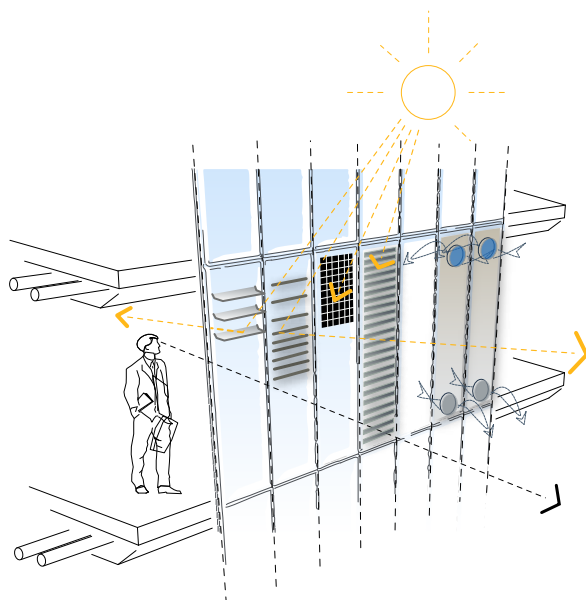


Philipp Molter

Technikintegration in offenen Fassadensystemen

Entwicklung eines mehrfachfunktionalen
Fassadenmoduls mit dem Schwerpunkt
der exemplarischen Bewertung eines
Bausteins im ganzheitlichen Kontext



Technische Universität München
Fakultät für Architektur
Professur für Entwerfen und Gebäudehülle

Technikintegration in offenen Fassadensystemen -
Entwicklung eines mehrfachfunktionalen Fassadenmoduls mit dem Schwerpunkt der
exemplarischen Bewertung eines Bausteins im ganzheitlichen Kontext

Philipp Lionel Molter

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs
genehmigten Dissertation.

Vorsitzender:	Univ. Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel
Prüfer der Dissertation:	1. Univ. Prof. Dr.-Ing. Bettina Wolf
	2. Univ. Prof. Thomas Auer

Die Dissertation wurde am 24.06.2015 bei der Technischen Universität München
eingereicht und durch die Fakultät für Architektur am 02.02.2016 angenommen.

Text und Layout: Philipp Molter

Alle Daten sind urheberrechtlich geschützt. Abbildungen Dritter werden als Zitate nach §51 UrhG eines veröffentlichten Werkes zum Zweck des Zitats, sofern die Nutzung in ihrem Umfang durch den besonderen Zweck gerechtfertigt ist, verwendet.

Sofern nicht anders angegeben, entstammen alle Bilder den zugrunde liegenden Werken und Publikationen. Alle weiteren Abbildungen stammen vom Verfasser dieser Arbeit und sind urheberrechtlich geschützt.

Fakultät für Architektur
Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München
Tel. 089 289 28699

Technikintegration in offenen Fassadensystemen -

Entwicklung eines mehrfachfunktionalen Fassadenmoduls mit dem Schwerpunkt der exemplarischen Bewertung eines Bausteins im ganzheitlichen Kontext.

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Entwerfen und Gebäudehülle der Technischen Universität München. Mit der Betrachtungsweise eines Architekten soll eine hochleistungsfähige und technisch weit entwickelte Fassade auf ihre Auswirkungen auf den Innenraum untersucht und bewertet werden. Zentraler Aspekt dieser Dissertation ist die Dialektik der unterschiedlichen Anforderungen an eine zukunftssträchtige Gebäudehülle in einer konkreten Bauteilintegration. Die Gegensätzlichkeit bzw. Auffindung und Aufhebung der Parameter rund um die Themen Energiegewinnung, Energieeinsparung, optimale Nutzung der Ressource Energie in einem Fassadensystem und Behaglichkeit wird mittels eines Kriterienkatalogs zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Fassaden erörtert.

Mein besonderer Dank gilt:

Frau Prof. Dr.-Ing Tina Wolf für die Bereitschaft, bei der Betreuung dieser Arbeit das Hauptreferat zu übernehmen und mir zudem im Rahmen der universitären Tätigkeit die Mitarbeit an vielen interessanten Projekten zu ermöglichen.

Herrn Prof. Dipl.-Ing. Thomas Auer für die Übernahme des Koferats sowie für die fachlichen Anregungen und Diskussionen.

Herrn Dipl.-Ing. Michael Reifer für seine überzeugende Haltung Innovation zu fördern.

Herrn Dipl.-Ing. Michael Füller für die tatkräftige und zuverlässige Hilfe bei den Vorbereitungen der thermischen und visuellen Messungen.

Frau Rebekka Schlenker für das sorgfältige Korrekturlesen.

Meinem Kollegen Dipl.-Ing. Moritz Mungenast für die wichtigen Diskussionen und die Unterstützung.

Meiner Frau Dipl.-Des. Miriam Irlé für die mit meiner Arbeit in Verbindung stehenden Entbehungen und Freiräume.

Meiner Tochter Marie Louise für die mit meiner Arbeit in Verbindung stehende Motivation.

Meinen Eltern, die mir die Grundlagen für diese Arbeit mit auf den Weg gegeben haben und mich in meinen Zielen bestärkt haben. Ohne die Unterstützung durch meine Familie wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Inhalt

Polyvalent wall	12
Kurztext	14
Grundlagen	16
Schwerpunkt Verwaltungsgebäude	18
Verwaltungsgebäude und Energieverbrauch	19
Komfort	20
Visueller Komfort	20
Thermischer Komfort	21
Komfort und die Wechselwirkungen der Gebäudehülle	22

I. Bewertung eines Bausteins im ganzheitlichen Kontext: Messungen zur Evaluierung des visuellen und thermischen Komforts **27**

Methodik und Aufbau der Messungen	30
Die Messeinrichtung - Solarstation der TUM	30
Messungen an der Testeinrichtung	30
Konstruktion der Messeinrichtung	32
A. Potentialabschätzung der Sonnenschutz eigenschaft zur Beurteilung des thermischen Komforts	36
Begriffe und Größen zu thermischen Untersuchungen	38
B. Untersuchung der Auswirkungen der Fassade auf den Innenraum zur Beurteilung des visuellen Komforts	40
Begriffe und Größen zu den Messungen des visuellen Komforts	44
Tageslicht am Arbeitsplatz	52
Die Messungen an der Kollektorfassade	56
Der Ablauf der Messungen	58
Phasen der Messungen zum visuellen Komfort	66
Messungen zum Sonnenschutzpotential	76
Phase 0 Messung ohne Nachheizen	76
Phase 1 Messung mit Nachheizen ohne Jalousie / CPC 12 - 19 %	80
Phase 1 Messung mit Nachheizen mit Jalousie* / CPC 12 - 19 %	84
Phase 1 Messung mit Nachheizen mit Jalousie* / CPC 12 - 38 %	92
Die Fassaden im Vergleich	96

Bewertung eines Bausteins im ganzheitlichen Kontext:	
Messungen zur Evaluierung des visuellen Komforts	101
Parallele lichttechnische Begleitung der thermischen Messungen	104
Phase 1 a) Beleuchtungsverhältnisse mit Jalousie / CPC 12 - 19 %	104
Phase 1 b) Beleuchtungsverhältnisse mit Jalousie / CPC 12- 38 %	106
Tageslichtqualität im Innenraum	108
a) - Tageslichtquotient CPC 12 - 19 %	108
b) - Tageslichtquotient CPC 12 - 38 %	110
Auswirkungen der Schattenwürfe in Schlagschatten und Schattengradienten	112
a) - Blendung CPC 12 - 19 %	112
b) - Blendung CPC 12 - 38 %	112
Fazit und Ausblick - weitere Entwicklung auf Grundlage der Messergebnisse zur Evaluierung des thermischen und visuellen Komforts	117
Fazit der Messungen zum thermischen Komfort	118
Fazit der Messungen zum visuellen Komfort	120
Zusammenfassende Entwicklungspotentiale	125

II. Entwicklung eines mehrfachfunktionalen Technik-integrierten Fassadenmoduls	127
Multifunktionale und modulare Fassadensysteme	128
Anforderungen an eine mehrfachfunktionale Fassade	130
Äußere Entwurfsparameter -	131
Grundrisstypologien	131
Modularität	134
Offenes vs. geschlossenes System	136
Exemplarische Entwicklung einer Bauteilintegration	138
Konzeptionelle Entwicklung eines offenen Systems	141
Bauteilintegration durch Komponentenmodule	142
Modul 1 Basismodul mit fest stehendem Sonnenschutz	144
Modul 2 Basismodul mit adaptivem Sonnenschutz als Flügelement	146
Modul 3 Basismodul mit opaker Einheit	148
Modul 4 Basismodul mit photovoltaischer Einheit	150
Modul 5 Basismodul mit solarthermischer Einheit	152
Modul 6 Basismodul mit dezentraler Lüftungseinheit	154
Modul 7 Basismodul mit natürlicher Lüftungseinheit als Parallel-Ausstellfenster	156
Modul 8 Basismodul als Durchsichtelement	158
Entwicklung eines entwurfsbegleitenden Werkzeugs	163
Der Konfigurator	164
Erläuterungsschritte des Werkzeugs	168

Konzeptionelle Entwicklung eines geschlossenen Systems	138
Parameter der Entwicklung	174
1. Geometrische Parameter	174
2. Produktionstechnische Parameter	175
3. Thermodynamische Parameter	175
4. Konstruktive Parameter	176
5. Statische Parameter	177
Entwicklungsschritte und Varianten	180
V1 Vakuumröhre komplett im Scheibenzwischenraum	180
a) Außenliegende Sammelleitung im Fassadentragwerk (Pfosten-Riegel-Fassade)	180
V1 Vakuumröhre komplett im Scheibenzwischenraum	180
b) Außenliegende Sammelleitung Vor- / Hinter Fassadentragwerk (Pfosten-Riegel-Fassade)	180
V2 Innenliegendes Register	182
V2 - Sandwich mit innenliegendem Register	184
- Zu- und Ablauf an der unteren Sandwichkante	184
V3 - Innenliegendes Register im Drei-Scheiben-Verbund (Elementfassade)	188

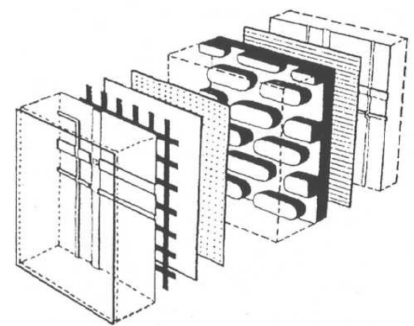
Polyvalent wall

“The polyvalent wall, a dynamic processor should not only be the logical response to a dynamic environment at a technical performance level but also fulfill the role of a magician it is visual potential and virtuosity. Look up at a spectrum-washed envelope whose surface is a map of its instantaneous performance, stealing energy from the air with an iridescent shrug, rippling its photogrids as a cloud runs across the sun; a wall which as the night chill falls, fluffs up its feathers and turning white on its north face and blue on the south, closes its eyes but not without remembering to pump a little glow down to the night porter, clear a view-patch for the lovers on the south side of level 22 and to turn 12 per cent silver just after dawn.”

(...) “What is needed is an environmental diode, a progressive thermal and spectral switching device, a dynamic interactive multi-capability processor acting as a building skin. The diode is logically based on the remarkable physical properties of glass, but will have to incorporate a greater range of thermal and visual adaptive performance capabilities in one polyvalent product. This environmental diode, a polyvalent wall as the envelope of a building, will remove the distinction between solid and transparent”. »

Mike Davies

[DAV_1981_1]



[Abb. 0.12]

Mike Davies, *The polyvalent wall*
DAV_1990_1]

- 1 Silikon-Wetterhaut und eingelagertes Substrat
- 2 Sensor- und Kontroll-/ SteuerungsLogik, außen
- 3 Photoelektrisches Gitter
- 4 Wärme-Schicht-Radiator/ Selektiver Absorber
- 5 Elektro-reflektierende Einlagerungen
- 6 Mikro-/ feinporige gasdurchströmte Schicht
- 7 Elektro-reflektierende Einlagerung
- 8 Sensor und Steuerungs-Logik, innen
- 9 Eingelagertes Silikon-Substrat, innen

Diese Zeilen von Mike Davies aus dem Jahr 1981 beschreiben die reaktive Performanz der komplexen Anforderungen an ein Gebäude mit dem speziellen Fokus auf die Gebäudehülle.

Sämtliche Elemente und Materialien können ihren Beitrag zur Leistungsfähigkeit am besten an der Stelle leisten, an der der Energieeintrag in das Gebäude stattfindet, an der der Kontakt zur dynamischen Außenwelt mit dem Gebäude stattfindet: die Gebäudehülle.

Davies entwickelte 1981 sein Konzept für eine polyvalente Wand, die sich wie folgt darstellt: Neun hauchdünne Schichten erfüllen unterschiedliche Funktionen ähnlich einer Epidermis. Diese Schichten sind wenige Mikrometer stark in eine Gebäudehülle eingebettet und steuern im Verbund alle thermischen, optischen und akustischen Veränderungen der Umwelt mittels dynamisch variabler Materialien.

Dieses Bauteil sollte nicht nur Strom und Wärme erzeugen, sondern wird auch über Sensoren von den Nutzern gesteuert. Es ist ein Bild einer Fassade, in der das Fenster nicht mehr die Perforation einer Wand darstellt sondern die Wand als Einheit alle Funktionen zur Herstellung eines behaglichen Klimas im Gebäudeinneren gleichzeitig übernimmt.

Diese visionären Gedanken zeigen einen experimentellen Umgang mit den komplexen Anforderungen, die an eine Gebäudehülle gestellt werden.

Vorwiegend geht es um die Steuerung von Tageslicht, Energieeintrag in das Gebäude und die Vermeidung von Energieverlusten zur Gewährleistung der vier Komfortparameter:

- visueller Komfort
- thermischer Komfort
- akustischer Komfort
- Versorgung mit Frischluft

Kurztext

Die Dissertation steht im Kontext der energetischen Verbesserung von Gebäudehüllen. Ein wesentlicher Aspekt ist die Integration von technischen Komponenten in die Fassadenebene und die Auswirkungen auf die Tageslichtqualität der dahinter liegenden Räume. Die Integration von haustechnischen, energiegewinnenden und verschattenden Systemen in die Gebäudehülle hat direkte Auswirkungen auf die Nutzung von Tageslicht in Räumen. Da die meisten technischen Komponenten wie beispielsweise solaraktive Systeme vorwiegend eine Opazität in der Gebäudehülle hervorrufen, eine optimale Ausleuchtung der Grundrisse aber nach steuerbarem Tageslichteinfall verlangt, sind vermehrt Lösungen gefragt, die die Unvereinbarkeit von intransparenter energiegewinnender Hülle und optimaler Versorgung von Tageslicht am Arbeitsplatz architektonisch erörtern.

Die Zielsetzung dieses Dissertationsvorhabens ist die exemplarische Untersuchung einer zeitgenössischen Bürofassade. Als zentraler Ausgangspunkt steht die Fragestellung, inwiefern sich die unterschiedlichen Anforderungen an eine Gebäudehülle in einer konkreten Bauteilintegration bedingen. In dem komplexen Kontext einer Integration von Energiegewinnung, Energieeinsparung und optimaler Nutzung der Ressource Energie in ein Fassadensystem soll eine Bewertung der Leistungsfähigkeit dieser drei Punkte und ihrer Gewichtung zueinander erstellt werden. Dies geschieht exemplarisch an der Entwicklung eines

integrierten Fassadenmoduls, welches neben Energiegewinnung den vielschichtigen Anforderungen einer Bürofassade Rechnung trägt. Neben dieser Entwicklung ist aber vor allem die Bewertung eines exemplarischen Bausteins von Bedeutung. Der modulare Systemaufbau ermöglicht die Anpassung von Gebäudehüllen an die Anforderungen des jeweiligen Anwendungsfalls in Bezug auf Geografie, Exposition und Nutzung.

Auf den folgenden Seiten werden die Abhängigkeiten der unterschiedlichen Anforderungen an eine zukunftsträchtige Gebäudehülle untersucht. Die Gegensätzlichkeit bzw. Auffindung und Aufhebung der Parameter rund um die Themen Energiegewinnung, Energieeinsparung und optimale Nutzung der Ressource Energie in einem Fassadensystem soll anhand eines konkreten Fassadenmoduls im ganzheitlichen Kontext erörtert werden. In einem anschaulichen Fall soll ermittelt werden, inwiefern die Integration technischer Komponenten wie Sonnenschutzelemente, Energie gewinnende Elemente und haustechnische Einheiten den hohen Anforderungen an moderne Arbeitsplätze gerecht werden und diese beeinträchtigen. Die sich hieraus ergebenden Ergebnisse einer Messreihe und die tiefer gehende Analyse bieten die Grundlage für grundlegende Überlegungen zum Aufbau eines mehrfachfunktionalen Fassadensystems.

So werden in diesem Dissertationsvorhaben die verschiedenen Einflussfaktoren auf zukunftsweisende Gebäudehüllen dargelegt und durchleuchtet.

Um schon in diesem Forschungsstadium ganzheitliche praxis- und gestalterisch relevante Eigenschaften eines Systems darstellen zu können, wurde im interdisziplinären Arbeitsfeld neben experimentellen, messtechnischen Arbeiten großer Wert auf eine bildhafte Darstellung getesteter oder möglicher Anordnungen gelegt. Diese bildhafte Darstellung lässt sowohl eine konkrete Vorstellung von der Wirkung des Fassadenmoduls im realen Einsatz als auch eine subjektive Beurteilung zu.

Dafür liegen Messungen an einem Fassadenprüfstand der TUM als zentrales Element der Dissertation zugrunde. Die Messungen werden je nach Fragestellung mit unterschiedlichen Werkzeugen der Messtechnik an einem Prototypen oder einer Nullserie durchgeführt.

Zentrale Punkte der Betrachtung dieser integrierten Fassadenlösung sind:

1. architektonische Integration der technischen Komponenten
2. Tageslichtversorgung
3. Sonnenschutzpotential

Grundlagen

Der Gebäudesektor hat mit 44% einen wesentlichen Anteil am weltweiten Primärenergieverbrauch und damit auch an den Emissionen von Treibhausgasen. Laut Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen „steht der Verbrauch für den Betrieb von Gebäuden von privaten Haushalten, Gewerbe, Handel und Dienstleistungen noch vor Industrie und Verkehr“. [AGEB_2003_1]

Die differenzierte Aufteilung nach Anwendungsbereichen in Deutschland ergibt für das Jahr 2012 (insgesamt 8.998 PJ) Folgendes:

Für mechanische Energie werden 37 % des gesamten Verbrauchs benötigt, zur Bereitstellung von Raumwärme werden 29 %, für sonstige Prozesswärme 21 % und zur Bereitstellung von Warmwasser 5 % benötigt. Für Beleuchtung werden immerhin 4 % und sonstige Prozesskälte 2 % benötigt. Der Anteil an Informations- und Kommunikationstechnik beläuft sich auf 2 %. [AGEB_2014_1]

Vor diesem Hintergrund stellt sich somit umgehend die Frage nicht nur nach der Verbesserung der Dämmeigenschaften eines Gebäudes, sondern auch ob diese Gebäude nicht zumindest einen Teil der Energie, die sie verbrauchen selbst mit Ihren Außenflächen generieren sollten. Im 20. Jahrhundert haben wir aufgrund der geringen Energiekosten die Hüllflächen von Gebäuden zu wenig aus energetischer Perspektive betrachtet. Doch der Klimawandel, der mit vom CO²-Ausstoß durch das Verbrennen fossiler Energieträger verursacht wird, zwingt uns umzudenken.

Die EU-Kommission bereitete mit ihrer Mitteilung „Energie 2020“ den Weg für nationale Gesetzgebungen im Bereich energieeffizienter Gebäude. Nach dieser vom europäischen Parlament verabschiedeten Richtlinie sollen ab 2020 nur noch Passiv- und Nullenergie-Neubauten realisiert werden. Gebäude sollen nahezu ihre gesamte Energie für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Kühlung selbst gewinnen und soweit einsparen, dass kein zusätzlicher Energiebedarf mehr von außen benötigt wird.

Die Verbesserung der energetischen Leistungsfähigkeit von Gebäuden kann in drei Bereiche eingeteilt werden. Gebäude dürfen nicht länger als reine Konsumenten von Energie agieren, sie sollten vielmehr:

1. Energie einsparen
2. Energieverbrauch an die Jahreszeiten und die Anforderungen anpassen und somit sinnvoller nutzen
3. Energie sammeln

Die Gebäudehülle stellt sich im Kontext der Energiewende als einer der zentralen Schauplätze der Anstrengungen zur Verbesserung der Ressourceneffizienz dar. Sie sollte daher zu einem großen Teil diese drei Punkte steuern, da sie zu einem hohen Anteil verantwortlich für die energetische Leistungsfähigkeit eines Gebäudes ist. Denn sie ist die Schnittstelle zwischen den dynamischen Veränderungen der Umwelt hinsichtlich Jahreszeiten und täglichen Schwankungen des Angebots von beispielsweise Licht und Wärme und muss weitere Aspekte wie sommerlichen und winterlichen Wärmeschutz gewährleisten.

Die Fassade ist zudem auch konstruktiv gesehen ein sehr komplexes Bauteil eines Gebäudes. Neben der Funktion als Schnittstelle vieler Gewerke ist die Fassade das gestaltende Gesicht zur Umwelt.

Die unterschiedlichen Beschaffenheiten der einzelnen technischen Komponenten und deren Abstimmung bleiben ein großes Entwicklungsfeld zukünftiger Forschung und Entwicklung. Doch bereits in der Hüllfläche eines Gebäudes liegen die größten Potentiale zur Steuerung und Abstimmung von Energieflüssen eines Gebäudes. Für diese Abstimmung der Energieflüsse sowie für die Gewinnung von Energie für Raumkonditionierung und die Unterhaltung von angeschlossenen Gerätschaften in Gebäuden gewinnt eine aufeinander abgestimmte Gebäudeleittechnik zunehmend an Bedeutung.

Entscheidend für die Qualität einer mehrfachfunktionalen Fassade sind neben ihrer energetischen Leistungsfähigkeit, also der Sonnenschutzwirkung und das Potential der Energiegewinnung, die Innenraumqualitäten hinter der Fassade.

Zentrale Fragestellung der Entwicklung zukünftiger Gebäudehüllen ist die Ermittlung, inwiefern eine Gebäudehülle bei diesen Anforderungen an ein Gebäude den hohen Ansprüchen an moderne Arbeitsplätze gerecht werden kann. So müssen die verschiedenen internen Anforderungen der räumlichen Qualitäten den funktionalen und vorwiegend bauphysikalisch getriebenen Anforderungen gegenübergestellt werden.

In einem erweiterten Spektrum verschiedener, technisch objektiver aber auch subjektiver Evaluierungsmethoden soll eine integrale Betrachtung von verschiedenen technischen aber auch räumlich-lichttechnischen Eigenschaften eines Fassadensystems erarbeitet werden. Dabei soll der Bezug zu einer ganzheitlichen Beurteilung und Anwendung in einem baulichen Kontext dargestellt werden, was für die Behaglichkeit und Nutzerakzeptanz entscheidend ist.

Schwerpunkt Verwaltungsgebäude

Eine Gegenüberstellung typischer Primärenergiekennwerte für Bürogebäude ergibt folgende messtechnisch ermittelte Kennwerte (in kWh/m²a).

Die folgenden Zahlen geben jeweils verbrauchten Strom für haustechnische Systeme sowie Beleuchtung und Energie zur Bereitstellung von Wärme an: Für klimatisierte Bestandsgebäude 654, für Bürobestandsgebäude im gesamten Durchschnitt (klimatisiert und nicht klimatisiert) 424, Neubauten von Bürobauten Standard 200 und für energetisch sehr optimierte Bürogebäude 100.

Büro- und Verwaltungsgebäude allgemein und Bildschirmarbeitsplätze im Besonderen werden aus folgenden Gründen als Ausgangspunkt der im Folgenden beschriebenen Untersuchungen angenommen:

- erhöhte Anforderungen an Gebäudetechnik
- besonders hohe Einsparpotentiale bezüglich des Energieverbrauchs.
- Besonders hohe Anforderungen an den visuellen und thermischen Komfort
- Verschärfte Überhitzungsproblematik wegen hoher interner Wärmequellen

71 % aller Beschäftigten in Deutschland sind im Dienstleistungsgewerbe tätig. [STAT_2005_1]

Ferner verbringt ein deutscher Büromitarbeiter im Durchschnitt 80 % seiner Arbeitszeit sitzend am Arbeitsplatz. [BAUA_2010_1]

Insofern ist das Büro mehr als ein Arbeitsplatz, es ist der Lebensraum für Millionen von Menschen. Die Anforderungen gehen über die Bereitstellung einer reinen Arbeitsfläche weit hinaus. Wichtigster Aspekt ist die Schaffung von Behaglichkeit für die Nutzer. Diese Komforteigenschaften für Nutzer setzen sich aus der thermischen, akustischen und visuellen Behaglichkeit sowie der Versorgung mit Frischluft zusammen.

Darüber hinaus ist auch die Steigerung von Leistungsfähigkeit der Nutzer ein wichtiger Aspekt zur Bestimmung von Qualität am Arbeitsplatz. Denn wenn fast drei Viertel aller Beschäftigten in Deutschland im Dienstleistungsgewerbe tätig sind, ist die Bereitstellung von Arbeitsplätzen, die die Leistungsfähigkeit der Nutzer steigern, auch eine wichtige wirtschaftliche Ressource.

Die Organisation, Funktionalität und Ergonomie des Arbeitsplatzes sind Hauptparameter für die Produktivität der menschlichen Arbeit sowie das Wohlbefinden des Menschen in seiner Arbeitswelt. [KNI_2002_1]

Daher versucht ein umfangreiches Normenwerk mittels Regeln den Komfort am Arbeitsplatz zu steuern. Neben der thermischen Behaglichkeit wird auch der visuelle und akustische Komfort in Normen beschrieben, die auf den weiteren Seiten näher erläutert werden. Doch über die Normen hinaus gibt es Parameter, die über die Behaglichkeit am Arbeitsplatz und somit über die Leistungsfähigkeit des Nutzers entscheiden. Das Gebäude, oder bestenfalls die Gebäuedehülle sollte also die Steuerung von Tageslicht, Energieeintrag in das Gebäude und die Vermeidung von Energieverlusten zur Gewährleistung der vier Komfortparameter visueller Komfort, thermischer Komfort, akustischer Komfort und ausreichende Versorgung mit Frischluft garantieren.

Verwaltungsgebäude und Energieverbrauch

Bei Bürogebäuden spricht das Verhältnis von Dachfläche zu Fassadenfläche für eine Aktivierung der Fassadenflächen zur Gewinnung von solar generierter Energie und auch zum Einbau technischer Komponenten, die die oben beschriebenen Komfortparameter regulieren. Eine energetische Aktivierung der Fassade muss präzise an die Nutzung angepasst werden. Man unterscheidet grundsätzlich zwei Systeme: photovoltaische Systeme zur Gewinnung von elektrischem Strom und solarthermische Systeme zur Aufbereitung von wärmeleitenden Flüssigkeiten. Das Potential dieser Technologie hat bereits einen maßgeblichen Anteil am deutschen Strommanagement. Deutschland ist 2012 zum Spitzenreiter in der Solarenergiegewinnung mittels Photovoltaik geworden. Erstmals lieferten die photovoltaischen Solaranlagen in der BRD eine Gesamtleistung von etwa 22.000 Megawatt. [EEX_2012_1]

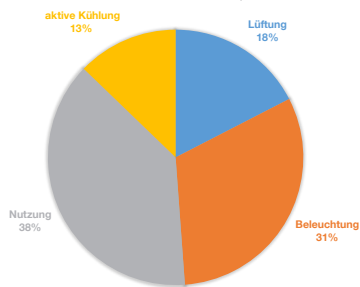
Während die Gewinnung elektrischen Stroms mittels Photovoltaik als dezentrales Kraftwerk agiert und somit stärker von der Gebäudenutzung unabhängig gesehen werden kann, ist die Solarthermie vor allem für eine direkte solare Kühlung von Bürogebäuden oder zur Bereitstellung von z. B. Brauchwasser geeignet.

Durch das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EE-WärmeG) wird seit dem 01.01.2009 parallel zum EEG der Einsatz erneuer-

barer Energien zur Wärmeerzeugung gefördert. Der Anteil an erneuerbaren Energien am bundesweiten Energiemix beträgt für 2013 11,8 %. [AGEB_2013_1]

Die 0,2 % durch Solarthermie und 0,7 % durch Photovoltaik gewonnene Energie ist ausbaufähig und stellt ein weiteres Potential zur energetischen Aktivierung von Gebäudehüllen dar. Die Grundlage des Energieverbrauchs ist die Gewährleistung der Behaglichkeit in Innenräumen. Den vier Komfortparametern kann man den jeweiligen Energieverbrauch in Verwaltungsgebäuden gegenüberstellen:

ENERGIEVERBRAUCH VON BÜROGEBÄUDEN (PRIMÄRENERGETISCH)



[Fig. 0.18]

[BINE_2007_1]

*Energieverbrauch von Gebäuden
(Primärenergetisch)*

So wird für die Sicherstellung des thermischen Komforts (aktive Kühlung) ca. 13 %, für den visuellen Komfort (Beleuchtung) 31 % und für die Versorgung mit Frischluft (Lüftung) ca. 18% des laufenden Energiebedarfs verbraucht. Die Sicherstellung des akustischen Komforts wird vorwiegend über statische Baumaßnahmen wie Grundrissplanung und Oberflächen sichergestellt und kann in der energetischen Bilanzierung des laufenden Betriebs vernachlässigt werden. Aus Sicht des Architekten werden vorwiegend die beiden Komfortparameter thermischer Komfort sowie visueller Komfort näher untersucht. [BINE_2007_1]

Komfort

Visueller Komfort

Ausreichendes Licht ist ein wesentlicher Bestandteil für das Wohlbefinden der Menschen. Müdigkeitserscheinungen durch zu wenig Licht treten dabei weniger am Auge selbst auf, sondern wirken sich vielmehr auf den gesamten Körper aus. Deshalb beinhaltet die [DIN 5035/2] zum Schutz der Gesundheit Richtwerte für die Beleuchtungsstärke von Arbeitsstätten.

Diese sind in der Richtlinie ASR 7/3 gesetzlich festgeschrieben und zwingend einzuhalten. Laut Untersuchungen geht die Rolle des natürlichen Lichts in der Arbeitsumgebung weit über die Funktion hinaus, die in Vorschriften und Normen festgelegt ist. [HAAS_2007_1]

Der visuelle Komfort beschreibt die Gegebenheiten des menschlichen Umfeldes in Bezug auf Beleuchtungsniveau, Blendung, Lichtverteilung und Lichtfarbe. Maßgebliche Bestandteile des visuellen Komforts im Bereich der Ergonomie sind:

- der Sehkomfort, der Menschen das Gefühl des Wohlbefindens vermittelt

sowie

- die Sehleistung, die es den arbeitenden Menschen ermöglicht, Sehaufgaben auch unter schwierigen Umständen und über längere Zeit auszuführen.

Diese Parameter können grundsätzlich sowohl im Kunstlicht sowie im natürlich vorkommenden Tageslicht erreicht werden. Dennoch ist darüber hinaus eine ausreichende Versorgung mit Tageslicht ein entscheidender Bestandteil für die Gesundheit des Menschen: Der menschliche Kontakt mit Tageslicht wirkt sich unmittelbar biologisch auf die Steuerung des circadianen Rhythmus des Menschen aus. Der circadiane Rhythmus ist die Abfolge unserer inneren Rhythmen, wie Wach- und Schlafrythmus. Er wird über das körpereigene Hormon Melatonin geregelt. Melatonin ist ein Hormon, das wiederum Serotonin produziert, welches den Tag-Nacht-Rhythmus des menschlichen Körpers steuert. Gerade in den Wintermonaten ist die ausreichende Versorgung mit Tageslicht von besonderer Relevanz für Wohlbefinden und darüber hinaus die Leistungsfähigkeit des Menschen.

Doch geht es nicht nur um die Bereitstellung von ausreichend Licht. Es ist vielmehr wichtig, dass auch gleichmäßige Lichtverhältnisse gewährleistet sind, denn die Folgen ungünstiger Lichtverhältnisse können neben einer verkrampften Körperhaltung und Muskelverspannungen auch Kopfschmerzen sowie verminderte Sehfunktionen und psychosomatische Erkrankungen sein. [HAAS_2007_2]

Eine Verbesserung der Tageslichtverhältnisse bei der Gestaltung der Arbeitsstation trägt dazu bei, die Leistungsfähigkeit der Benutzer zu steigern, Fehler und Beeinträchtigungen zu reduzieren und das allgemeine Wohlbefinden zu verbessern.

In Büros muss zudem für Blendenschutz gesorgt werden, schon aufgrund der Bildschirmarbeitsplatz-Verordnung. Diese fordert:

- Die Beleuchtung muss der Art der Sehaufgabe entsprechen und an das Sehvermögen der Benutzer angepasst sein; dabei ist ein angemessener Kontrast zwischen Bildschirm und Arbeitsumgebung zu gewährleisten. Durch die Gestaltung des Bildschirmarbeitsplatzes sowie Auslegung und Anordnung der Beleuchtung sind störende Blendwirkungen, Reflexionen oder Spiegelungen auf dem Bildschirm und den sonstigen Arbeitsmitteln zu vermeiden. [ASV_2004_1]

Bei diesen Anforderungen an die visuelle Beschaffenheit von Innenräumen sollte zudem vermieden werden, dass eine unnötige Beleuchtung erforderlich ist und so dem Gebäude weitere Energie zugeführt werden muss beziehungsweise auch zusätzliche Abwärme der künstlichen Lichtquellen die Innenräume unnötig aufheizt.

Studien zufolge werden bei Verwaltungsbauten rund 30% des Energieverbrauchs für Beleuchtung benötigt. Des Weiteren können wiederum rund 30 bis 50 % der für Beleuchtung verbrauchten Energie gespart werden, wenn in Büros, Geschäftsgebäuden und Freizeitanlagen die effizientesten Systeme und Technologien angewendet würden. [EKGEV_2003_1] Eine effiziente Nutzung von Tageslicht steht in direktem Zusammenhang mit dem visuellen Komfort und kann also zu einem erheblichen Teil zur Reduzierung des Energieverbrauchs in Gebäuden beitragen.

Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit als zentraler Arbeitsschwerpunkt die Leistungsfähigkeit des visuellen Komforts einer mehrfachfunktionalen Fassade untersucht.

Thermischer Komfort

In der Arbeitsstätten-Verordnung und -Richtlinie wird gefordert, dass bei einer Außentemperatur von bis zu 32 Grad Celsius die Raumtemperatur nicht auf mehr als 26 Grad Celsius steigen darf. Bei noch höheren Außentemperaturen darf die Differenz zur Innentemperatur am Arbeitsplatz nicht mehr als sechs Grad betragen.

Das Sonnenschutzpotential, also die Ausblendung des direkten Tageslichtanteils in den Innenraum und somit die Verschattung der Räume zur energetischen Optimierung ist ein entscheidender Faktor bei der Energiebilanz eines Verwaltungsgebäudes. Die für Kühlleistung in Verwaltungsgebäuden zugeführte Energie kann entscheidend verringert oder gänzlich eingespart werden, wenn die Fassade energiereiche Strahlung ausblendet. Gleichzeitig müssen die Räume ausreichend belichtet werden, um optimale Arbeitsplatzbedingungen zu gewährleisten.

Laut der Studie „Escorp-EU 25“, können durch den gezielten Einsatz von Rollläden und Sonnenschutz europaweit immerhin 111 Millionen Tonnen Kohlendioxid pro Jahr eingespart werden.
[ESOC_2005_1]

Aus diesem Grund fordert die Energieeinsparverordnung (EnEV) auch den Nachweis eines Sonnenschutzes im Gebäude-Energiepass.

Gegenstand nachstehender Untersuchungen ist im Bezug auf eine Gebäudehülle die Ergonomie (von altgriech. ergon „Arbeit“ bzw „Werk“ und nomos, „Regel“ bzw „Gesetz“), also die Wissenschaft von der Gesetzmäßigkeit menschlicher Arbeit.

Die Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit eines Bausteins einer multifunktionalen Fassade in Bezug auf dessen Sonnenschutz und der Tageslichtausbeute werden durchgeführt, um das integrative System zu bewerten aber auch zu optimieren. So werden z.B. Komponenten des Systems verändert und vermessen. Auf diese Weise kann eine entscheidende Abstimmung und Entwicklung des Gesamtsystems vorgenommen werden.

Komfort und die Wechselwirkungen der Gebäudehülle

Die Grafik links zeigt die Komplexität der Anforderungen an eine Gebäudehülle. Die dynamischen äußeren Gegebenheiten der Außenwelt werden in der Ebene der Gebäudehülle an den Innenraum überliefert. Die konstanten inneren Anforderungen zur Einhaltung der Behaglichkeit in einem Gebäude erfordern eine genaue Abstimmung der Regelfunktionen: Lüften, Heizen, Kühlen, Sonnenschutz sowie Lichtlenkung. Diese Funktionen sollten möglichst homogen über die Fassade laufen um gleiche innere Bedingungen zu schaffen. Die Fassade dient somit als Schnittstelle zwischen innen und außen und filtert, leitet oder absorbiert physikalische Messgrößen in den Innenraum von Gebäuden. Das Thema Behaglichkeit ist von persönlichen Wahrnehmungen und zudem auch von temporär schwankenden Empfindungen des Gesamtsystems eines individuellen Nutzers abhängig. Daher kann man Behaglichkeit nur eingrenzend erfassen und nicht mit objektiven Größen für alle Nutzer gleichermaßen erfassen. Die Behaglichkeit bestimmenden Kennwerte wie Luftbewegung, Temperatur, Lichtintensität oder Luftfeuchte kann man somit nur anhand von Richtwerten erfassen.

Leistungsfähige Systeme, die miteinander haustechnische Maßnahmen wie Kühlung, Heizung oder Belüftung gezielt kommunizieren, steuern sowohl die Behaglichkeit des Nutzers als auch den Energieverbrauch eines Gebäudes.

Gerade in Bezug auf den Energieverbrauch stellen sich für die Fassade zwei zentrale Aspekte, der der Regelung von Energieeintrag zum einen, sowie den zur Gewinnung von solarer Energie in der Gebäudehülle zum anderen.

Die vier oben genannten Komfortparameter

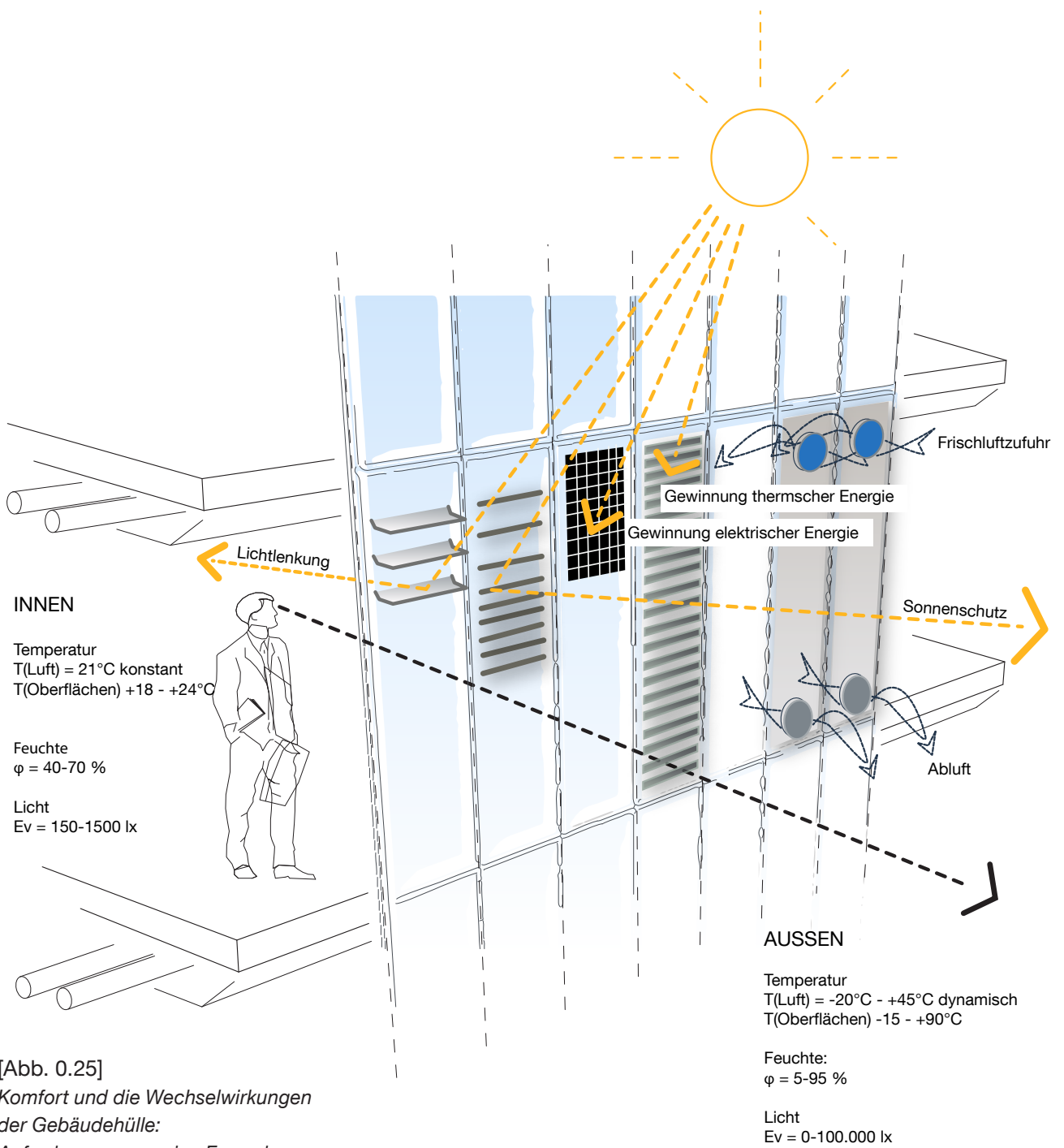
- thermischer Komfort
- akustischer Komfort
- visueller Komfort
- Versorgung mit Frischluft

sind also zu überlagern mit

1. Energie einsparen
2. Energieverbrauch an die Jahreszeiten und die Anforderungen anpassen und somit sinnvoller nutzen
3. Energie sammeln

Diese hier genannten Parameter liegen wie Funktionsebenen schichtenartig auf der Gebäudehülle. Daraus ergibt sich die Frage, wie sich die einzelnen Funktionen gegenseitig bedingen und ob sich Funktionen teilweise ausschliessen. Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit stellt sich vor diesem Hintergrund wie folgt dar:

Inwieweit können solaraktive Fassadenkomponenten synergetische Funktionen zur Bereitstellung von visuellem sowie thermischen Nutzerkomfort übernehmen?



[Abb. 0.25]
 Komfort und die Wechselwirkungen
 der Gebäudehülle:
 Anforderungen an eine Fassade.

