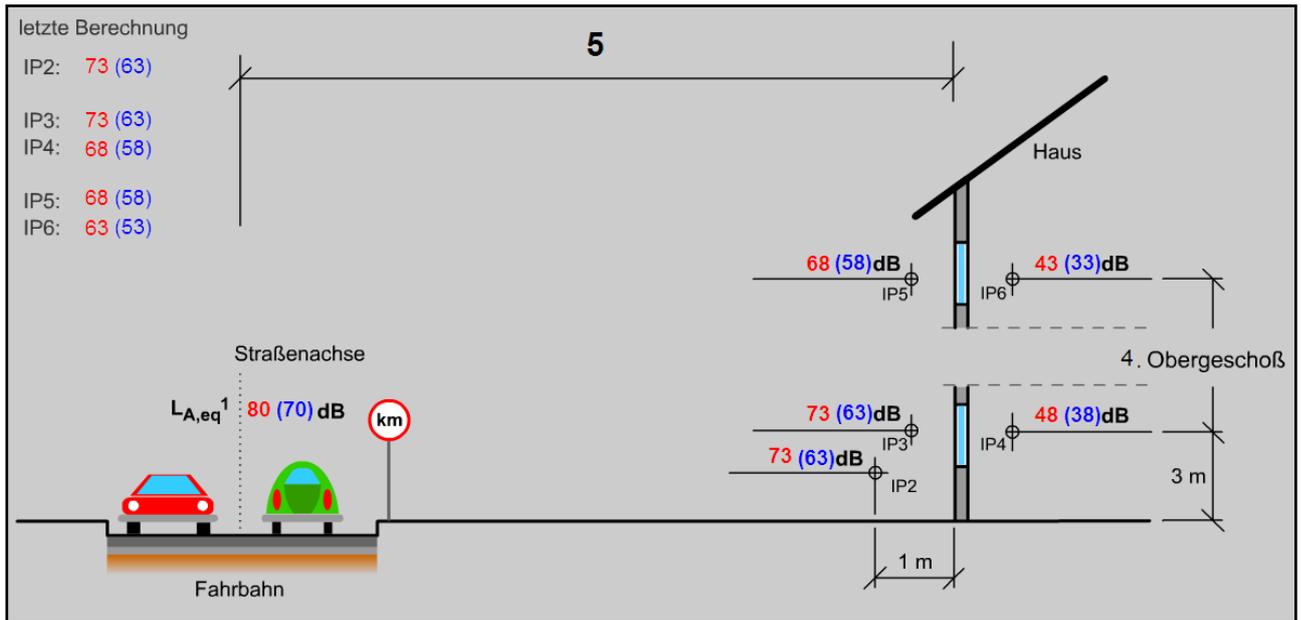


Abbildung 72: Lärmbelastung bei geschlossener herkömmlicher Fassade (Einschalige Fassade) /73/

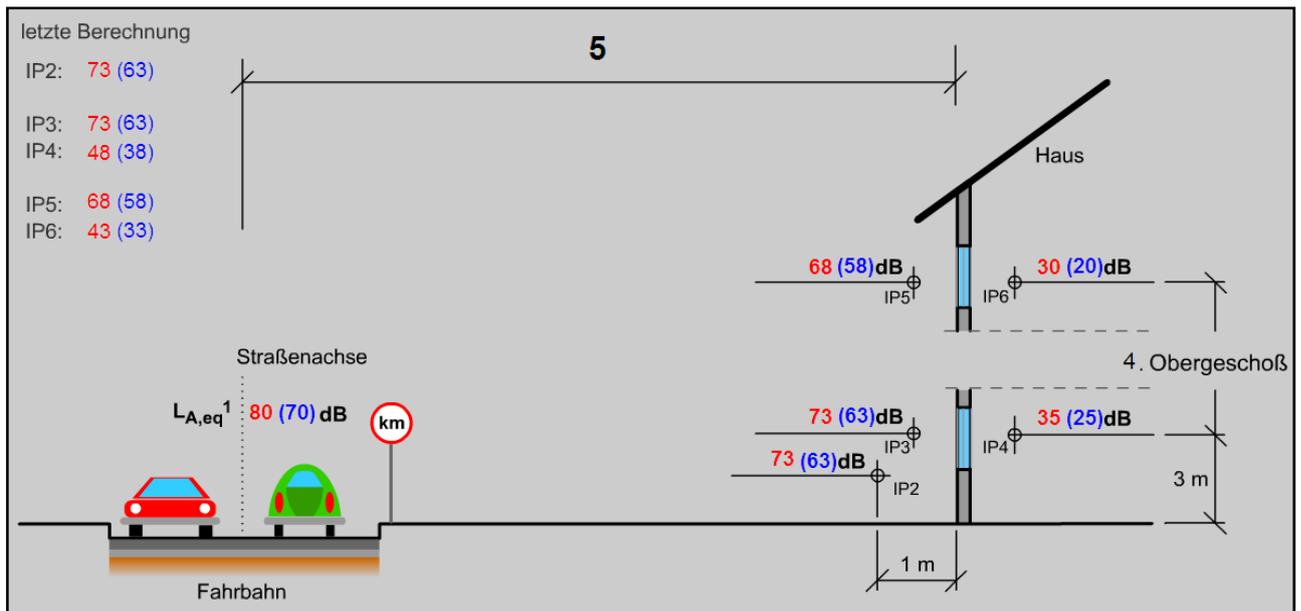


Abbildung 73: Lärmbelastung- „Lärmschutzfassade“ (gleichwertig mit Doppelfassade) /73/

### 8.3 Gebäude des Feuerwehr am Lendplatz, Keplerstrasse/ Lendplatz, Graz

Das Feuerwehrgebäude befindet sich auf die Ecke der Keplerstraße und Lendplatz. Die Lage des Gebäudes ist durch eine stark belastete Umgebung gekennzeichnet, weil verschiedenste Objekte wie z.B. das Hotel Merkur, diverse Bürogebäude und Geschäfte bzw. auch die Parkgarage der Feuerwehr genau neben dem beschriebenen Objekt liegen.

Die folgende Abbildung gibt die Lage des Gebäudes und ihrer Umgebung wieder. Mit roter Grundlinie wurde das Bürogebäude der Feuerwehr markiert, während die grüne Linie die Position der Doppelfassade kennzeichnet.



Abbildung 74: Die Lage des Gebäudes- die Ecke von Keplerstraße und Lendplatz /103/

#### Objektbeschreibung:

Das Bürogebäude der Feuerwehr ist eine Sanierung von einer bestehenden Holzfensterfassade. Das Objekt verfügt über insgesamt drei Geschosse, davon sind zwei aus der bestehenden Gebäudestruktur mit einer zusätzlichen äußeren Fassade. Das dritte Geschoss ist eine Nachrüstung, aber ebenfalls mit einer doppelschaligen Konstruktion ausgestattet. Das sanierte Gebäude dient als Einsatzzentrale mit Technikausstattung und Büroräumen der Feuerwehr. Das Erdgeschoss wurde als eine Stahlbetonkonstruktion gebaut und dient als Garage der Feuerwehrfahrzeuge. Das Gebäude ist so ausgerichtet, dass alle Doppelfassaden die Ausrichtung

zur belebten Straßen haben, d.h. Keplerstraße (Nord-West-Fassade) und Lendplatz (Nord-Ost-Fassade), wie auf den *Abbildungen 74 und 765* zu sehen ist.



*Abbildung 75: Bürogebäude der Feuerwehr /100/*

#### Fassadenkonzept:

Als eine gute Lösung bzw. Variante wurde die doppelschalige Konstruktion für die Sanierung des baufälligen Bürogebäudes gewählt. Auf eine bestehende Stahlbetonkonstruktion mit traditionellen Holzfenstern wurde eine zusätzliche äußere Glashaut errichtet, mit welcher ein besserer Schallschutz und thermischer Wirkungsgrad geschaffen wurde. Der Raum zwischen der äußeren und inneren Fassade stellt einen Pufferraum dar, der eine gute Wärmeisolierung ermöglicht. Der Fassadenzwischenraum ist nur ca. 20 cm breit und es ergeben sich im Winter zu geringe Wärmeverluste. Im Sommer lässt sich ebenso der Strahlungswärmeeintrag reduzieren, die Wärme aus dem überhitzten Fassadenzwischenraum wirkt sich auf den Innenraum jedoch nachteilig ein. Neben der geringen Tiefe des Fassadenzwischenraums, wie auf der *Abbildung 76* zu sehen ist, ist der Zwischenraum unter der Fensterbank geschlossen und für die Luftströmung dienen nur schmale Schlitze. Die Lüftung basiert auf dem Prinzip einer Pufferfassade, also die Sekundärfassade ist geschlossen, während die Primärfassade geöffnet werden kann.

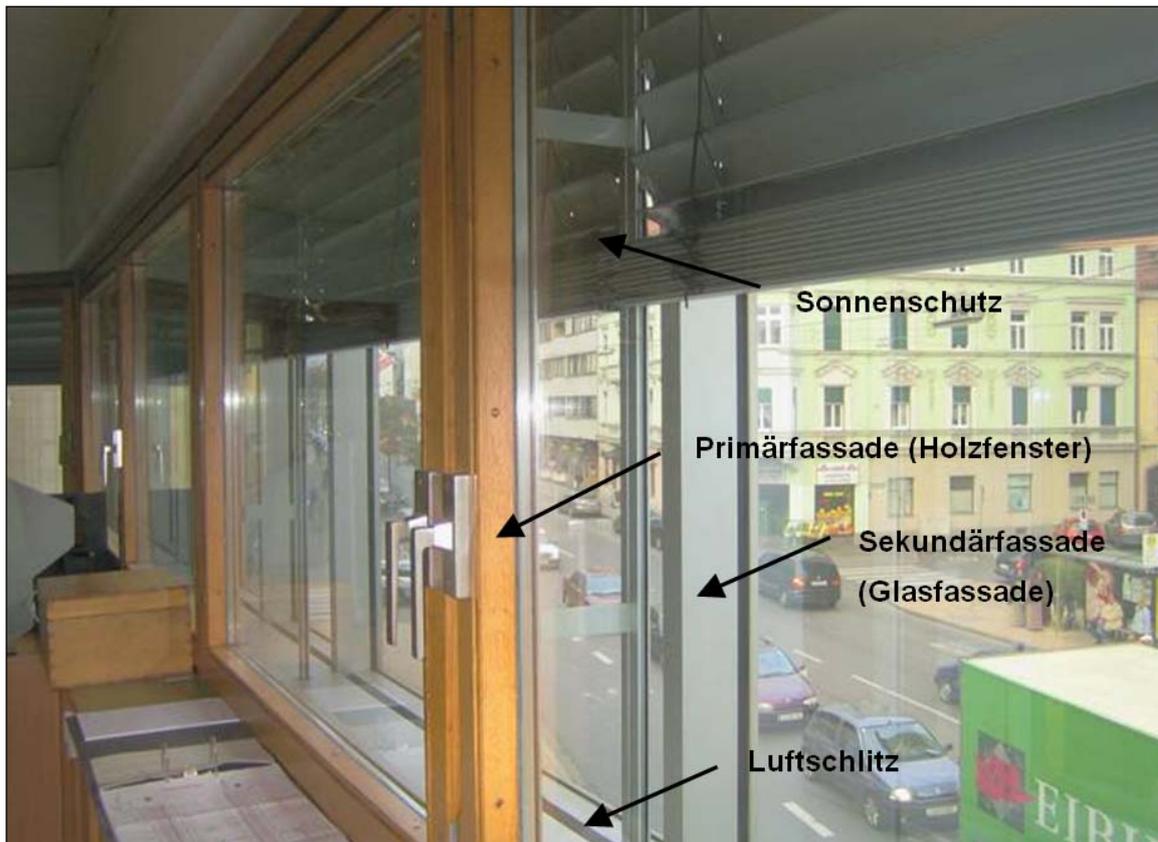


Abbildung 76: Doppelschalige Konstruktion /101/



Die äußere Fassade besteht aus einer getönten Verglasung, welche einen zusätzlich besseren Sonnenschutz, neben dem im Fassadenzwischenraum liegenden Jalousien, ermöglicht.

Ein besserer thermischer Wirkungsgrad wurde durch den so positionierten Sonnenschutz erreicht.

Abbildung 77: Äußere Fassadenkonstruktion

Schallschutz:

Ein weiteres Ziel der Gebäudesanierung war unter Anderem die Lärmbelastung vom Außenbereich zu minimieren und den Schallschutz zu verbessern. Die Keplerstraße und der Lendplatz befinden sich in einem sehr lärmbelasteten Gebiet. Durch die Orientierung des Gebäudes und durch seine Lage auf den Hauptstraßen, kommt es zwangsläufig zu Lärmemissionen während der Arbeitszeit.

Wie bei den vorher angeführten Beispielen wurden die Lärmpegeldaten aus dem Verkehrslärmkataster der Stadt Graz erhoben.