**I. Bewertung eines
Bausteins im
ganzheitlichen Kontext:**

**Messungen zur
Evaluierung des
visuellen und
thermischen Komforts.**

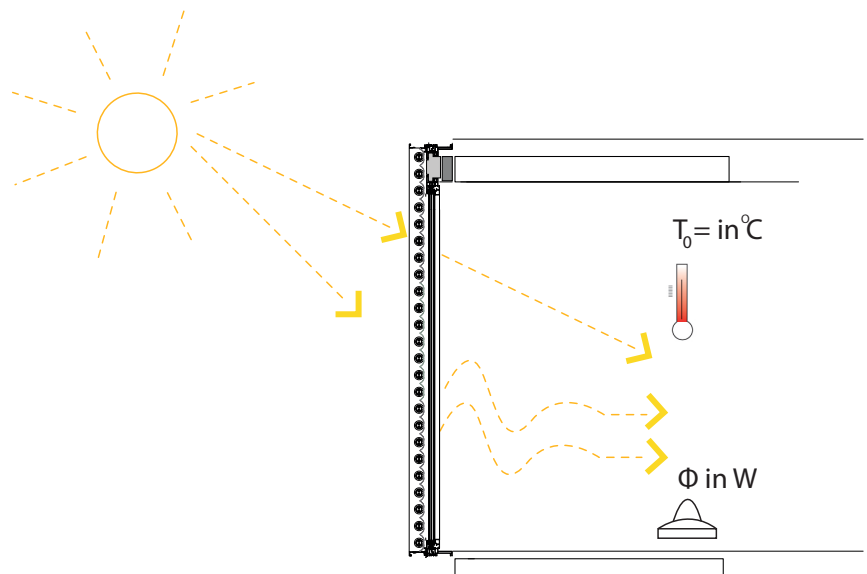
Als Ausgangspunkt der Entwicklung einer mehrfachfunktionalen Fassade dient die Untersuchung eines technologieintegrierten Fassadenmoduls. Um eine zielgerichtete Entwicklung eines Systems, das verschiedene Technikintegrationen beinhaltet, zu gewährleisten, stellen zunächst die vier Komfortparameter

- visueller Komfort
- thermischer Komfort
- akustischer Komfort
- Versorgung mit Frischluft

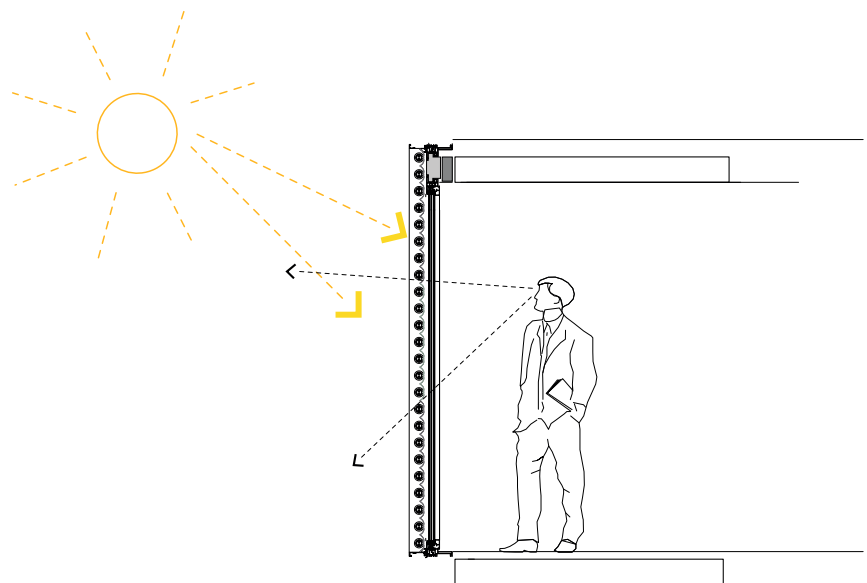
den Ausgangspunkt für eine Messreihe dar. Anhand dieser Untersuchungen soll exemplarisch die Vereinbarkeit von Nutzerkomfort mit der Integration haustechnischer Komponenten in die Fassade bewertet werden. Es soll an einem konkreten Baustein ermittelt werden, inwiefern die Integration von Sonnenschutzelementen, energiegewinnenden Elementen den hohen Anforderungen an moderne Arbeitsplätze gerecht wird.

Als Gegenstand der Untersuchungen wurden exemplarisch ausgewählt:

- Sonnenschutzpotential zur Ermittlung des thermischen Komforts
- Tageslichtversorgung und Untersuchungen zum Blendverhalten zur Ermittlung des visuellen Komforts



[Abb. 1.29_1]
 Messungen zum
 Sonnenschutzpotential
 zur Ermittlung des thermischen
 Komforts



[Abb. 1.29_1]
 Messungen zur
 Tageslichtversorgung
 zur Ermittlung des visuellen
 Komforts

Methodik und Aufbau der Messungen

Die Messungen werden je nach Fragestellung mit unterschiedlichen Werkzeugen der Messtechnik an einer Nullserie durchgeführt, die exemplarisch für einen Baustein aus einem Modulkatalog stehen. Im Folgenden werden zunächst die Grundlagen der Messungen erläutert. Dabei werden neben der Beschreibung der hauptsächlich verwendeten Messeinrichtung auch physikalische Einheiten und Größen erläutert. Darauf aufbauend werden im einzelnen Messtechniken und Messverfahren näher erläutert. Das Messverfahren zum Sonnenschutzpotential sowie zu den lichttechnischen Messungen wurde im Rahmen dieser Arbeit entwickelt.

Eine externe Beratung des Messverfahrens lag bei: Dr.-Ing. Rainer Pfluger Universität Innsbruck Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften

Da vor allem die thermischen Messungen in Vergleichsmessungen stattfinden, ist der Bezug zu herkömmlichen und bekannten Fassadensystemen in einer sehr anschaulichen Art gewährleistet. So kann neben einem absoluten Messwert auch immer eine Verbindung zu bereits existierenden und verbreiteten Systemen hergestellt werden. So soll für Architekten ein Instrument zur Bewertung einer Fassade mit wissenschaftlicher Aussagekraft zum einen sowie spürbaren Größen zum anderen entstehen.

Die Messeinrichtung - Solarstation der TUM

Testeinrichtung des Technischen Zentrums der TU München, Fakultät für Architektur 5. Stock, auf dem Dach des Hauptgebäudes Arcisstrasse 21 80333 München (48°08'20", 11°34'30")

Die an der Professur für Entwerfen und Gebäudehülle der Technischen Universität München geplanten Untersuchungen werden vorwiegend an der Solarstation der TU München auf dem Innenstadgelände in der Arcisstrasse durchgeführt. Die Solarstation steht auf dem Dach des Hauptgebäudes der TU München in ca. 28m Höhe. Sie besteht aus drei Raumkörpern auf einem Stahlgerüst der Nordterrasse des Hauptgebäudes.

Eine Plattform, auf der die drei Kuben stehen, liegt ca. 3,70 m über dem Terrassenbelag. Der Hauptkörper, ein ca. 4,30 x 4,30 x 3,30 (l x b x h in Meter) großer Quader, stellt eine 1:1 Simulation eines Raumes dar, dessen südliche Fassade in einem 23° Winkel Süd-West Orientierung vorweist.

Aufgrund des hohen Außenwandanteils der Testeinrichtung, des Fehlens thermischer Speichermassen und des Verhältnisses Fassadenfläche zu Raumgröße der Messeinrichtung besitzen die Messergebnisse sowie deren Interpretation oder die Anwendung einen Modellcharakter.

Messungen an der Testeinrichtung

Die Südfassade des Testcontainers wird mit zwei identischen Fassadenelementen (h=2550mm b=1600mm) bestückt.

Die eine Hälfte des Testcontainers wird sukzessiv für die Vergleichsmessungen mit den unterschiedlichen Kollektorfeldern bestückt:

CPC 12 - 19%
Kollektorfeld mit dem Vakuum-Röhrenkollektor CPC 12 von Paradigma. Dieser ist mit 24 Vakuumröhren und einem speziell gekrümmten Spiegel zur unterstützenden Reflektion der Sonnenstrahlen ausgestattet. Zur Durchsicht der Fassade ist der Spiegel mit einem Lochanteil von 19 % perforiert. Mit dem opaken Teil der Röhrenkollektoren weist das Kollektorfeld einen effektiven Lichtdurchlassgrad von 13 % auf.

CPC 12 - 38 %
wie oben, zur Durchsicht der Fassade ist der Spiegel mit einem Lochanteil von 38% perforiert. Mit dem opaken Teil der Röhrenkollektoren weist das Kollektorfeld einen effektiven Lichtdurchlassgrad von 26% auf.

Messobjekt:

Fassadensystem mit integriertem Solarthermie-Kollektorfeld als exemplarisches Bauteil eines energiegewinnenden Fassadenmoduls

Messzeitraum:

20.07.2010 - 30.10.2013

Orte der Messung:

Solarstation der TUM
Testeinrichtung der TU München, 5. Stock,
auf dem Dach der Arcisstrasse 21, 80333 München

Institution:

Technische Universität München
Arcisstraße 21
80333 München
www.hk.ar.tum.de
wiss. Mitarbeiter: Philipp Molter
Mitarbeit: Michael Füller

Mess-Equipment:

Ahlborn Almemo System,
Anwendung/Programm: WinControl V6 Server

Beratung des Messverfahrens:

assoz. Prof. Dr.-Ing. Rainer Pfluger
Universität Innsbruck
Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften
Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen



[Abb. 1.31_1]
*Die Messeinrichtung -
Solarstation der TUM*

Konstruktion der Messeinrichtung

Wandaufbau - Schichtenfolge
von außen nach innen:

Eternittafel 8 mm
Luftschicht 30 mm
Holzlatten 30/60 mm,
Folie
Wärmedämmung 30 mm
Wärmedämmung 120 mm Holz-
ständer 60/120 mm,
Folie
Holzwerkstoffplatten 16 mm
Luftschicht 60 mm
Holzwerkstoffplatten 16 mm

Dachaufbau - Schichtenfolge
von außen nach innen:

Dichtungsbahn
Holzschalung 19 mm
Folie
Wärmedämmung 160 mm Spar-
ren NH G.kl. II, 80/160 mm,
Folie
Holzschalung 19 mm
Luftschicht 30 mm
Lattung 30/50 mm
Holzwerkstoffplatten 16 mm

Bodenaufbau - Schichtenfolge
von außen nach innen:

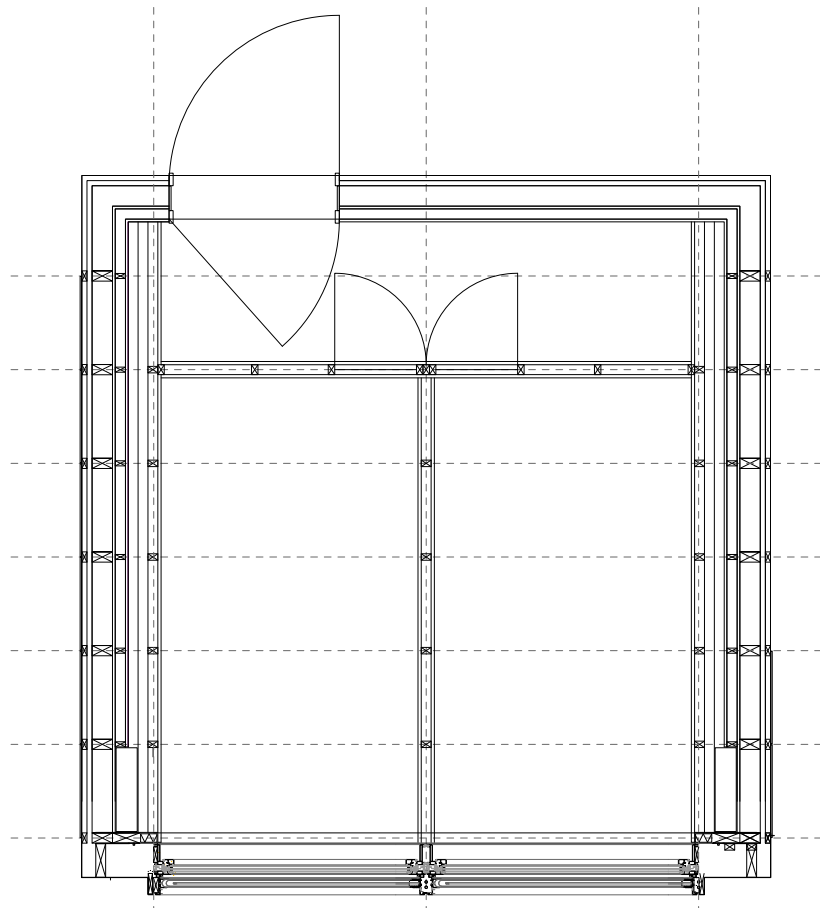
Holzschalung 19 mm
Sparren NH G.kl. II,
80/160 mm,
Wärmedämmung 130 mm
Folie
Holzschalung 19 mm
Teppich 5 mm

Trennwand zwischen den
Testzellen:

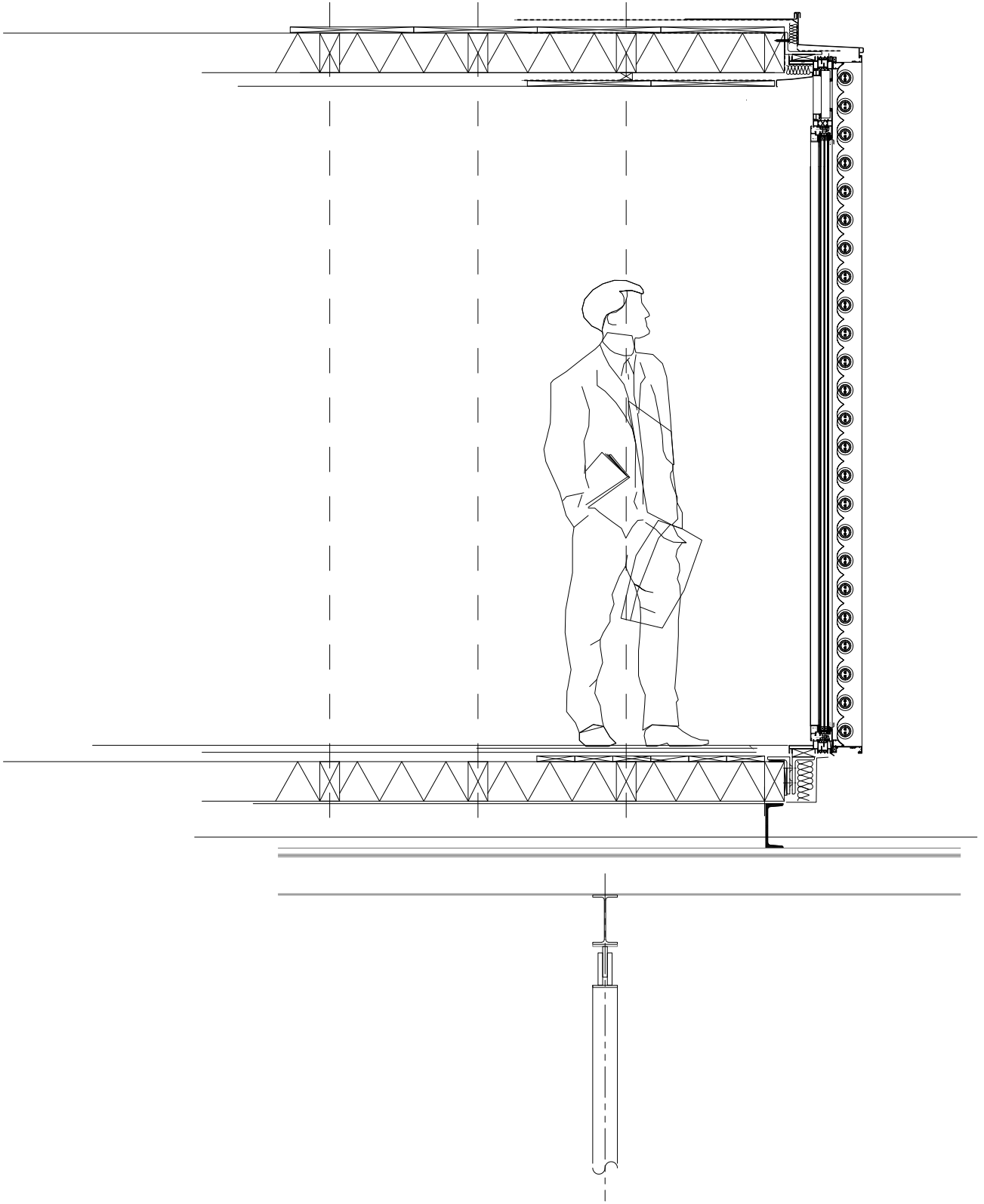
Holzständerwand 53/35 mm
dazwischen
Vakuumdämmung mit pyrogener
Kieselsäure 60 mm

Dimensionen der Teilflächen:

Breite: 1500 mm
Länge: 2730 mm
Fläche: 4,095 m²



[Abb. 1.32]
Grundriss der Messeinrichtung
(ohne Maßstab)



[Abb. 1.33]
Die eingebaute Testfassade im
Vertikalschnitt (ohne Maßstab)

U-Wert der nicht zu vermessenden Wandflächen der Solarstation

Berechnung mittels eines online-Berechnungsprogrammes „U-Wert.net“
[UWER_2011_1]

Der berechnete Wert der Außenwand, $U=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ weist ein hohes Maß an Dämmeigenschaft auf.

Die Grafiken rechts zeigen von oben nach unten:

Temperaturverlauf und Oberflächentemperatur.

Temperaturverlauf innerhalb des Bauteils zu verschiedenen Zeitpunkten. Jeweils von oben nach unten, braune Linien: um 15, 11 und 7 Uhr und rote Linien um 19, 23 und 3 Uhr morgens.

Temperatur auf der äußeren (rot) und inneren (blau) Oberfläche im Verlauf eines Tages. Die schwarzen Pfeile kennzeichnen die Lage der Temperaturhöchstwerte. Das Maximum der inneren Oberflächentemperatur sollte möglichst während der zweiten Nachthälfte auftreten.

[Abb. 1.34_1 - 1.34_3]

Grafiken rechts oben:

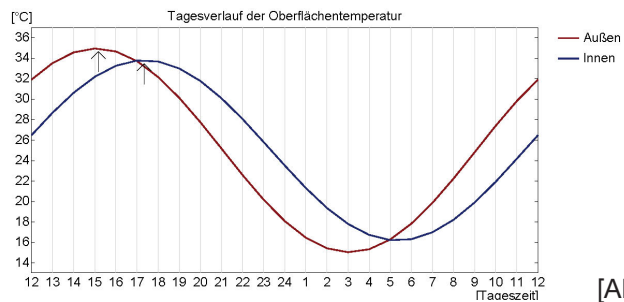
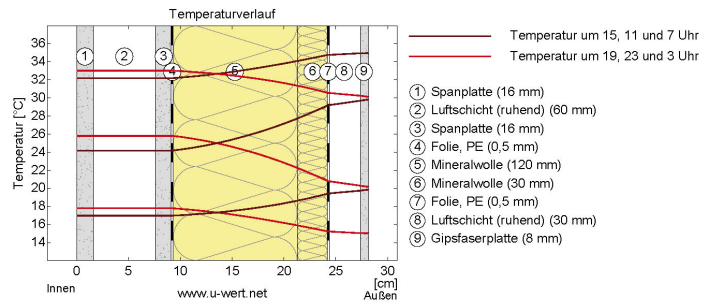
Temperaturverhalten in den Umfassungswänden

Grafiken unten:

Temperaturverhalten in den Umfassungswänden (links)

Feuchtigkeitsverlauf in den Umfassungswänden (rechts)

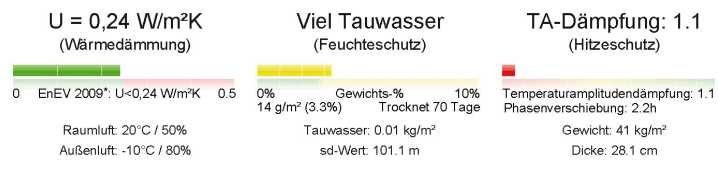
Berechnet mit dem Internetbasierten Simulationswerkzeug u-Wert.net
[UWER_2011_1]



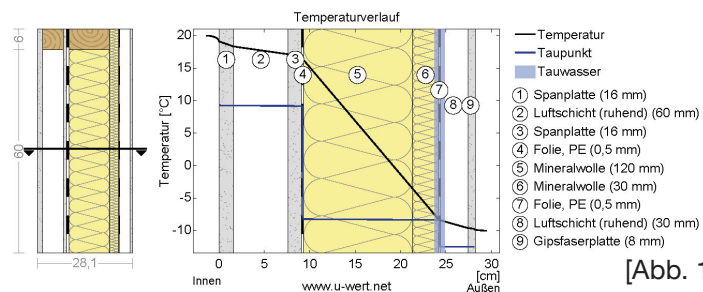
[Abb. 1.34_1]

Außenwand, $U=0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$

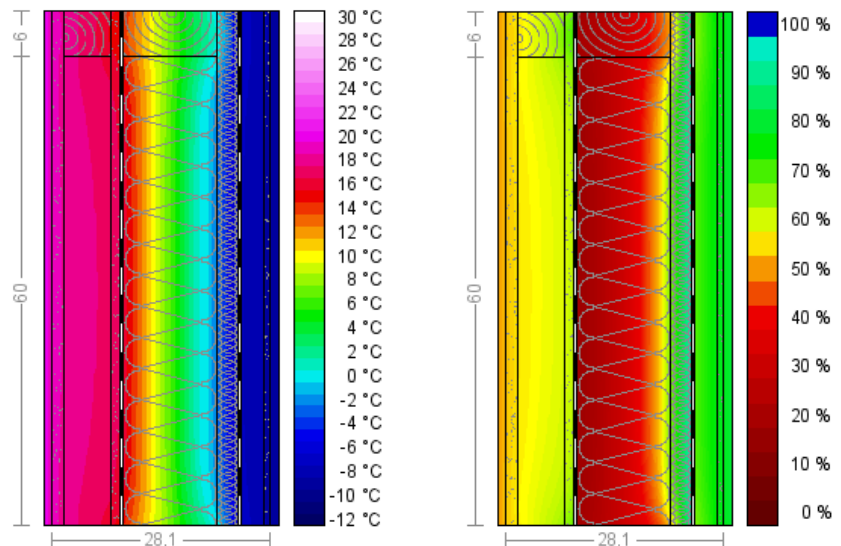
(erstellt am 6.6.2011 18:03)



Temperaturverlauf / Tauwasserzone



[Abb. 1.34_2]



[Abb. 1.34_3]

Das Messverfahren

Eine exakte Messung des Gesamtenergiedurchlassgrades g-Wert von komplexen Fassaden und zusammengesetzten mehrschichtigen Fassadenelementen ist sehr aufwändig. Das Normverfahren DIN EN 410 beschreibt die Ermittlung eines Laborwerts des Gesamtenergiedurchlassgrades für Ein- und Mehrfachverglasungen.

Dabei sind Schichtenfolge und Abstand der einzelnen Komponenten von Bedeutung. Hinzu kommt, dass seit einigen Jahren versucht wird, sich auf ein einheitliches Messverfahren zu einigen.

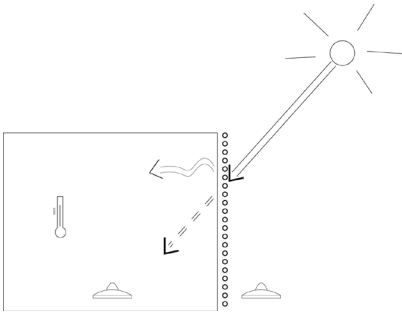
1994 haben sich 13 europäische Institutionen mit sogenannten „Outdoor Test Zentren“ zusammengeschlossen, um ein einheitliches Messverfahren und somit eine Basis für eine einheitliche Normierung zu legen. Dies geschah in einem ökonomischen Interessenverband, der heute formalisiert nicht mehr existiert. Somit konnten weder Zertifizierungen noch Normen offiziell festgelegt werden. Die Idee war, Standards für Messzellen zu definieren, die in den Bereichen Energy Balance, Caloric, PV Hybrid PAS, Ventilation, Daylight, Cold-Box Testing normiert werden. Heute dienen diese Standards als Referenz, der jegliche Einrichtung folgen kann aber nicht muss. Es gibt Bestrebungen eine Normierung zu etablieren. Wann dies der Fall sein wird bleibt offen und vor allem welche die zugrundeliegenden Standards sein werden.

Die Folge ist, dass derzeit kein Messverfahren von komplexeren Fassadenaufbauten und Geometrien den Weg in eine anerkannte Norm gefunden hat.

Denn der g-Wert ist von verschiedenen Umgebungsbedingungen wie Temperaturdifferenz und Luftfeuchtigkeit abhängig und ist somit keine stoff- oder systemfeste Größe. [KUCK_2002_1]

Aus diesem Grund wurde dieses Messverfahren zur Bestimmung des Sonnenschutzpotentials entwickelt und angewendet, welches in mehreren Vergleichswerten am Messcontainer der TU München quantifiziert wurde.

A. Potentialabschätzung der Sonnenschutz eigenschaft zur Beurteilung des thermischen Komforts



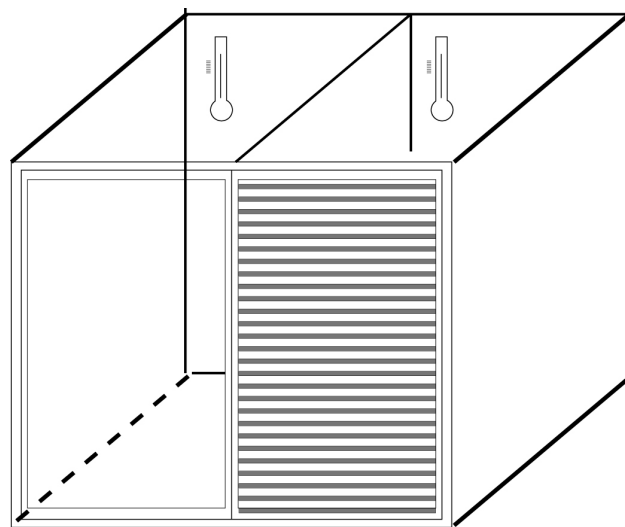
[Abb. 1.36_1]

Darstellung der Messkonzeption

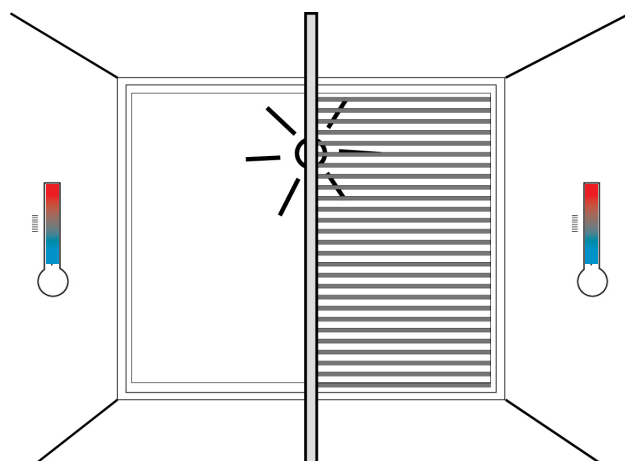
Für diese Messungen wurde der Testcontainer mittig geteilt und so wurde jedem Fassadenelement ein Raum mit der Grundfläche von 1600 mm x 2580 mm zugeteilt. Die Bezugsräume der beiden Fassadenflächen sind in ihren Umfassungsflächen bündig mit den Fassadenfeldern. Die inneren Raumumfassungswände sowie die Decke sind in Weiß Ral 9001. Der Boden ist mit einem anthrazitfarbenen Teppichboden in RAL 7024 Graphitgrau belegt. Das Verfahren zur Ermittlung des Sonnenschutzpotentials wurde in Relation zu einem Vergleichssystem gesetzt. Als Vergleichssystem wurden:

- a) eine geschosshohe Glas-Elementfassade ohne Sonnenschutzsystem
- b) eine geschosshohe Glas-Elementfassade mit einem herkömmlichen Sonnenschutzsystem. In diesem Fall wurde ein handelsüblicher 80 mm breiter Raffstore mit einer eloxierten Aluminiumlamelle gewählt.

Beide vollverglasten Elementfassadeneinheiten besaßen die selben technischen Eigenschaften. Der g-Wert der Verglasung wurde mit 0,57 angegeben.



[Abb. 1.36_2]



[Abb. 1.36_3]

*Grafiken oben:
Schematische Darstellung der Messungen zum thermischen Komfort (ohne Maßstab)*

Das Sonnenschutzpotential ist der Anteil der Wärmeenergie, der einem Gebäude nicht wieder mittels generierter Kühlleistung zugeführt werden muss. Es ist die qualitative Bewertung der Sonnenschutzfunktion einer Fassade. Die Energieermittlung des Sonnenschutzpotentials wurde mittels konstantem Nachheizen der Teilräume ermittelt. Der Innenraum des Testcontainers wird mittig geteilt. Veränderungen hinsichtlich

- Temperaturverhalten,
- Beleuchtungsstärke,
- Oberflächentemperaturen der Umfassungswände und der Fassadenscheibe

der beiden Teilhälften mit unterschiedlichen Fassaden wurden dokumentiert. Der Messzyklus betrug 60 Sekunden. Dieses Messverfahren gab Hinweise darauf, wieviel direkte Strahlung vom Fassadensystem ausgeblendet werden kann beziehungsweise wieviel Licht kann durch Lichtlenkung in den Innenraum geleitet werden.

Der Messverlauf stellte sich wie folgt dar:

An einem strahlungsintensiven Sommertag wurden beide Fassadenflächen und die dahinter liegenden Referenzräume der solaren Globalstrahlung ausgesetzt. Die Globalstrahlung setzte sich zusammen aus der direkt auf eine Fläche eintreffenden solaren Strahlung, der Direktstrahlung sowie der Diffusstrahlung, die über Streuung an Wolken, Wasser- und Staubteilchen eine Fläche erreicht. Durch die teiltransparente Fassadenflächen gelangte Strahlung in den Innenraum der Messeinrichtung wo er absorbiert und in Wärmeenergie umgewandelt wurde. Bei

direkter Bestrahlung der Fassadenflächen beschleunigte sich die Temperaturerhöhung stark. Festzuhalten ist hierbei noch, dass auch vor Eintreffen einer direkten Strahlung bereits eine Temperaturdifferenz eintritt. Die dunklen Fußbodenoberflächen beider Räume (RAL 7024 Graphitgrau) verstärken diesen Effekt. Die raumumfassenden Wände sind an Ihrer Oberfläche mit einer weißen Oberfläche (RAL 9001 Crèmeweiß) versehen. Beide Referenzräume heizen sich infolge der absorbierten und in Wärme umgewandelten Strahlung auf. Der Raum, der mit einer höher durchlässigen Fassade versehen ist, heizt sich schneller auf. Der jeweils andere Raum wird mittels eines Heizlüfters auf das Temperaturniveau des solar erwärmten Raumes angehoben. Die hierfür aufgewendete Energie wurde ebenfalls gemessen und mittels des Wirkungsgrades des Heizsystems verrechnet. Somit konnte der Anteil der Strahlung ermittelt werden, der durch das jeweilige Sonnenschutzsystem, das sich vor der vollverglasten Fassadeneinheit befindet, ausgeblendet wird. Die Auswertung war nun auf Zeiträume beschränkt, an denen keine Bewölkung geherrscht hat, der Rest der Daten (inklusive ca. 30 min bis 1 h danach) wurde ausgeblendet. Die Daten wurden im Auswertungsverfahren nach gleichem Sonnenstand sortiert und gegenübergestellt. Die Differenz der jeweils gemessenen Leistung in kW ist auf die Sonnenschutzwirkung der Komponente für diesen Einfallswinkel zurückzuführen. Dieser Anteil wird nachfolgend als Sonnenschutzpotential beschrieben.

Begriffe und Größen zu thermischen Untersuchungen

Solare Wärmegewinne

Infolge direkter und indirekter Sonneneinstrahlung durch transparente und nichttransparente Bauteile ergeben sich signifikante Wärmegewinne, die im Winter den Heizbedarf eines Gebäudes verringern, im Sommer aber zur Überhitzung des Gebäudes führen. Die Gewinne hängen von der Größe und Ausrichtung der Fenster zur Sonne, des Standorts des Gebäudes, sowie der Beschaffenheit der Öffnung ab.

Die DIN V 4106-8 regelt die Ermittlung passiver solarer Wärmegewinne in der monatlichen energetischen Bilanzierung von Gebäuden.

Die solaren Wärmegewinne $\Phi_{S,M}$ werden wie folgt erfasst:

$$\Phi_{S,M} = \sum_{j=1}^m I_{S,M,j} \cdot \sum_{i=1}^n (F_F \cdot F_S \cdot F_C \cdot F_W \cdot g_{\perp} \cdot A_i) \cdot t_m \cdot 0,024$$

Der sommerliche Wärmeschutznachweis wird nach DIN 4108-2: 2013-02 Abschnitt 4.3 und 8 erbracht:

$$S_{max} = \sum S_x \geq S_{vorh} \frac{\sum(A_w \cdot g_{total})}{A_G}$$

$$S_{vorh} = \frac{\sum(A_w \cdot g \cdot F_C)}{A_G}$$

mit:

$I_{S,M}$	[W/m ²] mittlere Strahlungsintensität der Sonne im Monat
F_F	Abminderungsfaktor für Fensterrahmenanteil
F_S	Abminderungsfaktor für Verschattung
$F_S = F_o \cdot F_f \cdot F_h$	
F_o	Abschattung horizontal (Überhänge)
F_f	Verschattung vertikal (z.B. Vorsprünge)
F_h	Verschattung durch umliegende Bebauung, Bäume, etc.
F_C	Abminderungsfaktor Sonnenschutz
g	wirksamer Energiedurchlassgrad $g = F_W \cdot g_{\perp}$ g_{\perp} = Gesamtenergiedurchlassgrad bei senkrechter Einstrahlung
g_{total}	Energiedurchlassgrad der Verglasung einschl. Sonnenschutz
F_W	Abminderungsfaktor infolge nicht senkrechter Einstrahlung
A_w	[m ²] Fensterfläche
S_x	anteiliger Sonneneintragskennwert
S_{max}	höchst zulässiger Sonneneintragswert

Als wichtige Größe für die Bewertung eines Sonnenschutzes ist der Abminderungsfaktor F_C zusehen. Dieser stuft die Leistungsfähigkeit eines Sonnenschutzes gemäss der geometrischen Lage zur Verglasungseinheit ein. Dabei sind in der in DIN 4108-2 folgende Werte festgelegt:

Außenliegender Sonnenschutz
Drehbare Lamellen, hinterlüftet 0,25

Jalousien und Stoffe geringer Transparenz 0,25

Rollläden, Fenster- und Schiebeläden 0,3

Jalousien, allgemein 0,4

Markisen, oben und seitlich ventiliert 0,4

Markisen, allgemein 0,5

Vordächer, Loggien, Balkone, feststehende Lamellen 0,5

Innenliegender Sonnenschutz oder zwischen den Scheiben
Weiß oder reflektierende Oberfläche 0,75

Helle Farben oder geringe Transparenz 0,8

Dunkle Farbe oder höhere Transparenz 0,9

Kein Sonnenschutz 1,0

[DIN_4108_1]

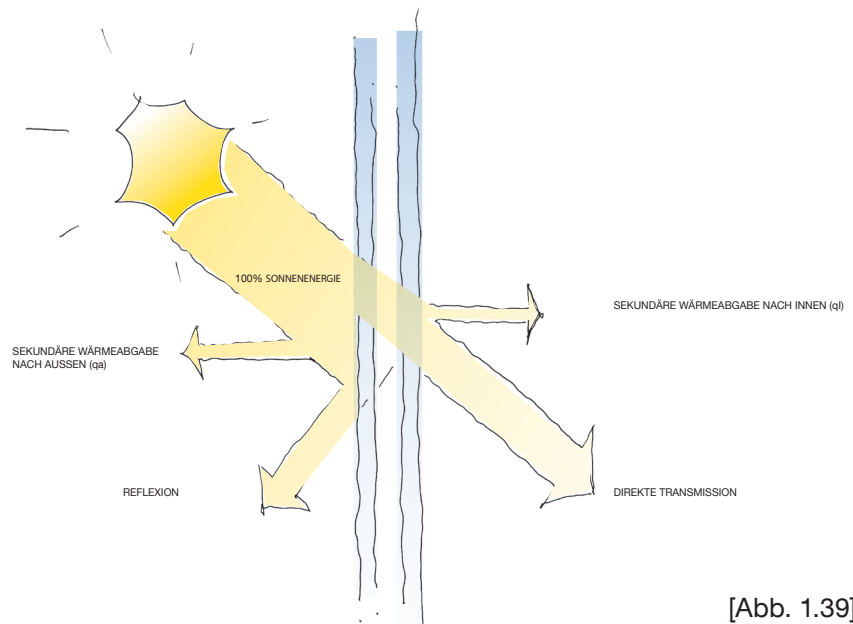
Gesamtenergiedurchlassgrad: g-Wert

Dieser Wert beschreibt die Durchlässigkeit eines transparenten oder transluzenten Bauteils in energetischer Hinsicht. Er wird zur qualitativen Beurteilung von Gläsern im Fassadenbereich verwendet und wird aus verschiedenen Komponenten zusammen gesetzt:

- der direkt durch das Bauteil gelassener Sonnenstrahlung, dem primären Wärmeeintrag,
- der so genannten sekundären Wärmeabgabe.

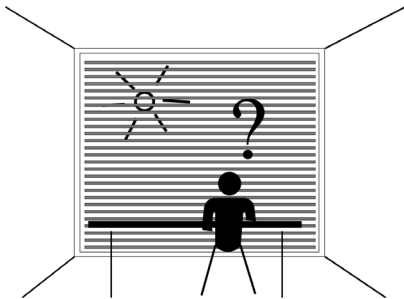
Durch die Teilabsorption von Strahlung im transparenten oder transluzenten Bauteil erwärmt sich das Bauteil und gibt einen Teil dieser Strahlung in Form von Wärmestrahlung an den Innenraum ab.

Alle weitere auf ein Bauteil auftreffende Strahlung wird an der Oberfläche des Bauteils reflektiert oder von der Scheibe absorbiert und nach außen abgegeben. Ein g-Wert von 1 lässt 100 % der Strahlung durch ein Bauteil. Herkömmliches Glas ohne Beschichtung hat einen g-Wert von ca. 0,85 oder 85%. Hohe Werte (Richtung 1 oder 100 %) bedeuten hohe Wärmegewinne für die Innenräume, was zu Überhitzung von großflächig verglasten Gebäuden führt. Zur Bewertung der Sonnenschutzwirkung von Fassadenkomponenten wird in der DIN 4108-2 der Abminderungsfaktor z definiert. Der z -Faktor beschreibt den Einfluß eines Sonnenschutzes auf den g-Wert einer Verglasung.



[Abb. 1.39]
Darstellung des
Gesamtenergiedurchlassgrades:
g-Wert

B. Untersuchung der Auswirkungen der Fassade auf den Innenraum zur Beurteilung des visuellen Komforts



[Abb. 1.40]

Darstellung der Messkonzeption

Die [DIN EN 12464-1_1] regelt die Anforderungen an die Beleuchtung und beschreibt qualitative Werte. Bewertet werden alle üblichen Sehaufgaben.

“Die Anforderungen an die Beleuchtung werden bestimmt durch das Erfüllen folgender Bedürfnisse:

- Sehkomfort, er vermittelt den arbeitenden Menschen das Gefühl des Wohlbefindens und trägt so indirekt zu einer hohen Produktivität bei. Der Sehkomfort beschreibt die Qualität einer Beleuchtungssituation. Indikatoren und Meßgrößen sind Beleuchtungsniveau, Blenderscheinungen und Farbwiedergabe.

- Sehleistung, sie ermöglicht den arbeitenden Menschen, Sehaufgaben auch unter schwierigen Umständen und über längere Zeit auszuführen,

[DIN EN 12464-1_2]

Die [DIN EN 12464-1_1] beschreibt darüber hinaus die Bedingungen für einen so genannten tageslichtorientierten Arbeitsplatz. Dieser befindet sich laut DIN 5035 (EN 12464) als Arbeitsplatz in unmittelbarer Fensternähe. Eine genauere Definition ist aus dem Leitfaden elektrische Energie (LEE) ableitbar: Ein tageslichtorientierter Arbeitsplatz hat eine Tageslichtautonomie von mindestens 70 %. Das bedeutet, dass an wenigstens 70 % der Nutzungsstunden ausreichend Tageslicht vorhanden ist und kein Kunstlicht zugeschaltet werden muss. Dies entspricht bei Büroräumen einem Tageslichtquotienten von etwa 3 %.

[HENN_2000_1]

Die auf den folgenden Seiten vorgestellten Messgrößen beschreiben absolute Werte. Es ist aber aufgrund der unterschiedlichen Wahrnehmungen unabdingbar, sogenannte „weiche“ Aspekte zur Beurteilung des visuellen Komforts heranziehen. Daher wurden die Messungen bildhaft dokumentiert. Diese bildhafte Aufbereitung nimmt wegen der hohen Anschaulichkeit eine Schlüsselposition innerhalb der Messungen ein.



[Abb. 1.41]

Die eingebaute Testfassade zur
Ermittlung des visuellen Komforts.

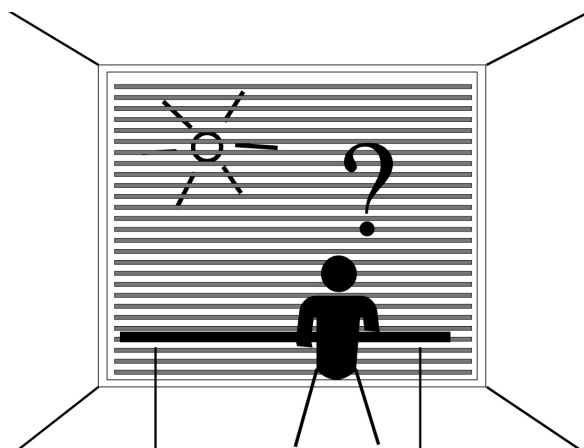
Um die Qualitäten einer Fassade in Bezug auf Lichtverhältnisse zu ermitteln, stehen subjektive Gegebenheiten objektiv messbaren und absoluten Werten gegenüber. Alle diese können in dem Begriff des visuellen Komforts zusammengefasst werden, der folgende Aspekte beschreibt:

- Blendung
- Lichtverteilung
- Lichtfarbe
- Farbgebung der Wandoberflächen
- Oberflächengestaltung
- emotionale Wahrnehmung von Licht
- Sichtbezug nach außen und Orientierung im Raum

Es besteht ferner eine starke Korrelation von Raumproportion, Volumen und Öffnungsflächen. Einige dieser Punkte sind aber kontextuell stark variabel und gebäudeabhängig. Daher wurden diese Parameter in die Messungen nicht weiter einbezogen.