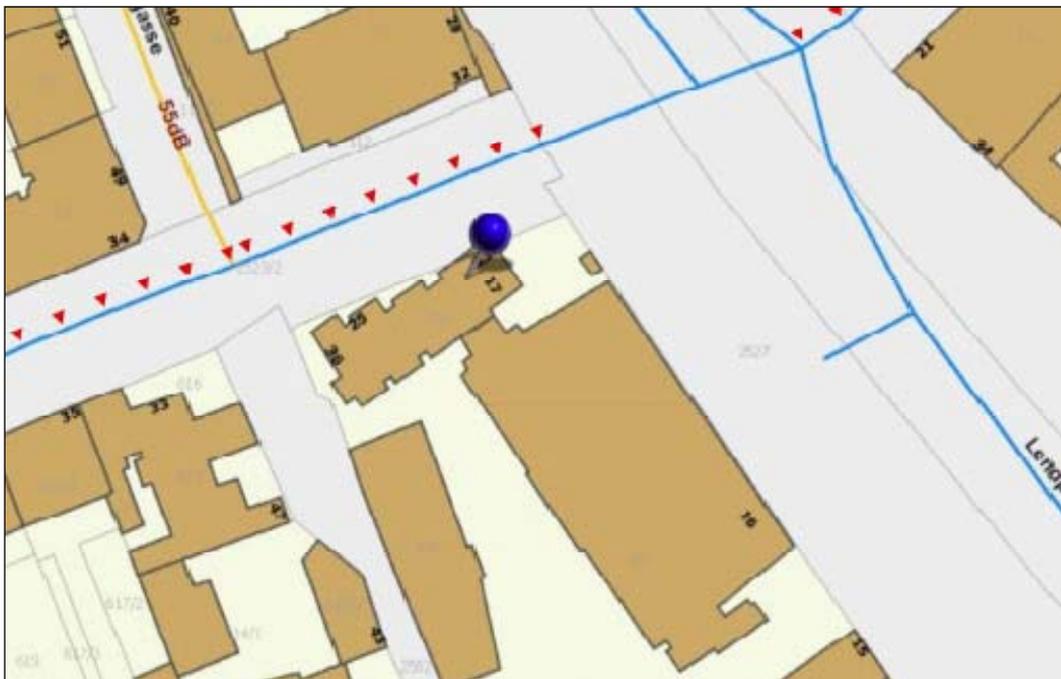


Abbildung 78: Verkehrslärmbelastung- Keplerstraße/ Lendplatz /72/

Rund um das Gebäude der Feuerwehr, entlang der Keplerstraße und am Lendplatz, bezeichnet die hellblaue Linie den Lärmpegel von 75 dB(A) am Tag. In der Nacht liegt der Wert bei 65 dB(A). Auf den vielbefahrenen Straßen gibt es durchschnittliches Verkehrsaufkommen von 10 000 Kraftfahrzeugen pro Tag, bzw. in 24 Stunden. /72/

Anhand der *Tabelle 12* kann man sehen, dass dieses Gebäude in der Stufe H liegt. Durch die Anwendung der Doppelfassade wird ein guter Schallschutz des Gebäudes ermöglicht. Auch der schmale Fassadenzwischenraum und die geschlossene äußere Fassade verbessern zusätzlich den Schallschutz, was auch ein Hauptziel bei der Gebäudesanierung war.

Die folgenden *Abbildungen 79, 80 und 81* zeigen mögliche Variante der Fensterarten und ihre inneren Lärmpegel. Das Gebäude der Feuerwehr befindet sich am Straßenrand und ca. fünf Meter von der Lärmquelle entfernt. In der Nähe des Objekts gibt es wenig Vegetation welche den Lärm absorbiert kann. Durch den Gebäudeabstand von der Lärmquelle wird der Lärmpegel um ca. 7 bis 9 dB(A) reduziert.

Mögliche Varianten in folgenden Abbildungen zeigen die Höhe der Lärmbelastung direkt an die Räumlichkeiten im Gebäude:

- Variante 1: Einschalige Fassade mit offenem Fenster (*Abbildung 79*)
- Variante 2: Einschalige Fassade mit geschlossenem Fenster (*Abbildung 80*)
- Variante 3: „Lärmschutzfenster“, der mit GlasDoppelFassaden verglichen werden kann (*Abbildung 81*)

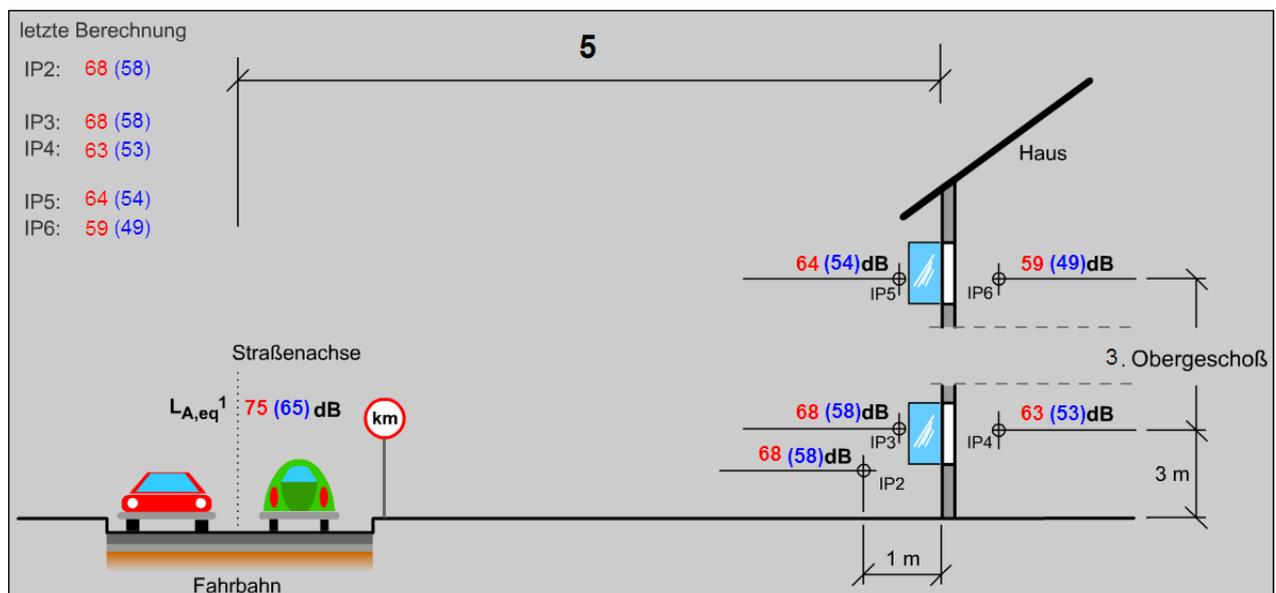


Abbildung 79: Lärmbelastung beim offenen Fenster (Einschalige Fassade) /73/

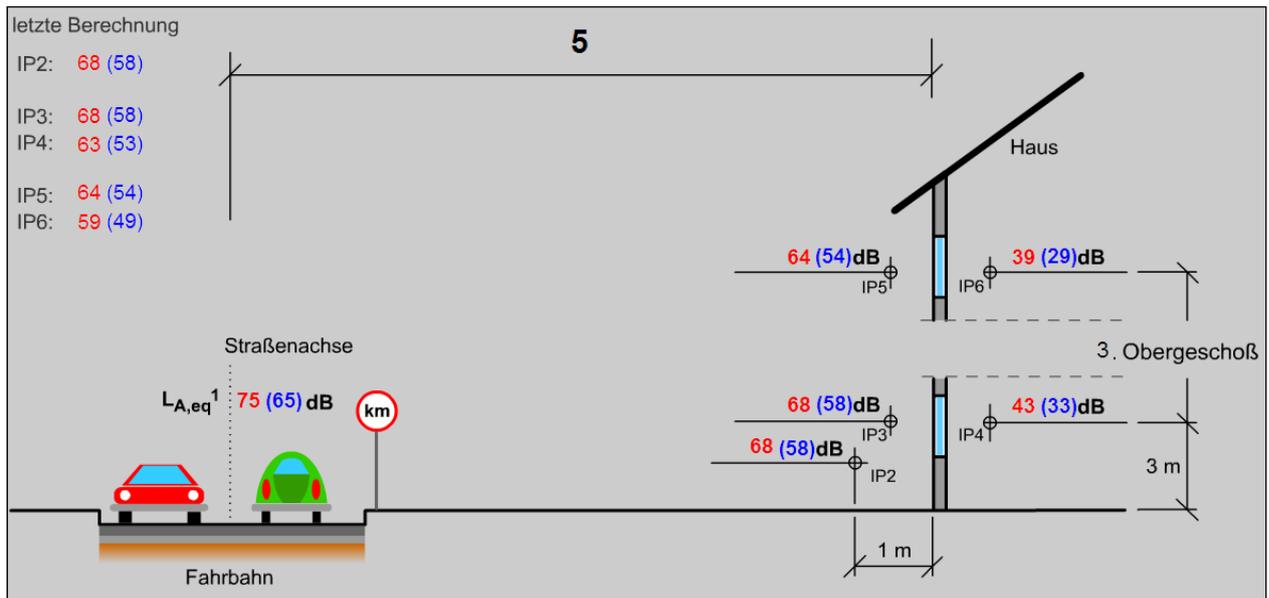


Abbildung 80: Lärmbelastung bei geschlossener herkömmlicher Fassade (Einschalige Fassade) /73/

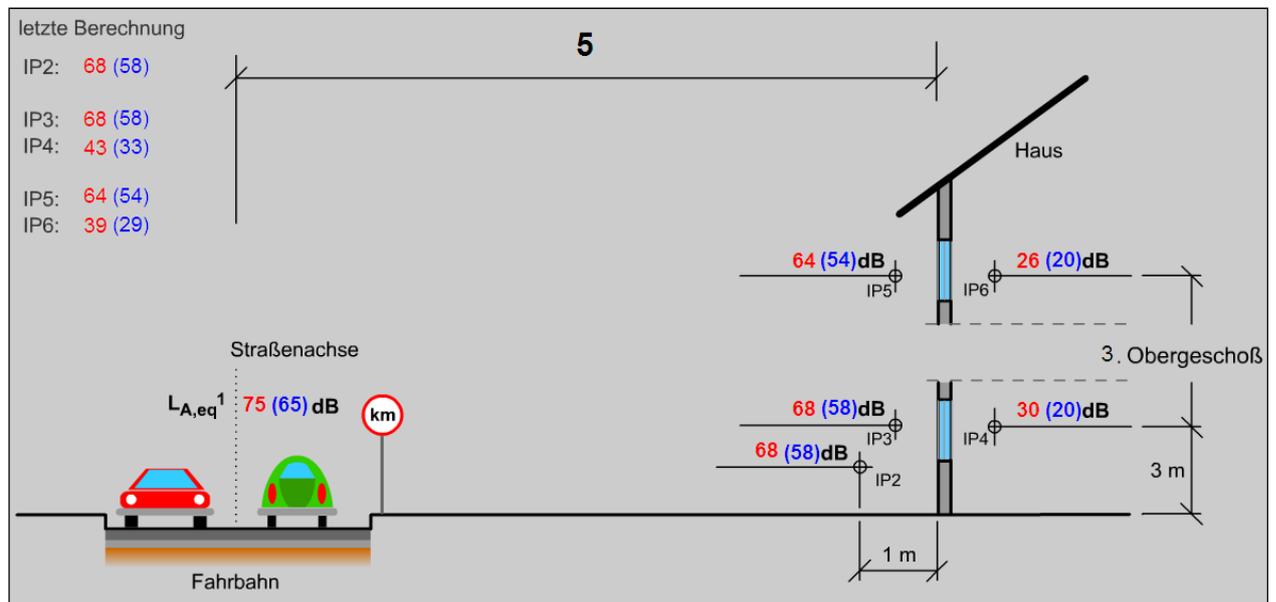


Abbildung 81: Lärmbelastung- „Lärmschutzfenster“ (gleichwertig mit Doppelfassade) /73/

---

Durch die Variation der Fensterarten wird ersichtlich wie sehr der Schallschutz verbessert werden kann. Noch wichtiger, obwohl nicht auf diesen Abbildungen dargestellt, sind die Variationen, wenn die Innen- und Außenbereich Fassaden geschlossen oder geöffnet sind.

Durch die geschlossene Außenfassade (Sekundärfassade), wie zum Beispiel bei diesem Gebäude der Fall ist, kann ein besserer akustischer Komfort durch die Fensterlüftung der Primärfassade (Innerfassade) erzielt werden. Eine geschlossene Außenfassade kann bis zu 20 dB(A) einen besseren Schallschutz ermöglichen /89/. Auch die Wahl der Fensterarten der Primärfassade hat ihre Wirkung zum besseren akustischen Komfort. Am besten haben sich die Kippfenster auf der Primärfassade erwiesen, weil durch den kleinen Öffnungsgrad der Fenster ein besserer Schallschutz und genügende Lüftung erreicht wurde.

#### 8.4 Bürogebäude - Schubertstraße 39, Graz

Das Bürogebäude in der Schubertstraße 39 befindet sich in der Nähe von der Karl Franzens Universität und dem Landes Krankenhaus (LKH). Das Gebäude ist starker Verkehrsbelastung und somit auch starken Schallemissionen ausgesetzt. Neben der Universität und dem Krankenhaus gibt es noch weitere Gebäude im Einzugsbereich, wie zum Beispiel Wohngebäude, Firmen, Studentenheime, u.v.m..



Abbildung 82: Bürogebäude in der Schubertstraße 39 (rote Kennzeichnung) und ihre Umgebung, bzw. Blick auf Karl Franzens Universität als „Nachbarin“ von diesem Gebäude /103/



Abbildung 83: Ausblick auf die Schubertstraße und das Bürogebäude

---

**Objektbeschreibung:**

Dieses Bürogebäude weist eine Fläche von ca. 1120 m<sup>2</sup> auf und besteht aus Erdgeschoss und einem Obergeschoss. Im Erdgeschoss ist die Firma „Fuchs&Partner“ und im ersten Obergeschoss ist Firma „CoPlanner“ angesiedelt.

Die südliche Fassade ist zur Straße orientiert und ist vollständig aus Glas, bzw. weist eine GlasDoppelFassade (GDF) auf, siehe *Abbildung 84*. Die seitliche und die hofseitige Fassade sind als konventionelle Stahlbetonkonstruktionen mit Fenstern errichtet worden.

Wie in der *Abbildung 83* ersichtlich, erstreckt sich entlang der Schubertstraße eine Allee. Die Wirkung der Bäume weist einerseits den Vorteil auf in der Hinsicht auf Lärmschutz, aber andererseits wird das Eindringen des Tageslichts in die Büroräume reduziert. Die Tageslicht Nutzung ist wichtig für alle Objekte, besonders in Büro- und Bürogebäuden. Durch die Verwendung der natürlichen Belichtung wird einerseits das menschliche Auge geschont und andererseits wird der Energieverbrauch durch die künstlichen Lichtquellen minimiert.



*Abbildung 84: Ausblick auf südliche Fassade der Bürogebäude*

---

### Fassadenkonzept:

In diesem Teil wird die südliche Fassade beschreiben, weil diese als Doppelfassade errichtet wurde und zum Thema der Arbeit passt.

Die südliche Fassade funktioniert nach dem „Wintergarten“ Prinzip und entspricht nicht einer typischen Gestaltung und Funktion von klassischen Doppelfassaden. Alle verbauten Teile geben die Anordnung entsprechend einer doppelschaligen Glaskonstruktion wieder, jedoch ist das Lüftungsprinzip typisch wie bei einem Wintergarten. Die Außenhaut besteht aus einer einfachen Verglasung, während die innere Fassade aus einer konventionellen Rahmenkonstruktion mit Wärmeschutzverglasung besteht. Der Fassadenzwischenraum weist eine Breite von ca. 1,70 m auf, ist also groß genug damit der Aufenthalt von Personen ermöglicht wird. Diese Abmessung kann man sehr gut auf der nächsten *Abbildung 85* sehen. Der Boden des Fassadenzwischenraums ist aus Beton und wurde zusätzlich mit Holz verkleidet. Die Luftströmung bzw. die Luftzirkulation durch die Deckenelemente ist nicht möglich, da kein Gitterrost oder dergleichen gegeben ist.



*Abbildung 85: Fassadenteile: die Innere- und die Außenfassade, bzw. der Fassadenzwischenraum*

### Sonnenschutz:

Wie schon erwähnt, ist der Sonnenschutz auf der äußeren Seite der inneren Fassade angeordnet. Das Sonnenschutzsystem ist eine klassische Jalousie mit manueller Steuerung. Sie dient zur Reduzierung von eindringender Sonnenstrahlung in die Büroräume und beugt zur Verminderung von Raumlufttemperatur in Sommer vor.

Eine bessere Lösung ist es die Sonnenschutzeinrichtung auf der inneren Seite der äußeren Glasscheibe anzuordnen, um den Fassadenzwischenraum für den Aufenthalt der Personen bei starker Sonnenstrahlung ebenso zu ermöglichen.

Ein klassisches Beispiel ist der Wintergarten. Wie der Name schon sagt: im „Winter-Garten“ ist es möglich im Winter, bei schönen und sonnigen Tagen, auch ohne Zusatzheizung angenehme Lufttemperaturen zu erreichen. Welche Vorteile ergeben sich dann im Sommer? Der Sonnenschutz kann zwar einen Teil absorbieren, aber der größere Teil dringt in die Büroräume ein.

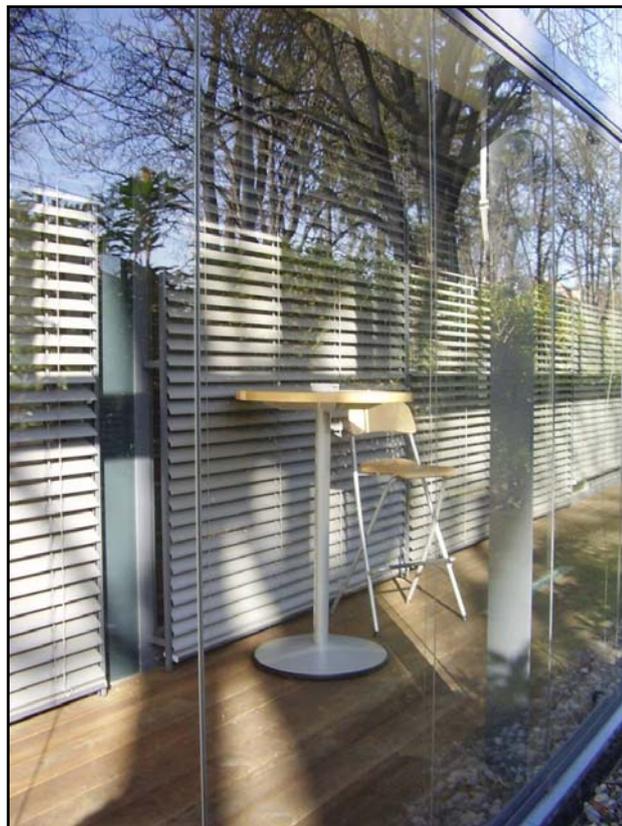


Abbildung 86: Sonnenschutz

Mit versetzter Positionierung des Sonnenschutzes kann im Wintergarten der direkte Kontakt mit der Außenwelt erreicht werden. Dies war auch der primäre Grund diesen Fassadenzwischenraum

zu projektieren um den Mitarbeitern einen sonnigen Aufenthaltsraum zu schaffen. Ein Nebenaspekt ist die Schaffung eines semifreien Aufenthaltsraumes für die Wintermonate, um auch Rauchern eine zumutbare (warme) Umgebung zu bieten. Da die *Abbildung 86* im November fotografiert wurde, kann das Ambiente eines kalten aber sonnigen Wintertages sehr gut nachvollzogen werden.

Der lichtdurchflutete Fassadenzwischenraum spiegelt den sonnigen Tag wieder, und lädt mit seinen Sesseln und einem Rauchertisch zu einer wohltuenden Pause im „Wintergarten“ ein.



*Abbildung 87 : Eine von Funktionen im Fassadenzwischenraum*

Tageslichtnutzung:

Die durchgängige Allee in der Schubertstraße, welche direkt neben dem Gebäude verläuft übernimmt unter Anderem die Aufgabe des Schattenspenders als auch als natürlicher Regulator der Außenlufttemperatur im Sommer. Nachteilig senkt die Allee den Tageslichtdurchlass bei bewölktem Wetter, insbesondere in den im Erdgeschoss gelegenen Büros.

Bei starker Sonnenstrahlung müssen Mitarbeiter die Jalousien herabgelassen und mit dem zusätzlichem Schatten der Bäume kommt es zur ausgeprägten Minimierung der natürlichen Tageslichtnutzung. Eine bessere Lösung bieten die speziellen Jalousien zur Lichtlenkung wie im *Kapitel 6.3* beschrieben wurde.

Schallschutz:

Schon geringe Schallpegel haben eine negative Auswirkung auf den Menschen. Insbesondere bei Büro- und Verwaltungsgebäuden, wo sich die Anzahl von Mitarbeitern und Kunden erhöht, und sich recht leise Geräusche schon störend auf komplexe Arbeiten auswirken kann. Zur wesentlichen Stressgröße zählt aber immer noch der Straßen- oder Verkehrslärm, wobei der Gebäudeabstand von Straße von entscheidender Bedeutung ist.

Aus dem Verkehrslärmkataster der Stadt Graz können unter Anderem Daten für den Lärmpegel in der Schubertstraße, sowie der direkten Nebengebäude, erhoben werden.



Abbildung 88 : Verkehrslärmbelastung - Schubertstrasse /72/

Wie man auf der *Abbildung 88* sehen kann, ist der Lärmpegel am Tag 70 dB /72/ und in der Nacht 60 dB /72/, mit einer durchschnittlichen Durchfahrt von 7500 Kfz pro 24 h /72/.

Das Bürogebäude befindet sich ca. 10 m von der Straße, bzw. von der Lärmquelle entfernt. Die Bäume in die Allee stellen eine natürliche „Lärmschutzwand“ dar, so dass der Verkehrslärm um ca. 10 dB reduziert wird, bevor er das Gebäude erreicht. Also, der Lärm wird zunächst von 70 dB auf ca. 61 dB herab gesetzt und durch den Rasen und Begrünung als absorbierende Fläche reduziert. Dadurch kommen wir auf einen auftreffenden Lärmpegel von 59 dB am Tag bzw. 49 dB in der Nacht. Somit übernehmen die Fenster als auch die Fassade eine „leichtere“ Aufgabe, da sie eine abgeschwächte Lärmbelastung von 59 dB kompensieren müssen.

Auf den nächsten *Abbildungen 89, 90* und *91* werden mögliche Varianten veranschaulicht, wie hoch die Lärmbelastung innerhalb des Gebäudes ist.

- Variante 1: Einschalige Fassade mit offenem Fenster (*Abbildung 89*)
- Variante 2: Einschalige Fassade mit geschlossenem herkömmlichen Fenster (*Abbildung 90*)
- Variante 3: „Lärmschutzfenster“, diese können mit den GlasDoppelFassaden verglichen werden (*Abbildung 91*)

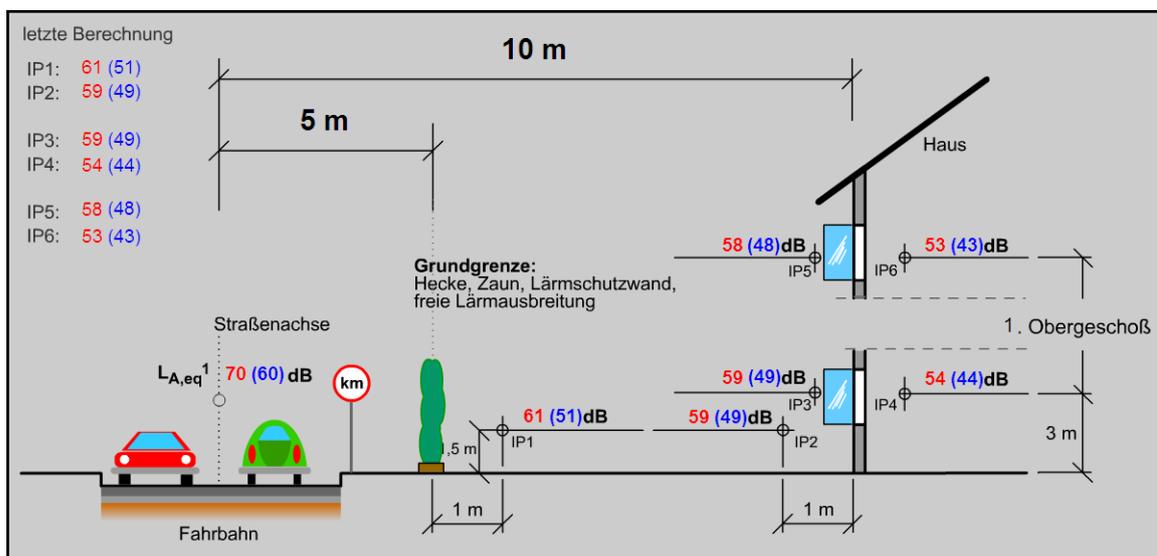


Abbildung 89 : Lärmbelastung beim offenem Fenster (Einschalige Fassade) /73/



---

40 °C steigt und durch die Frischluftzufuhr eine natürliche Kühlung und Lüftung in den Räumen erreicht wird. Auf nächster *Abbildung 92* kann man sehen, dass die äußere Scheibe nach dem Prinzip der Schiebetür funktioniert.



*Abbildung 92 :Äußere Fassade und ihre Öffnungsmöglichkeit*

Die Gartengestaltung vor dem Wintergarten hat ihre Vorteile, weil im Sommer bei sehr hoher Lufttemperatur, die Erde und der Rasen eine natürliche Kühlung ermöglichen. Durch die Öffnung der äußeren Fassade, kühlt und lüftet sich der Fassadenzwischenraum aber auch die Luft in den Räumen. Der Sonnenschutz ist dann auf die richtige Seite positioniert, so dass durch die Öffnung der äußeren Scheibe die Luftströmung ungestört ist.

## 8.5 Uniqa-Tower, Aspernbrückengasse/ Untere Donau Strasse, Wien

Das zu beschreibende Hochhaus bildet mit seiner designten Bauform eine lineare Straßenflucht mit der Praterstraße in einer Ausrichtung zur Innenstadt. Der öffentlich nutzbare Raum öffnet sich in Richtung des Donaukanals und bietet dadurch ein willkommenes Erscheinungsbild. Aufgrund der Nähe zum historischen Stadttor des zweiten Bezirks (auf der anderen Seite des Donaukanals) kommt es zu einem architektonischen Aufeinandertreffen von neuer und alter Städtkultur.