Bei diesen Messungen ging es neben den quantitativen Aspekten der Lichtverhältnisse darum, die visuellen Qualitäten der Fassade im Bezug auf den dahinter liegenden Raum zu bewerten. Genauer werden folgende Größen untersucht:

- Blendung und Unterschiede der Leuchtdichten
- Lichtverteilung
- Sichtbezug nach außen
- Tageslichtquotient
- Beleuchtungsstärke

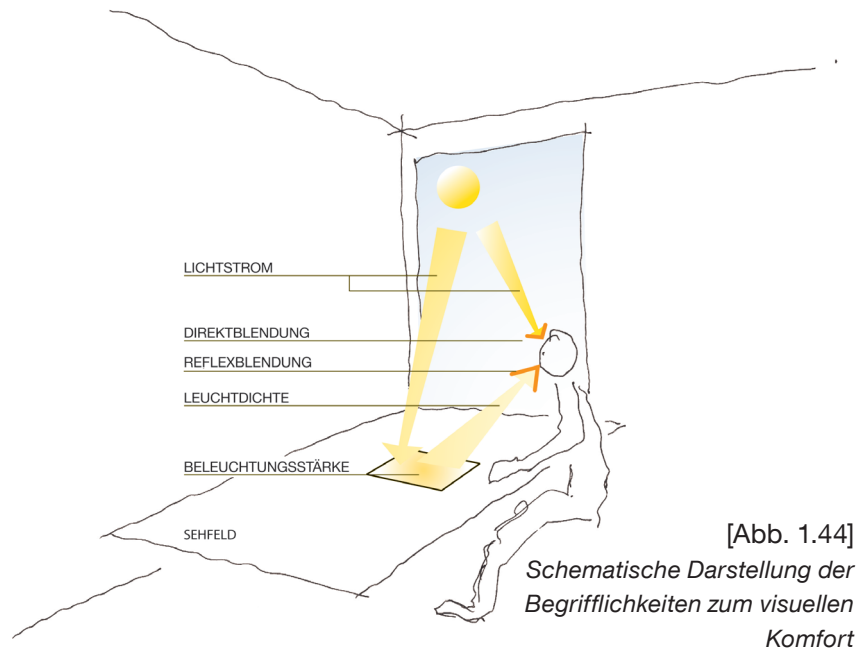


[Abb. 1.42]
Schematische Darstellung der
Messungen zum visuellen Komfort



[Abb. 1.41]
Näheres Sehfeld mit Sensoren der
Beleuchtungsstärke zur Ermittlung
des visuellen Komforts.

Begriffe und Größen zu den Messungen des visuellen Komforts



Zeichen	Einheit	Bedeutung
a	m ²	Fläche
D (TQ)	%	Tageslichtquotient
E	W/m ²	Bestrahlungsstärke
E _v	lx	Beleuchtungsstärke
g		Gesamtenergiedurchlassgrad
H _e	Ws/m ²	Bestrahlung
H _v	lx s	Belichtung
I _v	Cd	Lichtstärke
k	W/m ² K	Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert, u-value)
L _v	lm/m ²	Leuchtdichte

Einteilung	Größe	Formelzeichen	Formel	Name	Einheit
Strahlungsgröße	Lichtstrom	F	$F = I \cdot W$	Lumen	[lm]
Senderseitige Größe	Lichtstärke	I	$I = F/W$	Candela	[cd]
	Leuchtdichte	L	$L = I/A$	Candela pro Quadratmeter	[cd/m ²]
Empfängerseitige Größe	Beleuchtungsstärke	E	$E = F/A$	Lux	[lux]

Leuchtdichte	Lichtquelle	Mittl. Leuchtdichte [cd/m ²]
	Mittagssonne	$1,6 \cdot 10^9$
	Glühlampe klar	$2 \cdot 10^6 - 2 \cdot 10^7$
	Leuchtstofflampe/Kompaktleuchtstofflampe	$1,2 \cdot 10^4 - 1,4 \cdot 10^4$
	Weißer sonnenbeschienene Wolken	$1 \cdot 10^4$
	Kerzenflamme	7.500
	Klarer Himmel	3.000 - 5.000
	Mond	2.500
	Glimmlampe	200 - 600
	Nachthimmel	10^{-3}

Beleuchtungsstärke	Büros: Büroräume	300 Lux
	Schreib- und Zeichenplätze	750 Lux
	Fabriken: visuelle Arbeiten im Produktionsablauf	1000 Lux
	Hotels: Aufenthaltsräume, Rezeption, Kasse	200 Lux
	Geschäfte: Vorderseite von Schaufenstern	1500–2500 Lux
	Krankenhäuser: Krankenzimmer,	100–150 Lux
	Notaufnahmen	500 Lux
	Schulen: Hörsäle, Turnhallen	300 Lux

Nennbeleuchtungsstärken in Abhängigkeit von der Tätigkeit.
 Richtwerte für die Beleuchtung von Arbeitsstätten
 [DIN EN 12464-1_4]

Strahlung

Optische Strahlung

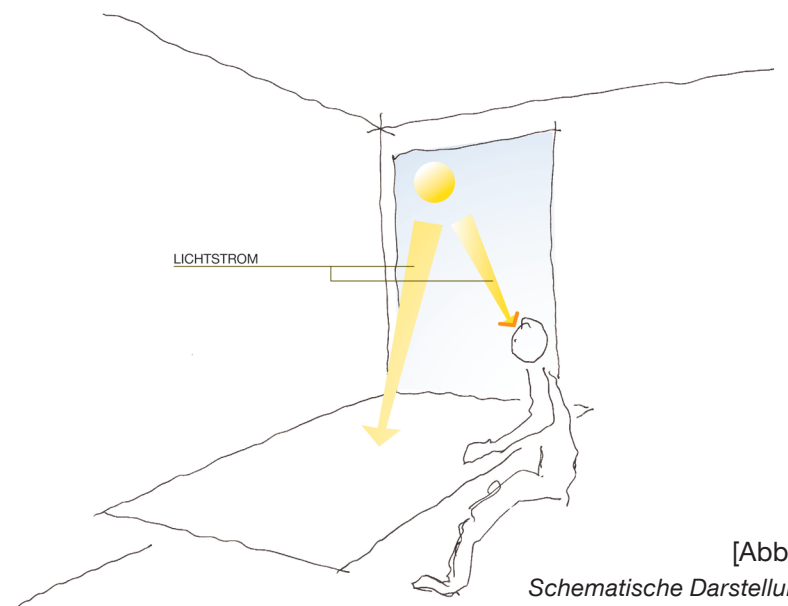
Die optische Strahlung umfasst die ultraviolette Strahlung (UV), das für den Menschen sichtbare Licht (VIS) und die Infrarotstrahlung (IR). Sie ist Teil des elektromagnetischen Spektrums und beschreibt den Ausschnitt der elektromagnetischen Strahlung im Wellenlängenbereich von 100 nm bis 1 mm. Bei den Bereichsgrenzen ist zu beachten, dass diese keine scharfe und für alle Anwendungen verbindliche Trennung vorgeben.

Globalstrahlung

Die Globalstrahlung ist eine in der Umweltforschung wichtige Messgröße und stellt die gesamte auf die Erdoberfläche auftreffende diffuse und direkte Sonnenstrahlung dar. Der Spektralbereich erstreckt sich vom kurzwelligen Bereich bei 300 nm (UV-B) zum langwelligen Bereich bei 5000 nm (IR).

Lichtstrom

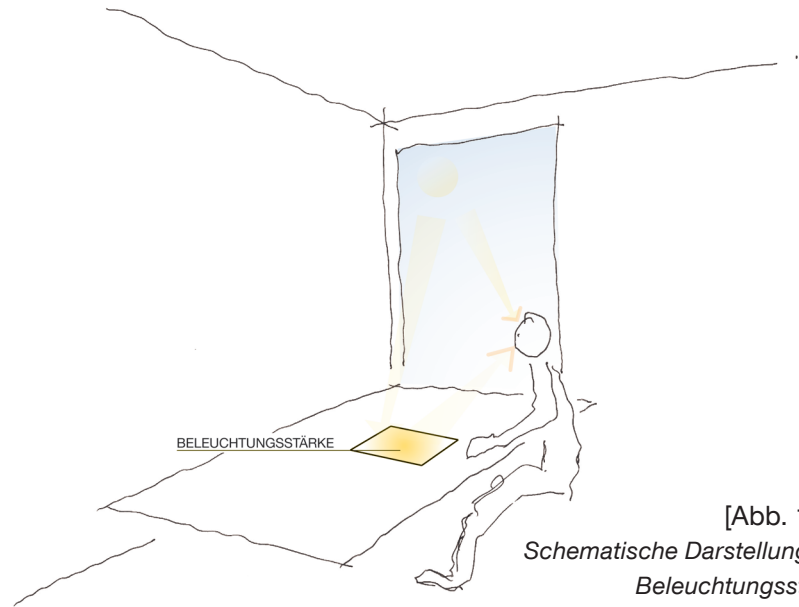
Der Lichtstrom gibt die Strahlungsleistung einer Lichtquelle in den gesamten Raum an. Dabei wird diese Strahlung unter Berücksichtigung der Empfindlichkeit des menschlichen Auges gegenüber Helligkeit bewertet. Alle anderen lichttechnischen Größen leiten sich von dieser Grundgröße ab.



[Abb. 1.46]
Schematische Darstellung des
Lichtstroms

Beleuchtungsstärke

Unter der Beleuchtungsstärke versteht man den Lichtstrom, der von einer oder mehreren Lichtquellen horizontal oder vertikal auf eine bestimmte Fläche trifft. Die Beleuchtungsstärke ist eine reine Rechen- und Messgröße und gibt den Lichtstrom bezogen auf die beleuchtete Fläche, unabhängig von deren Reflexionsgrad, an. Fällt 1 lm Lichtstrom auf eine Fläche von 1 m², so ergibt sich eine Beleuchtungsstärke von 1 Lux. Die Beleuchtungsstärke reduziert sich mit dem Quadrat der Entfernung zwischen Lichtquelle und Bewertungsebene. Die Beleuchtungsstärke ist eine einfach zu berechnende Größe. Der Mensch ist an Beleuchtungsstärken des Tageslichts gewöhnt. An einem trübem Wintertag sind dies Werte von ca. 5000 Lux, an einem sonnigen Sommertag ca. 100000 Lux. Demgegenüber werden bei künstlicher Beleuchtung meist nur zwischen 100 und 2000 Lux erreicht. Die meisten Menschen fühlen sich bei Beleuchtungsstärken von 2000 Lux wohl, was einer natürlichen minimalen Tagesbeleuchtung entspricht. Untersuchungen zeigen aber, dass erst ab 75 Lux das Kunstlicht eingeschaltet wird. Dies entspricht in etwa dem Wert, an dem das menschliche Auge die Fähigkeit verliert, das Farbspektrum zu differenzieren.



[Abb. 1.47]
Schematische Darstellung der
Beleuchtungsstärke

Laut den Technischen Regeln für Arbeitsstätten (ASR) gilt folgendes: „Beim Einrichten und Betreiben von Arbeitsstätten müssen die Mindestwerte der Beleuchtungsstärken eingehalten werden:

Die mittlere Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich eines Arbeitsplatzes mit 300 lx Beleuchtungsstärke muss mindestens 200 lx betragen. Bei Arbeitsplätzen, die mit 500 lx oder mehr zu beleuchten sind, muss die mittlere Beleuchtungsstärke im Umgebungsbereich mindestens 300 lx betragen. An keiner Stelle im Bereich des Arbeitsplatzes darf das 0,6-fache der mittleren Beleuchtungsstärke unterschritten werden. Der niedrigste Wert darf nicht im Bereich der Hauptsehaufgabe liegen.

[TRA_2011_1]

Leuchtdichte

Die Leuchtdichte gibt die Lichtstärke einer Lichtquelle oder leuchtenden Fläche bezogen auf ihre gesehene Fläche an. Für den Menschen ist Licht erst sichtbar, wenn Strahlung in sein Auge trifft. Die Leuchtdichte ist die einzige für den Menschen wahrnehmbare Größe.

Die Sonne hat eine Leuchtdichte von ca. 1 Milliarde cd/m^2 , Leuchtstofflampen liefern etwa $10.000 \text{ cd}/\text{m}^2$

Blendung

Zunächst ist Blendung eine subjektiv erfassbare Größe, die jeder individuell erfährt. Sie schwankt darüber hinaus auch in Abhängigkeit der physischen und psychischen Verfassung eines Menschen. Blendung kann die Sehfähigkeit und somit auch das Konzentrationsvermögen eines Menschen stark beeinträchtigen. Gerade bei länger andauernden Blendungen kann die Arbeitsleistung erheblich beeinträchtigt werden. Gemessen wird das Phänomen der Blendung mittels der Leuchtdichte. Zur Blendung können zu hohe Leuchtdichten sowie zu hohe Leuchtdichteunterschiede führen [EN12464_3]). Die Blendungsbewertung wird nach dem UGR-Verfahren (Unified Glare Rating) bestimmt. Bei möglichen Blendeffekten unterscheidet man zwischen

Direktblendung:

Überschreitet die Leuchtdichte einen Wert von $10^4 \text{ cd}/\text{m}^2$ spricht man von einer Absolutblendung. Die adaptiven Systeme des menschlichen Sehsystems sind mit Verkleinerung von Pupille bzw. Iris und Netzhautadaption, d. h. Empfindlichkeitsänderung der Netzhaut überfordert. Eine Weiterleitung der Sehreize ist nur erschwert möglich. Mit zunehmenden Alter kann das System die Reize schwerer verarbeiten und wird empfindlicher gegenüber hohen Beleuchtungsstärken und schwankenden Blendeffekten.

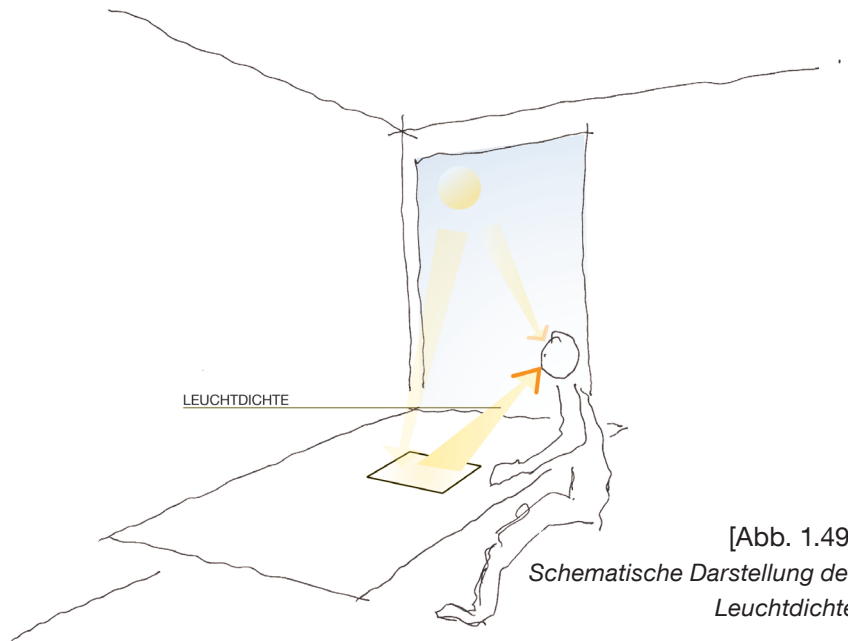
Hintergrundblendung:

Durch Strahlung eines hell beleuchteten Hintergrunds kann die Sehaufgabe in einer Weise überblendet werden, die unser adaptives visuelles Wahrnehmungssystem stark beeinträchtigt.

Reflexblendung:

Bei einer Spiegelung auf einer hell beleuchteten Oberfläche. In [DIN5035], S. 9, wird gefordert, dass das Verhältnis der Leuchtdichten im näheren Umfeld zur Leuchtdichte der Sehaufgabe (z. B. Bildschirm) den Faktor 3 und im fernerem Umfeld den Faktor 10 nicht überschreiten soll. Ob Blendung auftritt ist stark von der Umgebung abhängig. Dabei werden Leuchtdichten im Gesichtsfeld von über $4000 \text{ cd}/\text{m}^2$ meist als störend empfunden. [DIN EN 12464-1_5]

Das menschliche Auge und dessen System kann Beleuchtungsstärken von 0,1 - 100.000Lux und Leuchtdichten von 10^{-6} - 10^5 cd/m² wahrnehmen und regulieren.



[Abb. 1.49]
*Schematische Darstellung der
Leuchtdichte*

Begrenzung der Direktblendung

Störende Direktblendung kann durch helle Flächen, z. B. von Leuchten, Fenstern oder beleuchteten Flächen im Raum, im Gesichtsfeld auftreten und muss begrenzt werden. Die Bewertung der psychologischen Blendung durch Leuchten erfolgt durch das UGR- (Unified Glare Rating) Verfahren nach DIN EN 12464-1. In Räumen mit Bildschirm- und Büroarbeitsplätzen darf der UGR-Wert nicht größer als 19 sein, unabhängig vom Beleuchtungsniveau. Je niedriger der UGR-Wert, desto geringer ist die Blendung. Das UGR Verfahren kennt 3 Methoden:

- Basis UGR Formel

Die UGR Formel geht auf bekannte und auf weitgehend - bis auf die Exponenten - ähnliche Formeln (Glare Index System) zur Berechnung von Blendungsfaktoren zurück. Sie entstand aus dem Bestreben, einen brauchbaren Kompromiss zwischen den verschiedenen nationalen Systemen zu schaffen. Diese Methode berücksichtigt die Wirkung der Beobachterposition und jene der Blickrichtung. Die Frage, ob diese Methode auch bei Indirektbeleuchtung und bei leuchtenden Decken angewendet werden kann, ist noch nicht ausreichend geklärt. Weiter sollte das UGR Verfahren für Lichtquellen kleiner als 0,0003 sr nicht verwendet werden.

- Tabellenmethode

Diese Methode ist aus der Basis UGR Formel abgeleitet und ermöglicht einen Vergleich von verschiedenen Beleuchtungssituationen. Die Tabellenmethode geht bei der Berechnung von unkorrigierten Blendungswerten von den Leuchtenmodellen aus. Es wird also für jeden Leuchtentyp eine UGR Tabelle errechnet, aus der der sogenannte unkorrigierte UGR Wert entnommen werden kann. Dieser wird in Abhängigkeit von den konkret vorliegenden Raumabmessungen und den Reflexionsgraden der Raumbooberfläche korrigiert. Der unkorrigierte UGR Wert ist von den Parametern Leuchtenmerkmal, Leuchtenlayout, Raummerkmal, Beobachterposition und Blickrichtung abhängig. Im Unterschied zum Blendungsbegrenzungsverfahren nach Söllner kann die UGR Tabelle sowohl für symmetrische als auch für asymmetrische Leuchten herangezogen werden.

- Grenzkurvenmethode

Auch diese Methode ist aus der Basis UGR Formel abgeleitet und dient vorrangig zur Unterstützung der Planung von Beleuchtungsanlagen. Die Anwendung dieses Verfahrens erfolgt analog dem Grenzkurvenverfahren nach Söllner. Es wird die Grenzkurve, die der jeweiligen Arbeitsaufgabe entspricht, ermittelt und diese mit der Leuchtdichtekurve verglichen. Kommt die Leuchtdichtekurve im unkritischen Bereich (links der Grenzkurve) zu liegen, dann besteht keine Blendgefahr. Liegt die Leuchtdichtekurve im kritischen Bereich, dann sind die kritischen Winkel mit den tatsächlich vorherrschenden Leuchtdichten zu vergleichen. Die UGR Kurven sind im Gegensatz zu den Kurven des Blendungsbegrenzungsverfahrens nach Söllner für beide Blickrichtungen gültig - parallel und quer zur Leuchtenachse. Diese Methode ermöglicht eine Schätzung der Blendungswirkung. Sie ist weniger genau, weil sie nur für Standardbedingungen gilt und den Einfluss des Raumes weitgehend außer acht lässt (Reflexionsgrade- Decke: 0,7; Wände: 0,5 und Boden: 0,2). Aus diesen Gründen ist für eine Ermittlung von genaueren Werten die Tabellenmethode der Kurvenmethode vorzuziehen.

[ÖNOR_1999_1]

Um aber diese quantitativen Werte einzuordnen, ist die Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke wichtig. Sie regelt das Verhältnis der kleinsten Beleuchtungsstärke zur mittleren Beleuchtungsstärke auf einer Fläche [TRIL_2004_1]

$$g_1 = E_{min} / E$$

Leuchtdichteverteilung

Die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld bestimmt den Adaptionszustand, der die Sehleistung beeinflusst. Eine ausgewogene Leuchtdichte wird benötigt zur Erhöhung von:

- Sehschärfe,
- Kontrastempfindlichkeit (Differenzierung von kleinen Leuchtdichteunterschieden),
- Leistungsfähigkeit der Augenfunktionen (wie Akkommodation, Konvergenz, Pupillenveränderung, Augenbewegungen usw.).

Die Leuchtdichteverteilung im Gesichtsfeld beeinflusst auch den Sehkomfort. Aus den angegebenen Gründen sollte Folgendes vermieden werden:

- zu hohe Leuchtdichten, die Blendung verursachen können,
- zu hohe Leuchtdichteunterschiede, die durch ständige Umadaptation Ermüdung verursachen können,
- zu niedrige Leuchtdichten und zu niedrige Leuchtdichteunterschiede, die eine unattraktive und wenig anregende Arbeitsumgebung schaffen. Die Leuchtdichten aller Oberflächen sind wichtig. Sie hängen vom Reflexionsgrad der Oberflä-

chen und der Beleuchtungsstärke auf den Oberflächen ab.

Für die Hauptflächen eines Raumes werden folgende Reflexionsgrade empfohlen:

- Decken: 0,6 bis 0,9
- Wände: 0,3 bis 0,8
- Arbeitsflächen: 0,2 bis 0,6
- Böden: 0,1 bis 0,5

Zu hohe Unterschiede in den auftretenden Leuchtdichten erschweren die Lesbarkeit am Arbeitsplatz. Insbesondere heutige Bildschirmarbeitsplätze erfordern gleichmäßige Leuchtdichteverteilung.

Die DIN EN 12464 sieht eine Obergrenze von Leuchtdichten über 1.000 cd/m² für das Blickfeld eines Bildschirmarbeitsplatzes vor. Die Leuchtdichten sollten im näheren Bereich des Arbeitsplatzes nicht mehr als fünffache Größenunterschiede aufweisen. Im weiteren Sehfeld sollten Unterschiede 1:10 nicht überschritten werden.

Farbwiedergabeindex

Der Farbwiedergabeindex bewertet die Fähigkeit eines Systems, real vorhandene Farben oder Lichtfarben wieder zu geben. Der Index wird sowohl für künstliche Beleuchtung als auch für natürliches Tageslicht verwendet. Er wird ohne Einheit von einem minimalen Wert 0 bis zum Maximalwert 100 in verschiedenen Stufen unterteilt angegeben. 100 entspricht der Bewertung 'farbneutral'. Die Stufen sind verschiedenen Nutzungen zugeordnet. (z. B. 1A: 90 – 100 für Farbabmusterung, 1B: 80 – 89 Wohnung, Hotel, Büro.)

Reflexionsgrad

Der Reflexionsgrad gibt den Quotienten zwischen zurückgeworfenem Lichtstrom und auffallendem Lichtstrom an. ($r = Fr / F_0$)
r kann theoretisch maximal den Wert 1 (100 %) erreichen.

Reflexionsgrad von Materialien und Farbanstrichen:

Aluminium, hochglänzend: 0,80-0,85

Aluminium, mattiert: 0,50-0,70

Stahl, poliert: 0,50-0,60

Weiß: 0,70-0,80

Hellgelb: 0,60-0,70

Hellgrün, Hellgrau: 0,40-0,50

Orange, Mittelgrau: 0,25-0,35

Dunkelgrau, dunkelrot: 0,10-0,20

Putz, weiß: 0,70-0,85

Gips: 0,70-0,80

Beton: 0,30-0,50

Ziegel, rot : 0,10-0,20

Glas, klar: 0,05-0,10

Neben dieser qualitativen Bewertung wird der Reflexionsgrad in mehrere Reflexionsarten, wie die spiegelnde, gemischte, vollständig diffuse und unregelmäßig diffuse Reflexion unterschieden.

Neben den Größen rund um Blendung ist für eine Bewertung eines Fassadenelements auch ihre Lichtdurchlässigkeit von Bedeutung.

Tageslicht am Arbeitsplatz

Die gesetzlich vorgeschriebenen Anforderungen, die einen Arbeitsplatz hinsichtlich seiner Tageslichteigenschaften bewerten, beziehen sich zunächst auf geometrische Beschaffenheiten eines Raums:

„Ausreichendes Tageslicht wird erreicht, wenn das Verhältnis von lichtdurchlässiger Fläche (z. B. von Fenstern, Türen, Wänden, Dachoberlichtern) zur Raumgrundfläche mindestens 1 : 10 beträgt. Für Räume mit höheren Sehanforderungen ist von einem Verhältnis von 1 : 5 auszugehen.“
[DGU_2009_1]

Die DIN 5035 (EN 12464) sieht genaue Regelungen für die Arbeitsplätze vor, die zu einem großen Teil ohne künstliche Beleuchtung auskommen. Das soll durch einen direkten Zugang zu natürlichem Licht mittels Ausrichtung des Arbeitsplatzes zu einem Fenster hin gewährleistet werden. Ferner spricht man von einem so genannten „Tageslichtorientierten Arbeitsplatz“ wenn er in mindestens 70 % der Nutzungsstunden nur mit natürlicher Tageslichtversorgung auskommt und keine hinzukommende Energie für Kunstlicht bereitgestellt werden muss.

Tageslichtdurchlassgrad

Tau-Wert für direkte Solarstrahlung

Der Tau-Wert gibt an, welcher Anteil der Solarstrahlung, die im Einfallswinkel von 0° auf eine Fensterfläche trifft, diese durchdringt. Von direkter Solarstrahlung spricht man an einem wolkenfreien Tag. Ein typischer Wert bei heutigen Isolierverglasungen liegt bei etwa 70 %.

Transmissionsgrad

Für die optischen Qualitäten einer Fassade ist der Lichttransmissionsgrad von besonderer Bedeutung. Er gibt den Anteil der auf Flächen auftreffenden Strahlung an, der durch eine Fassadenfläche hindurchgelassen wird. Einige Beispiele sind:

So genanntes hoch lichtdurchlässiges Glas (oder auch Weißglas, eisenarmes Glas, low iron) hat eine bessere Lichttransmission als Normalglas. Die Lichttransmission ist um ca. 6 % erhöht durch die geringeren Anteile von Eisen.

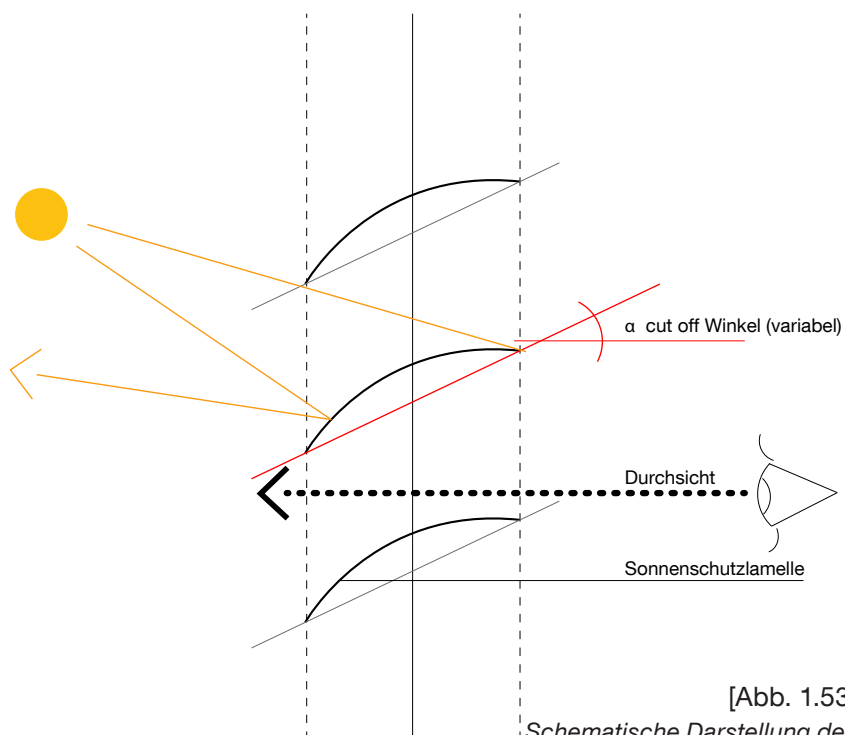
Die Lichttransmission einer Glasscheibe ist stark vom Einfallswinkel der Strahlung abhängig. Bei über 40° sinkt die Transmission wegen des ansteigenden Reflexionsgrades stark ab, denn ein Teil der Strahlung wird an der Glasoberfläche reflektiert. Entspiegelte Gläser erhöhen die Lichttransmission (ca. 4 % pro entspiegelte Seite des Glases). Eine herkömmliche Zweifach-Isolierverglasung hat einen Lichttransmissionsgrad von ca. 72 % (je nach Glasdicke und Glasart).

z-Wert:

der Abminderungsfaktor z ist ein zu multiplizierender Wert, der vor eine Ermittlung einer (Teil-) transparenten Fassadenfläche geschaltet wird. Er gibt an, welchen Anteil der auftreffenden Strahlungsenergie von einem Sonnenschutzsystem durchgelassen wird, und vermindert somit die Transmission der (Teil-) transparenten Fassadenfläche.

cut-off-Winkel

Der sogenannte ‚cut-off-Winkel‘ beschreibt den Neigungswinkel eines Lamellensystems, in dem die Lamellenstellung optimal an den jeweiligen Sonnenstand angepasst wird. Der cut-off-Winkel ist jeweils für den Moment definiert, in der die Winkelstellung des Lamellensystems die direkte solare Strahlung gerade ausblendet. Dabei entsteht eine ausreichende Verschattung der Fassade bei gleichzeitig maximaler Durchsicht.



[Abb. 1.53]
Schematische Darstellung des
cut off Winkels

Tageslichtquotient

Der Tageslichtquotient (TQ) oder 'daylight factor' (Verhältniszahl in %, ohne Einheit) setzt das Niveau der inneren Beleuchtungsstärke in Relation zu äußerer horizontaler Beleuchtungsstärke in unverschatteter Lage. Durch den Bezug auf die äußere Beleuchtungsstärke werden Werte unterschiedlicher Systeme vergleichbar. Der TQ wird bei vollständig diffusem Himmel angegeben und ist dann ein Maß für die Tageslichtbeleuchtung bei relativ geringem Angebot mit ausschließlich diffuser Strahlung. Gemessen wird in einer Höhe von 0,85 m über dem Fußboden an der Fassade und in 1 m Abstand von den beiden Seitenwänden. So wird in [DIN5034] ein TQ von 0.75 % bis 1 % für unterschiedliche Punkte im Raum sowohl bei Wohn- als auch bei Arbeitsräumen gefordert, sofern diese von der Größe vergleichbar sind.

Laut DIN5034 ist ein ein TQ von 0.75 % bis 1 % ausreichend. Dies besitzt jedoch sowohl wissenschaftlich als auch atmosphärisch keine Aussage.

Generell sollte ein TQ von 3 erzielt werden, um ausreichend Aufenthaltsqualität zu gewährleisten: „Ist der Tageslichtquotient höher als 3 % bezogen auf die horizontale Außenbeleuchtungsstärke und gemessen auf der Arbeitsebene in etwa 4 m Tiefe vom Fenster entfernt, kann er als gut bis sehr gut bezeichnet werden.“

[HAAS_2007_3]

Nach Thomas Kuckelkorn können Messungen zum Tageslichtquotienten unter realen Wetterbedingungen nur näherungsweise bestimmt werden da die richtungsabhängigen Helligkeitsunterschiede des Himmels nie exakt sind und somit nur annäherungsweise den in der CIE-Norm definierten Verteilung entsprechen. Die CIE-Verteilung kann jedoch in Simulationsprogrammen oder unter Laborbedingungen abgebildet werden. [KUCK_2002_2]

TQ $D = E_p / E_a(hz)$ [%]

E_p = Beleuchtungsstärke im Bezugspunkt auf der Nachweisebene im Raum

$E_a(hz)$ = gleichzeitige Horizontalbeleuchtungsstärke im Freien (unverbaut, bedeckter Himmel)



[Abb. 1.55_1]
vollständig diffuse Strahlung
am Messtag



[Abb. 1.55_2]
Arbeitsplatz mit Sensoren der
Beleuchtungsstärke zur Ermittlung
des Tageslichtquotienten

Die „International Commission on Illumination (CIE)“ stuft das Tageslicht bzw. die Himmelsbeschaffenheiten in 15 verschiedene Standard-Beleuchtungssituationen ein:

1. CIE Standard Overcast Sky, Steep luminance gradation towards zenith, azimuthal uniformity
2. Overcast, with steep luminance gradation and slight brightening towards the sun
3. Overcast, moderately graded with azimuthal uniformity
4. Overcast, moderately graded and slight brightening towards the sun
5. Sky of uniform luminance
6. Partly cloudy sky, no gradation, towards zenith, slight brightening towards the sun
7. Partly cloudy sky, no gradation, towards zenith, brighter circum solar region
8. Partly cloudy sky, no gradation towards zenith, distinct solar corona
9. Partly cloudy, with the obscured sun
10. Partly cloudy, with brighter circumsolar region
11. White-blue sky with distinct solar corona
12. CIE Standard Clear Sky, low luminance turbidity
13. CIE Standard Clear Sky, polluted atmosphere
14. Cloudless turbid sky with broad solar corona
15. White-blue turbid sky with broad solar corona CIE standard sky types

[BS_ISO_2004]

Die Messungen an der Kollektorfassade

Auf den folgenden Seiten werden zunächst das Messkonzept sowie der Aufbau der Messungen zum visuellen und zum thermischen Komfort eines exemplarischen Bausteins erläutert. Als Ausgangspunkt dient hierbei ein solarthermisch aktivierter Fassadenkollektor, der in einem Forschungsvorhaben der Universität Stuttgart entwickelt und vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert wurde. Gesamtziel der Kooperation war es, einen fassadenintegrierten Solarkollektor mit Vakuumröhren zu entwickeln. Dabei wird eine Kollektorebene mit Vakuumröhren außen vor die Verglasungseinheit eines geschosshoch vollverglasteten Fassadensystems montiert. Zwischen den Vakuumröhren und der Verglasungseinheit ist ein perforierter parabolisch gekrümmter Spiegel installiert, der zum einen eine Teiltransparenz des Fassadenmoduls gewährleistet aber auch solare Strahlung auf die Absorberflächen der Vakuumröhren gewährleistet. Die Röhrenabstände der Kollektorebene und die entsprechende Perforierung der dahinter liegenden Absorberbleche erzeugen zunächst eine Sonnenschutzfunktion für eine Fassade. Gleichzeitig ist sie auch semitransparente Außenwand, die diffuses Tageslicht für die dahinter liegenden Innenräume bereitstellt.

Die Untersuchungen der Funktion des Fassadenkollektors als Sonnenschutz und zur Tageslichtnutzung in Verwaltungsbauten führte die Professur für Entwerfen und Gebäudehülle an der Solarstation der Technischen Universität München im Sommer 2010 durch. Diese Untersuchungen dienen als Ausgangspunkt der exemplarischen Evaluierung des visuellen und thermischen Komforts eines technikintegrierten Fassadensystems. (Quelle: Abschlussbericht des Projekts „Weiterentwicklung von solarthermischen Fassadenkollektoren mit Vakuumröhren in Bürogebäuden (FKZ 0325956A) gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU).)

Die Qualität dieser Lichtbeschaffenheiten sollte auf einem für Büronutzung abgestimmten Messverfahren evaluiert werden und darüber hinaus soll die genaue Abstimmung zwischen den Einzelparametern Energiegewinnung, visueller Komfort, thermischer Komfort, akustischer Komfort und der Versorgung mit Frischluft abgewogen werden. Die Untersuchungen zu Sonnenschutzpotential und Tageslichteigenschaften an der Kollektorfassade wurden durchgeführt, um die Innenraumqualität der dahinter liegenden Räume zu ermitteln.



[Abb. 1.55_2]
*Kollektorfassade an der
Messeinrichtung.*

Der Ablauf der Messungen

Das protokollarische Messverfahren begann mit der Phase 1 als Dokumentation des Temperaturverhaltens des Testraumes A und paralleler Zuführung von Wärme mittels eines Heizlüfters. Die zugeführte Energie wurde gemessen. Mittels des Wirkungsgrades des Heizlüfters konnte die Energie berechnet werden, die als Sonnenschutzwirkung angenommen werden kann.

An einem absolut klaren Tag ergab sich eine glatte Kurve. Jede Bewölkung führte zu einem Abfall der Strahlung von dieser „Idealkurve“. Um diese Beeinträchtigung der Vergleichbarkeit der Messungen zu eliminieren, wurden vergleichbare Gegebenheiten in einem Vergleichsfenster isoliert und gegenübergestellt.

Für die Auswertung wurden somit Zeiträume herangezogen, an denen praktisch keine Bewölkung herrschte, (inklusive ca. 30 min bis 1 h danach)
Die Abweichungen gegenüber einer theoretischen Idealkurve, wie sie im Labor entstände, sind somit vernachlässigbar.

Im Folgenden wurden die Daten nach Uhrzeit bzw. nach gleichem Sonnenstand sortiert. Die Differenz der jeweils gemessenen Leistung in kW war dann auf die Sonnenschutzwirkung der Komponente für diesen Einfallswinkel zurückzuführen.



[Abb. 1.58_1]
*Kollektorfassade (re.) und
Lamellenraffstore (li.)*

Testraum A

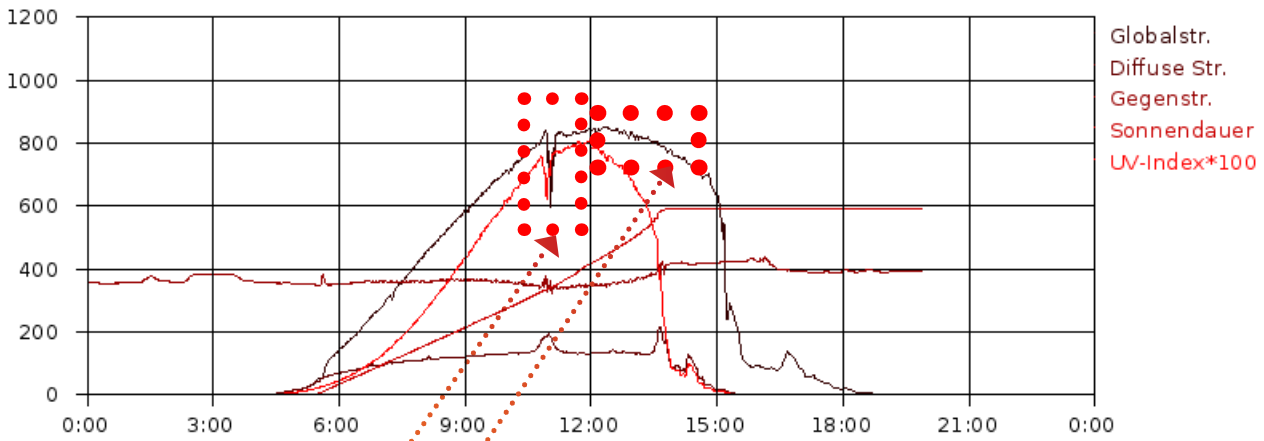
mit konventionellem Sonnenschutz
(Jalousie mit 80 mm Lamellentiefe)
und
ohne konventionellem Sonnenschutz

Testraum B

Kollektorfelder
CPC 12 - 38%,
CPC 12 - 19%



[Abb. 1.58_2]
*Kollektorfassade und
Lamellenraffstore*

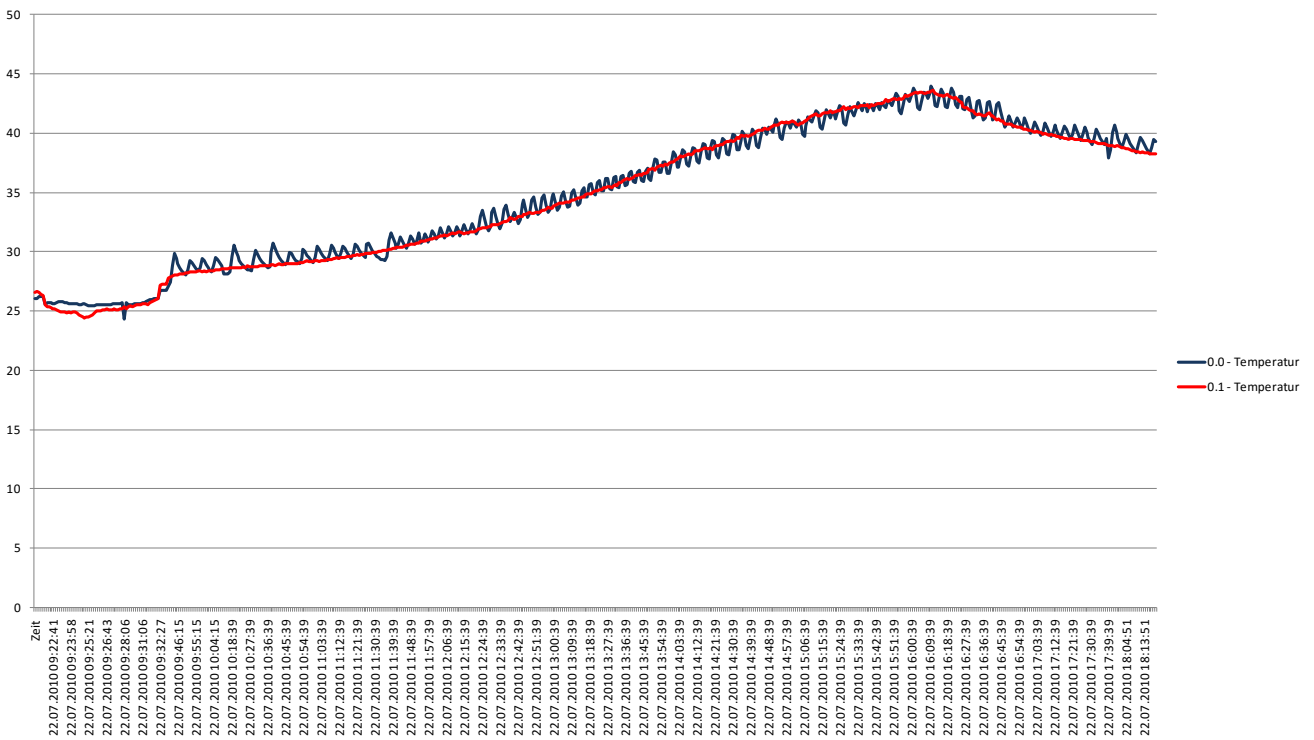


[Fig. 1.59_1]

Strahlungsdiagramm

Strahlungsabfall (z.B. Bewölkung)

Zeiträumen der Energieermittlung
ca. 2h



[Fig. 1.59_2]

Temperaturverlauf der Testzellen

Temperaturverhalten der Testräume.
Der Testraum A (Rot) erfährt eine Erwärmung mittels solaren Energieeintrages in einem linearen Prozess. Durch Messungen im Minutentakt konnte parallel Wärme mittels eines Heizlüfters zugeführt werden. Daher ergab sich in Blau eine stete Angleichung an den Temperaturverlauf des Raumes A.