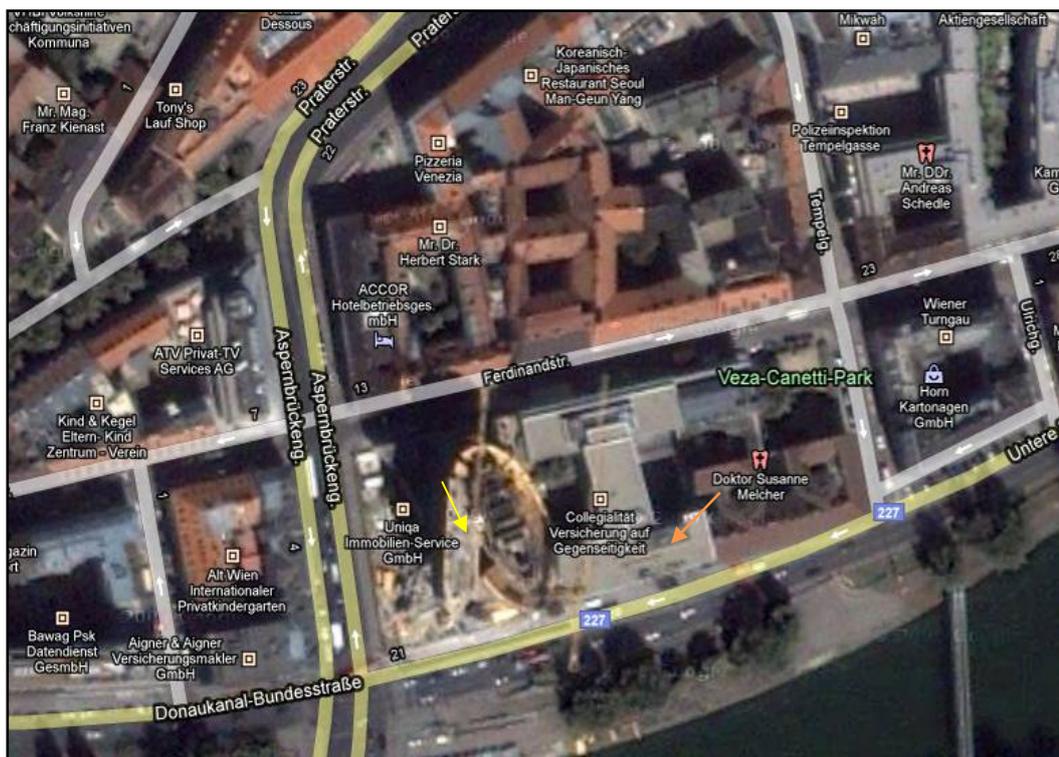


Abbildung 93: Umgebung von Uniqa Tower (gelbe Kennzeichnung: neues Objekt und orange Kennzeichnung: saniertes altes Objekt jeweils mit der Doppelfassade) /103/

Auf der beiliegenden Luftbildaufnahme kann man den gerundeten Grundriss des Gebäudes erkennen, der spielerisch das UNIQA Symbol wieder geben soll (siehe Abbildung 94).



*Abbildung 94: Uniqa Symbol*

Diese Bauform ist nicht nur marketingtechnisch relevant, sondern ermöglicht auf diesem städtebaulich sensiblen Platz einen Rundumblick, von jedem einzelnen Geschoss, auf ganz Wien. Zusätzlich erwirkt die gewählte Neigung, des sich öffnenden Baukörpers, ebenso in den unteren Bereichen ein optimales Lichteinfallverhältnis.

Objektbeschreibung:

Das Uniqa Tower Hochhaus befindet sich in Zentrumsnähe und bietet mit seiner günstigen Lage am Donaukanal, bzw. an der Grenze zur Wiener Altstadt seinen Mitarbeitern und Kunden eine gelungene Infrastruktur. Durch die Errichtung des Towers an einem zentralen und somit neuralgischen Verkehrsknotenpunkt, ergibt eine sehr gute Anbindung an alle Wiener Bezirke sowohl mit dem Öffentlichem- als auch Individualverkehr.



*Abbildung 95: Uniqa Tower Wien*

Die Gesamtplanung des UNIQA Towers hat Herr Arch. Dipl.-Ing. Heinz Neumann die, Architekturbüro „ Neuman & Partner“ übernommen und ausgeführt. Die Planungsleistung und Ausführung, inklusive der insgesamt 8200 m<sup>2</sup> der doppelschaligen Glasfassade, wurde in den Jahren 2003 und 2004 ausgeführt. Das Gebäude besteht aus 22 Obergeschossen und fünf Untergeschossen und weist eine Gesamthöhe von ca. 75,0 m auf.

Die gestalterische Grundidee einer zukunfts-offenen Nutzungsstruktur findet ihren Ausdruck in der transparenten Gebäudehülle. Ein Ort für konzentriertes und kommunikatives Arbeiten, bei dem der Mensch im Mittelpunkt steht.

Fassadenkonzept:



*Abbildung 96: Doppelfassade*

Die doppelschalige Fassadenkonstruktion wurde in einer raum- und geschossegmentierter Bauweise hergestellt. Die Fassadenelemente weisen eine polygonale und gerundete Form auf, wie in der *Abbildung 95* erkenntlich. Die Doppelfassade besteht aus einer Primärverglasung, *Abbildung 96* (Innere Fassade), mit integriertem Wärmeschutzglas und aus einer Sekundärfassade (Äußere Fassade) mit der Verwendung von Einscheibensicherheitsglas (ESG), siehe *Abbildung 96*. Die innere Schale der Fensterkonstruktion ist mittels schlanker Fensterprofile so konstruiert, dass eine gute Panoramansicht vom Rauminnen gegeben ist. Der Öffnungsmechanismus funktioniert mittels Drehfensterflügel Prinzip. (*wie in der Abbildung 97 erkenntlich.*) Der Hohlraum der Fensterkonstruktion ist thermisch entspannt und dient zusätzlich zur Reduktion des Winddrucks in den oberen Geschossen. Durch die vertikale Profiltrennung und durch einen circa 25 cm breiteren Fassadenzwischenraum, wurde eine komplette Vorfertigung und eine einfache bzw. kostengünstige Montage ermöglicht.



*Abbildung 98: Innere Fassade*



*Abbildung 97: Drehfenstertüre- Innere Fassade*

Die Firmen „Mero Austria GmbH“ und „Starmann Metallbau GmbH“ haben die gesamte Fassadenkonstruktion ausgebaut. Mit dieser doppelschaligen, hochtechnologischen Glasfassade des Uniqa Tower werden sehr geringe Energieverluste erzielt.

In der europäischen Union wird der Uniqa Tower in Wien als Beispiel für die energieeffiziente Errichtung von Bürogebäuden propagiert. Das „Green Building“ Programm der EU zeichnet besonders energieeffiziente Gebäude für ihren optimierten Energieeinsatz und ihren Beitrag zur Reduzierung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes aus. /82/

### Sonnenschutz und Tageslichtnutzung:

Die Jalousien im Fassadenzwischenraum passen durch den Einsatz einer ausgeklügelten Gebäudeleittechnik, je nach tagesbedingeten Sonnenstand und der Helligkeit, den Wärmehaushalt und die optimale Sonnenlichtnutzung, an.

Insgesamt 1650 Lichtlenkjalousien E80 LBAB mit Halbsensoren /83/ wurden im Fassadenzwischenraum platziert, um eine optimalen gleichzeitigen Sonnenschutz und Tageslichteintritt zu erfüllen. Der aktivierte Sonnenschutz ermöglicht durch den Einsatz von Lamellen die Sicht nach außen. Diese Ausführung garantiert, dass die gesetzlichen Anforderungen betreffend Bildschirmarbeitsplätze erfüllt werden und so eine komfortable Arbeitsplatzsituation entsteht. Die Jalousienstellung und die Umlenkklammern ermöglichen die Nutzung eines passiven Tageslichts, welches an die Decke des Raumes reflektiert wird (*siehe Kapitel 6.3*). Abhängig von der Lichtintensität wird automatisch ein an der Fassade befindliches Lichtband zugeschaltet um die Doppelfassade auch bei Dunkelheit in Szene zu setzen.



Die Lamellen wirkend als optimaler sommerliche Wärmeschutz, der auch bei hohen Windgeschwindigkeiten geschützt stabil bleiben und durch einen niedrigen Energieeintrag die Kühlkosten minimieren.

Die Jalousien wurden in zwei Bereiche unterteilt: der obere Bereich sorgt für die Nutzung des natürlichen Tageslichtes und der untere Bereich schützt vor Sonneneinstrahlung. (*Siehe Abbildungen 44, 45 und 46*).

Abbildung 99: Sonnenschutzsystem- Jalousien zur  
Lichtlenkung

Die Jalousien mit der Tageslichtlenkung erfüllen folgende Aufgaben: /83/

- Optimaler Sonnenschutz durch die Anordnung in der Doppelfassade werden g-Werte von außenliegenden Systemen erreicht, wobei die Witterunabhängigkeit gegeben ist.
- Die Kühllasten werden erheblich reduziert.
- Durch die perforierten Lamellen bleibt der Sichtkontakt zur Außenwelt weitestgehend erhalten, ohne die thermische Funktion zu beeinträchtigen.
- Die Steuerung in Verbindung mit dem in den Jalousien integrierten Sensor sorgt dafür, dass die Lamellen zur jeweiligen Tageszeit im optimalen Winkel zur Sonne stehen.
- Erreichung der größtmöglichen Effizienz von Sonnenschutz und Tageslichtnutzung.

Blendschutz:



Der Blendschutz ist in der Inneren Fassaden (Festverglasung und beweglichem Drehflügel) integriert. Dieses Konzept, welches natürlich nach technischen Sonderlösungen verlangt, sorgt dafür, dass der deaktivierte Blendschutz "fast unsichtbar" in der Fassade untertaucht. Um ein einheitliches Bild, wie aus "einem Guss", zu erhalten, sind die Elemente wie die Blenden, die Führungsschienen, die Abschlussprofile speziell auf die Fassadenprofile abgestimmt und farblich angepasst.

Abbildung 100: Blendschutz integriert in der Innere Fassade

Durch die Funktionsweise des Blendschutzes wird der optimale Blendschutz für Bildschirmarbeitsplätze erreicht, um die Tageslichtnutzung nicht zu beschränken. Die Ausführung besteht aus einer Blendschutz-Folie, die durch ihre hohe Transparenz für eine hervorragende Sichtverbindung nach außen garantiert. Der Antrieb erfolgt über einen 24VDC Wellenmotor /83/ wobei die Ansteuerung dezentral vom jeweiligen PC-Arbeitsplatz aus möglich ist. Dadurch wird den individuellen Bedürfnissen der Mitarbeiter Rechnung getragen. „Bis zu zehn Prozent aller Mitbürger leiden an Höhenangst. Das ist eine Herausforderung für jeden Arbeitgeber, dessen Hauptquartier mit einer offenen Fensterfassade ausgestattet ist. Die Blendschutzeinrichtungen, die von unten nach oben steuerbar sind, beugen dieser Phobie vor.“ /84/

#### Lüftung:

Die natürlich dosierte Be- und Entlüftung ist auch in großer Gebäudehöhe möglich, weil die Äußere Fassade die ungestörte Fensteröffnung auf der Inneren Fassadenseite schützt und unterstützt.

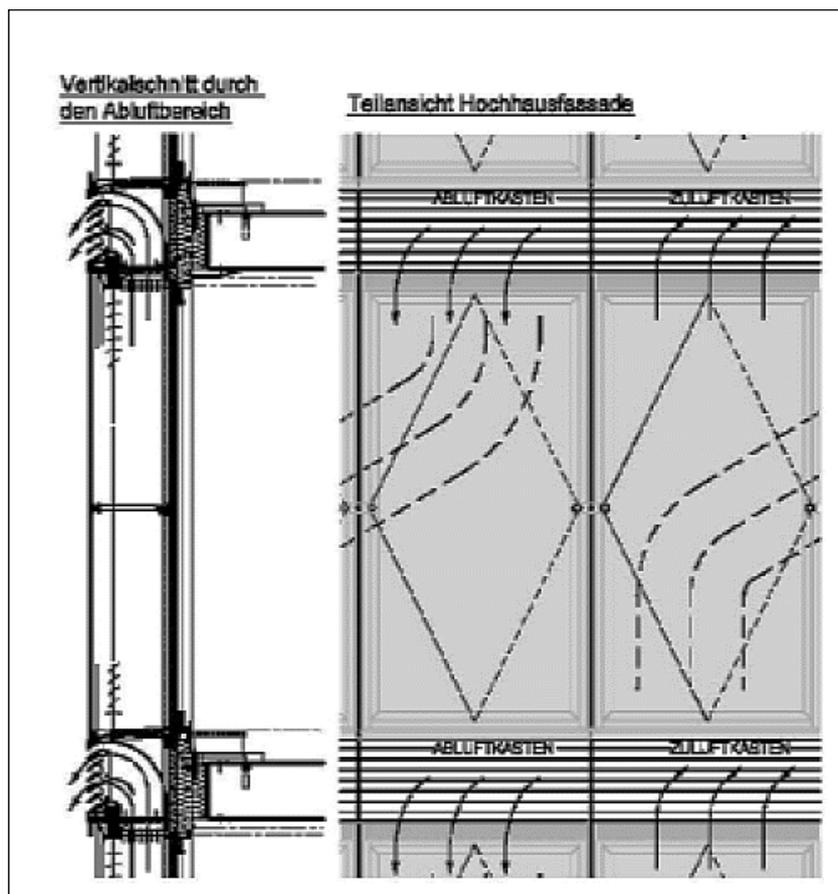


Abbildung 101: links: Vertikalschnitt durch den Abluftbereich,  
rechts: Teilansicht Hochhausfassade /81/

Die Infiltration von Außenluft über Fugen in der Fassade wird durch diese herabgesetzt und reduziert somit den freien Lüftungswärmebedarf.