[Abb. 1.60_1] **Messtechnikerfassung.**

Die Messtechnik erfasst im Minutentakt folgende Messstellen: Lufttemperaturen der Testzellen, Vorraum, Außentemperatur, Globalstrahlung, diffuse Strahlung, Windrichtung und -geschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit außen und in den Messräumen, Beleuchtungsstärken innen und außen. Genauer wurden diese auf den vorangegangenen Seiten erläutert.

Stellt sich ein Temperaturunterschied aufgrund solaren Energieeintrags der Fassade zwischen Testraum A und B ein, gibt die rechnerunterstützte Anwendung ein Signal an den Relaisadapter weiter ab.



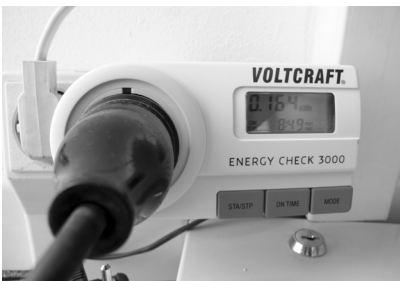
[Abb. 1.60_2] **Relaisadapter**

Das von der Messtechnikerfassungssoftware vermittelte Signal wurde im Relaisadapter verwaltet, dieser gab unter einer vergrößerten Spannung ein Signal an den Heizlüfter im Testraum B weiter, welcher sich einschaltete.



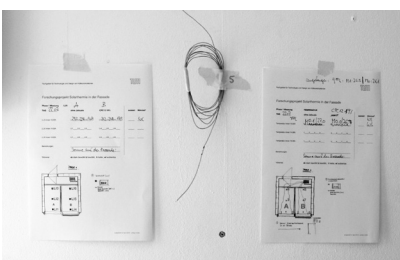
[Abb. 1.60_3] **Heizlüfter**

Im Testraum A stellt sich durch den Energieeintrag der solaren Strahlung eine Erwärmung des Raumes ein, welche durch die Absorption des antrazitfarbenen Bodens unterstützt wurde. Der Heizlüfter in Testraum B heizte diese Erwärmung nach bis sich die Temperaturdifferenz der beiden Räume nivellierte. Der Heizlüfter war an ein Energieerfassungsgerät angeschlossen.



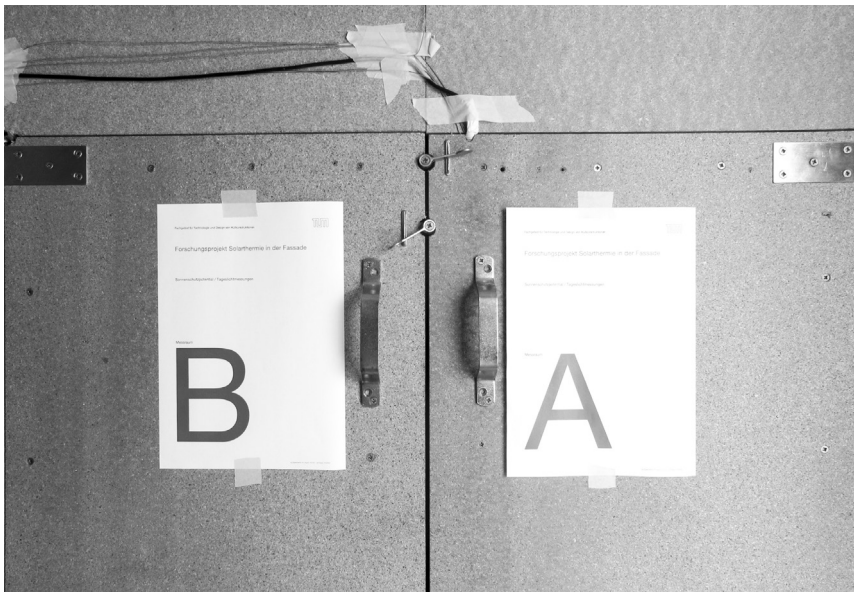
[Abb. 1.60_4] **Energieerfassungsgerät**

Das Energieerfassungsgerät ermittelt den vom Heizlüfter verbrauchten Energieverbrauch. Dieser konnte durch den Wirkungsgrad des Heizlüfters genauer ermittelt werden.



[Abb. 1.60_5] **Dokumentation.**

Alle wichtigen Daten werden parallel zu der von der rechnerunterstützten Anwendung gespeicherten Datenerfassung manuell dokumentiert.



[Abb. 1.61_1]
zu vermessende Technikräume A
und B

Messzelle A: ohne Kollektorfeld
ohne Jalousie
mit Jalousie*

Messzelle B: mit Kollektorfeld
CPC 12 - 38 % Perforation
CPC 12 - 19 % Perforation

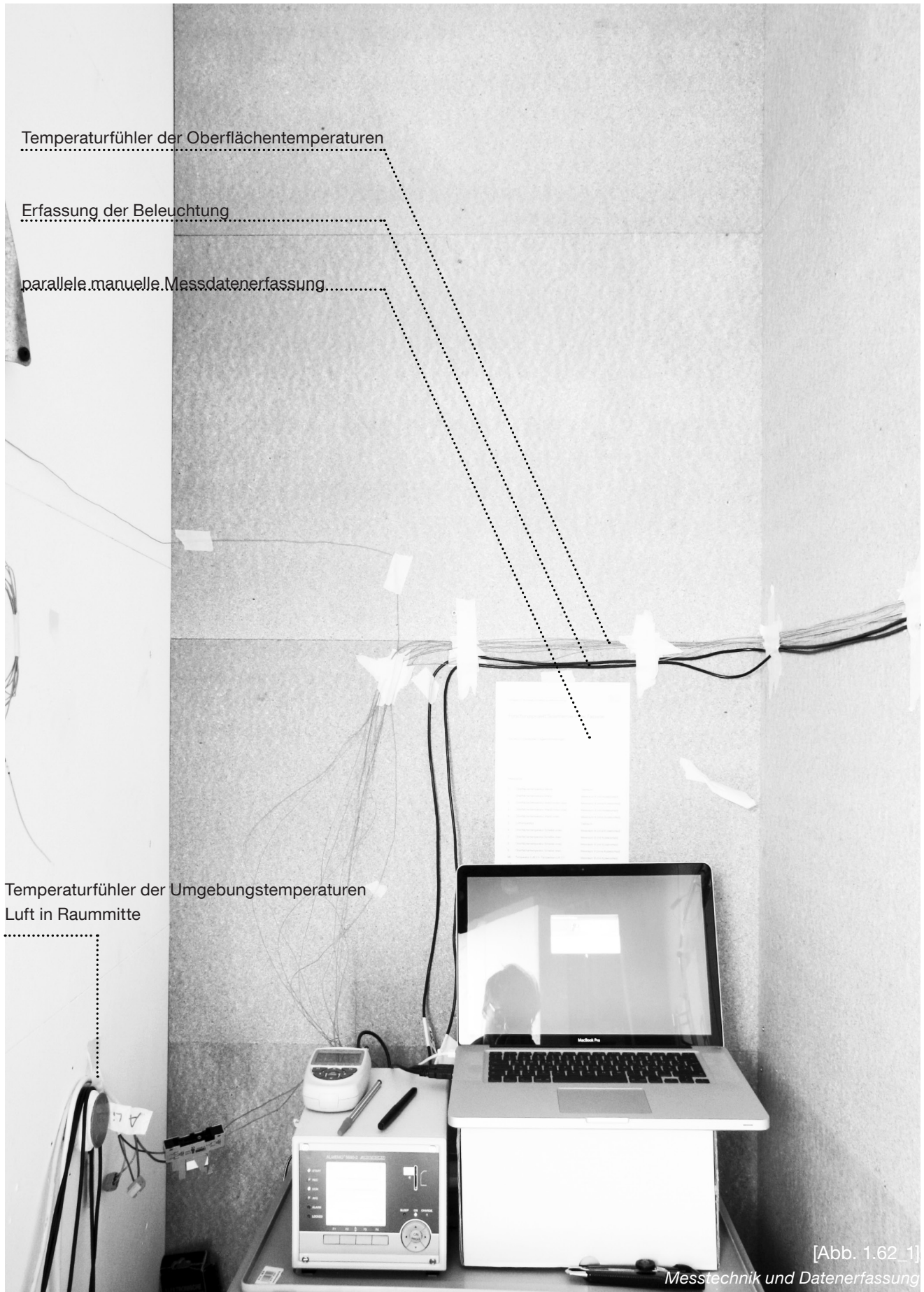
* Lamellen wurden entsprechend
dem Lichttransmissionsgrad des
Kollektors gedreht um einen ver-
gleichbaren Transmissionsgrad zu
erzielen.



[Abb. 1.61_2]
Messstelle der Beleuchtungsstärke
und der Raumtemperatur/Luftfeuch-
tigkeit und der Mitte des Raumes.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	22.07.2003 09:01:40	24,61	26,30	0,57	5,9	49,4	2015	1718	1279	145	200	142	28,2	26,7	28,6	27,9	27,2	25	29,9	25,8	27,1	1
2	22.07.2003 09:01:51	24,64	26,45	0,63	52,9	49,5	2015	1718	1279	145	200	142	28,2	26,7	28,6	27,9	28,5	26,9	26,9	25,8	27,1	1
3	22.07.2003 09:02:02	24,65	26,46	0,79	52,1	49,6	2011	1709	1284	145	201	144	28,2	26,8	28,6	27,9	27,8	26,8	26,8	25,8	27,1	1
4	22.07.2003 09:02:13	24,62	26,4	0,18	52,2	49,9	2008	1723	1283	145	201	144	28,2	26,8	28,7	27,9	27,8	25,5	26,7	25,8	27,1	1
5	22.07.2003 09:02:24	24,61	26,34	0,13	52,2	50,3	2005	1724	1283	145	201	144	28,2	26,8	28,6	27,9	27,8	25,7	26,7	25,8	27,1	1
6	22.07.2003 09:02:35	24,54	26,33	0,05	54,4	52,7	2008	1748	1288	145	206	145	28,2	26,9	28,5	28,1	27,5	26,7	26,1	25,5	26,7	0
7	22.07.2003 09:02:46	24,57	26,3	0,25	55,9	53,5	2114	1779	1275	149	220	144	27	26,3	27,9	27,4	26,6	24,7	25,8	25,5	26,6	0
8	22.07.2003 09:02:57	24,72	26,4	0,52	53,7	53,7	2117	1781	1277	149	222	144	27	26,3	28	27,4	26,6	24,6	25,9	25,5	26,6	0
9	22.07.2003 09:03:08	24,66	26,29	0,37	53,7	53,7	2108	1771	1265	149	222	144	26,9	26,2	27,9	27,4	26,6	24,2	25,8	25,5	26,5	0
10	22.07.2003 09:03:19	24,65	26,2	0,43	53,8	53,7	2110	1773	1266	149	222	144	26,9	26,3	27,9	27,4	26,5	24,1	25,8	25,5	26,5	0
11	22.07.2003 09:03:30	24,64	26,15	0,49	53,8	54	2120	1785	1279	171	233	145	26,9	26,3	27,9	27,4	26,5	24,2	25,8	25,5	26,5	0
12	22.07.2003 09:03:41	24,79	26,07	0,66	53,6	54,9	2122	1795	1277	171	233	145	26,8	26,3	27,8	27,4	26,5	24,1	25,8	25,5	26,5	0
13	22.07.2003 09:03:52	24,76	26,06	0,8	53,4	54,5	2122	1786	1279	171	233	145	26,8	26,3	27,8	27,4	26,5	23,7	25,7	25,5	26,5	0
14	22.07.2003 09:04:03	24,76	26,06	0,8	53,4	54,5	2122	1786	1279	171	233	145	26,8	26,3	27,8	27,4	26,5	23,7	25,7	25,5	26,5	0
15	22.07.2003 09:04:14	24,76	26,06	0,8	53,4	54,5	2122	1786	1279	171	233	145	26,8	26,3	27,8	27,4	26,5	23,7	25,7	25,5	26,5	0
16	22.07.2003 09:04:25	24,76	26,06	0,8	53,4	54,5	2122	1786	1279	171	233	145	26,8	26,3	27,8	27,4	26,5	23,7	25,7	25,5	26,5	0
17	22.07.2003 09:04:36	24,76	26,06	0,8	53,4	54,5	2122	1786	1279	171	233	145	26,8	26,3	27,8	27,4	26,5	23,7	25,7	25,5	26,5	0
18	22.07.2003 09:04:47	24,68	24,87	0,61	53,5	54,8	2119	1783	1268	149	225	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
19	22.07.2003 09:04:58	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
20	22.07.2003 09:05:09	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
21	22.07.2003 09:05:20	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
22	22.07.2003 09:05:31	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
23	22.07.2003 09:05:42	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
24	22.07.2003 09:05:53	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
25	22.07.2003 09:06:04	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
26	22.07.2003 09:06:15	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
27	22.07.2003 09:06:26	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
28	22.07.2003 09:06:37	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
29	22.07.2003 09:06:48	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
30	22.07.2003 09:06:59	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
31	22.07.2003 09:07:10	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
32	22.07.2003 09:07:21	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
33	22.07.2003 09:07:32	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
34	22.07.2003 09:07:43	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
35	22.07.2003 09:07:54	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
36	22.07.2003 09:08:05	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
37	22.07.2003 09:08:16	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
38	22.07.2003 09:08:27	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
39	22.07.2003 09:08:38	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
40	22.07.2003 09:08:49	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
41	22.07.2003 09:09:00	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
42	22.07.2003 09:09:11	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
43	22.07.2003 09:09:22	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
44	22.07.2003 09:09:33	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
45	22.07.2003 09:09:44	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0
46	22.07.2003 09:09:55	24,63	24,86	0,76	53,5	54,7	2127	1790	1268	171	233	145	26,7	26,2	27,7	27,4	26,1	24,1	25,6	24,9	26,4	0

[Abb. 1.61_3]
digital dokumentierte
Datenerfassung. Auf der Basis einer
Taktung von 60 Sekunden wurden
die o. g. Messwerte dokumentiert.



Testraum A

Unverschattetes Fassadenelement
oder
Fassadenelement
mit konventionellem
Sonnenschutz



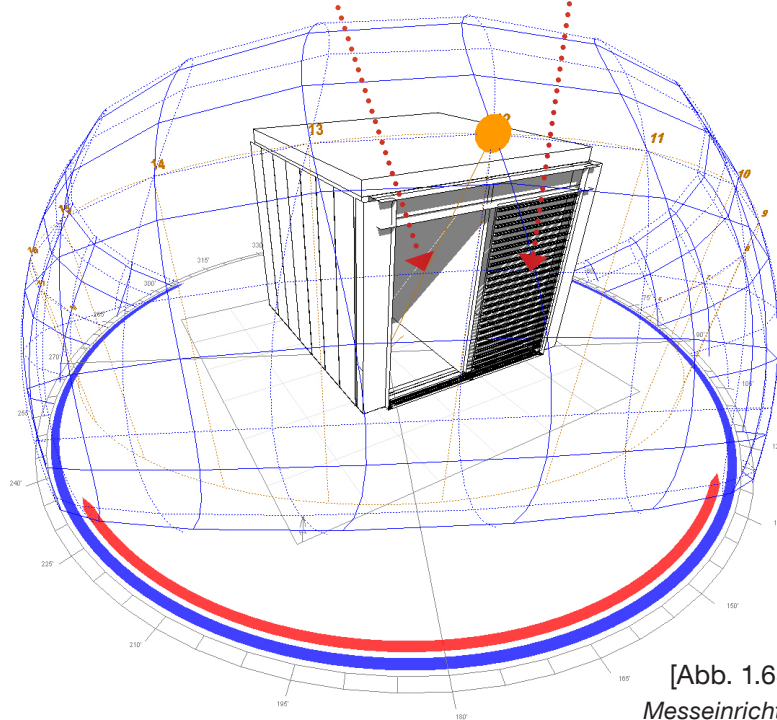
Testraum B

Kollektorfeld CPC

12 - 19 %

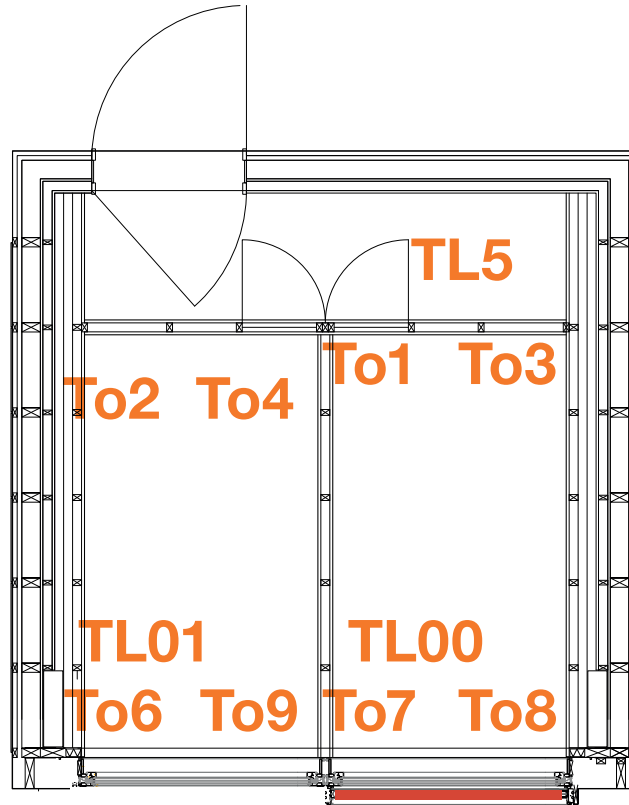
12 - 38 %

Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtsprojektion der effektiven Öffnung des jeweils zu vergleichenden Fassadenkollektors.



[Abb. 1.63_1]
Messeinrichtung

To - Oberflächentemperatur
 TL - Lufttemperatur



[Abb. 1.64]
 Sensorenverteilung
 in der Messeinrichtung

Temperaturverhalten,
Messraum A (ohne Kollektorfeld)

Temperaturverhalten,
Messraum B (mit Kollektorfeld)

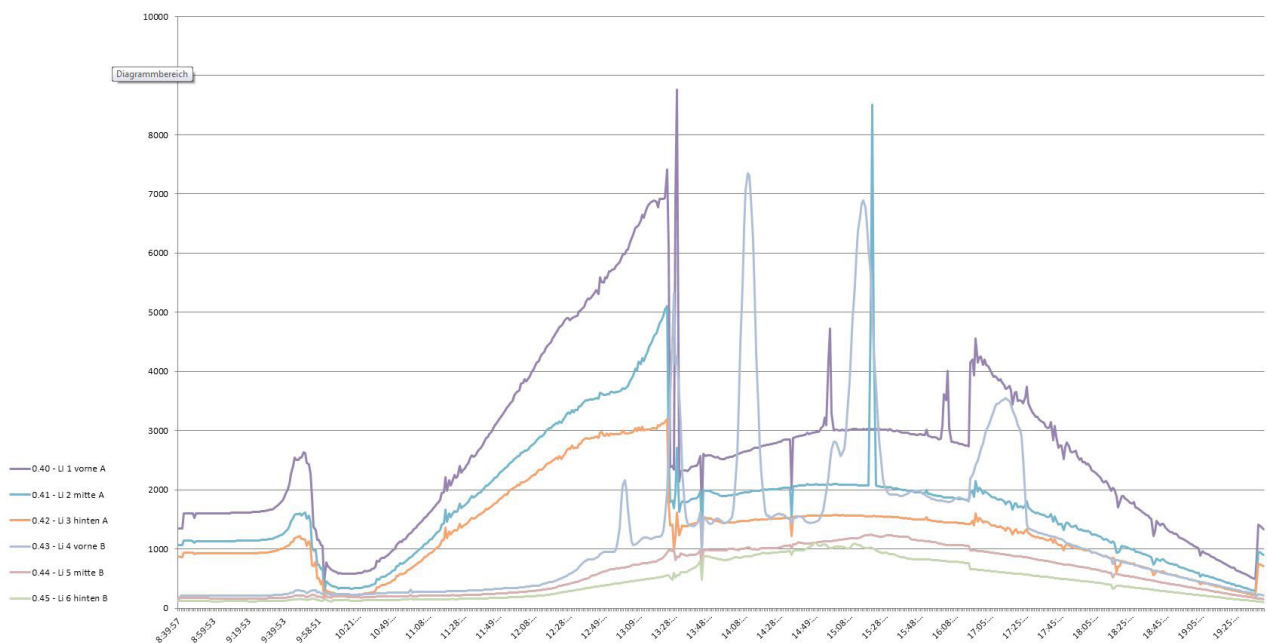
To2 Oberflächentemperatur Wand oben
 To4 Oberflächentemperatur Wand unten
 To6 Oberflächentemperatur Scheibe unten
 To9 Oberflächentemperatur Scheibe oben
 TL01 Lufttemperatur in Raummitte

To1 Oberflächentemperatur Wand unten
 To3 Oberflächentemperatur Wand oben
 To 7 Oberflächentemperatur Scheibe oben
 To 8 Oberflächentemperatur Scheibe unten
 TL00 Lufttemperatur in Raummitte

Die oben gezeigte Grafik zeigt die Messpunkte der beiden Raumhälften. TL bezeichnet einen Messfühler, der die Lufttemperatur misst, To bezeichnet einen Messfühler, der die Temperaturen der raumbegrenzenden Oberflächen aufnimmt. Somit kann das gesamte Temperaturverhalten eines Testraumes verfolgt werden.

Messstelle	Kommentar	Einheit	Sensor	GW-Min	GW-Max
0.0	Temperatur	°C	DIGI		
0.1	Temperatur	°C	DIGI		
0.9		°C	Diff		
0.10	Feuchte	%H	DIGI		
0.11	Feuchte	%H	DIGI		
0.40	Li 1 vorne A	Lx	D260		
0.41	Li 2 mitte A	Lx	D260		
0.42	Li 3 hinten A	Lx	D260		
0.43	Li 4 vorne B	Lx	D260		
0.44	Li 5 mitte B	Lx	D260		
0.45	Li 6 hinten B	Lx	D260		
0.80	Temp multi 0	°C	NiCr		
0.81	Temp multi 1	°C	NiCr		
0.82	Temp multi 2	°C	NiCr		
0.83	Temp multi 3	°C	NiCr		
0.84	Temp multi 4	°C	NiCr		
0.85	Temp multi 5	°C	NiCr		
0.86	Temp multi 6	°C	NiCr		
0.88	Temp multi 8	°C	NiCr		
0.89	Temp multi 9	°C	NiCr		
80.0	Schaltbedingung		<Rk>		

[Fig. 1.65_1]
Messdatenerhebung aus dem
Datenlogger



[Fig. 1.65_1]
Visualisierung der Messdaten.
Hier Beleuchtungsstärken auf der
Arbeitsplatzoberfläche

Phasen der Messungen
zum visuellen Komfort

Die Messungen setzen sich aus drei Messvorgängen zusammen:

- Parallele lichttechnische Begleitung der thermischen Messungen
- Tageslichtqualität im Innenraum
- Auswirkungen der Schattenwürfe in Schlagschatten und Schattengradienten.

Parallele lichttechnische Begleitung der Messungen zum thermischen Komfort

Parallel zu den Messungen des Temperaturverhaltens der Räume werden die Lichtverhältnisse der Testräume untersucht und dokumentiert.

In drei Phasen werden die Unterschiede zwischen Testraum A und Testraum B vermessen. Testraum A wurde dann sukzessiv mit und ohne konventionellem Sonnenschutz vermessen. Als Sonnenschutz wurde eine Jalousie mit 80mm Lamellentiefe verwendet. Parallel dazu wird bei identischen Bedingungen der Testraum B vermessen. Dieser wurde dann sukzessiv mit den Kollektorfeldern CPC 12 - 38 %, CPC 12 - 19 % und OEM Bestückung lichttechnisch vermessen.

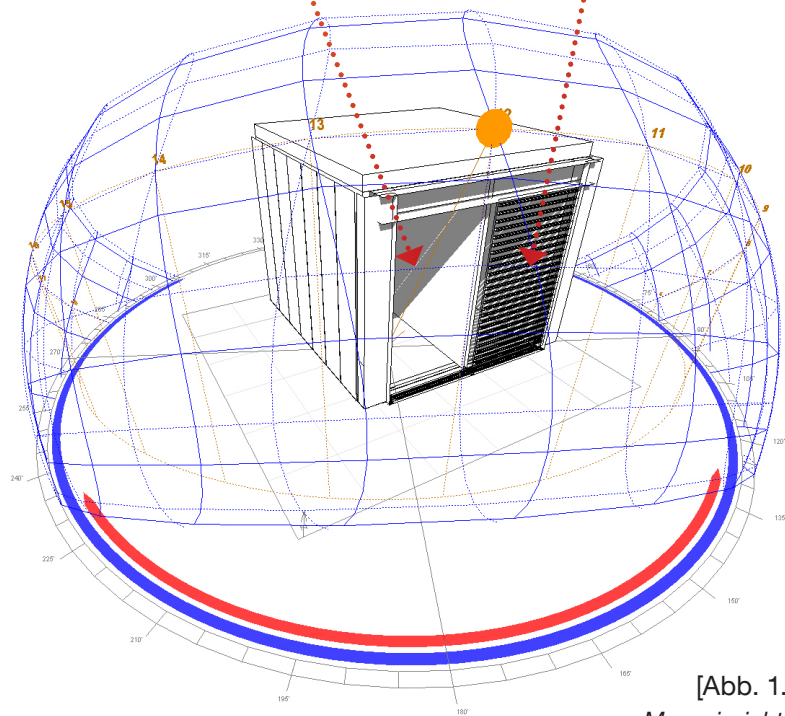
Testraum A

unverschattetes Fassadenelement
oder
Fassadenelement mit konventionellem Sonnenschutz

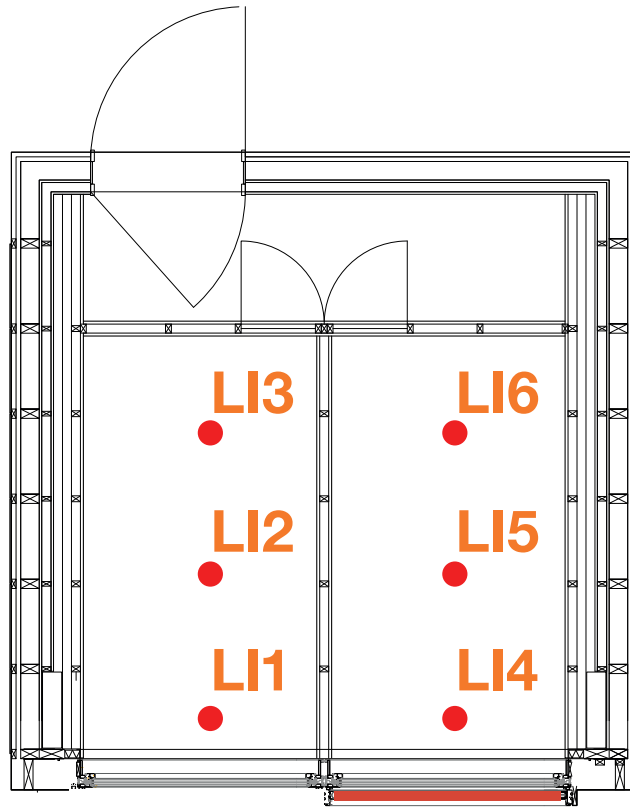
Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtprojektion der effektiven Öffnung des jeweils zu vergleichenden Fassadenkollektors.

Testraum B

Kollektorfeld CPC
12 - 19%
12 - 38%



[Abb. 1.66]
Messeinrichtung



[Abb. 1.67]
 Sensorverteilung in
 der Messeinrichtung

Beleuchtungsstärke,
Messraum A (ohne Kollektorfeld)

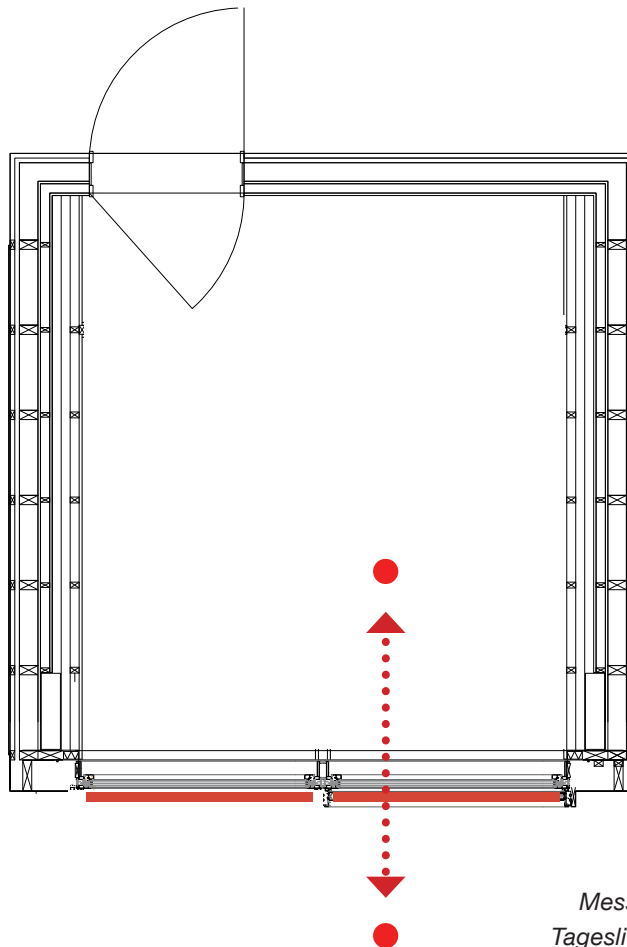
- LI 1 Beleuchtungsstärke an der Fassade in LUX
- LI 2 Beleuchtungsstärke in 1,25 m Raumtiefe in LUX
- LI 3 Beleuchtungsstärke in 2,75 m Raumtiefe LUX

Beleuchtungsstärke,
Messraum B (mit Kollektorfeld)

- LI 4 Beleuchtungsstärke an der Fassade in LUX
- LI 5 Beleuchtungsstärke in 1,25 m Raumtiefe in LUX
- LI 6 Beleuchtungsstärke in 2,75 m Raumtiefe LUX

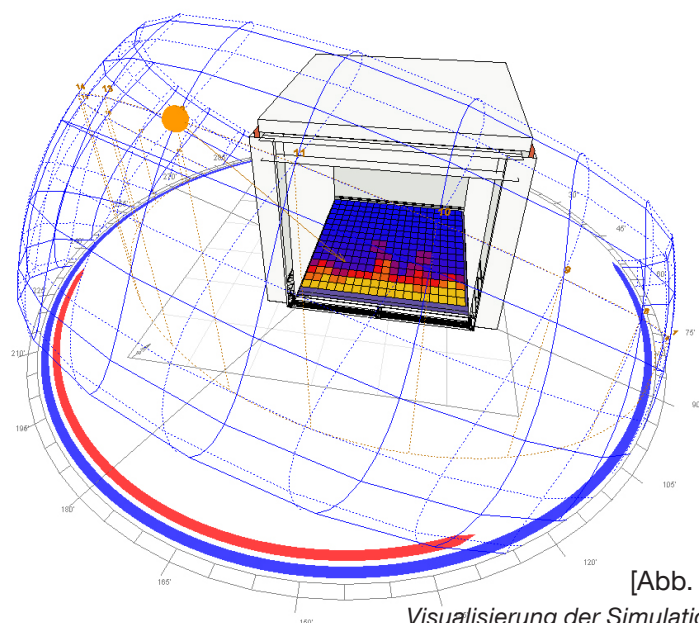
Tageslichtqualität im Innenraum

Die weiteren Untersuchungen der Auswirkungen der Fassade auf den Innenraum wurden später unabhängig von den Messungen zum Sonnenschutzpotential durchgeführt. Hierfür wurde die Trennwand in der Messeinrichtung entfernt und für Messungen zur Ermittlung der Tageslichtkoeffizienten Sensoren für Beleuchtungsstärke und Leuchtdichteverteilung im Raum verteilt und auf einer Arbeitstischfläche, dem „Sehfeld“ installiert. Es wurde so das Niveau der inneren Beleuchtungsstärke in Relation zu äußerer horizontaler Beleuchtungsstärke in unverschatteter Lage an einem bedeckten Tag gemessen.



[Abb. 1.68_1]
Messeinrichtung zu den
Tageslichtuntersuchungen

Im Vorfeld der Messungen wurden Simulationen zur Abschätzung des Tageslichtquotienten durchgeführt. Diese ergaben nur sehr unpräzise Richtwerte des Tageslichtquotienten von ca. 1-6. Genauere Werte ergaben dann die In-Situ-Messungen am Messcontainer.



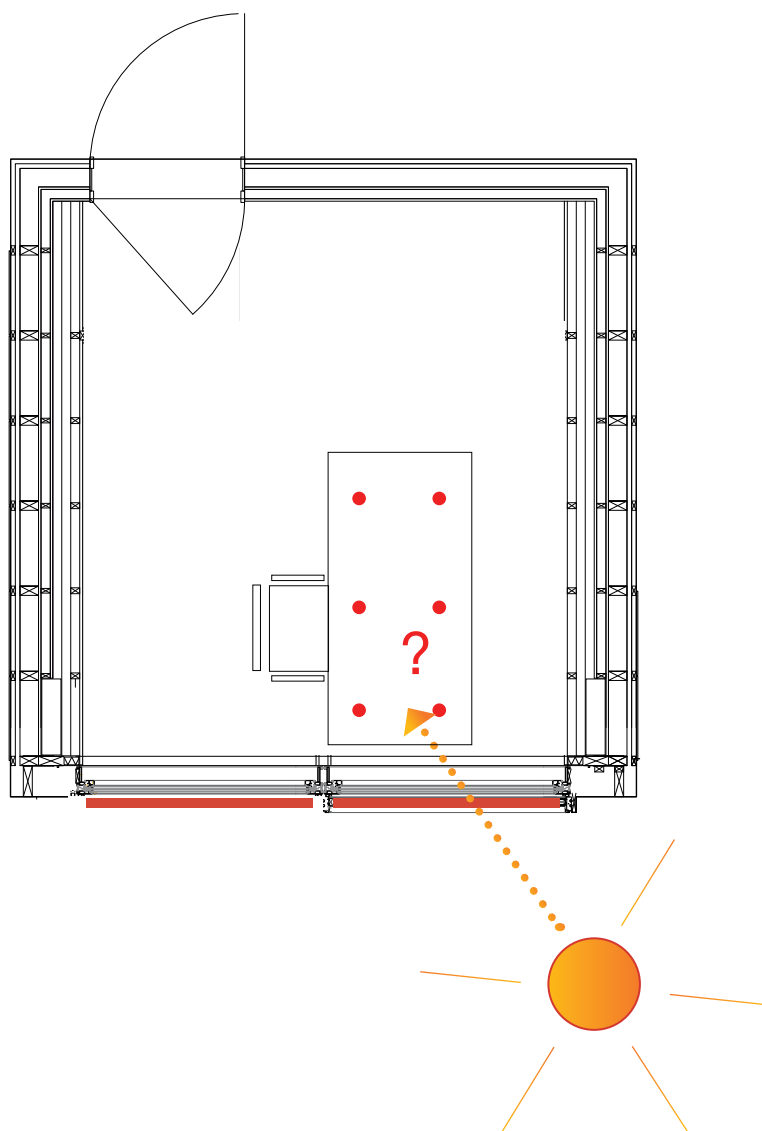
[Abb. 1.68_2]
Visualisierung der Simulationen zur
Abschätzung des
Tageslichtquotienten

Auswirkungen der Schattenwürfe in Schlagschatten und Schattengradienten

Die Untersuchungen der Fassade auf den Innenraum konzentrierten sich vorwiegend auf die Leuchtdichteunterschiede im näheren Umfeld eines potentiellen Arbeitsplatzes, also im Sehfeld und im ferneren Umfeld, der Innenseite der Fassade und den Raumumfassungswänden.

Die Messungen wurden vorwiegend an Tagen mit hohen Global- und Direktstrahlungsanteilen gemessen.

Bei den Messungen wurden vorwiegend zwei Betrachtungssysteme untersucht: Das Sehfeld der näheren Umgebung, bei dem die Schreibtischoberfläche untersucht wurde sowie der weiteren Umgebung, also Raumumfassungswände und Fassadenfläche. Schwerpunkt der Untersuchungen war der Leuchtdichteunterschied zwischen dem sich abbildenden Streifenmuster hinter der Fassade.



[Abb. 1.69]
*Sensorverteilung in
der Messeinrichtung
bei Tageslichtuntersuchungen*



Forschungsprojekt Solarthermie in der Fassade

Phase 1 Messung **Beleuchtungsstärke in LUX**

O ohne Jalousie
O mit Jalousie****

Kollektorfeld:

O CPC 12 - 38%
O CPC 12 - 38%
O OEM 21

TAG _____ **Beginn der Messung** ____:____h

UHRZEIT	A			B			Strahlung	Himmel***
	Li1	Li2	Li3	Li4	Li5	Li6		
10.00h	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
14.00h	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
18.00h	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____

Bemerkungen: _____

****: gemessen in Fassadenhöhe, vor der Fassadenebene

***Himmel **sb** stark bewölkt **b** bewölkt, **h** heiter, **wl** wolkenlos
 ***** mit Jalousie: Lamellen werden entsprechend des Lichttransmissionsgrades des Kollektors
 gedreht um einen vergleichbaren Transmissionsgrad zu erzielen.

aufgestellt im April 2010 - philipp molter

Begleitend zu den elektronischen Messdatenerfassungen wurden die Messergebnisse händisch aufgenommen und geprüft. oben: begleitendes Messprotokoll für die Tageslichtmessungen; rechts: begleitendes Messprotokoll zur Bestimmung des thermischen Verhaltens der Messräume;

[Abb. 1.70]
 Messprotokoll zur begleitenden Mitschrift der Messungen zum visuellen Komfort

Forschungsprojekt Solarthermie in der Fassade

Phase 1 Messung TEMPERATUR mit Nachheizen

ohne Jalousie
 mit Jalousie****

Kollektorfeld:

CPC 12 - 38%
 CPC 12 - 38%
 OEM 21

TAG _____ Beginn der Messung ____:____h

UHRZEIT	Energieverbrauch	T innen*	T aussen**	Himmel***
10.00h	_____Kwh	_____°C	_____°C	_____
14.00h	_____Kwh	_____°C	_____°C	_____
18.00h	_____Kwh	_____°C	_____°C	_____

Bemerkungen: _____

*T innen: mittlere Raumtemperatur beider Räume. Durch konstantes Nachheizen werden die Räume auf einem identischen Temperaturniveau gehalten. gemessen jeweils in Raummitte.
 **T aussen: Aussentemperatur gemessen in Fassadenhöhe, vor der Fassadenebene

***Himmel **sb** stark bewölkt **b** bewölkt, **h** heiter, **wl** wolkenlos
 ***** mit Jalousie: Lamellen werden entsprechend des Lichttransmissionsgrades des Kollektors gedreht um einen vergleichbaren Transmissionsgrad zu erzielen.

aufgestellt im April 2010 - philipp molter

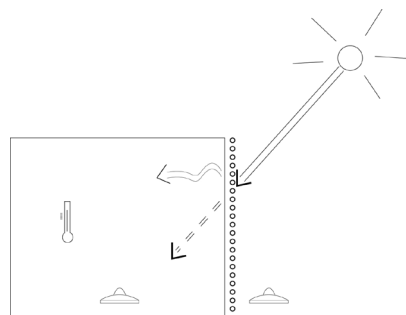
[Abb. 1.71]
 Messprotokoll zur begleitenden
 Mitschrift der Messungen zum
 thermischen Komfort



[Abb. 1.72]

Die eingebaute Testfassade mit
einem zu 19% perforiertem Spiegel..
Der effektive Lichtdurchlassgrad
beider Elemente liegt bei 13%

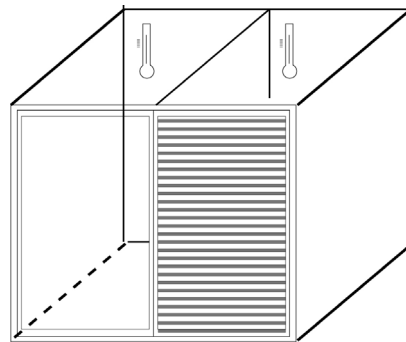
Messungen zur Bewertung des
Sonnenschutzpotentials einer
Fassadeneinheit



[Abb. 1.74_1]

*Schemaschnitt Darstellung der
Messkonzeption*

Vergleichendes Messverfahren:
Messungen zur Bewertung des
thermischen Verhaltens dahinter
liegender Räume



[Abb. 1.74_2]

*isometrische Darstellung
der Messkonzeption*

**Bewertung eines
Bausteins im
ganzheitlichen Kontext:**

**- Messungen zur
Evaluierung des
thermischen Komforts**

Messungen zum Sonnenschutzpotential

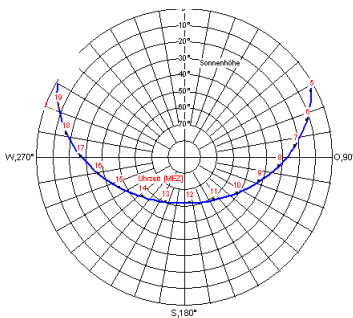
Phase 0
Messung ohne Nachheizen

Dem protokollarischen Messverfahren wurde eine erste Messung zur Veranschaulichung des Sonnenschutzpotentials eingeschaltet.

In der als „Phase 0“ bezeichneten Vergleichsmessung wurde das Kollektorfeld CPC 12 - 19 % mit einem unverschatteten Fassadenelement verglichen. An einem strahlungsintensiven Sommertag wurden die beiden Räume durch solare Einträge aufgeheizt und thermisch vermessen.

Tag 21.07.2010
Ort: München
(48°08'20“, 11°34'30“)
Sonnenaufgang*: 4.43h
Sonnenuntergang*: 20.16h
Sonnenhöchststand*: 12.30h
Globalstrahlung max. 943 W/m²
Temp. max. (30m Höhe) 32,72°C





[FLASS_2010_1]



[Fig. 1.76_2]
[FLASS_2010_1b]
Sonnenstandssdiagramm

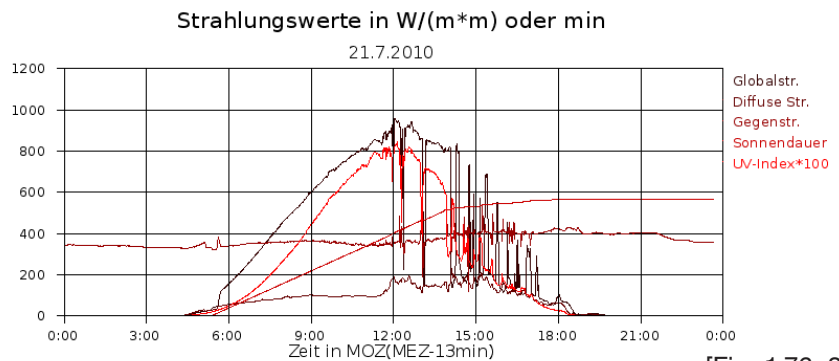
Sonnenschutzpotential

Phase 0 Messung ohne Nachheizen

	A	B	
	ohne Jalousie	CPC 12 19%	Himmel*
Temp innen 10.00h	24,30 °C	22,80°C	wl 
Temp innen 14.00h	32,23 °C	28,05°C	wl 
Temp innen 16.00h	38,82 °C	31,46°C	h 
Temp innen 18.00h	38,34°C	31,54°C	h-b 

[Fig. 1.76_1]

*Himmel sb stark bewölkt b bewölkt, h heiter, wl wolkenlos



[Fig. 1.76_3]
[METEO_2010_1]
Strahlungsdiagramm

Die Messung dieses Versuchsaufbaus ohne Nachheizen soll eine fühlbare Größenordnung vermitteln, wie sehr sich der Energieeintrag durch ein vorgeschaltetes Kollektorfeld verringerte. Es muss hier in besonderem Maße darauf hingewiesen werden, dass es sich bei dieser Messung um keine absolute Größe handelt, die bei einer genaueren Quantifizierung und Qualifizierung in eine Ergebnisbewertung einfließen werden.

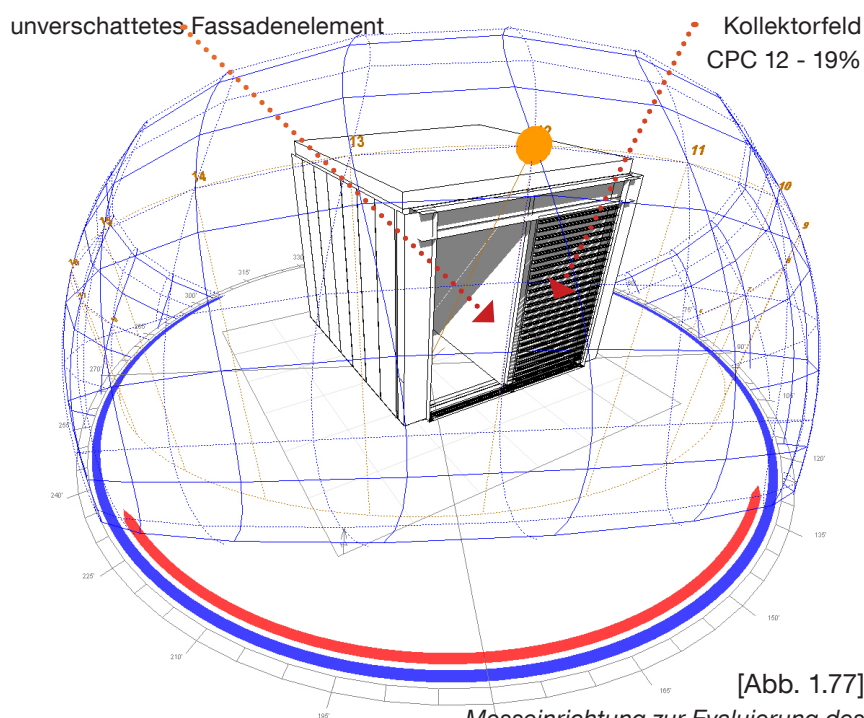
Zugrunde lag ein strahlungsinintensiver Sommertag (21.07.2010), dessen Messdatenerfassung um 08.00 h begann. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Testräume durch Nachtauskühlung eine mittlere Raumlufttemperatur von 22,23°C (Testraum A) und 21,45°C (Testraum B).

Um 8.00h lag die Globalstrahlung bei 513 W/m²

Messungen der vorangegangenen Tage erbrachten, dass die mittleren Raumlufttemperaturen am frühen Morgen nach Nachtauskühlung im Testraum A (ohne vorgeschaltetes Kollektorfeld) immer um 1,5 bis 2,3°C höher lagen als die des Testraumes B. Über den Gesamtverlauf des Tages herrschten hohe Globalstrahlungswerte mit einem Spitzenwert von 948W/m². Die zu anfangs gemessenen 513W/m² um 8.00 h führten zu einer Erwärmung beider Testräume. Da die Starttemperatur des Messraumes B wie erwähnt zu Messbeginn (8.00 h) niedriger lag als die des Messraumes A, erwärmte sich dieser zunächst ohne direkte Sonnenbestrahlung im Verhältnis schneller. Dies änderte sich aber sobald sich die beiden Testräume im Temperaturverlauf angeglichen hatten. Dann stieg

Testraum A

Testraum B



[Abb. 1.77]
Messeinrichtung zur Evaluierung des thermischen Komforts

der Temperaturverlauf des Messraumes ohne Verschattungselement deutlich stärker an.

Bei direkter Bestrahlung der Fassadenflächen ab ca. 10.38h beschleunigte sich diese Temperaturerhöhung stark.

Zwischen 10.00h und 14.00h betragen die jeweiligen Winkel der Sonneneinstrahlung 10.00h: 57,3°, 12.00h: 60,5°, 14.00h: 47,4°.

Bei wolkenlosem Himmel stieg die Temperatur in Messraum A (unverschattet, ohne Kollektorfeld) um 7,90K von 24,30°C auf 32,23°C an. Im Vergleich dazu ergab sich im selben Zeitraum von 4h rund um den Sonnenhöchststand ein Temperaturanstieg um 5,2K von 22,80°C auf 28,05°C.

Ab 12.00h fiel die Globalstrahlung kontinuierlich ab und reduzierte sich bei leicht bewölktem Himmel auf 100 W/m². Dennoch stieg der Temperaturverlauf zwischen 14.00h: (47,4°) und 16.00h (28,4°) in Messraum A von 32,23°C auf 38,82°C um 6,62K wobei sich die Raumluft in Messraum B von 28,05°C auf 31,46°C um 3,46K erhöhte. (Die Werte in Klammern beschreiben den Winkel der Sonneneinstrahlung)

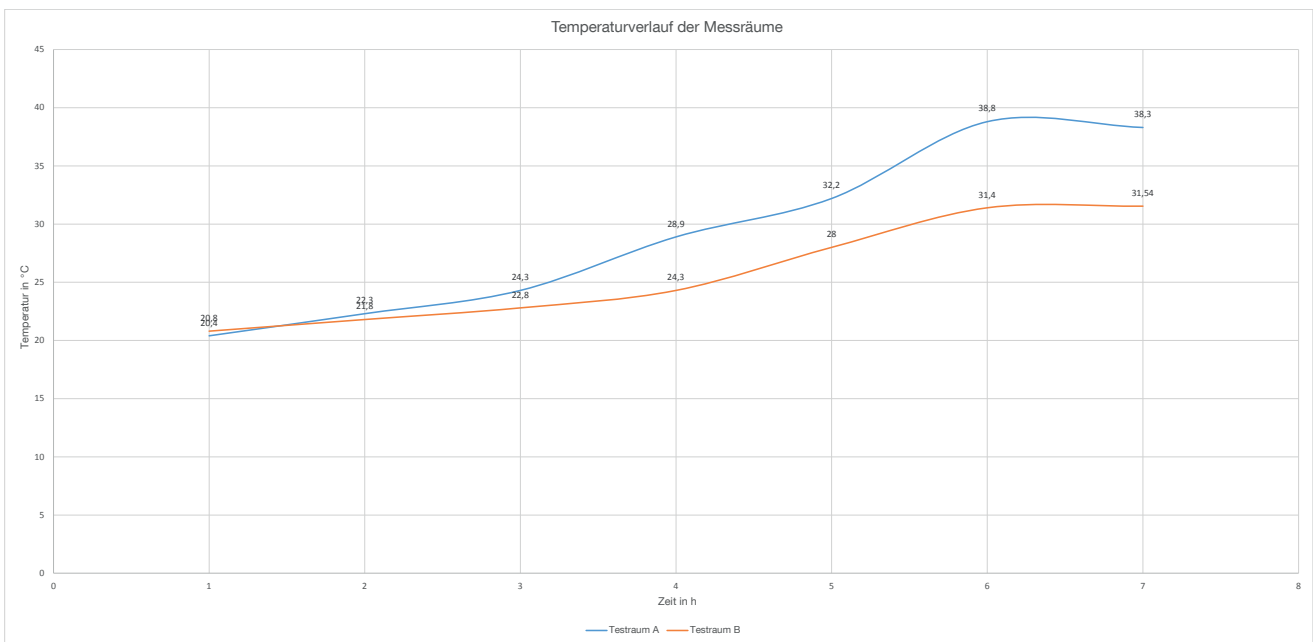
In den folgenden zwei Stunden fiel die Globalstrahlung deutlich (auf 522 W/m²) ab. Somit fiel ebenfalls die Temperatur des Messraumes A ab, da er sich mit 38,82°C um 16.00h auf einem hohen Temperaturniveau befand. Die Temperatur des Messraumes B stieg noch leicht weiter von 31,46°C auf 31,54°C nach. Dies ist auf die absorbierte Wärme des Fußbodens zurückzuführen, die nun weiter abgegeben wird, da die Lufttemperatur deutlich niedriger lag als die des Testraumes A.

Fazit:

Die durch unterschiedliche solare Einträge der gen Süden orientierten Fassaden generierte Temperaturdifferenz bezogen auf das Raumvolumen erreichte einen Maximalwert von 7,34 K.

Bei einem komplett wolkenlosen Tag hätte die Temperaturdifferenz sicher noch deutlicher ausfallen können, da bei direkter Sonneneinstrahlung sehr hohe Unterschiede festgestellt wurden. Die gemessene Differenz von 7,34 K um 16.00h zwischen 38,82°C in Testraum A und 31,46°C in Testraum B gilt als Anhaltspunkt eines Sonnenschutzpotentials gegenüber einer unverschatteten Fassade und ist bezogen auf den Testraum, den Winkel der Sonneneinstrahlung und die klimatischen Randbedingungen des Tages zu sehen.

Dieser Messwert ist für jeden Nutzer eine fühlbare Größe, die die Leistungsfähigkeit der Sonnenschutzkomponente im Fassadenkollektor auch ohne bauphysikalische Kenntnisse einordnen lässt, bietet aber im Gegenzug nur wenig wissenschaftliche Aussagekraft.



[Fig. 1.79_1]

Temperaturverlauf der Testzellen



[Abb. 1.79_2]

Innenraum der Testzelle B



[Abb. 1.79_3]

Innenraum der Testzelle A

Temperaturdifferenz bezogen auf das Raumvolumen erreichte einen Maximalwert von 7,34K

Phase 1
Messung mit Nachheizen
ohne Jalousie / CPC 12 - 19 %

Das protokollarische Messverfahren begann mit der Phase 1 als Dokumentation des Temperaturverhaltens des Testraumes A und paralleler Zuführung von Wärme mittels eines Heizlüfters.




In der als „Phase 1“ bezeichneten Vergleichsmessung wurden das Kollektorfeld CPC 12 - 19 % mit einem unverschatteten Fassadenelement verglichen. An einem strahlungsintensiven Sommertag wurden die beiden Räume durch solare Einträge aufgeheizt und thermisch vermessen.

Tag 22.07.2010
Ort: München
(48°08'20", 11°34'30")
Sonnenaufgang*: 4.44h
Sonnenuntergang*: 20.15h
Sonnenhöchststand*: 12.30h
Globalstrahlung max. 863 W/m²
Temp. max. (30m Höhe) 30,97°C

[FLASS_2010_2]

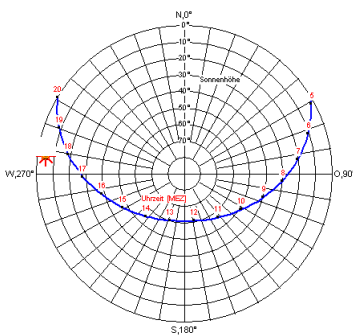
Sonnenschutzpotential

Phase 1 Messung mit Nachheizen und Energieermittlung

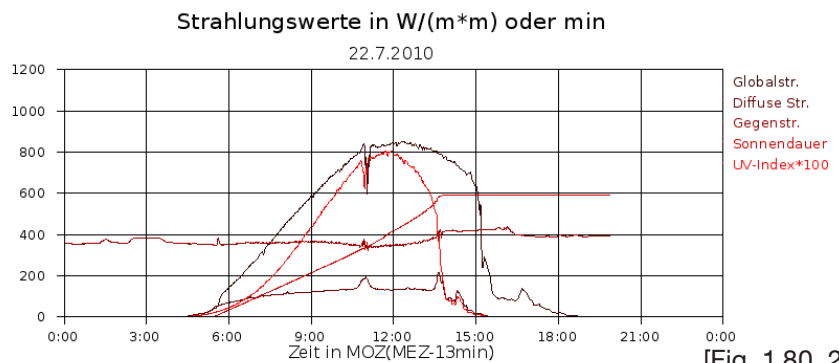
	A	B		Himmel*
	ohne Jalousie	CPC 12 - 19%		
Temp innen 10.00h	beide 27,00 °C	(nachgeheizt)	wl	
Temp innen 14.00h	beide 38,15°C	(nachgeheizt)	wl	
Temp innen 18.00h	beide 38,66°C	(nachgeheizt)	h-b	

*Himmel sb stark bewölkt b bewölkt, h heiter, wl wolkenlos

[Fig. 1.80_1]



[Fig. 1.80_2]
[FLASS_2010_2b]
Sonnenstandsdiagramm



[Fig. 1.80_2]
[METEO_2010_2]
Strahlungsdiagramm

Zugrunde lag ein strahlungsin-
tensiver Sommertag (22.07.2010),
dessen Messdatenerfassung
um 09.00 h begann. Zu diesem
Zeitpunkt hatten die Testräume
durch Nachtauskühlung eine
mittlere Raumlufthtemperatur
von 26,50°C (Testraum A) und
26,10°C (Testraum B).

Um 9.00h lag die Globalstrah-
lung bei 594 W/m²

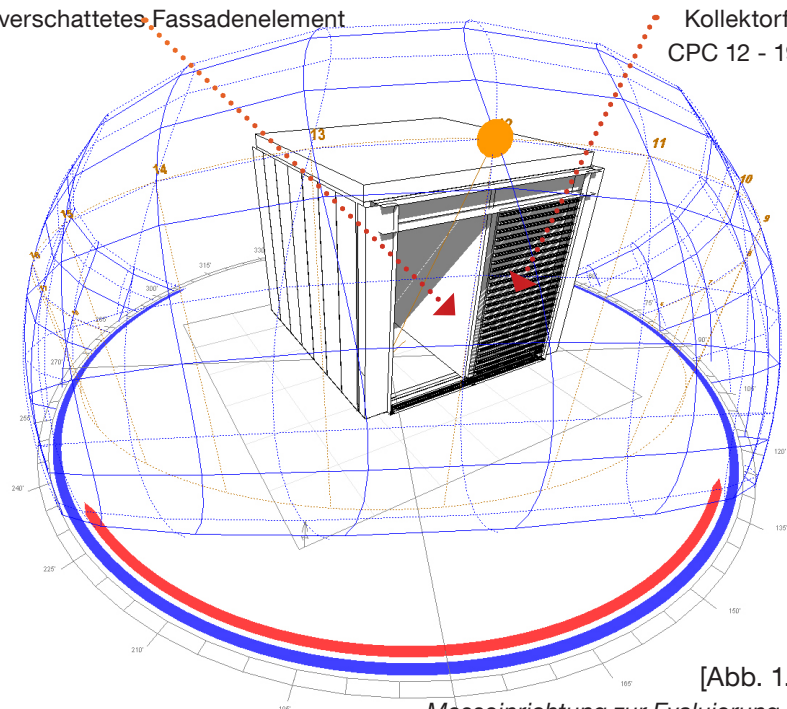
Messungen der vorangegan-
genen Tage erbrachten, dass
die mittleren Raumlufthtempera-
turen am frühen Morgen nach
Nachtauskühlung im Testraum
A (ohne vorgeschaltetes Kolle-
torfeld) immer um 1,5 bis 2,3°C
höher lagen als die des Testrau-
mes B. Über den Gesamtverlauf
des Tages herrschten hohe
Globalstrahlungswerte mit einem
Spitzenwert von 863W/m². Die zu
Anfangs gemessenen 594W/m²
um 9.00h führte zu einer Erwär-
mung des Testraumes A. Durch
Nachheizen des Testraumes B
glich sich der Temperaturverlauf
dem unverschatteten Nachbar-
raum an.

Testraum A

unverschattetes Fassadenelement

Testraum B

Kollektorfeld
CPC 12 - 19%



[Abb. 1.81]
Messanordnung zur Evaluierung des
thermischen Komforts

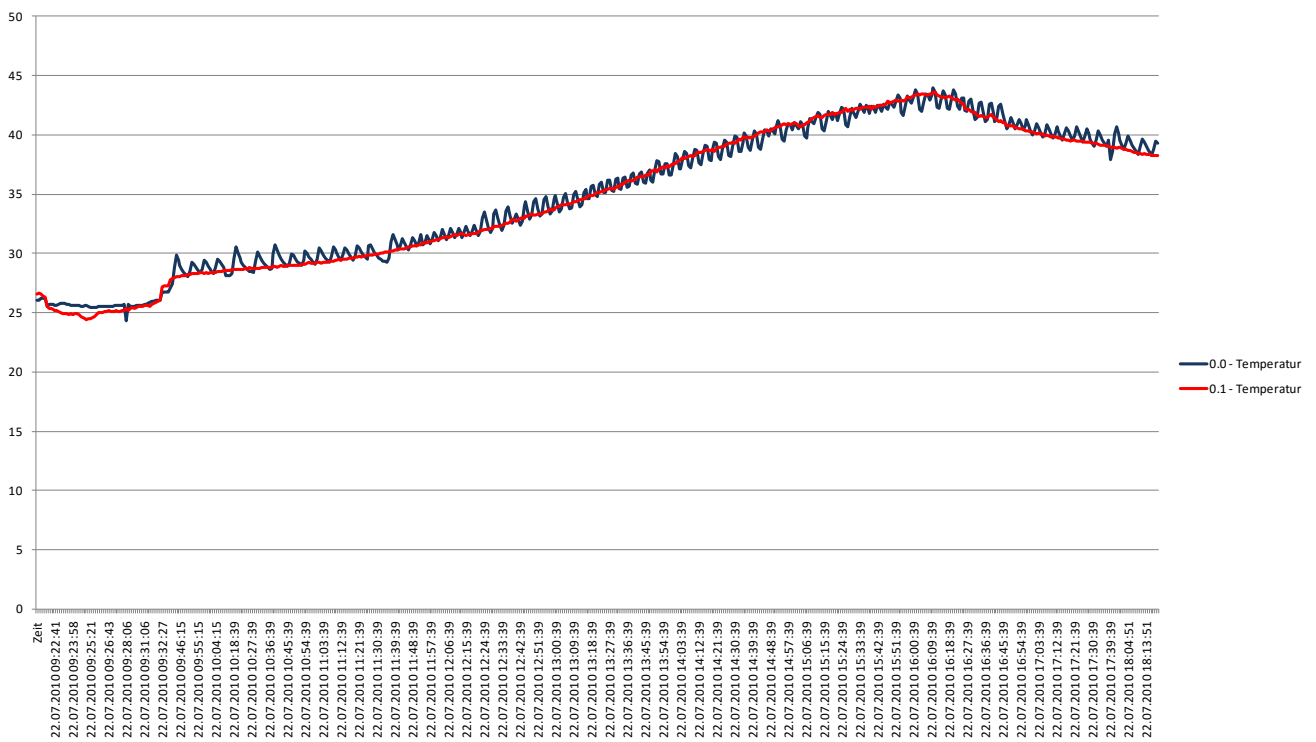
Bei direkter Bestrahlung der Fassadenflächen ab ca. 10.40 h beschleunigte sich die Temperaturerhöhung stark (siehe Grafik). Festzuhalten ist hierbei noch, dass vor Eintreffen einer direkten Strahlung bereits 0,12 kWh in den Testraum B nachgeführt wurden. Dies lässt auf den Energieeintrag durch diffuse Strahlung schließen. Die Betrachtungen jedoch richten sich auf die kombinierten Einträge direkter und diffuser Strahlung.

Bei wolkenlosem Himmel stieg die Temperatur um 16.11 h in Messraum A (unverschattet, ohne Kollektorfeld) auf 43,51°C an. Der Messraum B wurde dann thermisch nachgeführt.

Ab 15.20 h ließ die Globalstrahlung nach und reduzierte sich bei leicht bewölktem Himmel auf unter 200 W/m². Der Temperaturverlauf stieg zwischen 14.00h: und 16.00h in den Messräumen von 37,9°C auf 43,21°C um 5,31K. Für den Zeitraum von 15.40 h (41,32°) bis 17.40 h (21,49°) wurden 1304 kWh gemessen, woraus sich 652 kW Heizleistung ergeben. Bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 98 % lassen sich 638,96 W Sonnenschutzwirkung für einen Messzeitraum von zwei Stunden ermitteln.

Fazit:

So kann an einem strahlungreichen Sommertag eine Sonnenschutzwirkung des Kollektors CPC 12 mit 19 % Perforation des Spiegels von 638,96 W berechnet werden. Dies entspricht einem Sonnenschutzpotential von 156,03 W/m²



[Fig. 1.83]
Temperaturverlauf der Testzellen

Fassadenkollektorfeld
CPC 12 - 19%

Testraum ohne Verschattung des
Fassadenelements.



[Abb. 1.82_1]
Innenraum der Testzelle B



[Abb. 1.82_2]
Innenraum der Testzelle A

3820 Wh über einen strahlungsreichen Tag (9.00 h - 20.00 h)

Sonnenschutzwirkung CPC 12 mit 19 % Perforation des Spiegels
638,96 W (Messzeitraum 2h, Sonneneinstrahlungswinkel 41,32°-21,49°)

Der Testraum A (Rot) erfuhr eine Erwärmung mittels solaren Energieeintrags in einem linearen Prozess. In Blau stellt sich für den Testraum B eine stete Angleichung an den Temperaturverlauf des Raums A dar.

Phase 1
Messung mit Nachheizen
mit Jalousie* / CPC 12 - 19 %




In der als „Phase 1“ bezeichneten Vergleichsmessung wurde das Kollektorfeld CPC 12 - 19 % mit einem verschatteten, nicht nachgeführten Fassadenelement verglichen. Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtprojektion der effektiven Öffnung des Fassadenkollektors. Der effektive Lichtdurchlassgrad beider Elemente lag bei 13 %. An einem strahlungsintensiven Sommertag wurden die beiden Räume durch solare Einträge aufgeheizt und thermisch vermessen.

Tag 01.08.2010
Ort: München
(48°08'20", 11°34'30")
Sonnenaufgang*: 4.57h
Sonnenuntergang*: 20.02h
Sonnenhöchststand*: 12.30h
Globalstrahlung max. 815 W/m²
Temp. max. (30m Höhe) 29,94°C

[FLASS_2010_3]

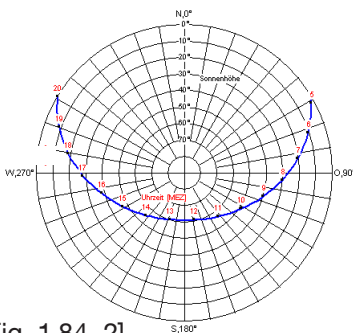
Sonnenschutzpotential

Phase 1 Messung mit Nachheizen und Energieermittlung

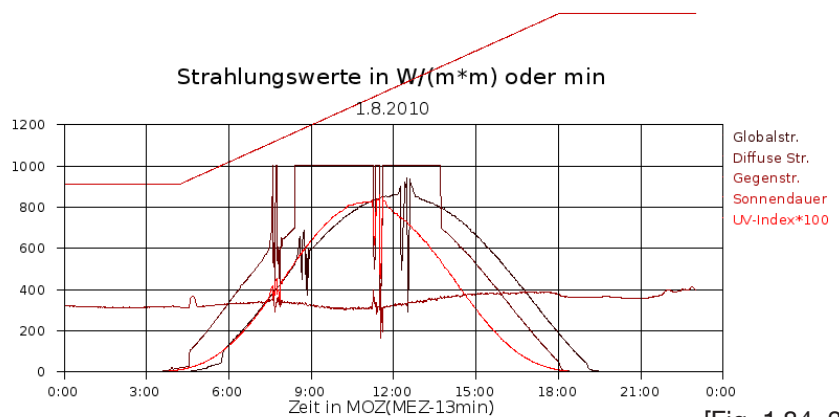
	A	B	
	mit Jalousie*	CPC 12 - 19%	
			Himmel*
Temp innen 10.00h	beide 22,60 °C (nachgeheizt)	wl	
Temp innen 14.00h	beide 29,00°C (nachgeheizt)	wl	
Temp innen 18.00h	beide 31,04°C (nachgeheizt)	wl	

[Fig. 1.84_1]

*Himmel sb stark bewölkt b bewölkt, h heiter, wl wolkenlos



[Fig. 1.84_2]
[FLASS_2010_3b]
Sonnenstandssdiagramm



[Fig. 1.84_3]
[METEO_2010_3]
Strahlungsdiagramm

Zugrunde lag ein strahlungsintensiver Sommertag (01.08.2010), dessen Messdatenerfassung um 08.30 h begann. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Testräume durch Nachtauskühlung eine mittlere Raumlufttemperatur von 20,80°C (Testraum A) und 20,82°C (Testraum B).

Um 9.00 h lag die Globalstrahlung bei 613 W/m²

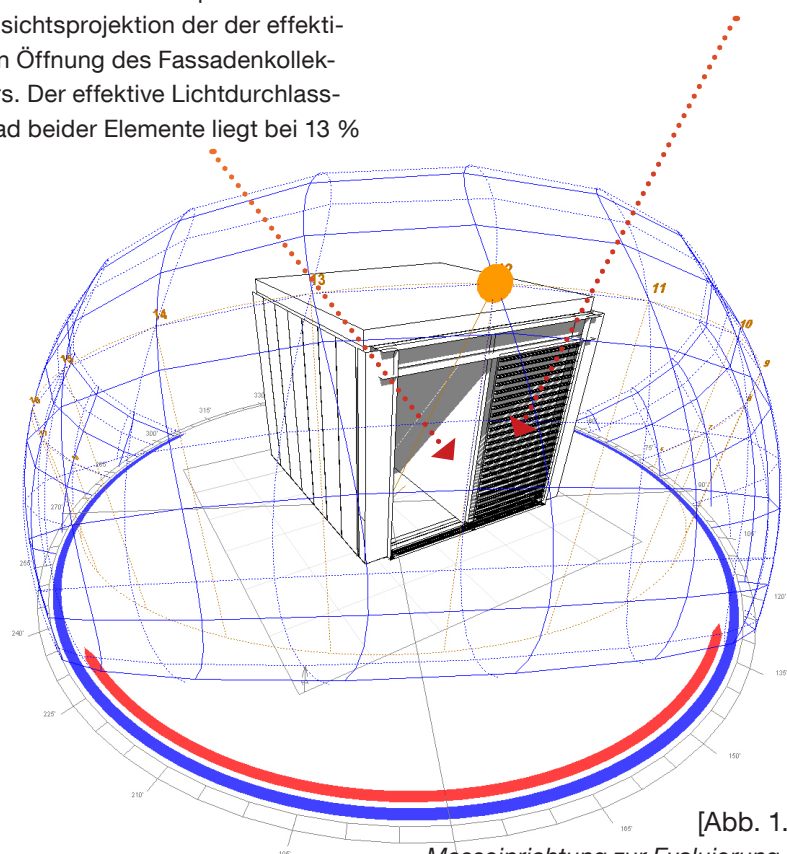
Über den Gesamtverlauf des Tages herrschten hohe Globalstrahlungswerte mit einem Spitzenwert von 815W/m². Die zu Anfang gemessenen 613 W/m² um 9.00 h führten zu einer Erwärmung des Testraums A. Durch Nachheizen des Testraumes B glich sich der Temperaturverlauf dem unverschatteten Nachbarraum an.

Testraum A

*verschattetes Fassadenelement;
Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtsprojektion der der effektiven Öffnung des Fassadenkollektors. Der effektive Lichtdurchlassgrad beider Elemente liegt bei 13 %

Testraum B

Kollektorfeld
CPC 12 - 19 %

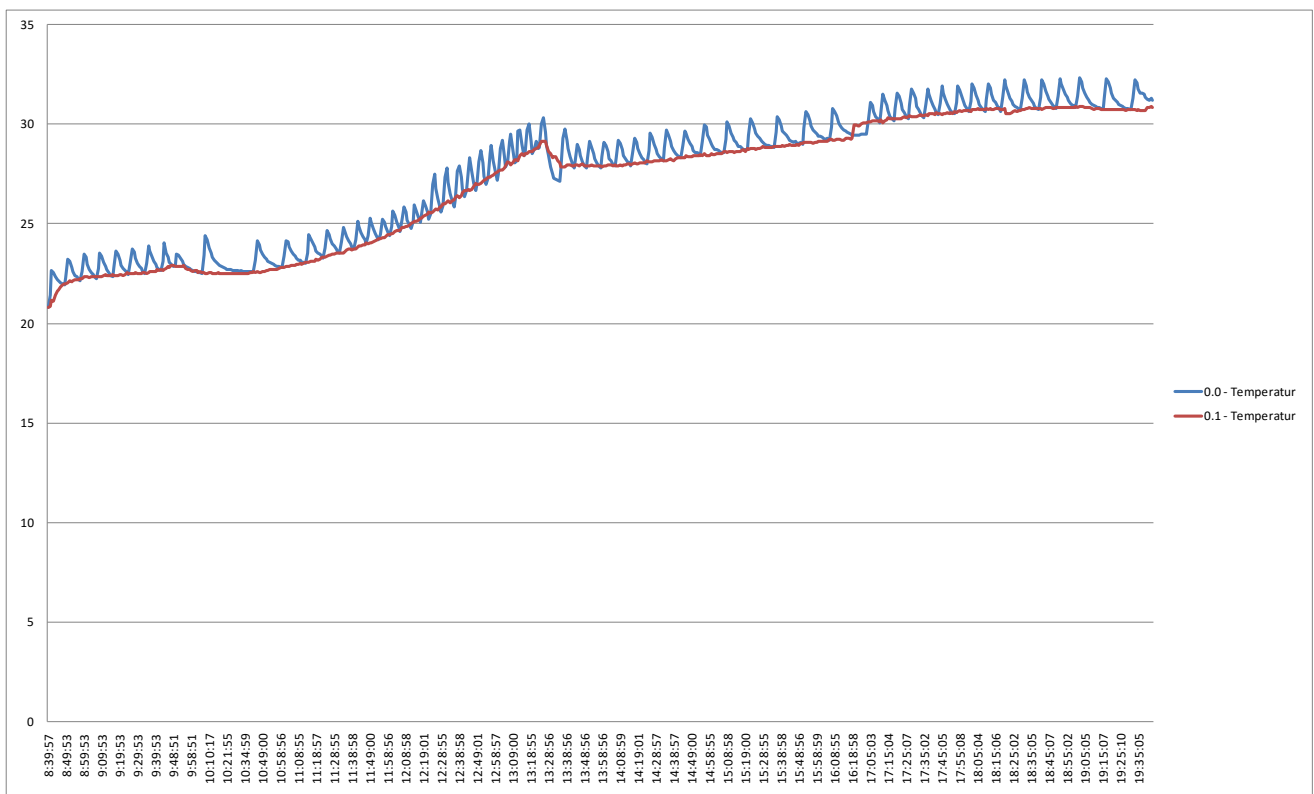


[Abb. 1.85]
Messeinrichtung zur Evaluierung des thermischen Komforts

Bei wolkenlosem Himmel stieg die Temperatur um 19.43 h in Messraum A (verschattet mittels Jalousie, ohne Kollektorfeld) auf $31,22^{\circ}\text{C}$ an. Der Messraum B wurde thermisch nachgeführt.

Ab 12.00 h ließ die Globalstrahlung kontinuierlich nach und reduzierte sich unter 200 W/m^2 um 17.51 h. Der Temperaturverlauf stieg zwischen 14.00 h und 16.00 h in den Messräumen von $28,36^{\circ}\text{C}$ auf $29,20^{\circ}\text{C}$ um $0,84\text{K}$

Für den Zeitraum von 15.00h ($45,73^{\circ}$) bis 16.00h ($36,42^{\circ}$) wurden 273 Wh gemessen, woraus sich $136,5\text{ W}$ Heizleistung ergeben. Bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 98% ließen sich $133,77\text{ W}$ zusätzliche Sonnenschutzwirkung gegenüber einem äquivalenten starren Sonnenschutz für einen Messzeitraum von zwei Stunden, bei einem Sonneneinstrahlungswinkel von $45,5^{\circ}$ bis $26,6^{\circ}$ berechnen.



[Fig. 1.87]

Temperaturverlauf der Testzellen

Fassadenkollektorfeld
CPC 12 - 19%
(eff. Lichtdurchlassgrad 13 %)

Jalousie nicht nachgeführt
Testraum mit nicht nachgeführter
Verschattung des Fassadenelemen-
tes. (eff. Lichtdurchlassgrad 13 %)



[Abb. 1.87_1]

Innenraum der Testzelle B



[Abb. 1.87_2]

Innenraum der Testzelle A

1270 Wh über einen strahlungsreichen Tag Anfang August. (8.30 h bis 20.30 h)

zusätzliche Sonnenschutzwirkung CPC 12 mit 19 % Perforation des Spiegels gegenüber einem äquivalenten starren Sonnenschutz 133,77 W (Messzeitraum 2h, Sonneneinstrahlungswinkel 45,73° bis 36,42°) Der Testraum A (Rot) erfuhr eine Erwärmung mittels solaren Energieeintrags in einem linearen Prozess. In Blau stellt sich für den Testraum B eine stete Angleichung an den Temperaturverlauf des Raums A dar.

Phase 1

Messung mit Nachheizen
ohne Jalousie / CPC 12 - 38 %

Am 21.08.2010 wurde ein Fassadenelement mit dem Kollektorfeld CPC 12 - 38 % mit einem unverschatteten Fassadenelement verglichen.

An diesem strahlungsintensiven Sommertag wurden die beiden Räume durch solare Einträge aufgeheizt und thermisch vermessen.

Tag 21.08.2010

Ort: München

(48°08'20", 11°34'30")

Sonnenaufgang*: 5.25h

Sonnenuntergang*: 19.28h

Sonnenhöchststand*: 12.26h




Globalstrahlung max. 875 W/m²

Temp. max. (30m Höhe) 29,04°C

[FLASS_2010_4]

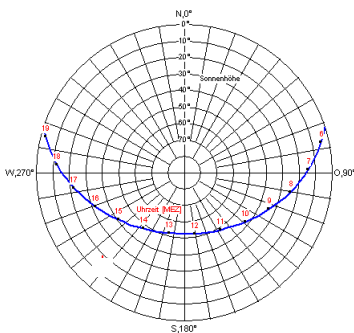
Sonnenschutzpotential

Phase 1 Messung mit Nachheizen und Energieermittlung

	A		B	
	ohne Jalousie		CPC 12 - 38%	Himmel*
Temp innen 10.00h	beide 28 °C	(nachgeheizt)	wl	
Temp innen 14.00h	beide 38 °C	(nachgeheizt)	wl	
Temp innen 18.00h	beide 43,7 °C	(nachgeheizt)	wl	

*Himmel sb stark bewölkt b bewölkt, h heiter, wl wolkenlos

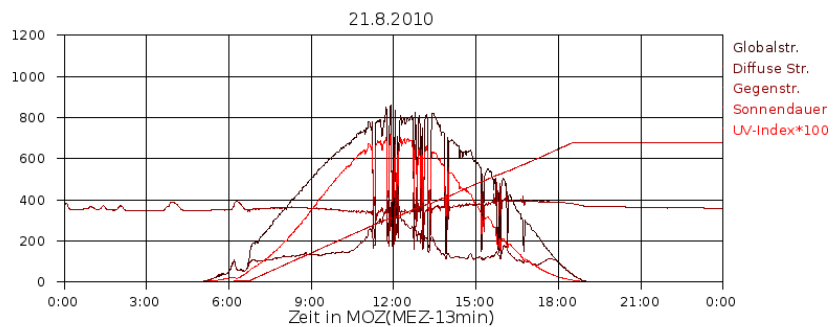
[Fig. 1.88_1]



[Fig. 1.88_2]

[FLASS_2010_4b]

Sonnenstandsdiagramm



[Fig. 1.88_3]

[METEO_2010_4]

Strahlungsdiagramm

Zugrunde lag ein strahlungsintensiver Sommertag (21.08.2010), dessen Messdatenerfassung um 08.00 h begann. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Testräume durch Nachtauskühlung eine mittlere Raumlufttemperatur von 23 °C bei einer Aussentemperatur von 19,5 °C und wolkenlosem bis heiterem Himmel.

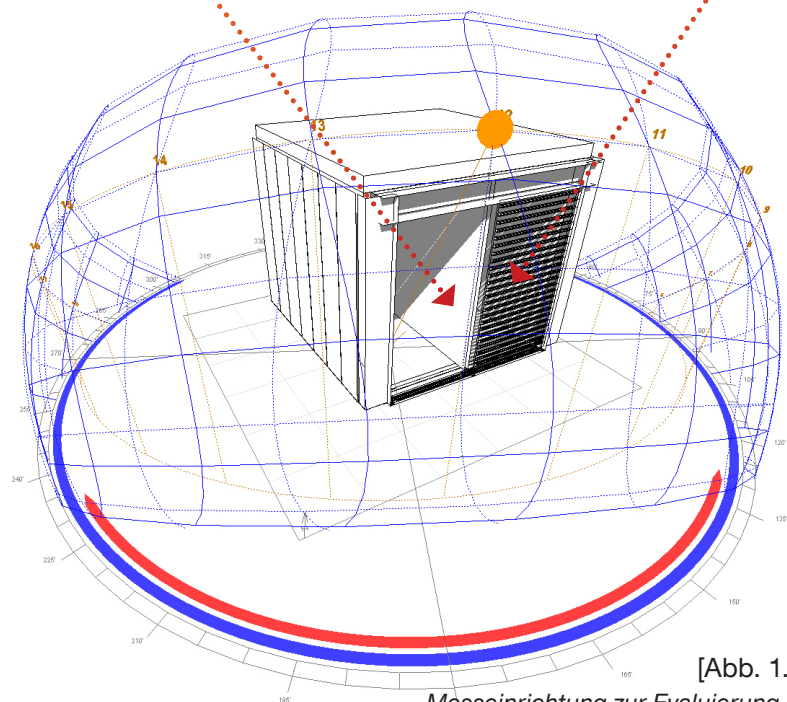
Um 9.00 h lag die Globalstrahlung bei 507 W/m². Über den Gesamtverlauf des Tages herrschten hohe Globalstrahlungswerte mit einem Spitzenwert von 875 W/m². Der rasche und stete Anstieg der Strahlung führte zu einer Erwärmung des Testraums A. Durch Nachheizen des Testraums B glich sich der Temperaturverlauf dem unverschatteten Nachbarraum an.

Testraum A

Testraum B

Unverschattetes Fassadenelement

Kollektorfeld
CPC 12 - 38 %



[Abb. 1.89]
Messeinrichtung zur Evaluierung des thermischen Komforts

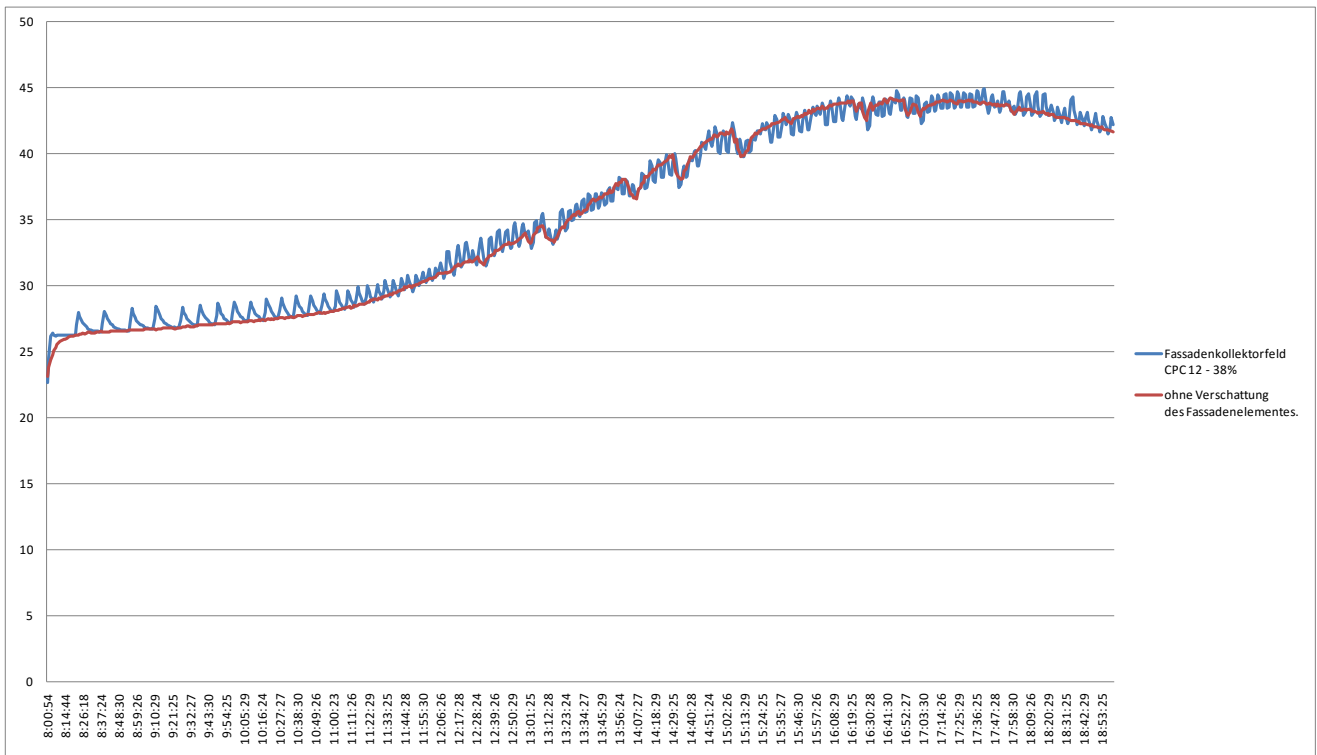
Zwischen 10.00 h und 14.00 h betrug die jeweiligen Winkel der Sonneneinstrahlung 10.00h: 49,8 12.00h: 52,2°, 14.00h: 40,2°. Bei wolkenlosem Himmel stieg die Temperatur um 17.20 h in Messraum A (unverschattet, ohne Kollektorfeld) auf 44,11 °C an. Der Messraum B wurde thermisch nachgeführt.

Ab 13.30h ließ die Globalstrahlung kontinuierlich nach und reduzierte sich unter 200 W/m² um 18.43h. Der Temperaturverlauf stieg zwischen 14.00 h und 16.00 h in den Messräumen von 28,36 °C auf 29,20 °C um 0,84 K

Für den Zeitraum von 14.50 h (41,89°) bis 16.50h (23,35°) wurden 1112 Wh gemessen, woraus sich 556 W Heizleistung ergeben. Bei einem angenommenen Wirkungsgrad von 98 % ließen sich 544,88 W Sonnenschutzwirkung für einen Messzeitraum von zwei Stunden berechnen.