Abbildung 102: Fassadenansicht: Be- und Entlüftungsöffnungen

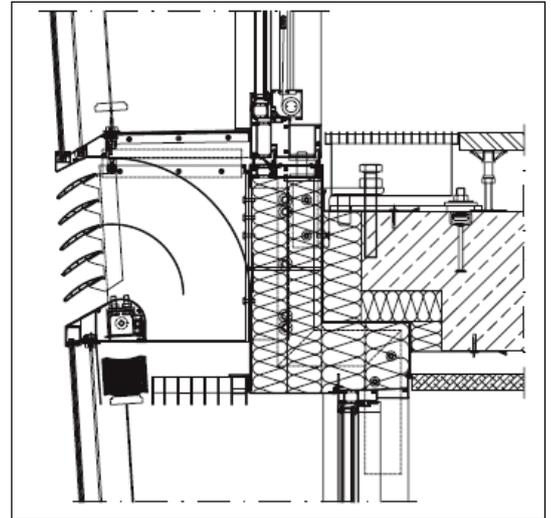


Abbildung 103: Detail- Schnitt /85/

Aufgrund der leicht zu öffnenden Fenstertüren ist es allen Mitarbeitern jederzeit möglich, den eigenen Arbeitsbereich individuell zu belüften. Liegt die Außentemperatur zwischen + 5 und + 25°C, wird der UNIQA Tower über die öffnungsbaren Fenster natürlich belüftet. Lediglich im Winter bzw. sehr heißen Sommer oder bei sehr hohem Winddrücken erfolgen die Zufuhr und der Abtransport von Luft mechanisch, um große Wärmeverluste bzw. ungewollte Aufheizung zu vermeiden.

Unterstützend zur natürlicher Lüftung mittels Fensteröffnungen dient ein Deckenkühlsystem: Das semi-dezentrale Lüftungsgerät übernimmt in den thermischen Extremzeiten die energieeffiziente Wärmerückgewinnung. Die Fortluft strömt hierbei in einem zentralen Fortluftkamin, dessen Auftrieb durch den Unterdruck unterstützt wird. /87/

Die Größenordnungen sind beeindruckend: Tatsächlich werden pro Stunde rund 360.000 m<sup>3</sup> Frischluft durch das gesamte Gebäude transportiert, davon allein 97.000 m<sup>3</sup> durch die Büroräume.

„Jeder Mensch braucht pro Stunde etwa 50 m<sup>3</sup> frische Atemluft, um sich wohl zu fühlen“, sagt DI (FH) Michael Hangeneder „und bei uns kriegt er viel mehr“. /84/

Durch die erwähnte Kombination der Doppelfassade und der Quellluftklimatisierung erreicht man geringere Betriebskosten und einen höheren Komfort gegenüber konventionellen Lüftungssystemen.

Schallschutz:

Die Exposition des UNIQA Towers lässt darauf schließen, dass das Gebäude zur Gruppe von Objekten mit größerer Lärmbelastung, aufgrund des Verkehrslärms, klassifiziert wird.



Abbildung 104: Blick aus dem Gebäude auf die Innerstadt



Abbildung 105: Die Straße vor dem Objekt

Folgender Schalllärmpegel aus dem Straßenlärmimmissionskataster der Stadt Wien zeigt die Lärmbelastung in der Umgebung des UNIQA Tower.

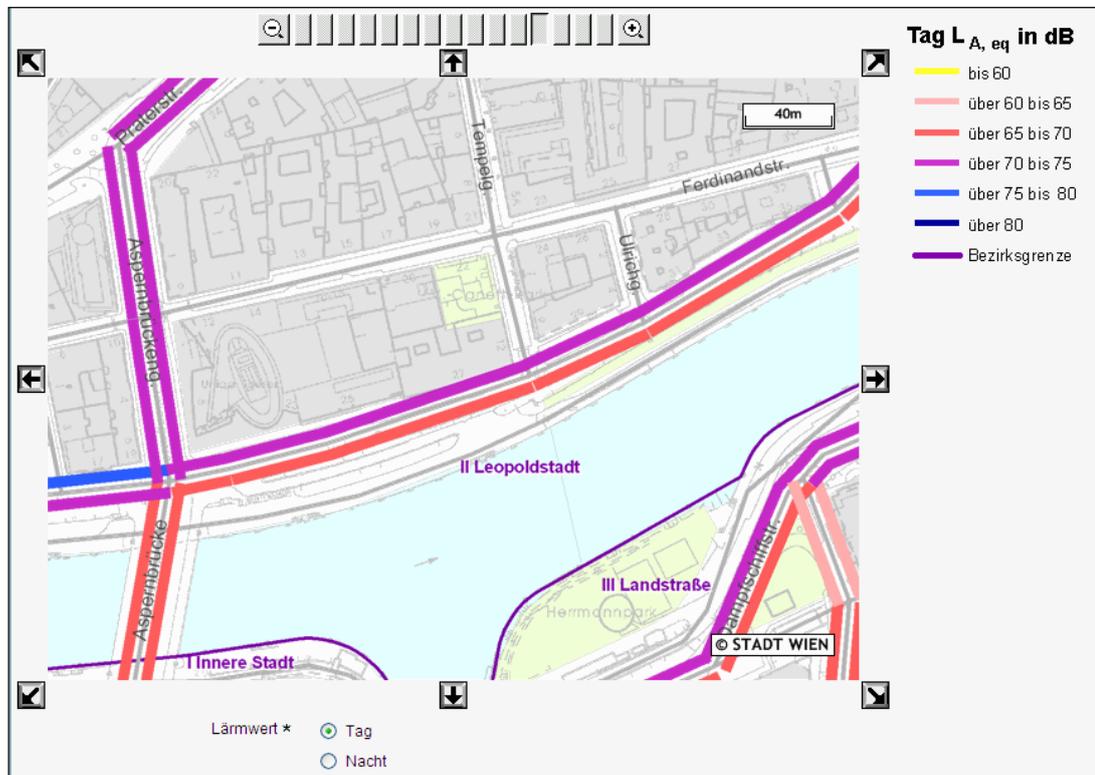


Abbildung 106: Verkehrslärmpegel in die Umgebung der Gebäude /88/

Die violette Linie zeigt, dass die Schalllärmpegel von circa 75 dB(A) am Tag sich in der Stufe H (Tabelle 12) wieder finden. Das besagt, dass erst durch den Einsatz einer doppelschalige Fassade eine qualitative und gesündere Arbeit in Uniqa Tower ermöglicht wird. Die äußere Schale schützt von Schalleintrag und Winddruck und ermöglicht zudem Öffnen des Innenfensters. Besonders in den oberen Geschossen steigen die.

Mögliche Fenstervarianten in den nächsten *Abbildungen 107, 108* und *109* zeigen die Höhe der Lärmbelastung direkt in den Räumlichkeiten im Gebäude.

- Variante 1: Einschalige Fassade mit offenem Fenster (*Abbildung 107*)
- Variante 2: Einschalige Fassade mit geschlossenem herkömmlichen Fenster (*Abbildung 108*)

- Variante 3: „Lärmschutzfenster“, der mit den GlasDoppelFassaden verglichen werden kann (Abbildung 109)

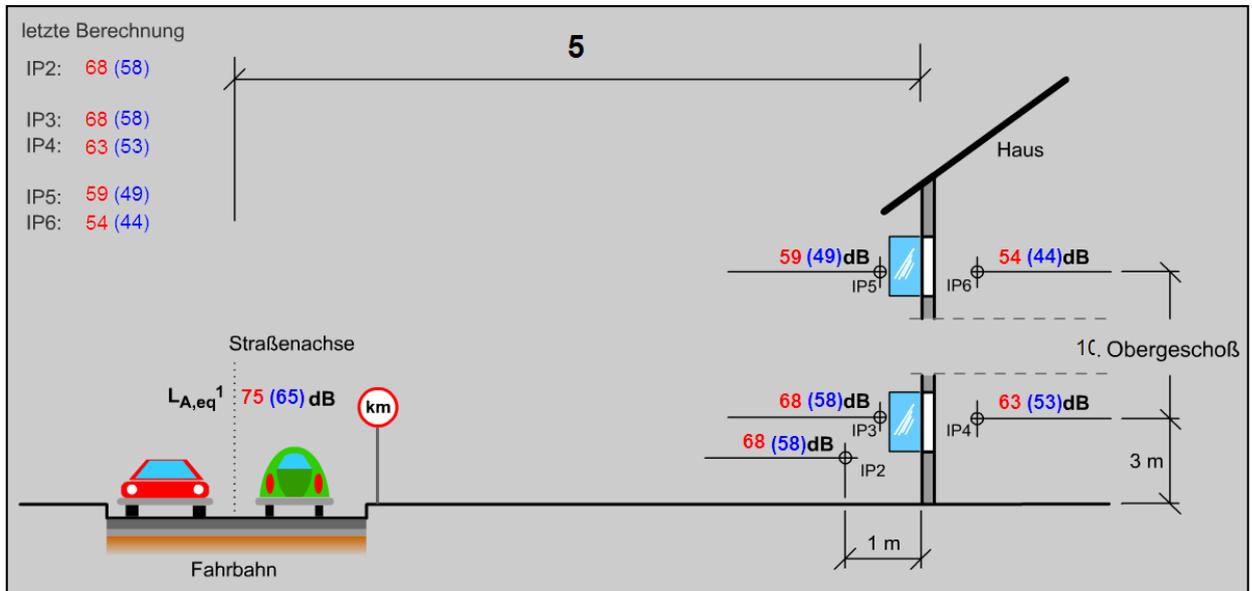


Abbildung 107: Lärmbelastung beim offenen Fenster (Einschalige Fassade) /73/

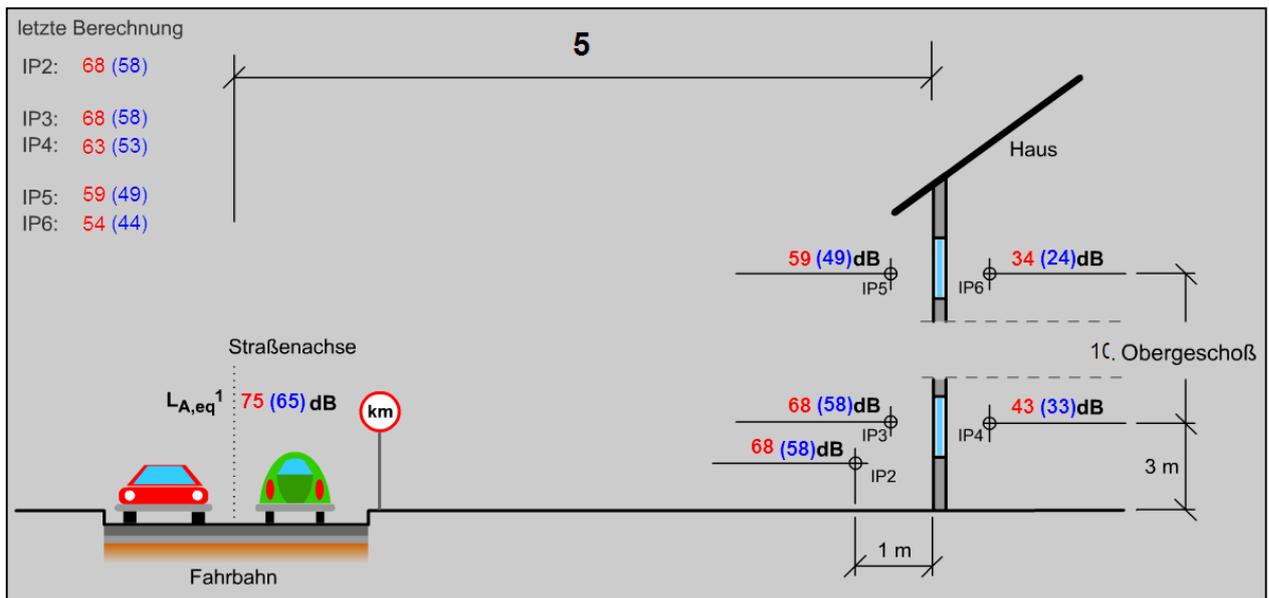


Abbildung 108: Lärmbelastung bei geschlossenem herkömmlichen Fenster (Einschalige Fassade) /73/

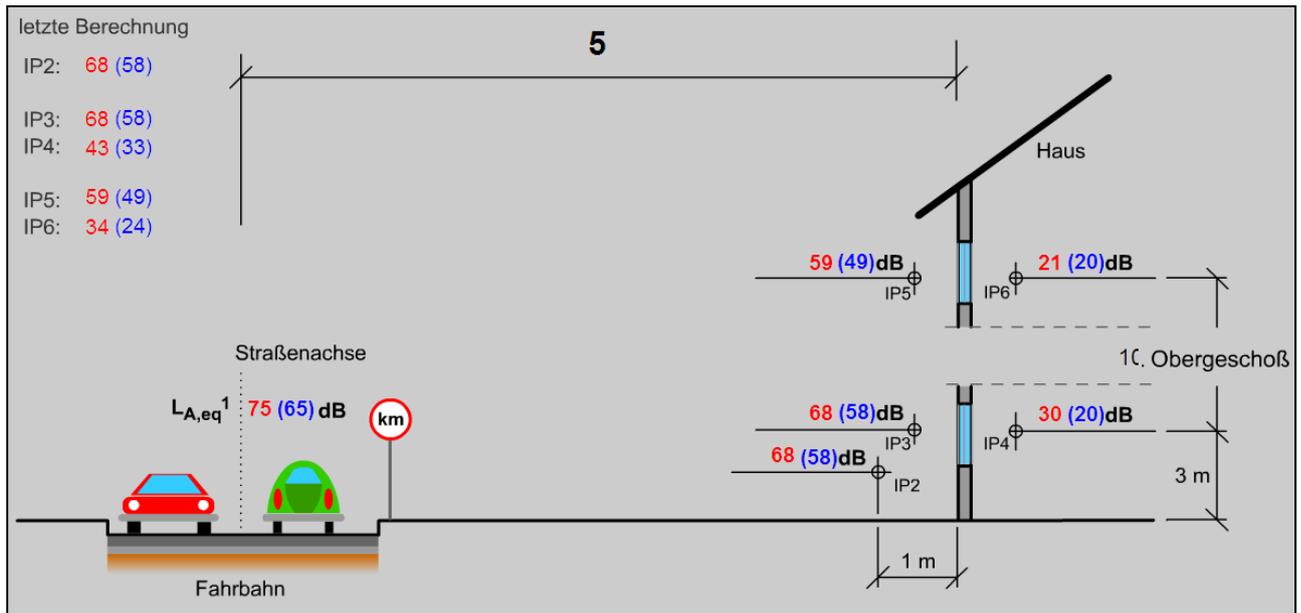


Abbildung 109: Lärmbelastung - „Lärmschutzfenster“ (gleichwertig mit Doppelfassaden) /73/

## 9 Schlussfolgerungen

Doppelfassaden eignen sich nicht nur für charakteristische Neubauten, sondern auch zur Sanierung älterer Gebäude. Vor allem Plattenbauten aus den sechziger und siebziger Jahren lassen sich mit dieser Technik vor Umwelt- und Witterungseinflüssen leicht und nachhaltig schützen.

Die Sanierung von Nichtwohngebäuden, d.h. von Arbeitsstätten wie Büro-, Verwaltungs-, Schul- und Hochschul- sowie Gewerbebauten, fordert heute hochwertige Fassadenlösungen sowohl für den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz als auch für die Tageslichtbeleuchtung.

Niedriger Energieverbrauch ist für die Wirtschaftlichkeit eines Gebäudes notwendig. Besonders für die Thematik der kostenintensiven Heizung, aber auch für die aktive und passive Beleuchtung welche das Wohlbefinden bzw. Raumklima prägen. Aus diesem Grund bekommen transparente Fassadenteile eine neue wirtschaftliche Bedeutung, für die Sanierung alter Bausubstanzen, im Vergleich zu den herkömmlichen Fassaden Revitalisierungen.

Die Doppelfassade erreicht jedoch noch weitere Entwicklungsmöglichkeiten. Das Energiesparpotential steigt zum Beispiel erheblich, wenn man die doppelschalige Verkleidung mit bewährter Energiespartechnik kombiniert.

Zöllner: "Die Nutzung regenerativer Energie wie der Sonne bietet sich hier geradezu an". Die stetige Entwicklung von Doppelfassaden, aufgrund deren thermischer und wirtschaftlicher Leistungsfähigkeit, kommt hierbei durch besseren Schallschutz und Sonnenschutz zum Ausdruck. Neue Bürokomplexe oder alte Gebäude – fast jede Möglichkeit besteht das Prinzip der Doppelfassade anzuwenden und Wünsche von Architekten, Unternehmer und insbesondere Mitarbeitern, zu erfüllen.

Die andere Seite der Medaille ist, wie üblich im Bauwesen, der Kostennachteil bei der Errichtung von den Doppelfassaden. Wie das Wort schon selbst sagt: Doppel-Fassade, entspricht „den doppelten Kosten“. Tatsache, die Kosten für die Errichtung der Fassade sind eher teuer, aber zu beachten ist, wann erreiche ich mit der Investition den „break even point“ durch die Senkung der laufenden Kosten.

Das Ziel dieser Arbeit ist, konkrete Beispiele für die Vorteile der doppelten Fassaden zu zeigen. Diese kommt in der Regel zur Anwendung bei Hochhäusern wobei von Fall zu Fall eine individuelle Planung von Nöten ist. Hierbei wird die Möglichkeit ebenso bei nicht so hohen Gebäuden, besonders bei sanierungswürdigen Gebäuden, vorgestellt. Im Fokus ist die Bewältigung des Lärmproblems von der Straße, einen besseren Sonnenschutz geben, natürliche Lüftung und Energieeinsparung fördern. Diese Kriterien erfüllt das Gebäude durch die Einbindung eines Doppelfassaden Systems.

## 10 Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Glas-Fabrikhalle aus 1903, Blick aus der Cafeteria des Steiffmuseums auf eine der Produktionshallen, /7/..... | 2  |
| Abbildung 2: Postsparkasse Wettbewerb Wien, Otto Wagner, 1903, /8/.....  | 3  |
| Abbildung 3: Bücherei der Geschichtlichen Fakultät in Cambridge, England (Architekt: James Stirling) /12/.....             | 4  |
| Abbildung 4: Entwicklung Mehrschaliger Fenster- und Fassadensysteme von 1990-2001, /13/.....                               | 5  |
| Abbildung 5: Strahlung trifft von links oben auf reflektierende Fläche, /20/.....  | 9  |
| Abbildung 6: Transmission, Reflexion und Absorption einer Welle durch ein Medium B /20/.....                               | 10 |
| Abbildung 7: Zweit-Haut-Fassade mit Glaslamelle, /18/.....   | 12 |
| Abbildung 8: Schematische Ordnungsschema für Glasdoppelfassaden, /17/.....   | 14 |
| Abbildung 9: Bürokomplex „Victoris-Ensemble“, Köln, Arch: Thomas van den Valentyn (1996) /23/16                            |    |
| Abbildung 10: Unsegmentierte Vorhangfassade,(Funktionsschema), /9/.....  | 16 |
| Abbildung 11: Verwaltungsgebäude der Götz GmbH / Würzburg , Arch. Webler & Geissler, 1995) /9/.....                        | 18 |
| Abbildung 12: Umluftfassaden- Funktionsschema) /9/.....  | 18 |
| Abbildung 13: Düsseldorfer Stadttor, Arch. Petzinka und Partner, /37/.....   | 19 |
| Abbildung 14: Korridorfassade (Funktionsschema) /9/.....   | 19 |
| Abbildung 15: Bürogebäude am Halensee in Berlin, Arch.: Leon und Wohlhage, 1996 /9/.....                                   | 19 |
| Abbildung 16: Hochhaus RWG, Essen B., /39/.....  | 21 |
| Abbildung 17: Kastenfenster-Fassade-Funktionsschema, /9/.....  | 21 |
| Abbildung 18: ARAG Tower, Düsseldorf /40/.....   | 23 |
| Abbildung 19: Schacht-Kasten-Fassade, (Funktionsschema) /9/.....   | 23 |
| Abbildung 20 : Problem in nicht durchlüftete Büroräume /70/.....   | 25 |
| Abbildung 21: Messturm Basel /20/.....   | 27 |
| Abbildung 22: Treibhauseffekt /41/.....  | 29 |
| Abbildung 23: Änderung der Temperaturgradienten bei Absink- und Hebungsvorgängen, /1/.....                                 | 30 |
| Abbildung 24: kalorimetrische g-Wert Prüfung der Doppelfassade /59/.....   | 33 |
| Abbildung 25: Verlauf der spektralen Transmission verschiedener Scheibendicken.....  | 36 |
| Abbildung 26: Strahlungsbilanz der Einschaligen Fassade /10/.....  | 37 |
| Abbildung 27: Strahlungsbilanz an einer Doppelfassade mit 1-fach beschichteter Wärmeschutzverglasung WWW /10/.....         | 39 |
| Abbildung 28: Strahlungsbilanz an einer Doppelfassade mit 2-fach beschichteter Wärmeschutzverglasung /10/.....             | 41 |

---

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 29: Aufbau des Referenzraumes /62/.....  | 42 |
| Abbildung 30: Untersuchte Fassaden: .....  | 43 |
| Abbildung 31: Jahresenergiebedarf /62/ .....   | 44 |
| Abbildung 32: Freie Raumlüftungsströmung bei Sonnenstrahlung /1/.....  | 51 |
| Abbildung 33: Starre und bewegliche Sonnenschutzsysteme /104/ .....  | 55 |
| Abbildung 34: Stabalux-Lamelle /67/.....   | 57 |
| Abbildung 35: Strabaghaus- Graz.....   | 57 |
| Abbildung 36: horizontale und vertikale Sonnenschutzsysteme SUNCLIPS /68/ .....  | 58 |
| Abbildung 37: Sonnenschutzglas (Skizze) /65/.....  | 59 |
| Abbildung 38: Sonnenschutzisoliervglas /66/.....   | 59 |
| Abbildung 39: Verglasung und Fassadenarten im Vergleich /64/ .....   | 60 |
| Abbildung 40: Gemeindehaus Wollerau /66/.....  | 61 |
| Abbildung 41: Casino Basel /66/ .....  | 61 |
| Abbildung 42: Bewegliche Metalllamellen der Firma „Schüco“ /104/ .....   | 62 |
| Abbildung 43: Bewegliche Glaslamellen der Firma „Schüco“ /104/ .....   | 62 |
| Abbildung 44 : Tageslichtoptimierte Jalousien /71/ .....   | 63 |
| Abbildung 45 : Tageslicht Transparentelemente /71/.....  | 63 |
| Abbildung 46 : EU-Richtlinie Bildschirmarbeitsplatzverordnung /71/ .....   | 63 |
| Abbildung 47: Schalldämmmaß /90/ .....   | 64 |
| Abbildung 48: Schallpegelminderung durch eine Glas-Doppelfassade (GDF) oder .....  | 66 |
| Abbildung 49: Horizontalschnitt, Prinzipdarstellung zur Längsschalldämmung bei nebeneinander liegenden Räumen mit Doppelfassade ohne Schottung /1/ .....                             | 67 |
| Abbildung 50: Steiermärkische Sparkasse und ihre Umgebung, Andreas-Hofer-Platz 9 /80/ .....  | 68 |
| Abbildung 51: Blick auf der Gebäude /76/.....  | 69 |
| Abbildung 52: Steiermärkische Sparkasse: und nach dem Sanierung /80/ .....   | 70 |
| Abbildung 53: Außenfassade- Blick auf Glaslammellen.....   | 71 |
| Abbildung 54: Fassadendetail /76/.....   | 71 |
| Abbildung 55 : Einordnung der Sonnenschutzglaslamellen.....  | 72 |
| Abbildung 56: Durchsicht durch bewegliche Lamellen /81/.....   | 73 |
| Abbildung 57 : Fassadenzwischenraum.....   | 74 |
| Abbildung 58: Fassadengestaltung /80/.....   | 74 |
| Abbildung 59: Verkehrslärmbelastung- Andreas-Hofer-Platz /72/.....   | 76 |
| Abbildung 60: Bürogebäude in Conrad von Hötendorf Straße 68 (rote Kennzeichnung) und ihre Umgebung, bzw. Blick auf Messe Congress Graz als „Nachbarin“ von diesem Gebäude /103/ .... | 77 |
| Abbildung 61: Ausblick auf Bürogebäude .....   | 78 |