Fazit:

So konnte an einem strahlungreichen Sommertag eine Sonnenschutzwirkung von 544,88 W berechnet werden. Dies entspricht einem Sonnenschutzpotential von 133,06 W/m²



[Fig. 1.91]
Temperaturverlauf der Testzellen

Fassadenkollektorfeld
CPC 12 - 38%

Testraum ohne Verschattung des
Fassadenelementes.



[Abb. 1.91_1]
Innenraum der Testzelle B



[Abb. 1.91_2]
Innenraum der Testzelle A

4413 Wh über einen strahlungsreichen Tag Mitte August (bis 21.00h).

zusätzliche Sonnenschutzwirkung
CPC 12 mit 38% Perforation des
Spiegels gegenüber einem un-
verschatteten Fassadenelement:
544,88 W (Messzeitraum 2h, Son-
neneinstrahlwinkel 41,89°-23,35°)

Der Testraum A (Rot) erfuhr eine
Erwärmung mittels solaren Energie-
eintrags in einem linearen Prozess.
In Blau stellte sich für den Testraum
B eine stete Angleichung an den
Temperaturverlauf des Raums A dar.

Phase 1
Messung mit Nachheizen
mit Jalousie* / CPC 12 - 38 %

Am 22.08.2010 wurde ein Fassadenelement mit dem Kollektorfeld CPC 12 - 38 % mit einem nicht nachgeführten Fassadenelement verglichen. Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtspiegelung der effektiven Öffnung des Fassadenkollektors. Der effektive Lichtdurchlassgrad beider Elemente lag bei 26 %.

An einem strahlungsintensiven Sommertag wurden die beiden Räume durch solare Einträge aufgeheizt und thermisch vermessen.

Tag 22.08.2010
Ort: München
(48°08'20", 11°34'30")
Sonnenaufgang*: 5.26h
Sonnenuntergang*: 19.26h
Sonnenhöchststand*: 12.26h
Globalstrahlung max. 870 W/m²
Temp. max. (30m Höhe) 30,89°C

[FLASS_2010_5]

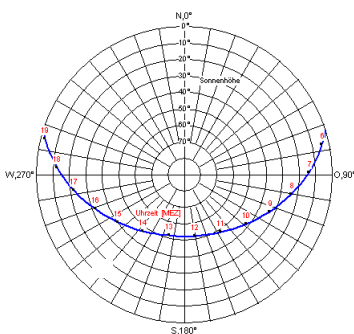
Sonnenschutzpotential

Phase 1 Messung mit Nachheizen und Energieermittlung

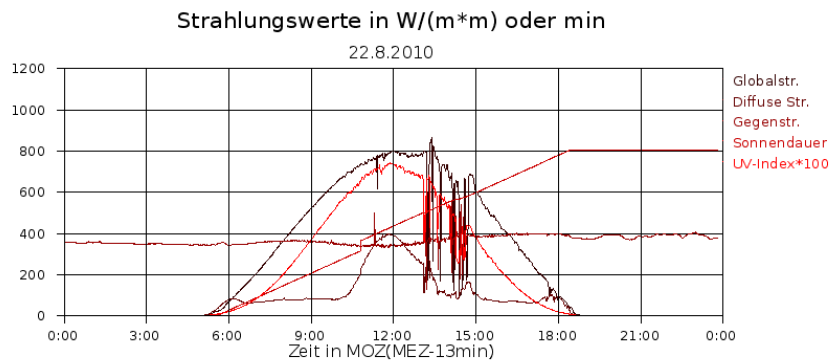
	A		B	
	mit Jalousie*		CPC 12 - 38%	
				Himmel*
Temp innen 10.00h	beide 25,5 °C	(nachgeheizt)	wl	
Temp innen 14.00h	beide 29,4 °C	(nachgeheizt)	wl	
Temp innen 18.00h	30,9 °C	32,5 °C	wl	

[Fig. 1.92_1]

*Himmel sb stark bewölkt b bewölkt, h heiter, wl wolkenlos



[Fig. 1.92_2]
[FLASS_2010_5b]
Sonnenstandsdiagramm



[Fig. 1.92_3]
[METEO_2010_6]
Strahlungsdiagramm

Zugrunde lag ein strahlungsintensiver Sommertag (22.08.2010), dessen Messdatenerfassung um 09.00 h begann. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Testräume durch Nachtauskühlung eine mittlere Raumlufttemperatur von 24,50°C.

Um 9.00h lag die Globalstrahlung bei 507 W/m². Bei Messbeginn um 08.00h herrschten in den Messräumen 23°C bei einer Außentemperatur von 19,5°C und wolkenlosem bis heiterem Himmel.

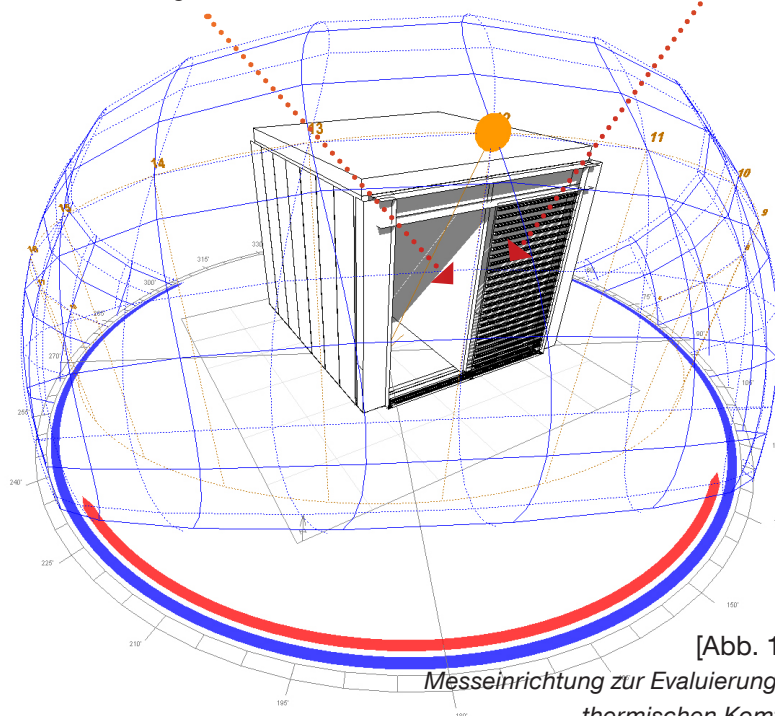
Über den Gesamtverlauf des Tages herrschten hohe Globalstrahlungswerte mit einem Spitzenwert von 861W/m². Der rasche und stete Anstieg der Strahlung führte zu einer Erwärmung des Testraums A. Durch Nachheizen des Testraums B glich sich der Temperaturverlauf dem unverschatteten Nachbarraum an.

Testraum A

*Verschattetes Fassadenelement;
Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtsprojektion der effektiven Öffnung des Fassadenkollektors. Der effektive Lichtdurchlassgrad beider Elemente lag bei 26 %

Testraum B

Kollektorfeld
CPC 12 - 38 %



[Abb. 1.93]

Messeinrichtung zur Evaluierung des thermischen Komforts

Bei wolkenlosem Himmel stieg die Temperatur in beiden Testräumen kontinuierlich an. Um 12.59 h erreichte die Globalstrahlung einen Spitzenwert des Tages von 870 W/m^2

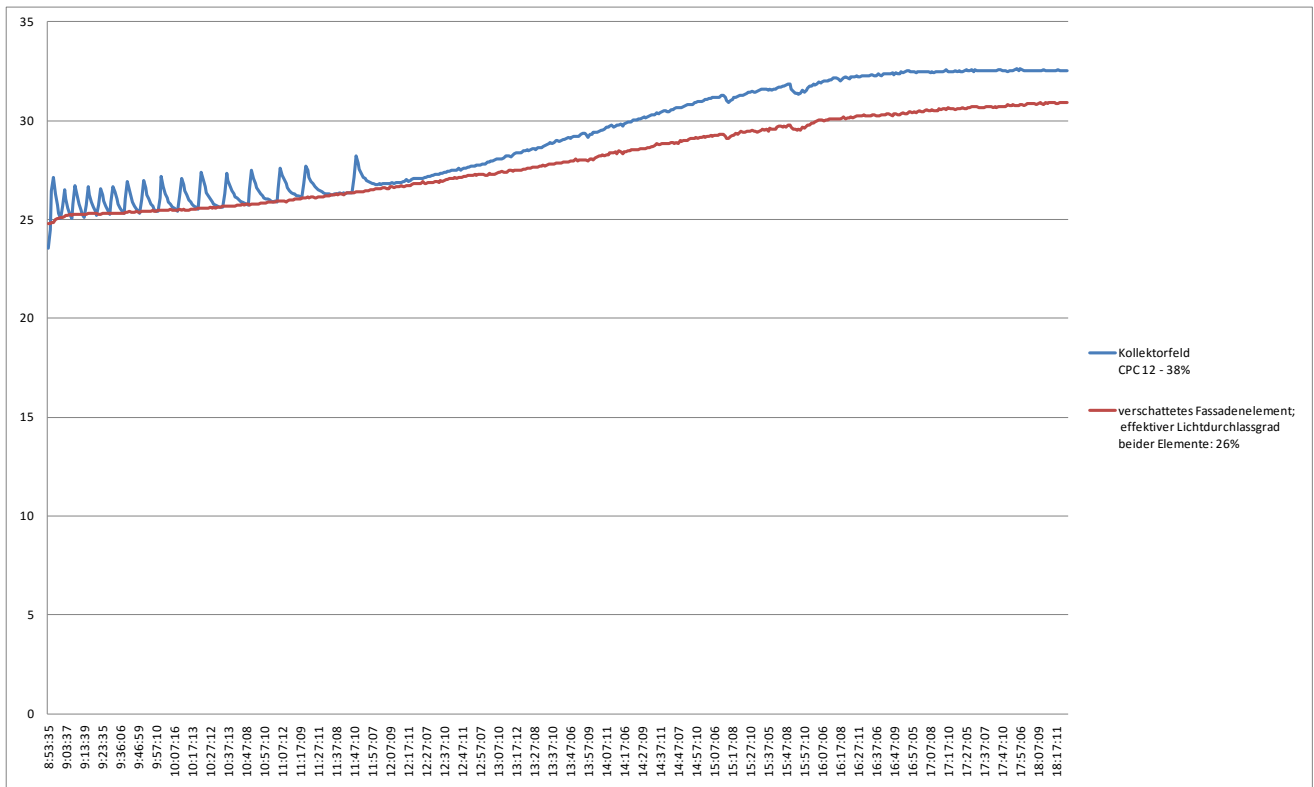
Bis 11.47 h wurde der Testraum B (mit Kollektorfeld, 38%) thermisch nachbeheizt. Zu diesem Zeitpunkt, betrug die Globalstrahlung 798 W/m^2 .

Ab 11.50 h stieg die Temperatur des Testraums B (mit Kollektorfeld 38%) stärker an als die des verschatteten Fassadenelements. Das Temperaturverhalten von Testraum B zeigte einen parabelähnlichen Anstieg, der um 17.57 h seinen Maximalwert von $32,61 \text{ }^\circ\text{C}$ erreichte. Ab diesem Zeitpunkt hielt sich die mittlere Raumtemperatur konstant und fiel dann sehr leicht ab.

Die mittlere Raumtemperatur in Testraum A (Testraum mit Jalousie vor dem Fassadenelement) stieg linear an und errechnet. Am Ende des Messzeitraums ihren Maximalwert von $30,97 \text{ }^\circ\text{C}$.

Die Temperaturdifferenz der beiden Testräume betrug um 16.08 h $2,04 \text{ K}$, was der maximalen Temperaturdifferenz der beiden Räume entsprach.

(Die Werte in Klammern beschreiben den Winkel der Sonneneinstrahlung)



[Fig. 1.95]

Temperaturverlauf der Testzellen

Fassadenkollektorfeld
CPC 12 - 38 % Der effektive Licht-
durchlassgrad beider Elemente lag
bei 26%

Testraum mit Verschattung des Fas-
sadenelements. Die Öffnung bzw.
Lichtdurchlässigkeit der Lamelle
entspricht in ihrer Ansichtsprojektion
der effektiven Öffnung des Fassa-
denkollektors. Der effektive Licht-
durchlassgrad beider Elemente lag
bei 26 %



[Abb. 1.95_1]

Innenraum der Testzelle B



[Abb. 1.95_2]

Innenraum der Testzelle A

Die Temperaturdifferenz der bei-
den Testräume betrug um 16.08 h
2,04 K, was der maximalen Tem-
peraturdifferenz der beiden Räume
entspricht. Zum ersten Mal in der
Testreihe war das Sonnenschutz-
potential des Fassadenkollektors
geringer als das eines Raffstores.
Der Testraum A (Rot) erfuhr eine
Erwärmung mittels solaren Energie-
eintrags in einem linearen Prozess. In
Blau stellte sich für den Testraum B
zunächst eine stete Angleichung an
den Temperaturverlauf des Raums A
dar. Ab 11.50 h stieg die Temperatur
des Testraums B (mit Kollektorfeld,
38 %) stärker an als die des ver-
schatteten Fassadenelements.

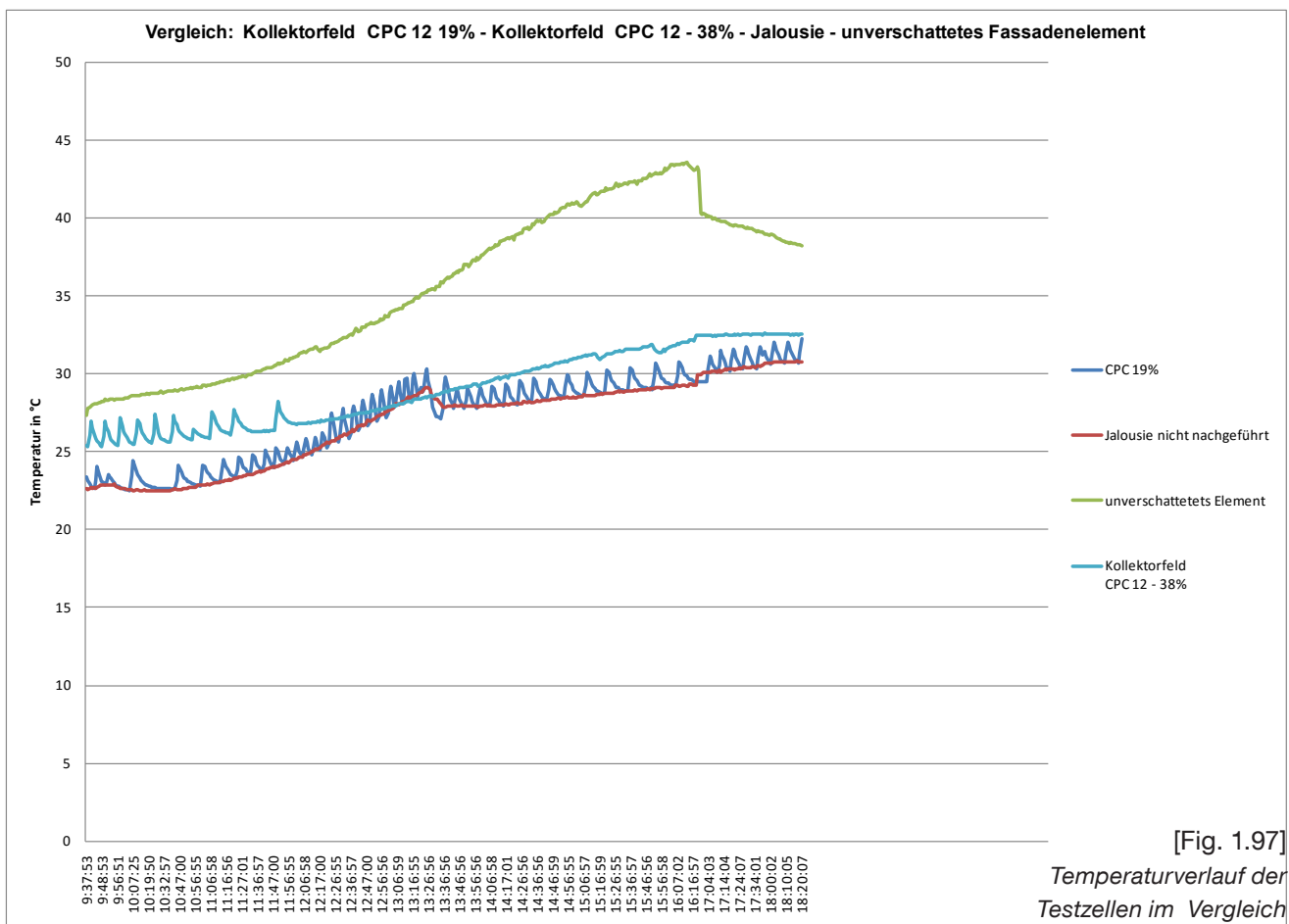
Die Fassaden im Vergleich

An strahlungsintensiven Sommertagen wurden die beiden Räume durch solare Einträge aufgeheizt.

Die rote Linie beschreibt das thermische Verhalten eines Testraums mit einem Fassadenelement mit nicht nachgeführter Jalousie. Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtprojektion der effektiven Öffnung des Fassadenkollektors mit einem 19 % perforierten Spiegelement. Der effektive Lichtdurchlassgrad lag bei 13 %.

Die blaue Linie beschreibt das thermische Verhalten für den Testraum mit einem Fassadenkollektorfeld CPC 12 - 19 %. Es stellte sich eine stete Angleichung an den Temperaturverlauf des Raumes mit nicht nachgeführter Jalousie (in Rot) ein. Der effektive Lichtdurchlassgrad lag bei beiden Verschattungselementen bei 13%.

Die grüne Linie zeigt vergleichsweise die Aufheizung eines Testraums ohne Verschattung des Fassadenelements.



Fassadenkollektorfeld CPC 12 bis 38 % Der effektive Lichtdurchlassgrad des Elementes liegt bei 26%



[Abb. 1.97_1]

Fassadenkollektorfeld CPC 12 - 19 % Der effektive Lichtdurchlassgrad des Elementes liegt bei 13 %



[Abb. 1.97_2]

Jalousie nicht nachgeführt



[Abb. 1.97_3]

Testraum ohne Verschattung des Fassadenelements.



[Abb. 1.97_4]



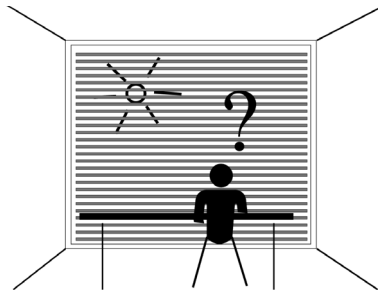
[Abb. 1.98] Fassadenkollektorfeld
CPC 12 - 19 % Der effektive Lichtdurchlassgrad des Elements lag bei 13 %



[Abb. 1.99] Fassadenkollektorfeld

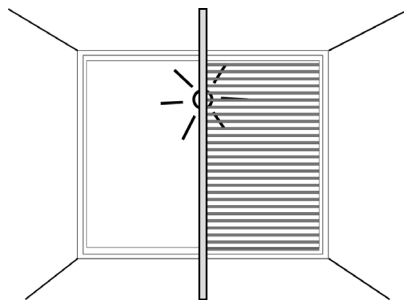
CPC 12 - 38 % Der effektive Lichtdurchlassgrad des Elements lag bei 26 %

Messungen zur Bewertung der
lichttechnischen Eigenschaften
einer Fassadeneinheit



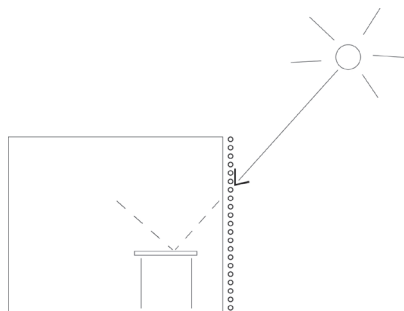
[Abb. 1.100_1]

Vergleichendes Messverfahren
zur Bewertung des
Beleuchtungsniveaus dahinter
liegender Räume



[Abb. 1.100_2]

Messungen zur Bewertung der
Blendung und Lichtverteilung
dahinter liegender Räume



[Abb. 1.100_3]

*Schematische Darstellung der
Messungen zum visuellen Komfort*

**Bewertung eines
Bausteins im
ganzheitlichen Kontext:**

**- Messungen zur
Evaluierung des visuellen
Komforts**

[Abb. 1.102]

Die eingebaute Testfassade mit
einem zu 19 % perforiertem Spiegel.
Der effektive Lichtdurchlassgrad
beider Elemente lag bei 13 %





a) Beleuchtungsverhältnisse mit Jalousie / CPC 12 - 19 %

Das Kollektorfeld CPC 12 - 19 % wurde mit einem verschatteten, nicht nachgeführten Fassadenelement verglichen. Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtspiegelung der effektiven Öffnung des Fassadenkollektors. Der effektive Lichtdurchlassgrad beider Elemente lag bei 13 %.

Tag 01.08.2010
 Ort: München
 (48°08'20", 11°34'30")
 Sonnenaufgang*: 4.57h
 Sonnenuntergang*: 20.02h
 Sonnenhöchststand*: 12.30h
 Globalstrahlung max. 815 W/m²
 Temp. max. (30m Höhe) 29,94°C

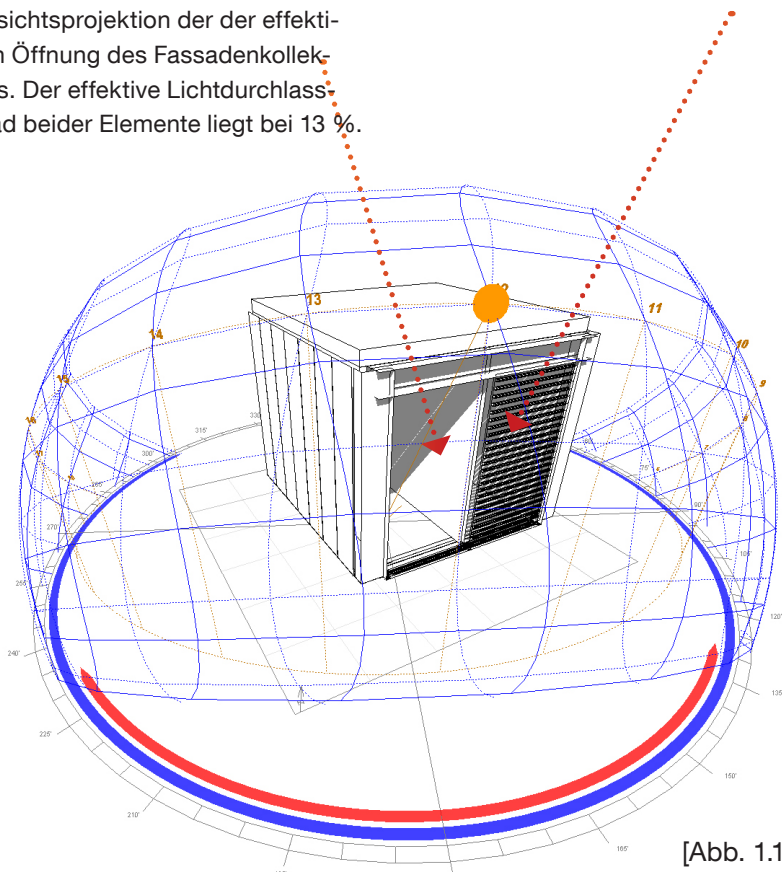
[FLASS_2010_6]

Testraum A

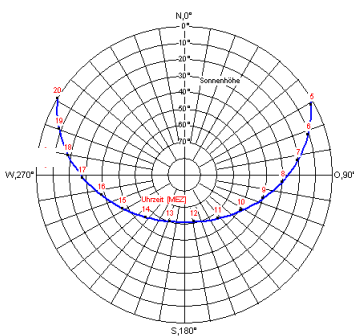
*Verschattetes Fassadenelement:
 Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in seiner Ansichtspiegelung der effektiven Öffnung des Fassadenkollektors. Der effektive Lichtdurchlassgrad beider Elemente liegt bei 13 %.

Testraum B

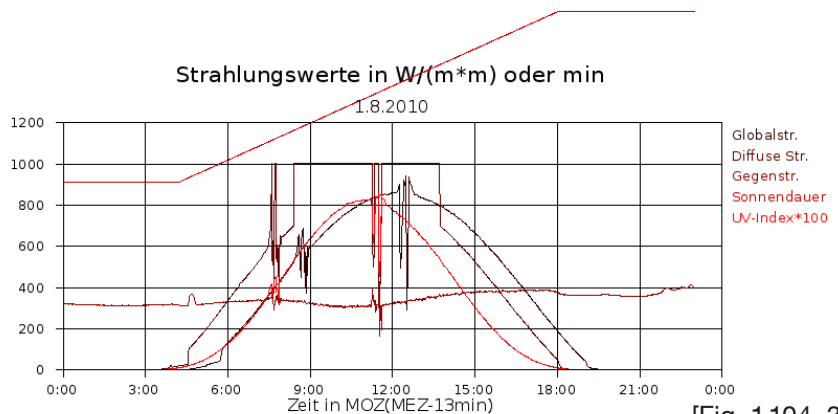
Kollektorfeld
 CPC 12 - 19 %



[Abb. 1.104]
 Messeinrichtung zur Evaluierung des visuellen Komforts



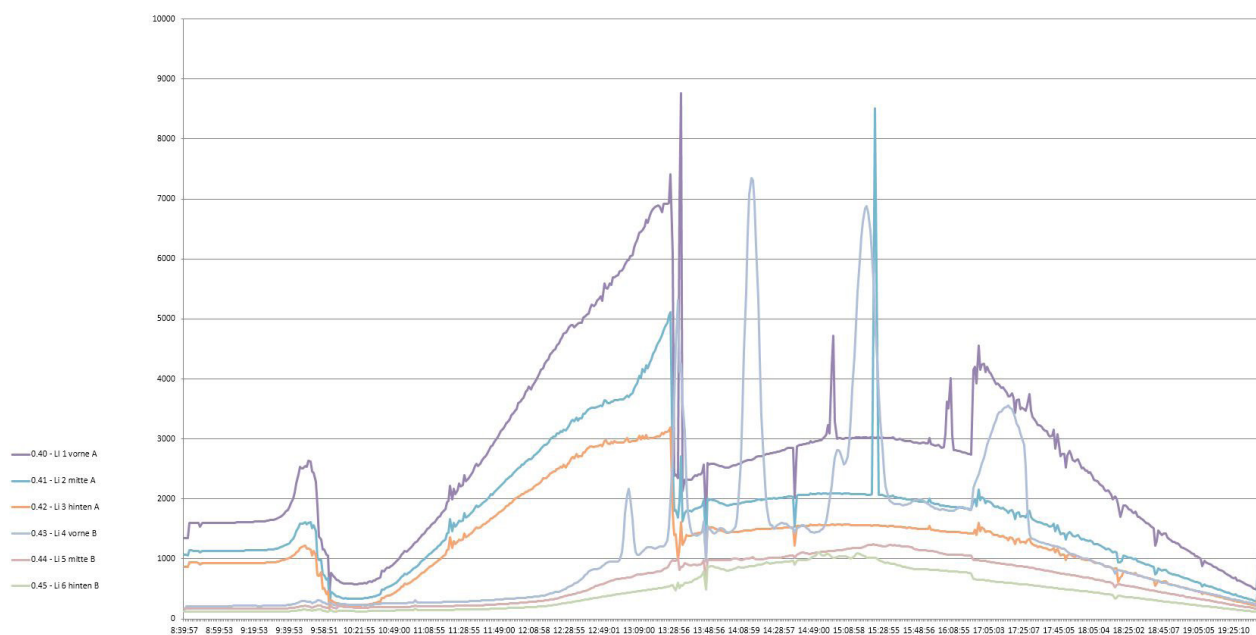
[Fig. 1.104_2]
 [FLASS_2010_6b]
 Sonnenstandssdiagramm



[Fig. 1.104_3]
 [METEO_2010_6]
 Strahlungsdiagramm

Die Messungen ergaben
Folgendes:

An einem wolkenlosen Tag drang auch bei steil stehender Sonne direkte Strahlung durch das mit 19 % perforierte Parabolspiegelblech. Die Sensoren wurden in Testraum B abwechselnd von der Sonne durch das perforierte Blech beschienen und erhalten durch die opaken Absorberflächen der Röhren eine Verschattung. Bei direkter Besonnung entstanden hier Beleuchtungsstärken über 8.000 Lux bei gleichzeitigen Beleuchtungsstärken verschatteter Flächen von unter 500 Lux.



[Fig. 1.105]

Visualisierung der Messdaten.
Hier Beleuchtungsstärken auf der
Arbeitsplatzoberfläche

b) Beleuchtungsverhältnisse mit Jalousie / CPC 12 - 38 %

Am 22.08.2010 wurde ein Fassadenelement mit dem Kollektorfeld CPC 12 - 38 % mit einem nicht nachgeführten Fassadenelement verglichen. Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtspiegelung der effektiven Öffnung des Fassadenkollektors. Der effektive Lichtdurchlassgrad beider Elemente lag bei 26 %.

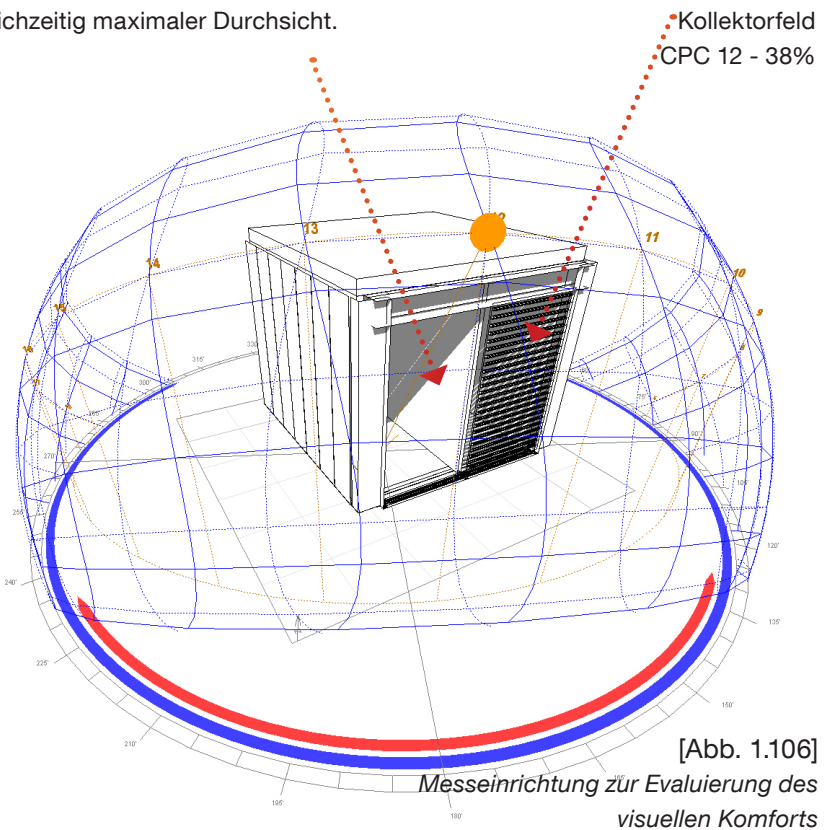
Tag 22.08.2010
 Ort: München
 (48°08'20", 11°34'30")
 Sonnenaufgang*: 5.26h
 Sonnenuntergang*: 19.26h
 Sonnenhöchststand*: 12.26h
 Globalstrahlung max. 870 W/m²
 Temp. max. (30m Höhe) 30,89°C

Die Messungen ergaben
 [FLASS_2010_7]

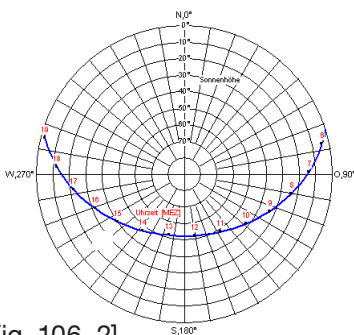
Testraum A

*verschattetes Fassadenelement; Die Öffnung bzw. Lichtdurchlässigkeit der Lamelle entsprach in ihrer Ansichtspiegelung der effektiven Öffnung des Fassadenkollektors. Der effektive Lichtdurchlassgrad beider Elemente lag bei 26% Der eingestellte Neigungswinkel kam dem so genannten ‚cut-off-Winkel‘ sehr nahe. Der so genannte ‚cut-off-Winkel‘ beschreibt den Neigungswinkel eines Lamellensystems zur Verschattung einer Fassade bei gleichzeitig maximaler Durchsicht.

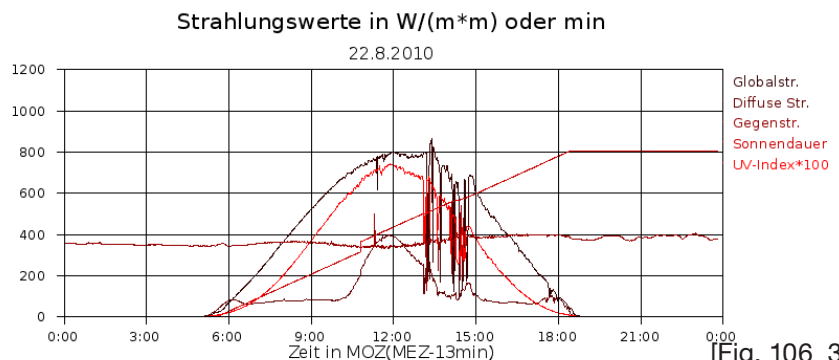
Testraum B



[Abb. 1.106] Messeinrichtung zur Evaluierung des visuellen Komforts



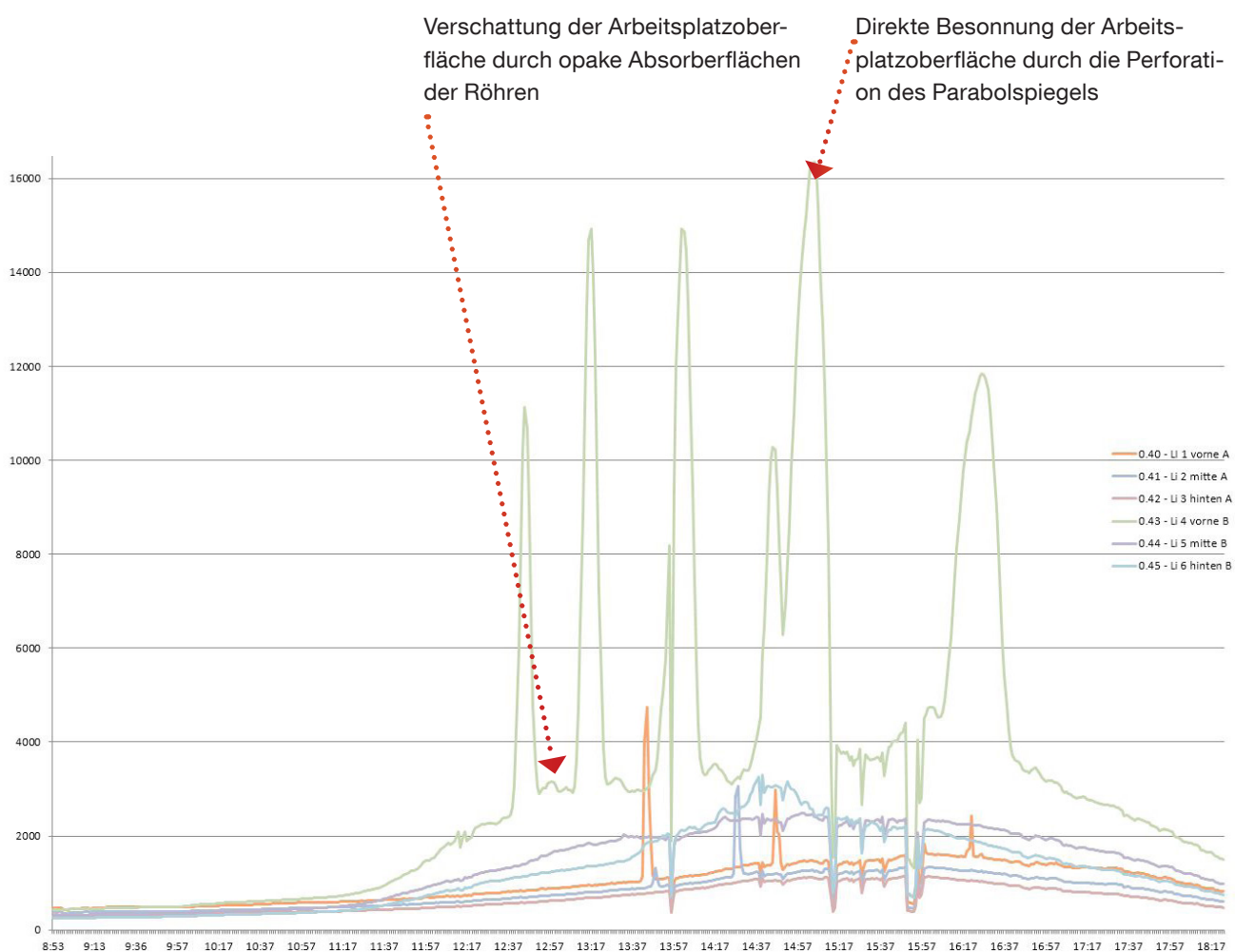
[Fig. 106_2] [FLASS_2010_7b] Sonnenstandssdiagramm



[Fig. 106_3] [METEO_2010_7] Strahlungsdiagramm

folgendes:

An einem wolkenlosen Tag drang auch bei steil stehender Sonne direkte Strahlung durch das mit 38 % perforierte Parabolspiegelblech. Die Sensoren wurden in Testraum B abwechselnd von der Sonne durch das perforierte Blech beschienen und erhielten durch die opaken Absorberflächen der Röhren eine Verschattung. Bei direkter Besonnung durch die Perforation des Parabolspiegels entstanden hier Beleuchtungsstärken über 16.000 Lux bei gleichzeitigen Beleuchtungsstärken verschatteter Flächen von unter 500 Lux.



[Fig. 1.105]
Visualisierung der Messdaten.
Hier Beleuchtungsstärken in Lux
auf der Arbeitsplatzoberfläche

Tageslichtqualität im Innenraum

a) - Tageslichtquotient CPC 12 - 19%

Am 18.03.2011 wurden zwei Fassadenelemente mit Kollektorfeldern CPC 12 - 19 % lichttechnisch vermessen. Es war ein bewölkter Tag mit diffuser Strahlung.

Tag 18.03.2011
Ort: München
(48°08'20", 11°34'30")

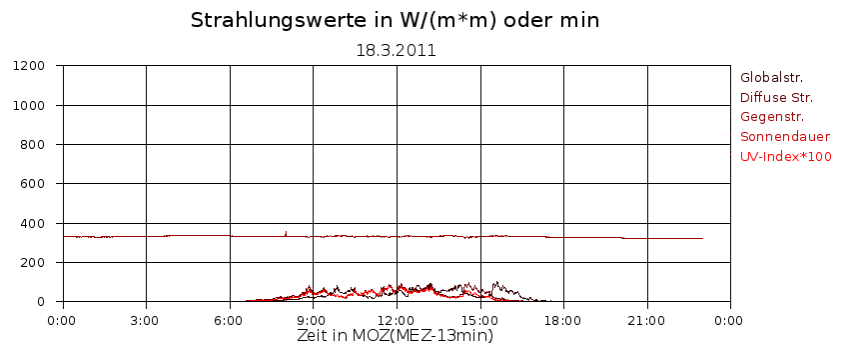
Globalstrahlung zum Messzeitpunkt. 47 W/m²

Ermittlung der jeweiligen Tageslichtquotienten der verschiedenen Kollektorfelder. Es wurde das Niveau der inneren Beleuchtungsstärke in Relation zu äußerer horizontaler Beleuchtungsstärke in unverschatteter Lage an einem bedeckten Tag gemessen.



[Abb. 1.108]

Messeinrichtung zur Bestimmung des Tageslichtquotienten



[Fig. 108_2]

[METEO_2010_8]

Strahlungsdiagramm

Zugrunde lag ein bewölkter Tag (18.03.2011), dessen Messdatenerfassung zwischen 12.30 h bis 15.00 h. Zu diesem Zeitpunkt herrschte außen eine Beleuchtungsstärke von 5440 Lux und eine Globalstrahlung von 47 W/m².

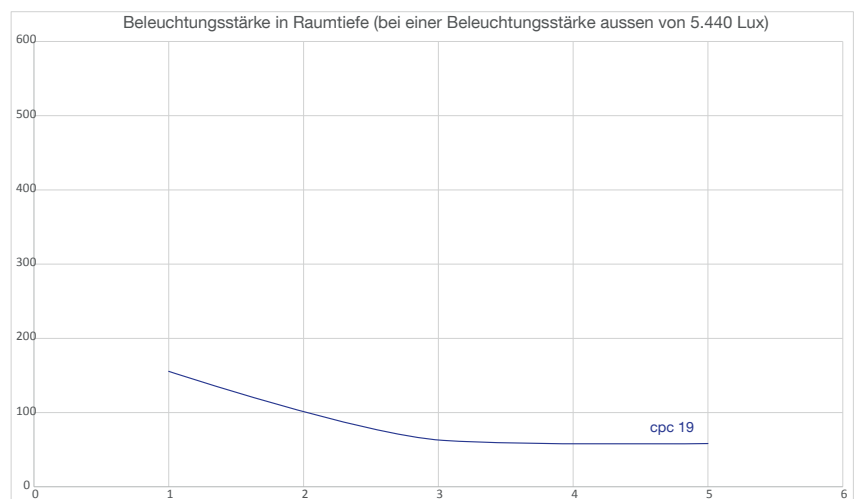
Die Messungen des Tageslichtquotienten erfolgten auf einem Referenzarbeitstisch in 0,85 m Höhe in 1 m Abstand zur Fassade. Das Beleuchtungsniveau stellte sich wie folgt dar: Bei einer Beleuchtungsstärke außen von 5.440 Lux ergab sich eine gleichzeitige Beleuchtungsstärke von 68 Lux.



[Abb. 1.109_1]

Für Tageslichtquotienten der Fassade mit dem Fassadenkollektor cpc 19 % ergab sich Folgendes:
Die oben aufgeführten Messungen ergaben ein Verhältnis von 1,25 %.

Laut DIN5034 ist ein TQ von 0.75 % bis 1 % ausreichend.



[Fig. 1.109_2]
Visualisierung der Beleuchtungsstärke in Lux bei Raumtiefe in Meter

**b) - Tageslichtquotient
CPC 12 - 38 %**

Am 04.03.2011 wurden zwei Fassadenelemente mit Kollektorfeldern CPC 12 - 38 % lichttechnisch vermessen. Es war ein bewölkter Tag mit diffuser Strahlung.