---

---

|   |     |
|---|-----|
| <i>Abbildung 62: Ausblick auf Conrad von Hötzendorf Straße</i> .....  | 78  |
| <i>Abbildung 63: Fassadenkonstruktion</i> .....   | 79  |
| <i>Abbildung 64: Innere Fassade (Primärfassade) /74/</i> .....  | 80  |
| <i>Abbildung 65: Grundriss 3. OG /74/</i> .....   | 80  |
| <i>Abbildung 66: Sonnenschutzsystem /74/</i> .....  | 81  |
| <i>Abbildung 67: starrer Sonnenschutz-Dachvorsprung</i> .....   | 82  |
| <i>Abbildung 68: Begehbarer Gitterrost im Fassadenzwischenraum, bzw. Luftdurchgang zwischen den Geschossen</i> .....  | 83  |
| <i>Abbildung 69: Fassadenzwischenraum: links- Gitterrost über Erdgeschoss als Zuluftöffnung und rechts- horizontale Trennung des Fassadenzwischenraumes zwischen zwei Geschosse</i> ..... | 84  |
| <i>Abbildung 70: Verkehrslärmbelastung- Conrad von Hötzendorf /72/</i> .....  | 85  |
| <i>Abbildung 71 : Lärmbelastung bei offene Fenster (Einschalige Fassade) /73/</i> .....   | 86  |
| <i>Abbildung 72: Lärmbelastung bei geschlossene herkömmliches Fenster (Einschalige Fassade) /73/</i> .....  | 87  |
| <i>Abbildung 73: Lärmbelastung- „Lärmschutzfenster“ (gleichwertig mit Doppelfassaden) /73/</i> .....  | 87  |
| <i>Abbildung 74: Die Lage des Gebäudes- die Ecke von Keplerstraße und Lendplatz /103/</i> .....   | 88  |
| <i>Abbildung 75: Bürogebäude der Feuerwehr /100/</i> .....  | 89  |
| <i>Abbildung 76: Doppelschalige Konstruktion /101/</i> .....  | 90  |
| <i>Abbildung 77: Äußere Fassadepkonstruktion</i> .....  | 90  |
| <i>Abbildung 78: Verkehrslärmbelastung- Keplerstraße/ Lendplatz /72/</i> .....  | 91  |
| <i>Abbildung 79: Lärmbelastung beim offenen Fenster (Einschalige Fassade) /73/</i> .....  | 92  |
| <i>Abbildung 80: Lärmbelastung bei geschlossene herkömmliches Fenster (Einschalige Fassade) /73/</i> .....  | 93  |
| <i>Abbildung 81: Lärmbelastung- „Lärmschutzfenster“ (gleichwertig mit Doppelfassade) /73/</i> .....   | 93  |
| <i>Abbildung 82: Bürogebäude in der Schubertstraße 39 (rote Kennzeichnung) und ihre Umgebung, bzw. Blick auf Karl Franzens Universität als „Nachbarin“ von diesem Gebäude /103/</i> ..... | 95  |
| <i>Abbildung 83: Ausblick auf die Schubertstraße und das Bürogebäude</i> .....  | 95  |
| <i>Abbildung 84: Ausblick auf südliche Fassade der Bürogebäude</i> .....  | 96  |
| <i>Abbildung 85: Fassadenteile: die Innere- und die Außenfassade, bzw. der Fassadenzwischenraum</i> .....   | 97  |
| <i>Abbildung 86: Sonnenschutz</i> .....   | 98  |
| <i>Abbildung 87 : Eine von Funktionen im Fassadenzwischenraum</i> .....   | 99  |
| <i>Abbildung 88 : Verkehrslärmbelastung - Schubertstrasse /72/</i> .....  | 100 |
| <i>Abbildung 89 : Lärmbelastung beim offenen Fenster (Einschalige Fassade) /73/</i> .....   | 101 |

---

---

|   |            |
|---|------------|
| <i>Abbildung 90 : Lärmbelastung bei geschlossenem herkömmlichen Fenster (Einschalige Fassade) /73/ .....</i>  | <i>102</i> |
| <i>Abbildung 91: Lärmbelastung- „Lärmschutzfenster“ (gleichwertig mit Doppelfassaden) /73/ ....</i>   | <i>102</i> |
| <i>Abbildung 92 :Äußere Fassade und ihre Öffnungsmöglichkeit .....</i>  | <i>103</i> |
| <i>Abbildung 93: Umgebung von Uniqa Tower (gelbe Kennzeichnung: neues Objekt und orange Kennzeichnung: saniertes altes Objekt jeweils mit der Doppelfassade) /103/.....</i> | <i>104</i> |
| <i>Abbildung 94: Uniqa Symbol.....</i>  | <i>105</i> |
| <i>Abbildung 95: Uniqa Tower Wien.....</i>  | <i>106</i> |
| <i>Abbildung 96: Doppelfassade .....</i>  | <i>107</i> |
| <i>Abbildung 97: Drehfenstertüre- Innere Fassade .....</i>  | <i>108</i> |
| <i>Abbildung 98: Innere Fassade .....</i>   | <i>108</i> |
| <i>Abbildung 99: Sonnenschutzsystem- Jalousien zur Lichtlenkung.....</i>  | <i>109</i> |
| <i>Abbildung 100: Blendschutz integriert in der Innere Fassade.....</i>   | <i>110</i> |
| <i>Abbildung 101: links: Vertikalschnitt durch den Abluftbereich,.....</i>  | <i>111</i> |
| <i>Abbildung 103: Detail- Schnitt /85/.....</i>   | <i>112</i> |
| <i>Abbildung 102: Fassadenansicht: Be- und Entlüftungsöffnungen.....</i>  | <i>112</i> |
| <i>Abbildung 104: Blick aus dem Gebäude auf die Innerstadt .....</i>  | <i>113</i> |
| <i>Abbildung 105: Die Straße vor dem Objekt.....</i>  | <i>113</i> |
| <i>Abbildung 106: Verkehrslärmpegel in die Umgebung der Gebäude /88/.....</i>   | <i>114</i> |
| <i>Abbildung 107: Lärmbelastung beim offenen Fenster (Einschalige Fassade) /73/.....</i>  | <i>115</i> |
| <i>Abbildung 108: Lärmbelastung bei geschlossenem herkömmlichen Fenster (Einschalige Fassade) /73/ .....</i>  | <i>115</i> |
| <i>Abbildung 109: Lärmbelastung - „Lärmschutzfenster“ (gleichwertig mit Doppelfassaden) /73/ ..</i>   | <i>116</i> |

---

---

**11 Tabellenverzeichnis**

|  |    |
|--|----|
| <i>Tabelle 1: Victoria-Ensemble, Köln /1/</i>  | 16 |
| <i>Tabelle 2: Verwaltungsgebäude II Götz, Würzburg /1/</i>   | 17 |
| <i>Tabelle 3: Bürohaus Halensee, Berlin /1/</i>  | 20 |
| <i>Tabelle 4: Hochhaus RWE AG, Essen, /1/</i>  | 22 |
| <i>Tabelle 5: Commerzbank, Frankfurt, /1/</i>  | 22 |
| <i>Tabelle 6: Vorteile und Nachteile von GlasDoppelFassaden /9/</i>                                  | 26 |
| <i>Tabelle 7: Vergleich Einschalige Fassade/Doppelfassade/ Abluffassade /41/</i>                     | 28 |
| <i>Tabelle 8: Strahlungsdurchlässigkeit von Glasarten</i>  | 33 |
| <i>Tabelle 9: Alte deutsche, neue deutsche und neue europäische Schreibweise /40/</i>                | 34 |
| <i>Tabelle 10: Wärmedurchgangskoeffizient für verschiedene Verglasungen /57/</i>                     | 35 |
| <i>Tabelle 11: Raumklimatische Bezugsgrößen /17/</i>   | 45 |
| <i>Tabelle 12: Mindest erforderliche Schalldämmung von Außenbauteilen nach ÖNORM B 8115- 2 /102/</i> | 65 |

|           |                             |
|-----------|-----------------------------|
| <b>12</b> | <b>Literaturverzeichnis</b> |
|-----------|-----------------------------|

|      |   |
|------|---|
| /1/  | Blum, Compagno, Fitzner, Heusler, Hosser, Müller, Nolte, Schwarzkopf, Sadlacek, Thiel, Ziller : "Doppelfassaden", 2001                                      |
| /2/  | Joachim Borth (Referent), Elia Zaccheggu, "Planungshilfsmittel bei der Auslegung von Doppelfassaden", www.empa-ren.ch                                       |
| /3/  | Philipp Oswald & Wolfgang Schöning "Wohltemperierte Architektur/ Zweischalige Klimafassade", 1994 www.oswalt.de   |
| /4/  | Loschert, " Gebildeter Mittelwert aus Projektdaten von 34 Bürogebäuden", (1999), S. 1   |
| /5/  | Quelle: <a href="http://www.bestfacade.com/">http://www.bestfacade.com/</a> ; Zugriff: 25.5.2009  |
| /6/  | Institut für Wärmetechnik TU Graz, Workshop Doppelfassade: "Doppelfassade ist nicht gleich Doppelfassade, 25.01.2008  |
| /7/  | Quelle: <a href="http://de.wikipedia.org/wiki/Richard_Steiff">http://de.wikipedia.org/wiki/Richard_Steiff</a> , Zugriff: 02.06.2009                         |
| /8/  | Quelle: <a href="http://www.ottowagner.com/ow-werk/baugeschichte.html">http://www.ottowagner.com/ow-werk/baugeschichte.html</a> ; Zugriff: 02.06.2009       |
| /9/  | P. Kautsch, J. Dreyer, H. Hengsberger et.al., "Thermisch-hygrisches Verhalten von GlasDoppelFassaden unter solarer Einwirkung", 2002                        |
| /10/ | Zöllner, Andreas: "Experimentelle und theoretische Untersuchungen des kombinierten Wärmetransports in Doppelfassaden." Diss. München, 2001                  |
| /11/ | Le Corbusier: 1929. "Feststellungen zu Architektur und Städtebau. Wiesbaden", 1964, S. 70 ff,   |
| /12/ | Quelle: <a href="http://de.wikipedia.org/wiki/James_Stirling_(Architekt)">http://de.wikipedia.org/wiki/James_Stirling_(Architekt)</a> ; Zugriff: 10.06.2009 |
| /13/ | Pottgiesser, Utta: "Fassadenschichtungen- GLAS, Mehrschalige Glaskonstruktionen", 2004  |
| /14/ | "Vorgefertigte Fassaden im Schlüsselfertigbau-zur Darstellung in selfstudy", <a href="http://www.ibl.uni-studgard.de/">http://www.ibl.uni-studgard.de/</a>  |
| /15/ | <a href="http://www.bestfacade.com/textde/01_def_gesamt_d.htm">http://www.bestfacade.com/textde/01_def_gesamt_d.htm</a> ; Zugriff: 20.06.2009               |
| /16/ | Quelle: <a href="http://www.stylepark.com/">www.stylepark.com</a> ; Zugriff: 20.06.2009   |
| /17/ | Pottgiesser, Utta: "Mehrschalige Glaskonstruktionen, Energetische und konstruktive Aspekte", 2002   |
| /18/ | Gasser, Robert, Diplomarbeit: "Energetische Betrachtung einer doppelschaligen Glasfassaden-Ansätze zu einer vereinfachten rechnerischen Beurteilung", 2000  |
| /19/ | Compagno, Andrea, Birkhäuser Verlage: "Intelligente Glasfassaden", S. 11-13 ff.   |
| /20/ | Quelle: <a href="http://de.wikipedia.org/">http://de.wikipedia.org/</a> ; Zugriff: 30.06.2009   |
| /21/ | Heinz Herwig: „Wärmeübertragung A-Z: Systematische und ausführliche Erläuterung“  |
| /22/ | Quelle: <a href="http://www.gebaeudedefoto.de/dring.htm">http://www.gebaeudedefoto.de/dring.htm</a> ; Zugriff: 05.07.2009                                   |