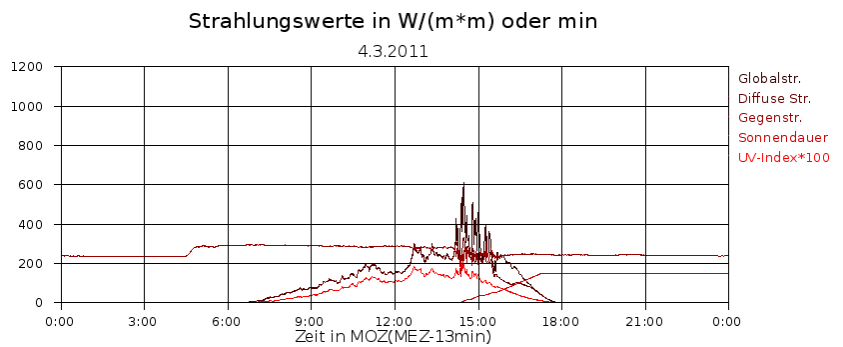
Tag 04.03.2011
Ort: München
(48°08'20", 11°34'30")

Globalstrahlung zum Messzeitpunkt. 182 W/m²



[Abb. 1.110]

Messeinrichtung zur Bestimmung des Tageslichtquotienten



[Fig. 110_2]

[METEO_2010_9]

Strahlungsdiagramm

Zugrunde lag ein bewölkerter Tag (04.03.2011), dessen Messdatenerfassung zwischen 11.30h und 13.00 h. Zu diesem Zeitpunkt herrschte außen eine Beleuchtungsstärke von 19.400 Lux und eine Globalstrahlung von 182 W/m².

Die Messungen des Tageslichtquotienten erfolgten auf einem Referenzarbeitstisch in 0,85 m Höhe in 1 m Abstand zur Fassade. Das Beleuchtungsniveau stellte sich wie folgt dar: Bei einer Beleuchtungsstärke außen von 19.400 Lux ergab sich eine gleichzeitige Beleuchtungsstärke von 414 Lux.

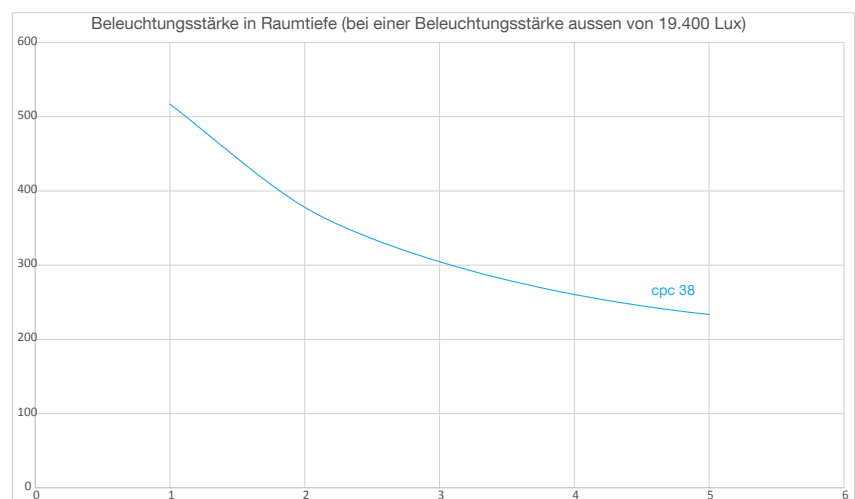


[Abb. 1.111_1]

Für Tageslichtquotienten der Fassade mit dem Fassadenkollektor cpc 38% ergab sich Folgendes:

Die oben aufgeführten Messungen weisen ein Verhältnis von 2,13 % auf.

Laut DIN5034 ist ein TQ von 0.75 % bis 1 % ausreichend.



[Fig. 1.111_2]

Visualisierung der Beleuchtungsstärke in Lux bei Raumtiefe in Meter

Auswirkungen der Schattenwürfe in Schlagschatten und Schattengradienten.

**a) - Blendung
CPC 12 - 19 %**

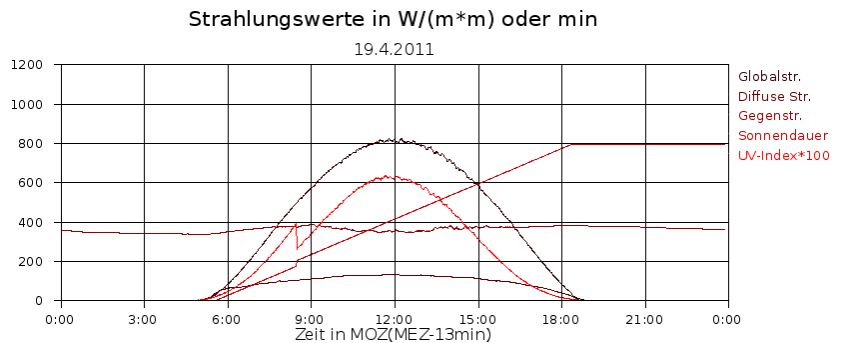
Am 19.04.2011 wurden zwei Fassadenelemente mit Kollektorfeldern CPC 12 - 19 % lichttechnisch vermessen. Es war ein strahlungsintensiver Tag mit Spitzenwerten von über 800 W/m² Globalstrahlung.

Tag 19.04.2011
Ort: München
(48°08'20", 11°34'30")

Globalstrahlung zum Messzeitpunkt. 752 W/m²



[Abb. 1.112]
Arbeitsplatz zur Ermittlung der
Blenderscheinungen
und Beleuchtungsstärken



[Fig.112_2]
[METEO_2010_10]
Strahlungsdiagramm

Zugrunde lag ein strahlungsintensiver Frühlingstag (19.04.2011), dessen Messdatenerfassung zwischen 13.00 h und 16.00 h. Zu diesem Zeitpunkt herrschte außen eine mittlere Beleuchtungsstärke von 71.800 Lux und eine Globalstrahlung von 752 W/m².

Die Messungen der Leuchtdichte erfolgten auf dem Testsehfeld, einem Referenzarbeitstisch in 0,85m Höhe. Die Unterschiede von Licht und Schatten des Streifenmusters, das aufgrund der opaken Röhren auftritt, wies in einem Messabschnitt von einer Minute zwischen 1752 cd/m² und 2051 cd/m² auf, während sich gleichzeitig in den Schattenflächen hinter den opaken Röhren Leuchtdichten zwischen 316 cd/m² und 370 cd/m² einstellten. Die Messungen an den umfassenden Wänden ergaben 163 cd/m². Leuchtdichtemessungen zu den Blendreflexionen an der Fassade ergaben Werte höher als 8260 cd/m².

Für die Blendungen im direkten Sehbereich ergab sich Folgendes:

Die oben aufgeführten Messungen wiesen ein Verhältnis von 5,543 : 1 auf.

Im weiteren Sehfeld im Bereich der Umfassungswände errechnet sich ein Verhältnis von 11,666 : 1

Laut DIN sollte das Verhältnis der Leuchtdichten im näheren Umfeld den Faktor 3 und im ferneren Umfeld den Faktor 10 nicht überschreiten.



[Abb. 1.113]
*Arbeitsplatz zur Ermittlung der
Blenderscheinungen
und Beleuchtungsstärken*

b) - Blendung
CPC 12 - 38 %

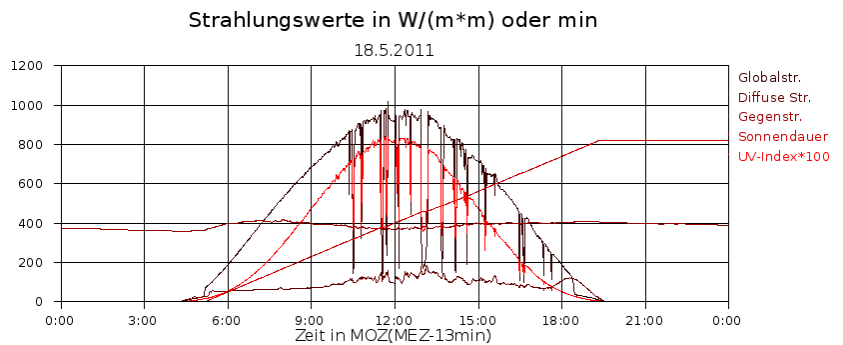
Am 18.05.2011 wurden zwei Fassadenelemente mit Kollektorfeldern CPC 12 - 38 % lichttechnisch vermessen. Es war ein strahlungsintensiver Tag mit Spitzenwerten von über 1000 W/m² Globalstrahlung.

Tag 18.05.2011
Ort: München
(48°08'20", 11°34'30")

Globalstrahlung zum
Messzeitpunkt. 1050 W/m²



[Abb. 1.114]
Arbeitsplatz zur Ermittlung der
Blenderscheinungen
und Beleuchtungsstärken



[Fig. 114_2]
[METEO_2010_11]
Strahlungsdiagramm

Zugrunde lag ein strahlungsintensiver Frühlingstag (18.05.2011), dessen Messdatenerfassung zwischen 13.30h bis 15.00 h. Zu diesem Zeitpunkt herrschte außen eine mittlere Beleuchtungsstärke von 117.450 Lux und eine Globalstrahlung von 1060 W/m².

Die Messungen der Leuchtdichte erfolgten auf dem Testsefeld, einem Referenzarbeitstisch in 0,85 m Höhe. Die Unterschiede von Licht und Schatten des Streifenmusters, das aufgrund der opaken Röhren auftrat, wies in einem Messabschnitt von einer Minute zwischen 2336 cd/m² und 2329 cd/m² auf während sich gleichzeitig in den Schattenflächen hinter den opaken Röhren Leuchtdichten zwischen 1165 cd/m² und 1390 cd/m² einstellten. Die Messungen an den umfassenden Wänden ergaben 246 cd/m². Leuchtdichtemessungen zu den Blendreflexionen an der Fassade ergaben Werte höher als 8260 cd/m² (Maximalwert der Messtechnik).

Für die Blendungen im direkten Sehbereich ergab sich Folgendes:

Die oben aufgeführten Messungen wiesen ein Verhältnis von 1,823 : 1 auf.

Im weiteren Sehfeld, sprich im Bereich der Umfassungswände, errechnete sich ein Verhältnis von 9,48 : 1

Laut DIN sollte das Verhältnis der Leuchtdichten im näheren Umfeld den Faktor 3 und im fernerer Umfeld den Faktor 10 nicht überschreiten.

Fazit und Ausblick -

**weitere Entwicklung auf
Grundlage der
Messergebnisse zur
Evaluierung des
thermischen und
visuellen Komforts**

Fazit der Messungen zum thermischen Komfort

1. Anhand der Temperaturkurven, die das thermische Verhalten der Bezugsräume beschreiben, kann man erkennen, dass bereits eine Erwärmung der Räume ohne direkten solaren Eintrag und somit nur über diffuse Strahlung erfolgt. Darüber hinaus ist nachweisbar, dass gegenüber unverschatteten Elementen auch bei diffuser Strahlung bereits eine signifikante Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes durch den Kollektor erfolgt.

2. Bei besonders steil stehender Sonneneinstrahlung auf einer Südfassade stellt sich eine selbst verschattende Sonnenschutzgeometrie ein. Bei diesem cut of Winkel der Röhren ist eine maximale Sonnenschutzwirkung erreicht. Bei guter Durchsicht der Fassade von innen nach aussen kann ein optimaler Sonnenschutz gewährleistet werden. Gleichzeitig heißt das aber auch im Umkehrschluss, dass für diese Situation ein geringer Energieertrag des Kollektors durch Eigenverschattung der Röhren zu erwarten ist.

3. Gerade bei flach stehender Sonne auf Ost- und Westfassaden während der Sommermonate kann man sehr hohe Energieeinträge in den Raum nachweisen. In diesen Fällen steigt die Erwärmung des Messraumes hinter dem Fassadenkollektor sehr stark an. Vor allem bei einem Perforationsanteil von 38% des Parabolspiegel-Lochblechs wird so ein zusätzlicher Sonnenschutz notwendig. Die statische Sonnenschutzwirkung wird aufgrund der Messungen mit einem Fc- Wert von 0,45 bewertet.

Fazit der Messungen zum visuellen Komfort

Die vorangegangenen Untersuchungen zeigen die Komplexität der Dialektik zwischen Energiegewinnung und Tageslicheigenschaften einer Fassade auf: Die energiegewinnenden Elemente beeinträchtigen die Transparenz und somit die Weiterführung des Lichtangebots in den Innenraum. Zudem sind die energiegewinnenden Elemente starr und können sich nur sehr schlecht den sich kontinuierlich ändernden äußeren Bedingungen von Strahlung im Allgemeinen bzw. Tageslichtintensität im Besonderen anpassen. Die sich bei direkter Sonneneinstrahlung einstellenden Beleuchtungsstärken über 16.000 Lux, die aus den Messungen hervorgingen, erfordern einen zusätzlichen Blendschutz laut den Technischen Regeln für Arbeitsstätten.



[Abb. 1.118_1]
*direkte Strahlung bei flach
stehender Sonne*



[Abb. 1.118_2]
*direkte Strahlung bei hoch
stehender Sonne*

Blendung

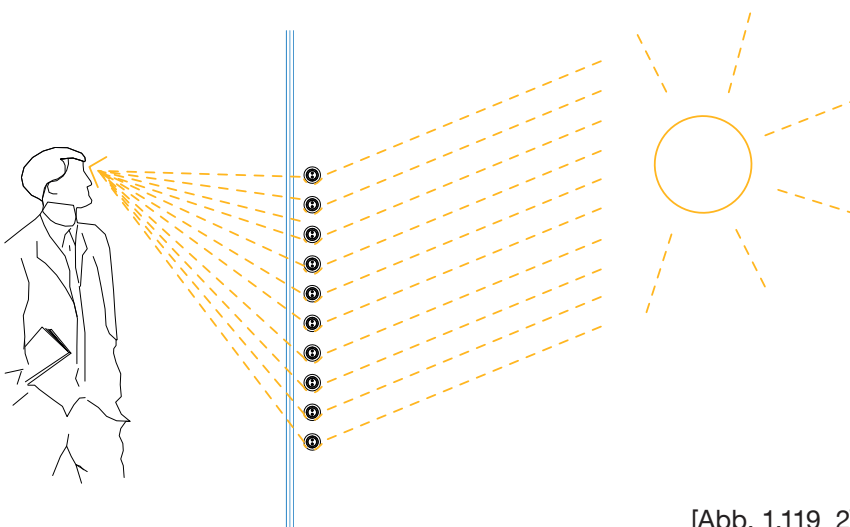
Bei direktem Strahlungseinfall auf das Kollektorfeld entsteht auf der Rückseite ein starker Blendstreifen, der auf so genannte divergente Strahlauskopplung zurückzuführen ist. Diese Lichtstreifen sind vergleichbar mit den bei Kapillarstrukturen zu beobachtenden ringförmigen Blenderscheinungen. Direkte Strahlung, die an der Außenseite der gekrümmten Röhre auftrifft wird entlang der Krümmung zum Rauminnen gebündelt und geleitet. Sie tritt dann an der Innenseite konzentriert auf. So entsteht ein sehr heller Lichtpunkt, der eine hohe Leuchtdichte aufweist. Als divergierende Strahlen bezeichnet man ein Strahlenbündel, das von einem Punkt ausgeht.

Die Messungen zu den Blendeigenschaften der untersuchten Fassade ergaben für den CPC 12 mit 19% Perforationsanteil im direkten Sehbereich ein Verhältnis der Leuchtdichten von 5,543 : 1 und im weiteren Sehfeld im Bereich der Umfassungswände ein Verhältnis von 11,666 : 1. Für die Blendungen im direkten Sehbereich ergab sich für den CPC 12 mit 38% Perforationsanteil im ein Verhältnis von 1,823 : 1 und im weiteren Sehfeld ein Verhältnis von 9,48 : 1. Laut DIN sollte das Verhältnis der Leuchtdichten im näheren Umfeld den Faktor 3 und im fernerem Umfeld den Faktor 10 nicht überschreiten. Dass der höher perforierte Spiegel bessere Blendeigenschaften durch geringere Kontrasteigenschaften besitzt, erschien zunächst paradox. Der höhere Perforationsanteil bewirkte aber ein höheres Gesamtniveau der Strahlung, die an allen Raumumfassungswänden reflektiert wurde. Dadurch entstand ein hohes aber homogeneres Beleuchtungsniveau.



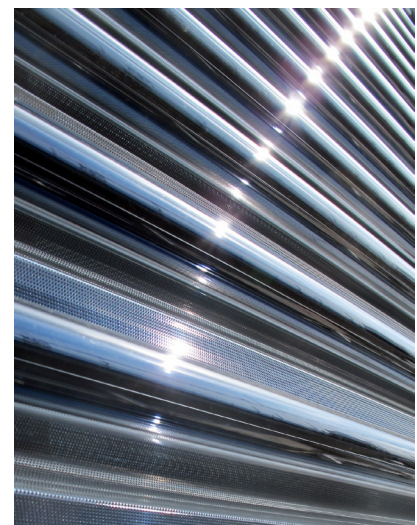
[Abb. 1.119_1]

divergente Strahlauskopplung



[Abb. 1.119_2]

*Funktionsweise einer
divergenten Strahlauskopplung*



[Abb. 1.119_3]

divergente Strahlauskopplung

Beleuchtungsstärke auf der Arbeitsplatzoberfläche

Die Wertespitzen der Beleuchtungsstärken, die auf der Arbeitsplatzoberfläche entstanden, erreichen bis zu 16.000 Lux. Sie bauten sich mit dem Verlauf der Sonne über einen Zeitraum von wenigen Minuten auf. Die Anpassungsfähigkeit des menschlichen Auges kann dies durch die Verkleinerung der lichteinfallenden Öffnung in der Iris kompensieren. Untersuchungen der Universität des Saarlandes haben ergeben, dass an Bildschirmarbeitsplätzen durch den Wechsel von Betrachtungen im direkten Sehfeld (Tastatur und Bildschirm) ca. 4000 bis 17000 Pupillenreaktionen pro Tag geleistet werden. [SASS_2014_1]

Je höher die Anzahl der Pupillenreaktionen ist, desto schneller treten Ermüdungserscheinungen der Nutzer auf, die durch ständige Aktivität der Pupillengrößenveränderung auftreten. Daher liegt die Integration eines zusätzlichen Diffusors als weiterführende Entwicklung dieser Fassadeneinheit nahe. So erfordern beide gemessenen Perforationen neben dem zusätzlichen Sonnenschutz auch einen zusätzlichen Blendschutz. Die Unfallverhütungsvorschrift Arbeit an Bildschirmgeräten VBG 104 §§ 9, 16, 25 sieht vor: „Der Bildschirm muss frei von Reflexionen und Spiegelungen sein, geeignete verstellbare Einrichtungen müssen an den Fenstern angebracht werden.“

Leuchtdichtemessungen zu den Blendreflexionen an der Fassade ergaben Werte höher als 8000 cd/m², was als „hoch“ einzustufen ist. Richtlinien fordern, dass hohe Leuchtdichten an Fenster-

flächen durch geeignete Sonnenschutzvorrichtungen vermieden werden sollten.

(Quelle: BGI 650 Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung)

An tageslichtorientierten Bildschirmarbeitsplätzen wird die vom Nutzer bevorzugte Beleuchtungsstärke signifikant von seinem Alter, der Jahreszeit, dem Fensterflächenanteil der Fassade seines Büroraums und seiner Bewertung des Ausblicks aus dem Fenster beeinflusst. Unter Tageslichtbedingungen werden überwiegend Helligkeitsniveaus als angenehm bewertet, in denen die horizontale und die zylindrische Beleuchtungsstärke deutlich über den normativen Mindestanforderungen der DIN EN 12464-1 liegen. [MOOS_2012_1]



[Abb. 1.121_1]

Unterschiedliche Beleuchtungsstärken bei Teilverschattung auf der Arbeitsplatzoberfläche.



[Abb. 1.121_2]

Unterschiedliche Beleuchtungsstärken auf der Arbeitsplatzoberfläche.



[Abb. 1.121_3]

Unterschiedliche Beleuchtungsstärken bei Teilverschattung im weiteren Umfeld

Zusammenfassendes Fazit:

Aufgrund der Erkenntnisse, die aus den Entwicklungen und den Observationen hervorgehen, kann man festhalten, dass die Integration einer technischen Komponente die Komplexität einer Fassade signifikant erhöht. Synergetische Effekte können wie in den Messungen gezeigt nur eingeschränkt festgestellt werden.

Daher ergeben sich für eine weitere Entwicklung einer mehrfach-funktionalen Fassade folgende Strategien:

1. Für Funktionseinheiten, bei denen keine synergetischen Funktionsüberlagerungen festzustellen sind, werden zusätzliche adaptive und regulatorische Elemente integriert. Diese gilt es genau auf die spezifischen Anforderungen abzustimmen. Exemplarisch wurde dies auf den folgenden Seiten für die solarthermische Kollektorfassade untersucht. Durch die starke Vielschichtigkeit der entstehenden Abhängigkeiten der Funktionsparameter wird dieser Ansatz nicht weiter verfolgt.

2. Aufbauend auf der Erkenntnis der erhöhten Komplexität wird in dieser Arbeit ein weiterer Ansatz für eine strategische Entwicklung eines multifunktionalen Fassadenelements verfolgt. In Kapitel II. werden zunächst bestehende Strategien solcher am Markt gängiger Systeme untersucht. Darauf aufbauend werden dann modulare Strategien dargelegt, wie eine multifunktionale Fassadeneinheit entwickelt und umgesetzt werden kann.

1. Exemplarische Weiterentwicklung der solarthermisch aktivierten Kollektorfassade

Die zusammenfassende Bewertung der Messungen zum thermischen sowie zum visuellen Komfort ergeben Potentiale für eine Weiterentwicklung des Systems. Diese Weiterentwicklung könnte ein weiterer Baustein in der Systematik des offenen Systems sein:

1. Die Geometrie erlaubt die Integration eines adaptiven ausenliegenden Sonnenschutzes zwischen äußerer Scheibe der Basiseinheit und Funktionsmodul (hier das solarthermische Kollektormodul). Folgende Vorteile würden sich hieraus ergeben:

- Ein leichtes textiles Sonnenschutzrollo könnte windgeschützt durch das Spiegelblech vertikal auf- und abfahren. Auch bei Windgeschwindigkeiten über 30 m/s könnte die Reduzierung des solaren Energieeintrages durch den geschützten Sonnenschutz gewährleistet werden.
- Die Lage des Rollos kann im Geschossdeckenbereich integriert werden.
- Eine einfache seitliche Schienenführung kann in einem C-Profil eine hohe Windbeständigkeit gewährleisten.
- Das textile Sonnenschutzrollo kann eine Streuung des Tageslichts bewirken und den Blendstreifen, der auf die divergente Strahlauskopplung der Glasröhren zurückzuführen ist, abmildern.
- Ein Herablassen eines textilen Elementes während der Nacht würde vor allem bei höher per-

forierten Spiegelblechen eine Verbesserung des U-Wertes mit sich bringen. Spezielle Beschichtungen wie beispielsweise Low E-Beschichtungen könnten ebenfalls zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Fassade beitragen, (Low-Emissivity = niedrige Wärmeabstrahlung) Beschichtungen können kurzwellige Strahlung durch ein Bauteil dringen lassen, während die langwellige Infrarotstrahlung reflektiert wird. Somit können diese Beschichtungen signifikant den U-Wert eines Fassadenaufbaus verbessern. Darüber hinaus würde der Strahlungsaustausch der Fassadenoberfläche mit dem Weltall verringert werden.

2. Die Rückseite des Spiegels müsste mit einer matten hellen Oberfläche versehen sein. Diese könnte den Blendstreifen der Glasröhren abmildern.

3. Untersucht wurde in den vorangegangenen Untersuchungen die homogene Perforation der Reflektorbleche über die Geschossigkeit. Grundsätzlich spielte eine transparente Ausbildung der Brüstungszone für die Versorgung des Raumes mit Tageslicht keine signifikante Rolle. Sie trug aber wesentlich zum erhöhten Energieeintrag solarer Strahlung bei. Aus diesem Grund schlagen viele Planer für Verwaltungsbauten sogenannte Bandfassaden vor, also opake Brüstungen und durchlaufend transparente Fensterbänder der Ausblickzone. In diesem Sinne wäre die Weiterentwicklung verschiedenartiger Perforationen innerhalb eines Geschosses zu untersuchen. Dies böte den Vor-

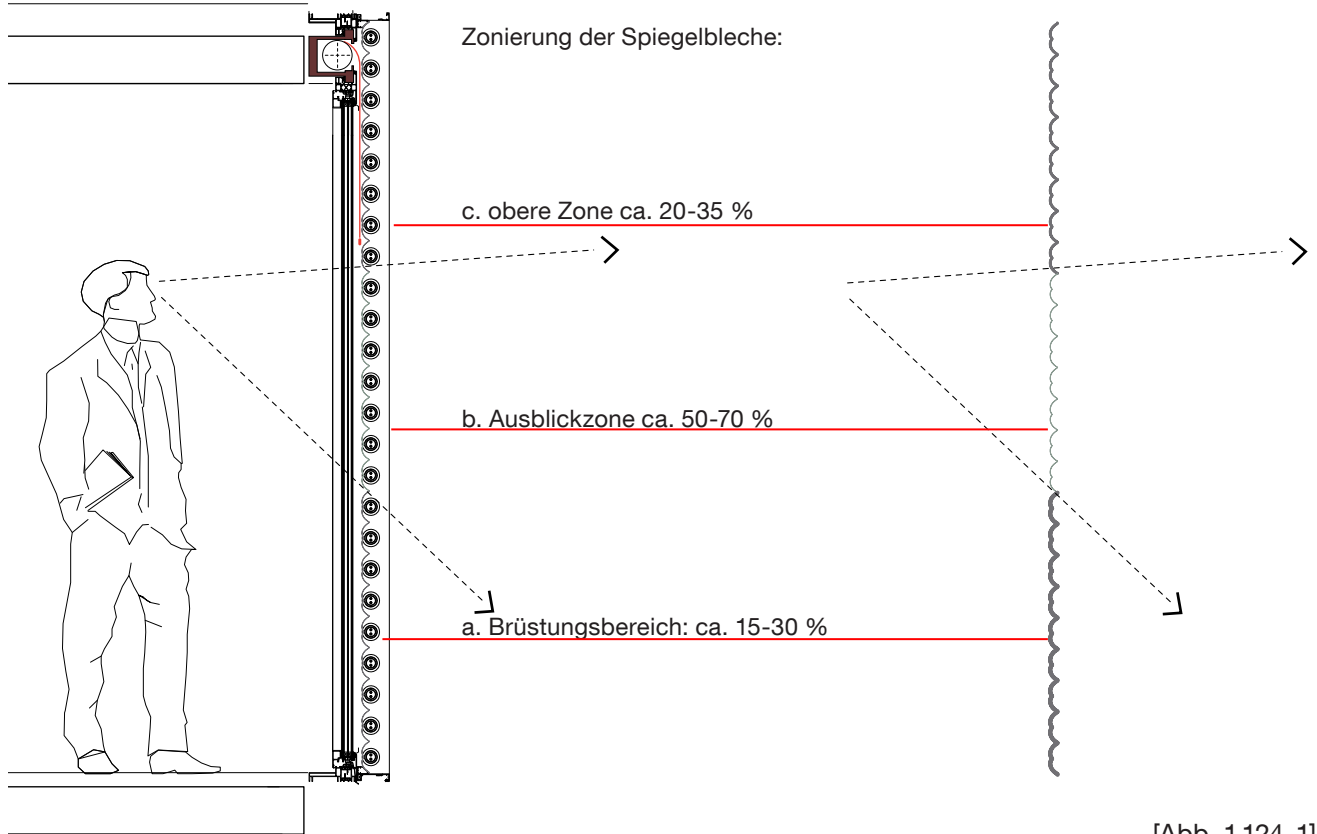
teil eines homogenen Erscheinungsbildes der Fassade nach außen bei differenzierten und nutzungsorientierten Transparenzen. Genauer wäre zunächst eine geringe Transparenz im Brüstungsbereich (0-90cm), hohe Transparenz im Ausblickbereich (90-180cm) geringe Transparenz im oberen Bereich (180-Unterkante Decke) anzustreben.

Nach den bisherigen Untersuchungen erscheinen folgende Perforationen zunächst sinnvoll:

- a. Brüstungsbereich:
ca. 15 bis 30 %
- b. Ausblickzone
ca. 50 bis 70 %
- c. obere Zone
ca. 20 bis 35 %

Somit würde bei vergleichbarer natürlicher Belichtung der Räume ein höherer visueller Aussenbezug entstehen.

A. Grafische Simulation der beschriebenen Weiterentwicklung eines differenzierten Lochbleches:



[Abb. 1.124_1]
Schemazeichnung der differenzierten Perforation

B. Grafische Simulation der beschriebenen Weiterentwicklung eines zusätzlichen Blend- und Sonnenschutzes mit Diffusor-Wirkung:

Abmilderung des Reflexionsstreifens

Diffusion direkten Lichts und zusätzlicher adaptiver Sonnenschutz



[Abb. 1.124_2]

Überlegungen hinsichtlich Material und Geometrie:

Um eine Einschätzung der Optionen einer weiteren Untersuchung zu erlangen, wurde ein zusätzliches textiles Sonnenschutzrollo in die Ebene zwischen Verglasung und Parabolspiegel des Kollektors eingefügt. Diese liegt in der horizontalen Ebene der Geschossdeckenplatte.

Durch den Einsatz von am Markt verfügbaren textilen Rollos wurden nun zunächst Fabrikate der Ferrari Soltis 86 der Précontraint Serie getestet. Diese zusätzliche adaptive Ebene könnte als Lichtdiffusor wirken und vor allem den auftretenden Blendstreifen abmildern.

Das verwendete Gewebe aus Polyvinylchlorid (PVC) ist mit einer Low E Beschichtung versehen, welche den thermischen Emissionsgrad der Oberfläche im Infrarot-Wellenlängenbereich (von 3 μm bis ca. 35 μm) senkt.

Erste potentielle Tests mit diesem Gewebe ergaben eine Durchlässigkeit der hohen Leuchtdichten und damit immer noch auftretende Blenderscheinungen. Dies geschieht durch die Eigenschaft des Textils als Gewebe: Durch die offenen Bestandteile des Gewebes dringt die Strahlung ungefiltert hindurch. Daher liegt die Vermutung nahe, dass für einen Diffusor ein geschlossenmaschiges und homogenes transluzentes Material geeigneter wäre. Die nähere Untersuchung geschlossenmaschiger Gewebe oder Folien stellt ein erstes Arbeitspaket eines Entwicklungspotentials dar.

bb. 1.123_3]



[Abb. 1.125_1]
Schemazeichnung
des zusätzlichen
Sonnenschutzes



[Abb. 1.125_1]
Einbau eines ersten Tests mit
textilem Gewebe



[Abb. 1.126]

*Die Nachtwirkung der eingebauten
Kollektorfassade:*

II. Entwicklung eines mehrfachfunktionalen und technikintegrierten Fassadenmoduls

Multifunktionale und modulare Fassadensysteme

Die derzeit am Markt erhältlichen und sehr verbreiteten Fassadensysteme sind großteils Aufsatzmodule und agieren so als additive Systeme auf konventionellen Gebäudehüllen. Als solche sind diese ineffizient, wenn man bedenkt, dass man Energiegewinnung, Witterungsschutz und Wärmedämmung in einem Modul vorfertigen kann. Eine Bauteilintegration spart Rohstoffe, Zeit und Kosten bei der Montage. Die Integration von haustechnischen Elementen in die Fassade erlaubt eine Verminderung der Leitungsführungen in den Geschossdecken. Daher können die Aufbauten der Geschossdecken in ihrer Höhe reduziert werden. Eine überschlägige Rechnung ergibt mit dieser Optimierung der einzelnen Geschossdeckenpakete eine Verringerung des Gebäudevolumens um ca. 6 % neben der Vergrößerung der Geschossflächen durch das Entfallen von Technikräumen und Schachtflächen für die Luftverteilungskanäle. Die Arbeit konzentriert sich vorwiegend auf die Entwicklung der Fassade in Elementbauweise, Die Vorfertigung bringt auch eine erhebliche Qualitätssteigerung und Präzisionsverbesserung mit sich, denn in den Produktionsstraßen der Fassadenhersteller können höhere Genauigkeiten der Bautoleranzen erzielt werden als auf den Baustellen. Neben der Effizienzsteigerung durch Vorfertigung und Bauteilintegration ist ein wesentlicher Aspekt die gestalterische Entwurfsfreiheit des Planers und die Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Kontexte wie Bestandsbauten oder unterschiedliche Geometrien. Auch die

Nachrüstung und Ertüchtigung von Technikkomponenten in der Zukunft kann mit einem geringeren Aufwand erzielt werden, da der Ersatz eines Fassadenmoduls sicherlich kompatibler mit dem Betrieb des Gebäudes ist als die gesamte zentrale Haustechnik mit Leitungsführung auszutauschen. Durch eine zonierbare, dezentrale und raumweise trennbare Steuerung kann ein Gebäude sehr individuell und damit effizienter betrieben werden.

Stand der Technik modularer Systeme

Es stellt sich vermehrt ein neues Rollenverständnis einiger Hersteller, die Systemlösungen und Kompetenzen in Form von Vermittlung von Dienstleistungen bis hin zu gesamten Systemen mit verschiedenen Produktfamilien anbieten, heraus. Vor diesem Hintergrund gibt es seitens Forschung und Industrie das Bestreben, aktive solare Nutzung und haustechnische Komponenten in Bauteile zu integrieren und ganzheitliche Systeme anzubieten. Es ist davon auszugehen, dass immer mehr Gebäudehüllflächen zur Energiegewinnung herangezogen werden. Hersteller und Forschungseinrichtungen forschen an gebäudeintegrierten und energiegewinnenden Systemen in modularen Komponentensystemen. Eine besondere Herausforderung ist hierbei die Abstimmung der einzelnen technischen Komponenten und die Koordinierung der technischen Parameter zwischen den Gewerken und den Bereichen Fassade / Haustechnik.

Ein Beispiel eines solchen Systems ist die Schüco E2 Fassade, die Öffnungselemente, dezentrale Lüftung, Sonnenschutz und Photovoltaiktechnologie in einem Element vereinigt. Es ist der Versuch, erstmalig abgestimmte Schnittstellen der Gebäudehülle in einem Produkt zu ermöglichen und eine gewerkeübergreifende rationelle Planung und Ausführung sicherzustellen. Es handelt sich bei der E2 Fassade um ein modular aufgebautes Komponentensystem mit integrierten haustechnischen Lösungen in der Gebäudehülle, die durch gute Dämmeigenschaften und integriertem Sonnenschutz sowohl Energie einspart, als auch mittels Photovoltaik Energie gewinnt. Die Integration der Öffnungselemente inklusive ihrer Systemantriebe sowie der außen liegende Sonnenschutz mittels steifer Mikro-Lamellen des Schüco Sonnenschutzes CTB (Concealed Toughened Blind) kann dank einer hohen Lamellenstabilität bei Windgeschwindigkeiten bis 30 m/s ausgefahren werden. Somit kann eine Reduzierung des Energieeintrags auch bei hohen Windgeschwindigkeiten gewährleistet werden. Die dezentrale Lüftung ist vor die Geschossdecke im Fassadenelement integriert und durch die dezentrale Technik entfallen Flächen für Schächte und Lüftungszuführungen. Somit ergibt sich ein Flächen Gewinn sowie eine Reduktion der Geschosshöhen. Die Photovoltaikmodule sind variabel als Teilflächen oder geschosshoch einsetzbar. Laut Hersteller können sie in Form, Farbe und Struktur flexibel gestaltet werden. Das Teilprodukt ASI Thru wird vom Glasverarbeiter Schott bereitgestellt.

Ähnlich arbeitet die Fa. Wicon an ihrer Fassade TeMotion, die ein dezentrales Lüftungselement mit Wärmetauscher, integriertem Sonnenschutz, zusätzlicher künstlicher Belichtung zur Unterstützung des Tageslichts und integrierten Photovoltaikmodulen in einer Elementfassade kombiniert. In einer Kompetenzpartnerschaft mit zahlreichen Hersteller- und Beraterfirmen hat die Hydro Building Systems GmbH einen Fassadentypus entwickelt, der die Fassade als integratives System begreift, das als autarkes haustechnisches System Energieeinträge und die vier Komfortparameter steuert. Die Wortschöpfung „TeMotion“ ist ein Kunstwort. Es soll die Synthese von Technologie, Emotion und Bewegung (Motion) verdeutlichen um so die Anpassungsfähigkeit der Gebäudehülle zu verdeutlichen. Sie reagiert auf die Veränderung äußerer und innerer Bedingungen wie Licht oder Temperatur und trägt so zur energetischen Optimierung der Gebäudehülle und zur Reduzierung der Betriebskosten bei.

Eine von Kawneer/Alcoa entwickelte multifunktionale Monofassade ist ebenfalls modular aufgebaut und bietet unterschiedliche Ausbaustandards. Die unterschiedlichen Bauteile setzen sich zusammen aus Verglasung, Sonnenschutz, Tageslichtlenkung, Be- und Entlüftung oder Dünnschicht-Photovoltaik-Elemente und Solarthermie. Auch hier steht die verkürzte Montagezeit durch einen hohen Grad an Vorfertigung als zentraler Ausgangspunkt dieser Entwicklung. Die Fassadenstudie verfügt über einen innen liegenden Sonnenschutz, der das Innenraumklima zusätzlich aufheizt. Indem der Sonnenschutz im Scheibenzwischenraum die Strahlung absorbiert und als Wärme an seine Umgebung abgibt, heizt sich die Luft im Scheibenzwischenraum soweit auf, dass die angrenzende Innenscheibe als Flächenheizkörper agiert und den Innenraum zusätzlich aufheizt. Auch die Wartung dieses im Zwischenraum liegenden Sonnenschutzes ist als aufwändig einzuschätzen. Die aktive Energiegewinnung soll über ein Dünnschicht-Photovoltaikmodul erreicht werden, was gestalterische Freiheit und Transparenz schaffen soll.

Neben den voran beschriebenen Herstellern und Systemen arbeiten auch andere Entwicklungsabteilungen der Hersteller an mehrfachfunktionalen Fassadensystemen, denn es zeigt sich vermehrt, dass der Energieverbrauch eines Gebäudes von der Leistungsfähigkeit der Gebäudehülle abhängt. Je besser die Gebäudehülle den Energieeintrag, die Belüftung und das Tageslicht steuert, desto geringer kann der Aufwand für interne haustechnische Systeme ausfallen.

Die „Multifunktionelle plug and play Fassade“ (mppf) ist ein gemeinschaftsprojekt von Instituten der Technischen Universität Graz: Die Institute für Wärmetechnik für Hochbau und Bauphysik, für Elektrische Anlagen für Materialprüfung und Baustofftechnologie und das Institut für Architekturwissenschaften der Technischen Universität Wien kooperierten mit Industriepartnern in einem von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) geförderten Forschungsprojekt unter der Projektnummer 815075 im Rahmen des Cometprogrammes.

Die MPPF integriert mittels einer haustechnisch vernetzten Steuerung die Raumklimatisierung und künstliche Beleuchtung über die Fassade und die Energiegewinnung mittels Photovoltaik und Solarthermie. Ein besonderer Aspekt dieser Studie ist die Verteilung Steuerung und Regelung der einzelnen Komponenten. Das Projekt wurde bereits in einer Prototypenfassade am Standort FIBAG Stallhofen realisiert. Hierbei kam erstens eine sehr aufwendig zu konstruierende und nur zu einem geringen Grad vorfertigbare Fassade in Pfosten-Riegel-Bauweise zur Ausführung, was den Gedanken der Modularität und der Austauschbarkeit von Fassadenmodulen entscheidend schwächt. Zudem lag der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Integration und Vernetzung der Steuerungen und nicht auf der architektonischen Integration und gestalterischen Abstimmung der Komponenten.

Anforderungen an eine mehrfachfunktionale Fassade

Die vorangegangenen Untersuchungen eines konkreten Bausteins einer technikintegrierten Fassade bilden die Grundlage für die Entwicklung einer mehrfachfunktionalen Fassade.

Die auf den folgenden Seiten aufgeführte Entwicklung eines solchen Systems ist zunächst in diese Arbeitspakete einzuteilen:

a) Geometrische Entwurfparameter wie

- Geschosshöhen von Bürogebäuden
- Raumgrößen von Büroeinheiten
- (Realisierbarkeit von Einzel-, Doppelbüros und Großraumeinheiten basierend auf einem effizienten Raster für Verwaltungseinheiten)
- Transportgrößen von Elementen

b) konstruktive Entwurfparameter wie

- Modulgrößen von Komponenten (Photovoltaik, Röhrenformate der Solarthermie, Größe der Lüftungsgeräte,
- fertigungstechnische Größen
- statische Anforderungen wie Windlasten und Eigenlasten

c) materialrelevante Parameter

- Anschaffungskosten
- Verarbeitbarkeit
- Dauerhaftigkeit und Widerstandsfähigkeit aller Komponenten
- Energiebilanzierung

d) Operative Entwurfparameter wie

- Handhabung (z.B. von Öffnungsflügeln)
- Dauerhaftigkeit der technischen Komponenten und Materialien
- Austauschbarkeit von Komponenten
- Rezyklierbarkeit

Bei der weiteren Entwicklung der Fassade lag der Schwerpunkt vorwiegend auf den Punkten a) und b). Die Punkte c) und d) wurden in den Entwicklungsschritten zwar berücksichtigt, doch erhielten diese in der Dokumentation keine weitere Relevanz. Alle aufgeführten Punkte sind in einem iterativen Entwurfsprozess zu überlagern.

Äußere Entwurfparameter - Grundrisstypologien

Die geometrischen Abmessungen von Fassadeneinheiten hängen zunächst stark von den Raumgrößen der Büroeinheiten ab. Daher wird im Folgenden untersucht, welche Typologien von Büroarbeitsplätzen sich ab ca. 1950 entwickelt haben, heute gängig sind und welcher Trend für die Zukunft zu erwarten ist.

Die Effizienz von Arbeitsprozessen hängt stark von der räumlichen Organisation der Arbeitsplatzsituation ab. Die vorgegebene Geometrie von Einzel-, Doppelbüros und Grossraumeinheiten bestimmt neben Fertigungs- und Transportparametern hauptsächlich die Abmessungen der Fassadenabschnitte und Einheiten.

Die gängigsten Bürotypologien sind:

Zellenbüro

In dieser sehr gängigen Büroform liegen die Einzel- oder auch Doppelzimmer entlang der Fassade zur natürlichen Beleuchtung mit ausreichend Tageslicht, nur die dahinter liegenden Flure sind als reine Verkehrsflächen und Fluchtwege künstlich belichtet. Die allgemein zugänglichen Infrastrukturen wie Kommunikationsräume, Multifunktionsgeräte, Archive, Teeküchen, die wenig oder kein Tageslicht brauchen, liegen zumeist im Inneren des Gebäudes. Vorteile sind sehr konzentriertes Arbeiten sowie der hohe Grad an Autonomie für einen Arbeitsplatz, Nachteile sind neben dem Mangel an informellem Austausch und Spielraum für Kommunikation auch eine geringe Flächeneffizienz durch die vielen Raumtrennwände.