|      |   |
|------|---|
| /23/ | <i>Blumenberg, J., Spinnler, M., Sattelmayer, T.: "Doppelschalige Glasfassaden – Eine Einführung in deren thermisches und energetisches Verhalten", Technische Universität München, Vorlesung: "Energieoptimierung für Gebäude",</i>                  |
| /24/ | Quelle: <a href="http://www.lighthouse-duesseldorf.de/node/23">http://www.lighthouse-duesseldorf.de/node/23</a> ; Zugriff: 05.07.2009   |
| /25/ | <i>Dissertation, vorgelegt von Dipl.-Ing. Keonho, Lee, : "Untersuchung zur Einsatzmöglichkeit von Doppelfassaden bei hohen Verwaltungsgebäuden mit Glassfassaden im extremgemäßigten Klimagebiete", Berlin 2002</i>                                   |
| /26/ | <i>Das Düsseldorf Stadttor: "Energiesparen mit Doppelfassade", <a href="http://www.stadttor.de">www.stadttor.de</a></i>   |
| /27/ | <i>Ao.Univ.-Prof.Dipl.-Ing.DDr. Peter Kautsch, "Die Fassade im Haus der Zukunft", Technische Universität Graz, Bauphysiktagung 2002</i>   |
| /28/ | <i>Lehrstuhl für Wärmeübertragung und Klimatechnik, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Professor Dr.-Ing. U. Renz: "Energetische Sanierung eines Bürokomplexes unter Einbeziehung einer Doppelfassade", 01.09.1999-31.12.2002</i>   |
| /29/ | <i>Technische Universität München, Lehrstuhl für Bauphysik, Univ.-Prof.Dr.Ing. Gerd Hausner: "Dynamisches thermisch-hygrisches Verhalten von Gebäuden, 10. Glas-Doppelfassade", Juli 2008; <a href="http://www.bp.bv.tum.de">www.bp.bv.tum.de</a></i> |
| /30/ | <i>J.Bartsch, Referat VE 04/05: "Doppelfassaden", <a href="http://www.architekturpluskoeln.de">www.architekturpluskoeln.de</a></i>  |
| /31/ | <i>Knaack, Klein, Biolow. Auer: "Fassaden- Prinzipie der Konstruktion"</i>  |
| /32/ | <i>Uta Pottgiesser: "Prinzipie der Baukonstruktionen"</i>   |
| /33/ | <i>Gerhard Hausladen, Michael de Saldanna, Wolfgang Nowak, Petra Liedel: "Einführung in die Bauklimatik"</i>  |
| /34/ | <i>Dietrich Neumann, Ulrich Weinbrenner, Ulf Hestermann, Ludwig Rongen: "Baukonstruktionslehre 1"; 34 Auflage, Februar 2006</i>   |
| /35/ | <i>Dipl.-Ing. Franziska Kuhn: "Untersuchung des Strömungsverhalten von Glas-Doppel-Fassaden unter besonderer Berücksichtigung der Windeinwirkungen"- Technische Universität Darmstadt, Institut für Massivbau</i>                                     |
| /36/ | <i>Technische Universität Darmstadt, Fachbereich Architektur, <a href="http://www4.architektur.tu-darmstadt.de">www4.architektur.tu-darmstadt.de</a></i>  |
| /37/ | <i>Der Düsseldorf Stadttor, <a href="http://www.stadttor.de">www.stadttor.de</a></i>  |
| /38/ | <i>Stefan Menzel: "Ein Ansatz zur Optimierung des Luftströmungsverhaltens von Glas-Doppelfassaden unter Verwendung bionischer Prinzipie"</i>  |
| /39/ | Quelle: <a href="http://stadt.cityreview.de/">http://stadt.cityreview.de/</a> ; Zugriff: 20.09.2009   |
| /40/ | Quelle: <a href="http://www.baunetzwiessen.de">www.baunetzwiessen.de</a> ; Zugriff: 20.09.2009  |
| /41/ | Quelle: <a href="http://www.lv-twk.oekosys.tu-berlin.de">www.lv-twk.oekosys.tu-berlin.de</a> ; Zugriff: 19.10.2009  |
| /42/ | <i>Dipl.-Ing. Jeans Knissel: "Energieeffiziente Bürogebäude mit reduzierten internen Wärmequellen und Wärmeschutz auf Passivhausniveau", Technische Universität Berlin ; 19.10.2009</i>   |

|      |  |
|------|--|
| /43/ | Armin Marko, Peter Braun: "Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden"   |
| /44/ | Quelle: <a href="http://www.diss.fu-berlin.de">www.diss.fu-berlin.de</a> ; Zugriff: 22.10.2009   |
| /45/ | Quelle: <a href="http://www.tu-dresden.de">www.tu-dresden.de</a> , Zugriff: 22.10.2009   |
| /46/ | Quelle: <a href="http://klima-der-erde.de/strahlungshshlt.html">http://klima-der-erde.de/strahlungshshlt.html</a> , Zugriff: 22.10.2009  |
| /47/ | Recknagel, Sprenger, Schramek: "Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik", 07/08   |
| /48/ | Malberg: "Meteorologie und Klimatologie"-Einführung; 5. Auflage; 13.10.2009  |
| /49/ | Quelle: <a href="http://freenet-homepage.de">freenet-homepage.de</a> ; Zugriff: 27.10.2009   |
| /50/ | Quelle: <a href="http://www.meteoschweiz.admin.ch/nccr/users/bader-unizh/vorlesung_klima/Kap-02.pdf">http://www.meteoschweiz.admin.ch/nccr/users/bader-unizh/vorlesung_klima/Kap-02.pdf</a> ; Zugriff: 28.10.2009                            |
| /51/ | Quelle: <a href="http://www.sas-technology.com/assets/applets/Solaranwendung.pdf">http://www.sas-technology.com/assets/applets/Solaranwendung.pdf</a> ; Zugriff: 28.10.2009  |
| /52/ | Quelle: <a href="http://www.fh-trier.de">www.fh-trier.de</a> ; Zugriff: 28.10.2009   |
| /53/ | Hupfer P., Kuttler W. (Hrsg.): "Witterung und Klima- Eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie", 11. Auflage  |
| /54/ | Quelle:<br><a href="http://wwwuser.gwdg.de/~aibrom/ppoek/konzept/IBK_Instrumentenpraktikum_Versuch_4_Strahlung.pdf">http://wwwuser.gwdg.de/~aibrom/ppoek/konzept/IBK_Instrumentenpraktikum_Versuch_4_Strahlung.pdf</a> ; Zugriff: 30.10.2009 |
| /55/ | DIN 67507-Lichttransmissionsgrad, Strahlungstransmissionsgrad und Gesamtenergiedurchlaßgrade von Verglasungen  |
| /56/ | DIN EN 673- Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert)   |
| /57/ | Quelle: <a href="http://www.code-knacker.de/u_wert.htm">http://www.code-knacker.de/u_wert.htm</a> ; Zugriff: 02.11.2009  |
| /58/ | Quelle: <a href="http://www.ibo.at/documents/vakuumverglasung.pdf">http://www.ibo.at/documents/vakuumverglasung.pdf</a> ; Zugriff: 03.11.2009  |
| /59/ | Prof. Dr. Ursula Eicker, Dipl.-Ing. (FH) Uwe Bauer, "Optimierung von Fassaden zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung", Fachhochschule Stuttgart Hochschule für Technik, Fachbereich Bauingenieurwesen                                       |
| /60/ | DIN EN 410- Bestimmungen der lichttechnische und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasung  |
| /61/ | Quelle: <a href="http://www.farbmeterik-gall.de/farbmeterik/nlametamerie/index.html">http://www.farbmeterik-gall.de/farbmeterik/nlametamerie/index.html</a> , Zugriff: 04.11.2009  |
| /62/ | Markus Offenmann: "Fassadenlösung für die gestiegenen Ansprüche an Bürogebäudefassaden", Zeitschrift   |
| /63/ | Quelle: <a href="http://www.wolfsonnenschutz.at/warumsonnenschutz/warumsonnenschutz.htm">http://www.wolfsonnenschutz.at/warumsonnenschutz/warumsonnenschutz.htm</a> ; Zugriff: 09.11.2009  |

|      |  |
|------|--|
| /64/ | Quelle:<br><a href="http://www.caverion.de/fileadmin/Leistungen/F_E_Veroeffentlichungen/Wechselwirkung_zwischen_Fassade_und_RLT_Anlage.pdf">http://www.caverion.de/fileadmin/Leistungen/F_E_Veroeffentlichungen/Wechselwirkung_zwischen_Fassade_und_RLT_Anlage.pdf</a> ; Zugriff: 13.11.2009 |
| /65/ | Quelle: <a href="http://www.gewe-selecta.de/wProdukte/wintergaerten/waermedaemmung.php">http://www.gewe-selecta.de/wProdukte/wintergaerten/waermedaemmung.php</a> ; Zugriff: 16.11.2009  |
| /66/ | Quelle: <a href="http://www.glastroesch.ch/fileadmin/content/images/service/pdf/SWISSDECO.pdf">http://www.glastroesch.ch/fileadmin/content/images/service/pdf/SWISSDECO.pdf</a> ; Zugriff: 16.11.2009  |
| /67/ | Quelle: <a href="http://www.stabalux.com">www.stabalux.com</a> ; Zugriff: 16.11.2009   |
| /68/ | Quelle: <a href="http://www.mesconal.de/katalog/sunclips/Mesconal_Sunclips.pdf">http://www.mesconal.de/katalog/sunclips/Mesconal_Sunclips.pdf</a> ; Zugriff: 16.11.2009  |
| /69/ | Quelle: <a href="http://www.bartz-metallbau.de/sonnenschutz.php">http://www.bartz-metallbau.de/sonnenschutz.php</a> ; Zugriff: 16.11.2009  |
| /70/ | Univ.-Prof. Brian Cody, Institut für Gebäude und Energie, Präsentation   |
| /71/ | Quelle: <a href="http://www.warema.de/de/Produkte/Lichtlenksysteme/index.htm">http://www.warema.de/de/Produkte/Lichtlenksysteme/index.htm</a> ; Zugriff: 28.11.2009  |
| /72/ | Quelle: <a href="http://gis.graz.at/cms/ziel/1169046/DE/">http://gis.graz.at/cms/ziel/1169046/DE/</a> ; Verkerslärmkataster; Zugriff: 21.11.2009   |
| /73/ | Quelle: <a href="http://gis.graz.at/cms/ziel/1169046/DE/">http://gis.graz.at/cms/ziel/1169046/DE/</a> ; Simulatinsprogramm Verkehrslärm; Zugriff: 21.11.2009   |
| /74/ | Quelle: <a href="http://humitsch.at/objekt-18.htm">http://humitsch.at/objekt-18.htm</a> ; Zugriff: 23.11.2009  |
| /75/ | Quelle: <a href="http://www.colt-info.de/view.aspx?/presse/pr_spkgraz_a+s07-08.pdf">http://www.colt-info.de/view.aspx?/presse/pr_spkgraz_a+s07-08.pdf</a> ; Zugriff: 28.11.2009  |
| /76/ | Quelle: <a href="http://www.colt-info.de/view.aspx?/presse/pr_spkgraz_a+s07-08.pdf">http://www.colt-info.de/view.aspx?/presse/pr_spkgraz_a+s07-08.pdf</a> ; Zugriff: 01.12.2009  |
| /77/ | Quelle: <a href="http://www.tiefbohr-robier.at/?jumpto=467">http://www.tiefbohr-robier.at/?jumpto=467</a> ; Zugriff 28.11.2009   |
| /78/ | Quelle: <a href="http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien534.pdf">http://www.aee-intec.at/0uploads/dateien534.pdf</a> ; Zugriff: 29.11.2009  |
| /79/ | Quelle: <a href="http://cuiper.m-x.de/downloads/Grundlagen_Sonnenschutz.pdf">http://cuiper.m-x.de/downloads/Grundlagen_Sonnenschutz.pdf</a> ; Zugriff: 15.11.2009  |
| /80/ | Quelle: <a href="http://www.szy-kow.at/">http://www.szy-kow.at/</a> ; Zugriff: 26.11.2009  |
| /81/ | Quelle: <a href="http://www.gbd-fassaden.at/gbd-mosbacher/mappe.pdf">http://www.gbd-fassaden.at/gbd-mosbacher/mappe.pdf</a> ; Zugriff: 01.12.2009  |
| /82/ | Quelle: <a href="http://www.news.at/">www.news.at</a> ; ; Zugriff: 07.12.2009  |
| /83/ | Quelle: <a href="http://www.warema.de">www.warema.de</a> ; ; Zugriff: 28.10.2009   |
| /84/ | Ute Waltron, Gerald Zugmann: "Blickpunkt- Uniqa Tower"   |
| /85/ | Quelle: <a href="http://www.tvs-fenster.de/download/sas.pdf">http://www.tvs-fenster.de/download/sas.pdf</a> ; Zugriff: 04.12.2009  |

|       |  |
|-------|--|
| /86/  | Quelle: <a href="http://www.uniqagroup.com">www.uniqagroup.com</a> ; Zugriff: 04.12.2009   |
| /87/  | Quelle:<br><a href="http://www.hanslechner.at/projekte/266/ausstellung/stufe1/ingenhoven/05_ingenhoven_erlaeuterung.pdf">http://www.hanslechner.at/projekte/266/ausstellung/stufe1/ingenhoven/05_ingenhoven_erlaeuterung.pdf</a> ; Zugriff: 24.08.2009     |
| /88/  | "Straßenlärmimmissionskataster" Quelle:<br><a href="https://www.wien.gv.at/lois/f_suche/advcgi/lois/suche_start">https://www.wien.gv.at/lois/f_suche/advcgi/lois/suche_start</a> ; Zugriff: 08.12.2009   |
| /89/  | Volker Huckemann, Erika Borges Lăo, Marlon Lăo: „Akustischer Komfort in Bürogebäuden mit Doppelglasfassaden.“  |
| /90/  | Quelle: <a href="http://www.td.mw.tum.de/tum-td/en/studium/lehre/energopt_f_geb/download/skr_eopt/DF_3">http://www.td.mw.tum.de/tum-td/en/studium/lehre/energopt_f_geb/download/skr_eopt/DF_3</a> ,<br>Technische Universität München; Zugriff: 14.07.2009 |
| /100/ | Quelle: <a href="http://www.bf-graz.at/zw.main.htm">www.bf-graz.at/zw.main.htm</a> ; Zugriff: 14.12.2009   |
| /101/ | Quelle: <a href="http://www.bestfacade.com">www.bestfacade.com</a> ; Zugriff: 14.12.2009   |
| /102/ | ÖNORM B 8115-2: „Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Teil 2: Anforderungen an den Schallschutz „  |
| /103/ | Quelle: <a href="http://www.maps.google.at">www.maps.google.at</a> ; Zugriff: 14.12.2009   |
| /104/ | Quelle: <a href="http://www.oswald-bauelemente.de/bilder/SunControlKurzBeweg+Starr.ppt">http://www.oswald-bauelemente.de/bilder/SunControlKurzBeweg+Starr.ppt</a> ; Zugriff:<br>14.12.2009   |