Großraum- und Gruppenbüro
Im Gegensatz zu den wenig kommunikativen Zellenbüros entwickelten sich aufgrund von besserer Flächeneffizienz und größerer Flexibilität offene Büros für Gruppen bis zu 100 Arbeitsplätzen. Vor allem für Arbeiten mit einem hohen Maß an Informationsaustausch und Kommunikationsbedarf jedoch geringen Anforderungen an die Konzentration ist der Groß- wie der Gruppenraum weit verbreitet.

Multi-Space-Konzept

Die Multi-Space-Konzepte vereinen Vorteile von Gruppenräumen und Zellen. Sonderflächen mit Kommunikationszonen, Rückzugsflächen sowie Räume für informelle Begegnung und Austausch gliedern den Grundriss. Diese Struktur soll den gestiegenen Anforderungen an modernem Kommunikationsverhalten deutlich besser entsprechen als die offenen Strukturen der Großraumbüros mit ihren problematischen Störfaktoren wie Telefon und Ähnlichem. Neben Räumen für Besprechungen informeller Art an Kaffeebars und Loungebereichen bieten diese Flächen genug Offenheit für jegliche Gewohnheiten der Mitarbeiter.

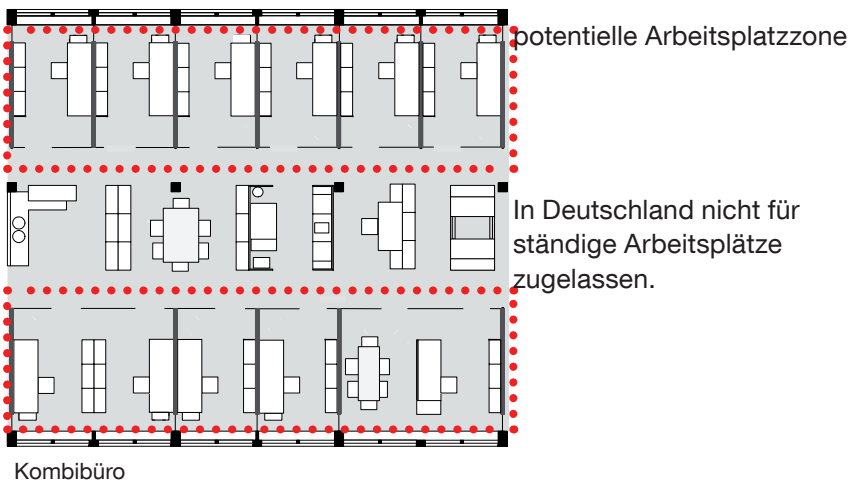
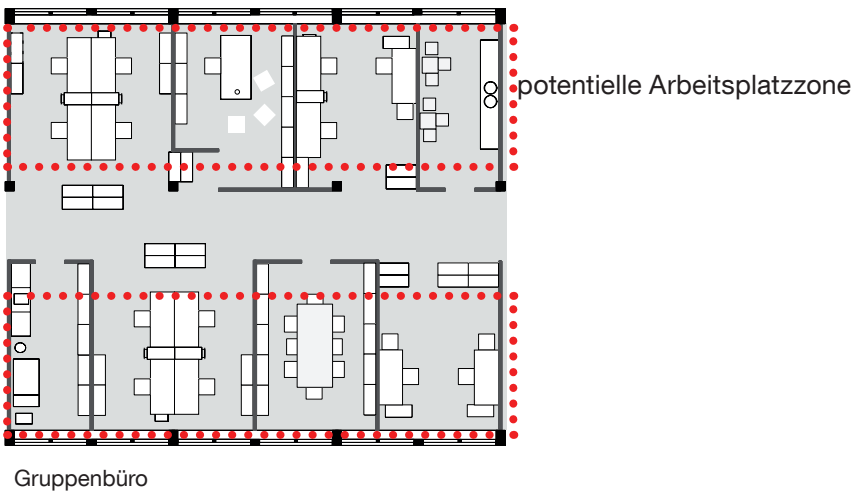
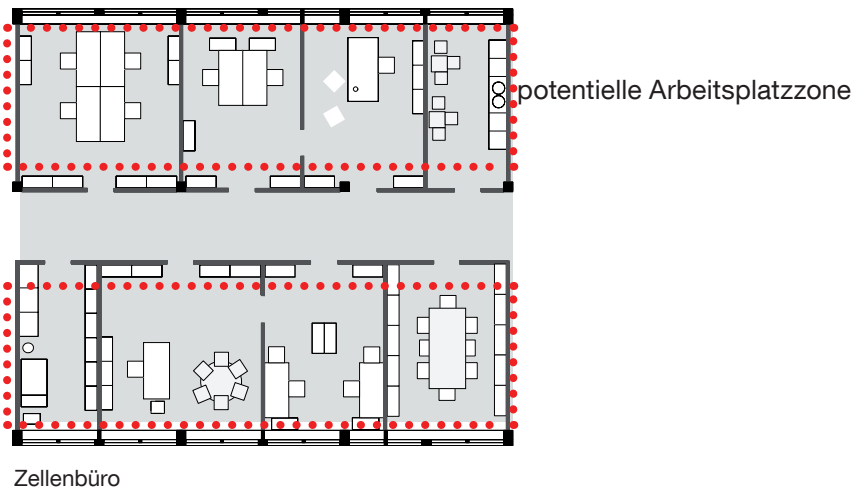
Kombibüro

Eine spezielle Form des Multi-Space-Konzepts ist das Kombibüro. Es vereint ebenfalls Vorteile von Zellen- und Großraumbüro bei Vermeidung der Nachteile. Arbeitsplätze sind in geschlossener Konfiguration vorwiegend aufgrund natürlicher Versorgung mit Tageslicht an der Fassade orientiert, wobei Kommunikationsplätze in der nur indirekt belichteten zentralen Zone liegen. Sie sind in der Effizienz der Zellbürostruktur überlegen.

Business Club

Beim Business Club sind persönlich zugeordnete Arbeitsplätze nicht mehr existent. Stattdessen arbeitet diese Typologie mit Arbeitsszenarien, die die Tätigkeit und nicht die Person, die sie ausführt, räumlich strukturiert. Daher sind Rückzugsbereiche und Plätze für konzentrierte Arbeit und informelle oder auch offizielle Kommunikationsszonen vorgehalten, die die Mitarbeiter in verschiedenen Zeitfenstern buchen. Trotz höherer Investitionskosten können Business Clubs sehr flächeneffiziente Arbeitsplätze anbieten.

Vor allem die Struktur des Zellenbüros gab in den Jahren von 1950 bis 1990 die geometrische Vorgabe des typischen Rastermaßes von Bürogebäuden vor, denn innere Trennwände geben die Anschlussmöglichkeit an die Fassade und somit das Rastermaß einer Gebäudehülle vor. Nachdem sich im angelsächsischen Raum, aber auch nach und nach in Mitteleuropa die Konzepte des Großraum- und Gruppenbüros, Multi-Space-Konzepts, Kombibüros und Business Clubs durchsetzten, liegt die Entscheidung über die Rastermaße eher im Transport oder der effizienten Produktion der Fassadeneinheiten, da zunehmend Innenwandanschlüsse entfallen, die ein Raster bestimmen könnten.



[Abb. 2.132]
 Grundrisstypologien von gängigen
 Arbeitsplatzorganisationen.

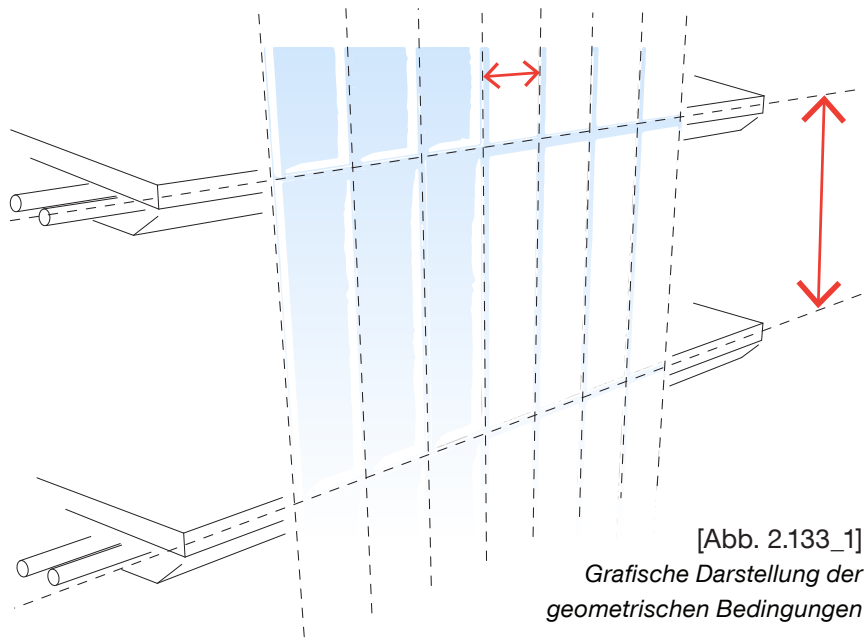
Die Plandarstellungen links zeigen Typologien von gängigen räumlichen Arbeitsplatzorganisationen auf. Neben weichen Faktoren wie kulturellen Unterschieden der Arbeits- und Kommunikationsweise gibt es auch Unterschiede in der Gesetzgebung. Vor allem in Nord- und Südamerika, weiten Teilen Asiens und in Großbritannien ist die Versorgung mit Tageslicht nicht gesetzlich geregelt. Daher sind Verwaltungsgebäude oft in einer ungleich höheren Raumtiefe organisiert. Ein erheblicher Teil der Arbeitsplätze liegt somit nicht in Fensternähe.

In Deutschland regelt vor allem die Technische Regel für Arbeitsstätten der Arbeitsstättenverordnung ASR A 3.4 die Anforderungen der Beleuchtung: „Die Arbeitsstätten müssen möglichst ausreichend Tageslicht erhalten“ [TRA_2011_2]

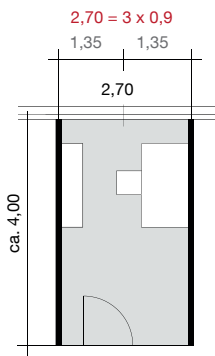
Ferner sollten Arbeitsplätze in Fensternähe, mit einem Abstand zur Tageslichtquelle von maximal 5 Metern angeordnet sein.

Die Darstellungen rechts stellen gängige Rastermaße von Bürogebäuden mit Zellenbüros im Vergleich dar. In Deutschland hat sich über die Jahre ein 1,35 m breites Raster durchgesetzt. Ausgehend von dem für den Innenausbau gängigen Rastermaß von 0,625 m ergibt 1,35 m ($2 \times 0,625 \text{ m} = 1,25 \text{ m} + 0,1 \text{ m}$ für eine Innenwand) ein Vielfaches für eine weitere Einteilung. So errechnet sich ein übliches Standardmaß für ein klassisches Einzelzellenbüro. In Großbritannien und in den USA haben sich 1,5 m Raster durchgesetzt. In diesen Ländern haben sich bereits in den 1960er Jahren die offenen Großraumbüros ohne Trennwände etabliert und durchgesetzt.

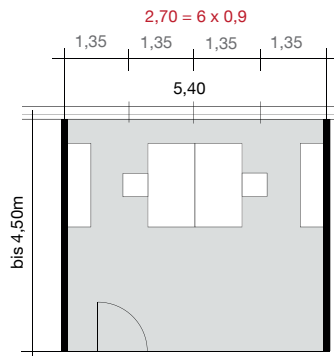
Für eine modulare Systembauweise ergibt sich nach der Analyse der dargestellten Rastergrößen eine kleinste gemeinsame Nenngröße von 900 mm als effizientes Rastermaß.



[Abb. 2.133_1]
Grafische Darstellung der geometrischen Bedingungen



a Einzelbüro mit zwei Fassadenrastern als kleinste abgeschlossene Einheit

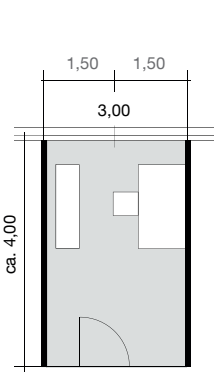


b Zweipersonenbüro mit vier Fassadenrastern und zwei gegenüber liegenden Arbeitsplätzen

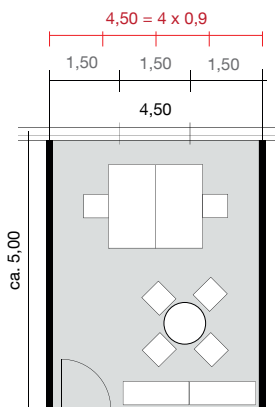


c Vierpersonenbüro mit fünf Fassadenrastern und vier gegenüber liegenden Arbeitsplätzen

1. Gängiges Büroraster in Deutschland: 1,35 m



a Einzelbüro mit zwei Fassadenrastern als kleinste abgeschlossene Einheit



b Zweipersonenbüro mit drei Fassadenrastern und zwei gegenüber liegenden Arbeitsplätzen



c achtpersonenbüro mit sechs Fassadenrastern und je vier gegenüber liegenden Arbeitsplätzen

2. Gängiges Büroraster in Großbritannien und USA: 1,50 m

[Abb. 2.133_2]
Gängige Büroteilungen im Vergleich

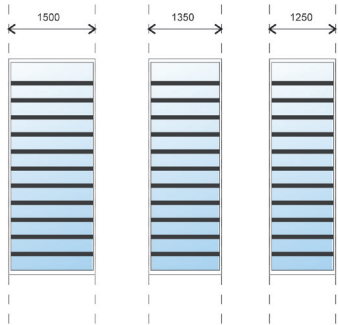
Modularität

Der Vorteil einer modular aufgebauten Fassade kann nur ausgeschöpft werden, wenn das System eine Flexibilität für den freien Austausch von Modulkombinationen erreicht. Die in sich geschlossenen Module sollten in ihren Funktionen voneinander unabhängig und gegeneinander austauschbar sein um eine maximale Anpassung an projektspezifische, geografische und lokale Gegebenheiten zu erreichen.

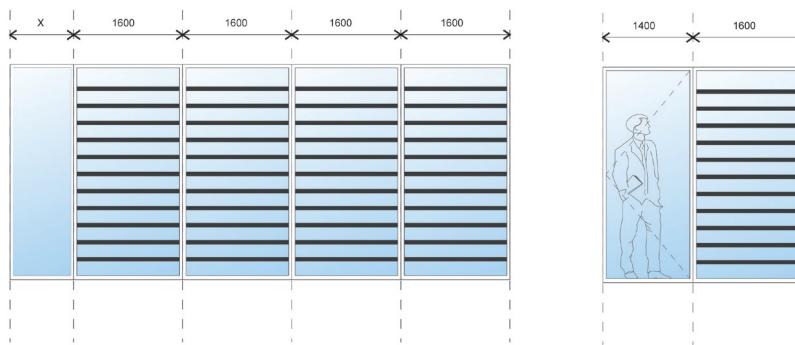
Um den dynamischen Anforderungen der Außenwelt Rechnung zu tragen, sollte eine Fassade die unterschiedlichen Witterungsverhältnisse adäquat durch Regulieren der physikalischen Größen adressieren. Somit ist die Hauptanforderung an eine Fassade die Adaptionfähigkeit, also die Anpassung eines Systems an äußere Umstände wie klimatische Bedingungen mit dem Ziel der Erhöhung der inneren Behaglichkeit. Eine adaptive Fassade verfügt über die Fähigkeit, auf die mit den Jahren, und vor allem mit den Tageszeiten wechselnden physikalischen Größen reagieren zu können. Ein modulares System bietet den Vorteil, dass seine Einzelbestandteile (Module) untereinander austauschbar sind und auf die Dynamiken unterschiedlich und gezielt reagieren können.

Für ein multifunktionales Fasadensystem heißt das, dass die einzelnen Funktionen einer Fassade wie Energiegewinnung thermischer und elektrischer Art, natürliche und konditionierte Lüftung sowie Sonnenschutzfunktionen in ein Bauteil integriert sind, das als Einheit montiert werden kann. Beispielsweise kann die Funktionseinheit mit photovoltaischer Nutzung auch ein Witterungsschutz sein.

Die am meisten verbreitete Integration einer Funktionseinheit ist die Sonnenschutzeinheit. Doch nur bei einem Baukastenprinzip, das Energiegewinnung, Lüftung sowie Sonnenschutzfunktionen in ein Bauteil integriert, spricht man von einer modularen Integrationsfassade.



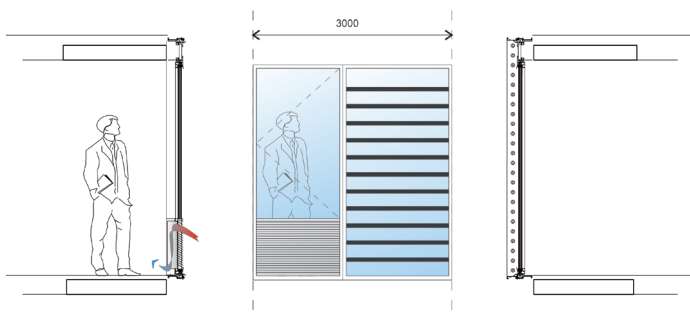
[Abb. 2.135_1] Erste geometrische Überlegungen zur Achsmaßbreite der Einheiten basieren auf der Analyse der Vereinbarkeit mit den oben beschriebenen Nutzungen.



[Abb. 2.135_2] Durch die Integration von technischen Komponenten werden gewisse Mindestmaße von Moduleinheiten erforderlich. Bei festen Modulgrößen erfolgt die Anpassung einer abweichenden Gebäudegeometrie durch ein freies Feld ohne technische Komponenten (x).



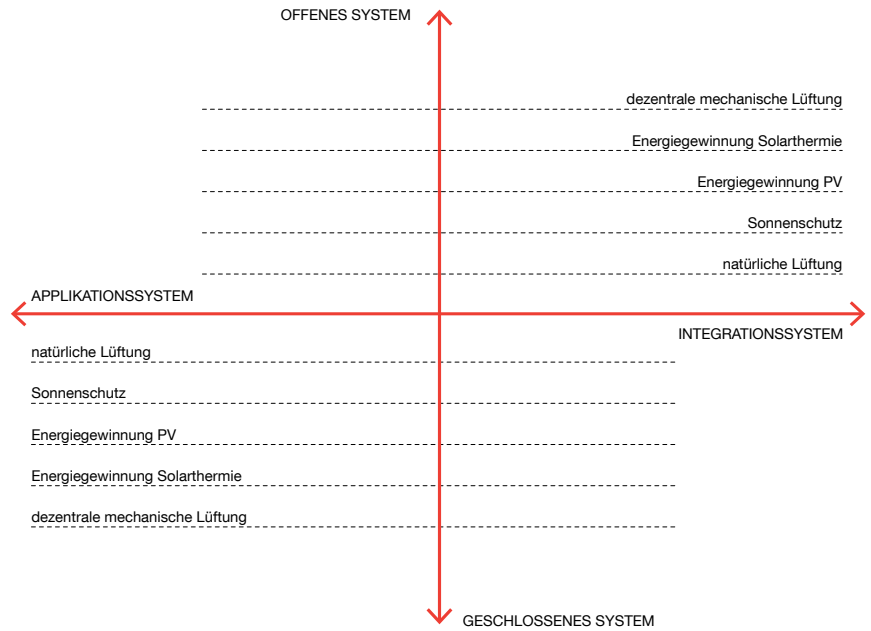
[Abb. 2.135_3] Die unterschiedliche Nutzung von Etagen kann zu unterschiedlichen Belegungen von Modulelementen durch unterschiedliche Anforderungen an die Räume führen. Somit können Irregularitäten bzw. Rasterversprünge zwischen Geschossen auftreten. Auch hier sind einzelne Sondergrößen von Modulen nötig.



[Abb. 2.135_4] Die Festlegung von Modulgrößen durch Mindestgrößen ihrer Komponenten kann auch durch die Anpassung eines anderen Funktionsmoduls erfolgen. So kann die Gesamtheit zweier Komponenten dem Modulraster entsprechen, auch wenn die Einzelkomponenten nicht den Abmessungen eines Modulrastermaßes folgen.

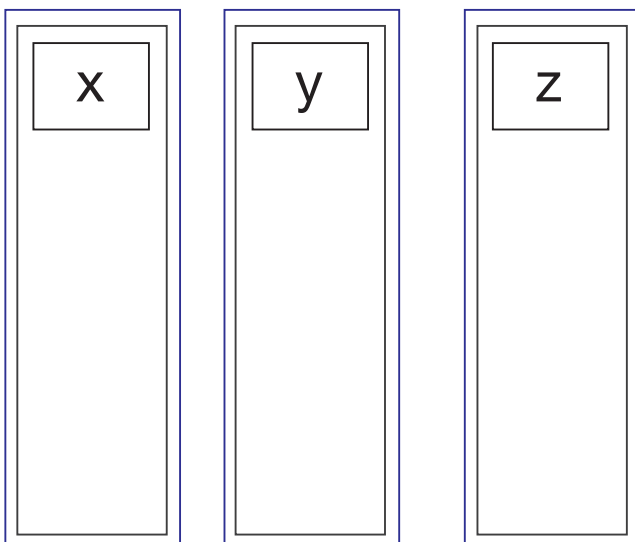
Offenes vs. geschlossenes System

Nicht nur in technischen Disziplinen unterscheidet man sogenannte offene und geschlossene Systeme. Dabei werden in den meisten Fällen offene Systeme so definiert, dass sie mindestens ein Element enthalten, das zu Elementen anderer Systeme in Wechselwirkung steht. Das heißt, dass dieses Element nicht isoliert werden kann ohne ein anderes System zu beeinträchtigen. Streng genommen sind beispielsweise alle in der Natur vorkommenden Systeme offene Systeme, da sie immer in gegenseitigen wenn auch kleinen Abhängigkeiten stehen. Ein Element eines geschlossenen Systems hingegen kann isoliert werden, ohne eine Beeinträchtigung auf andere Systeme zu bewirken.



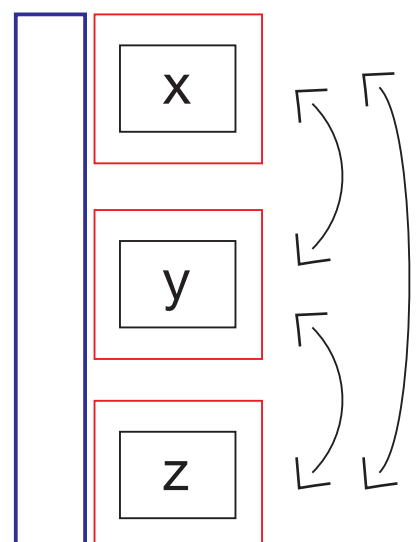
[Fig. 2.136_1]

Das Diagramm zeigt die Häufigkeit der Verbreitung von integrativen Bestandteilen in der Fassade: Die am meisten verbreitete Integration einer Funktionseinheit ist die Sonnenschutzeinheit, die am wenigsten integrierte Einheit ist die raumkonditionierende Einheit.



Fassadenmodul mit integrierten Technikkomponenten (geschlossenes System)

[Abb. 2.136_2]



Fassadenmodul mit Technikkomponenten als Aufsatzmodul (offenes System)

[Abb. 2.136_3]

Die Fassade als Schnittstelle der Gewerke

Die Trennung des Bauablaufes bei der Erstellung eines Gebäudes in verschiedene Gewerke bringt mit sich, dass unterschiedliche Bauteile unterschiedliche isolierte Gewährleistungen erfahren. Hersteller oder ausführende Firmen übernehmen nur isoliert für das jeweilige Gewerk die Gewährleistung. Die Integration von verschiedenen Disziplinen und Techniken in ein geschlossenes System erweckt die Frage nach der Übernahme der Gewährleistung für ein voll integriertes Bauteil mit hydraulischen, solaraktiven Bauteilen oder Lüftungsgeräten. Klassische Fassadenhersteller können nur bedingt Gewährleistungen von technischen Komponenten wie beispielsweise solarthermischen Anlagen übernehmen. Daher ist auf die geometrische Trennung von Einheiten der technischen Komponenten und der Grundfunktionen einer Fassade wie Wetterschutz zu achten. Definierte Schnittstellen, Durchstoßpunkte für Verkabelung oder solarthermische hydraulische Systeme sind zu isolieren. Durch standardisierte Anschlusspunkte kann die Trennung der Gewerke und Gewährleistungen sichergestellt werden.

Bauteilzyklus vs. Gebäudezyklus

In der Architektur divergieren in den meisten Fällen die Zyklen der einzelnen Bauteile eines Gebäudes mit dem Zyklus des Gesamtgebäudes. Dies hat vor allem folgende Gründe:

- unterschiedliche Inanspruchnahme der einzelnen Bauteile
- Änderung der Funktion von Gebäuden über ihren Lebenszeitraum
- Veränderung der Anforderungen an ein Bauteil (z.B. höhere Wärmedämmeigenschaft)

Mit der Entscheidung der Bauherren und der Planer ein geschlossenes System zu verwenden vergrößert sich die Bindung an ein Produkt und den Hersteller des Produktes. Die großen Lebenszyklen von Gebäuden divergieren aber auch mit den Zyklen der Hersteller. Konkret heißt das, dass ein Planer oder Bauherr oftmals nach einem größeren Zeitraum nicht die Sicherheit hat, passende Ersatzteile für das Bauteil zu bekommen oder einzelne Elemente auszutauschen. Diese Schwachstelle im Austauschzyklus ist ein Grund dafür, dass sich wenige Bauherren und Planer für eine volle Bauteilintegration entscheiden.

Offenes und geschlossenes System vs. Kontext und Gestaltung

Besondere kulturelle und kontextuelle Besonderheiten veranlassen Architekten und Bauherren dazu, die Fassade eines Gebäudes in ihrer Gestaltung individuell anzupassen und dem Gebäude einen eigenen Ausdruck zu verleihen. Daher ist die gestalterische Freiheit, die ein System zulässt, ein wichtiger Aspekt in der Entscheidung zur Verwendung eines Systems. Offene Systeme haben den Vorteil, dass sie unterschiedlichen Planern mehrere Möglichkeiten liefern, die Gestaltung der Fassade bei gleichzeitiger Gewährleistung hoher Stückzahlen des Basiselementes zu steuern.

**Exemplarische
Entwicklung einer
Bauteilintegration**
(Offenes System)

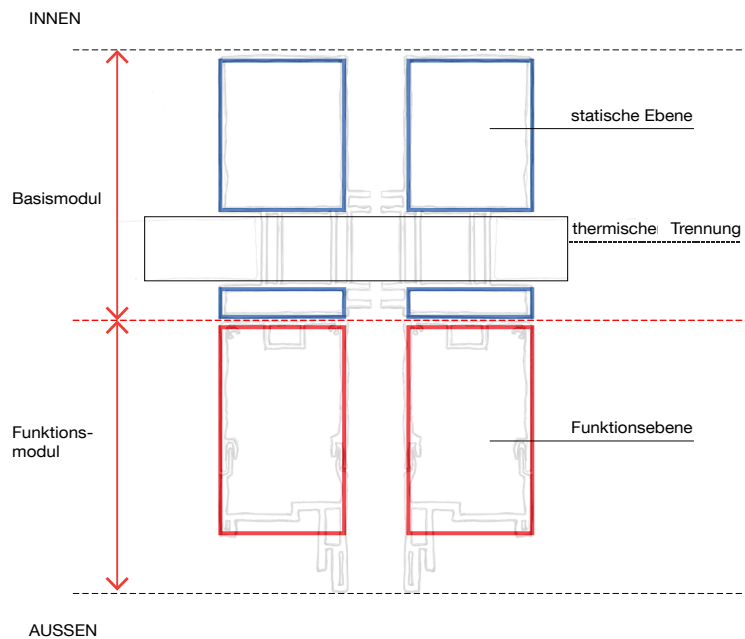
Konzeptionelle Entwicklung eines offenen Systems

Ein offenes System arbeitet mit der Trennung von Basis und Aufsatzmodulen. Aufsatzmodule können jederzeit dem Basissystem bestehend aus Witterungsschutz, thermischer Trennung, raumbildendem Element und Tragwerk entzogen werden. Der Aufbau des Konstruktionsprinzips ist wie folgt: Eine Trennung der einzelnen Elemente in zwei Schichten mit dazwischen liegender thermischer Trennung ermöglicht die Anpassung eines Basisprofils an den Kontext. Eine zweite Ebene dient der Integration von technischen Komponenten.

1. Statische Ebene
Diese Ebene kann je nach Gebäudetyp und statischen Anforderungen an ein Gebäude angepasst werden

2. Vorgehängtes Funktionselement, das die Einheiten Sonnenschutz, Energiegewinnung etc beinhaltet.

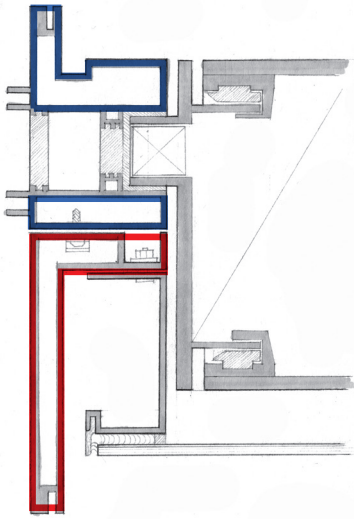
Die Integration von technischen Komponenten in die Gebäudehülle erfordert eine hohe Flexibilität auch in Bezug auf Wartung, Austauschbarkeit von technischen Neuerungen und Generationenwechsel von Technologien. Beispielsweise könnte es durch die schnelle Entwicklung im Bereich der Wirkungsgrade der Photovoltaik interessant sein, veraltete Module durch effizientere zu tauschen. Daher ist ein einfacher Wechsel der Funktionsmodule und deren Einzelkomponenten ein zentraler Entwicklungsparameter.



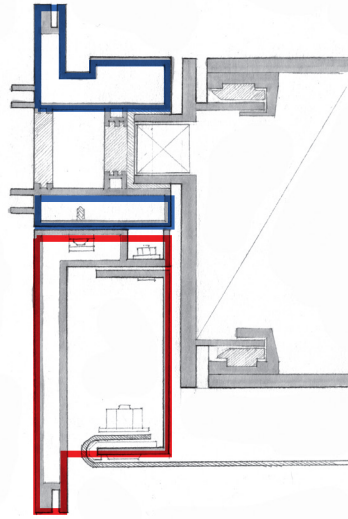
[Abb. 2.140]

Schemazeichnung des offenen Systems:

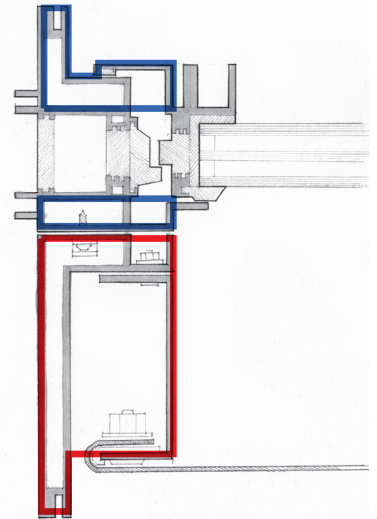
1. Ebene: Basismodul für Witterungsschutz, thermische Trennung, raumbildendes Element und Tragwerk
2. Ebene: Aufsatzmodule, die als spezifische Funktionsmodule dem Basiselement zugefügt werden.



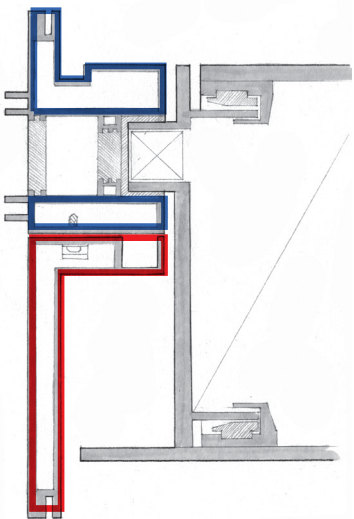
[Abb. 2.141_1]



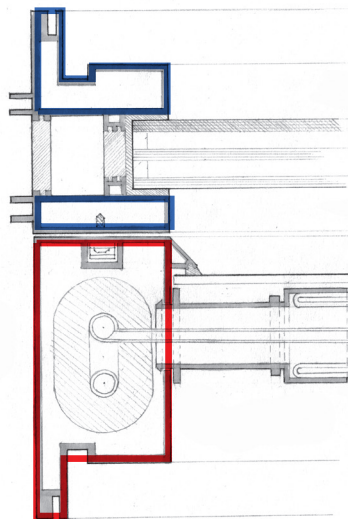
[Abb. 2.141_2]



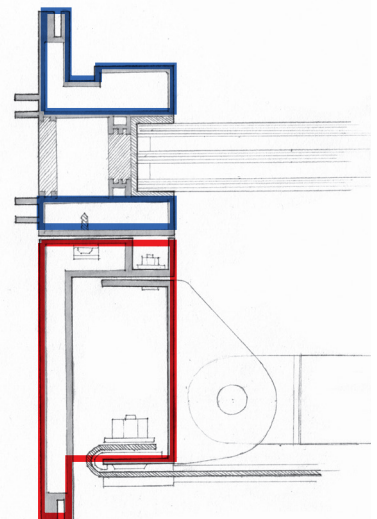
[Abb. 2.141_3]



[Abb. 2.141_4]



[Abb. 2.141_5]



[Abb. 2.141_6]

*Erste Strategien der Integration
verschiedener technischer
Komponenten des modularen
Fassadenkonzepts:
Zeichnungen auf der Basis von Jan
Fuhrmann im Rahmen eines
betreuten studentischen Projekts.*

Bauteilintegration durch Komponentenmodule

Die architektonische Integration der technischen Komponenten zur Bildung einer modular aufgebauten Komponentenfassade wird auf den folgenden Seiten dargestellt.

Grundlage der Überlegungen der Entwicklung sind:

Die vier Komfortparameter

- thermischer Komfort
- akustischer Komfort
- visueller Komfort
- Versorgung mit Frischluft

sowie die energetischen Ziele:

- Energie einsparen
- Energieverbrauch an die Jahreszeiten und die Anforderungen anpassen und somit sinnvoller nutzen
- Energie in der Fassade sammeln

Daraus resultieren folgende Module:

Basismodul mit fest stehendem Sonnenschutz

Basismodul mit adaptivem Sonnenschutz als Flügelement (Ost Westfassade)

Basismodul mit opaker Einheit

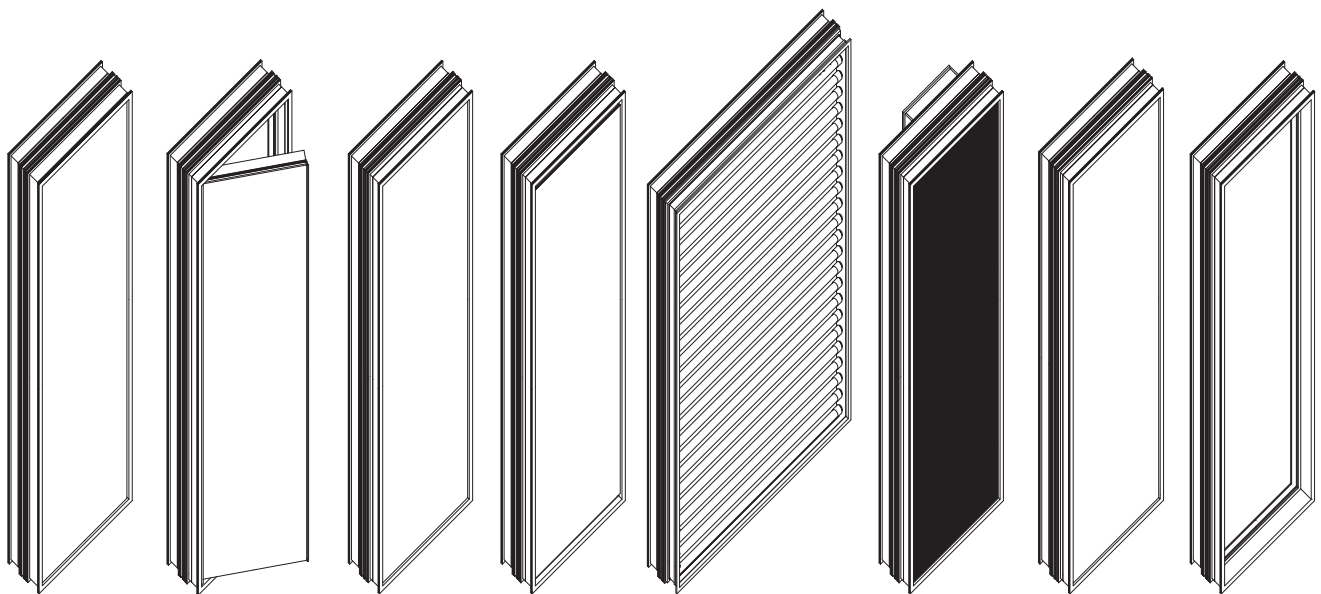
Basismodul mit photovoltaischer Einheit

Basismodul mit solarthermischer Einheit (Entwicklung der Universität Stuttgart IBK 2)

Basismodul mit dezentraler Lüftungseinheit

Basismodul mit natürlicher Lüftungseinheit als Parallel-Ausstellfenster

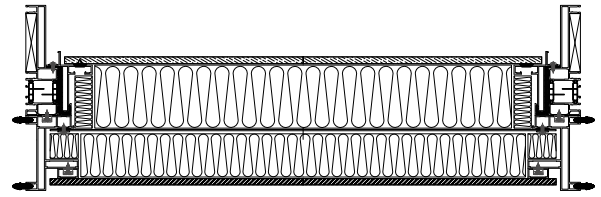
Basismodul als Durchsichtelement



[Abb. 2.142_1]
isometrische Darstellung der
Funktionsmodule des
Baukastensystems



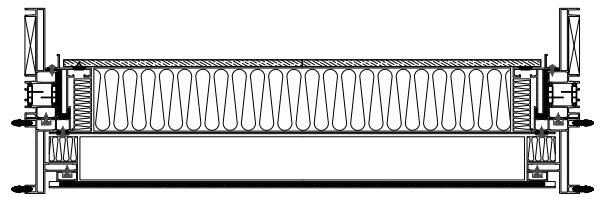
[Abb. 2.143_1] Basismodul mit fest stehendem Sonnenschutz



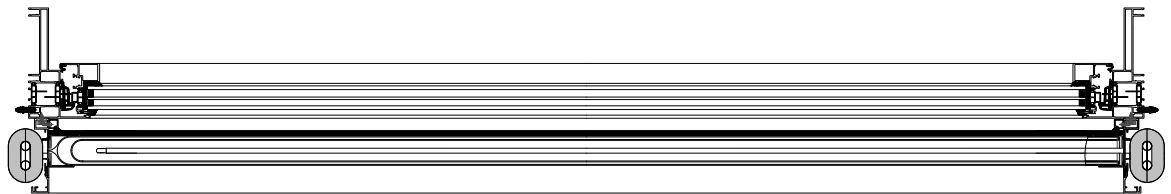
[Abb. 2.143_2] Basismodul mit opaker Einheit



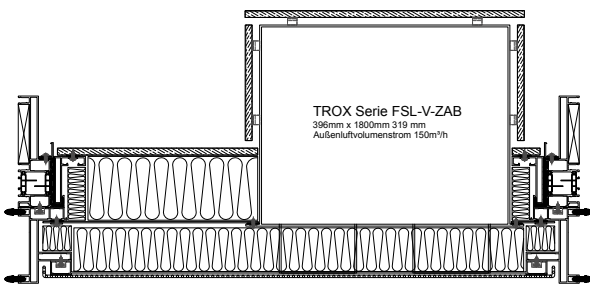
[Abb. 2.143_3] Basismodul mit adaptivem Sonnenschutz als Flügelement (Ost Westfassade)



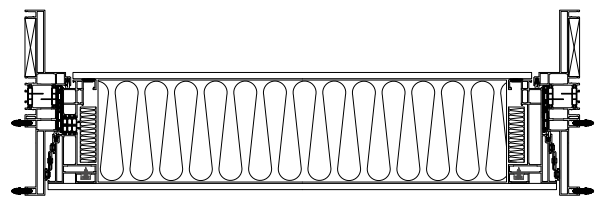
[Abb. 2.143_4] Basismodul mit photovoltaischer Einheit



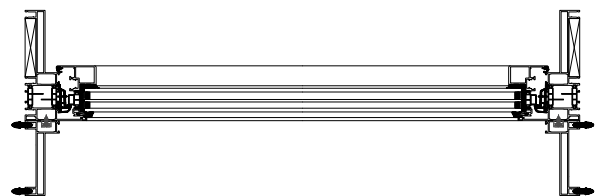
[Abb. 2.143_5] Basismodul mit solarthermischer Einheit (Entwicklung der Universität Stuttgart IBK 2)



[Abb. 2.143_6] Basismodul mit dezentraler Lüftungseinheit



[Abb. 2.143_7] Basismodul mit natürlicher Lüftungseinheit als Parallel-Ausstellfenster



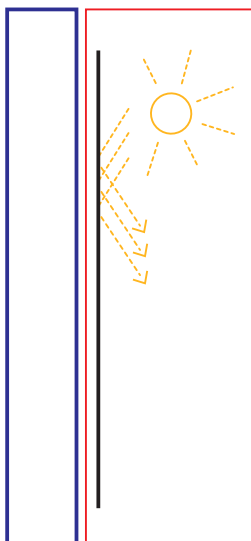
[Abb. 2.143_8] Basismodul als Durchsichtelement

Funktionsmodule des Baukastensystems

Modul 1

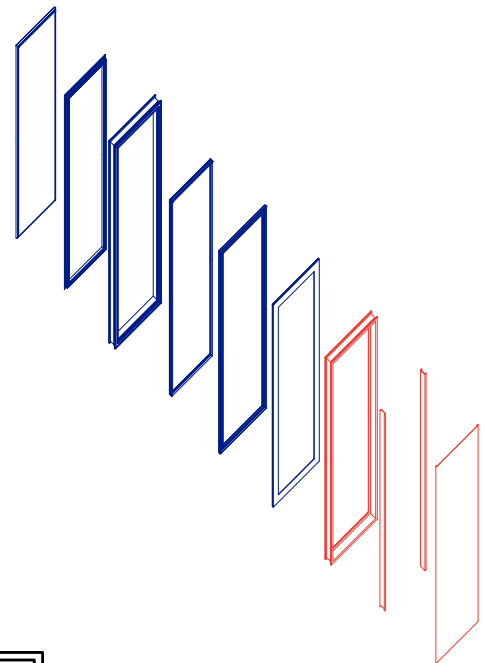
Basismodul mit fest stehendem Sonnenschutz

Zur Sicherstellung des sommerlichen Wärmeschutzes ist eine Beschattung transparenter Flächen der Gebäudehülle nötig. Die Abminderung hoher Strahlung, die durch transparente Teile eintritt und Innenräume erwärmt, ist aus energetischer Sicht unabdingbar. Die bewusste Vermeidung mechanischer Antriebe bildet die Grundlage dieses feststehenden Elementes.

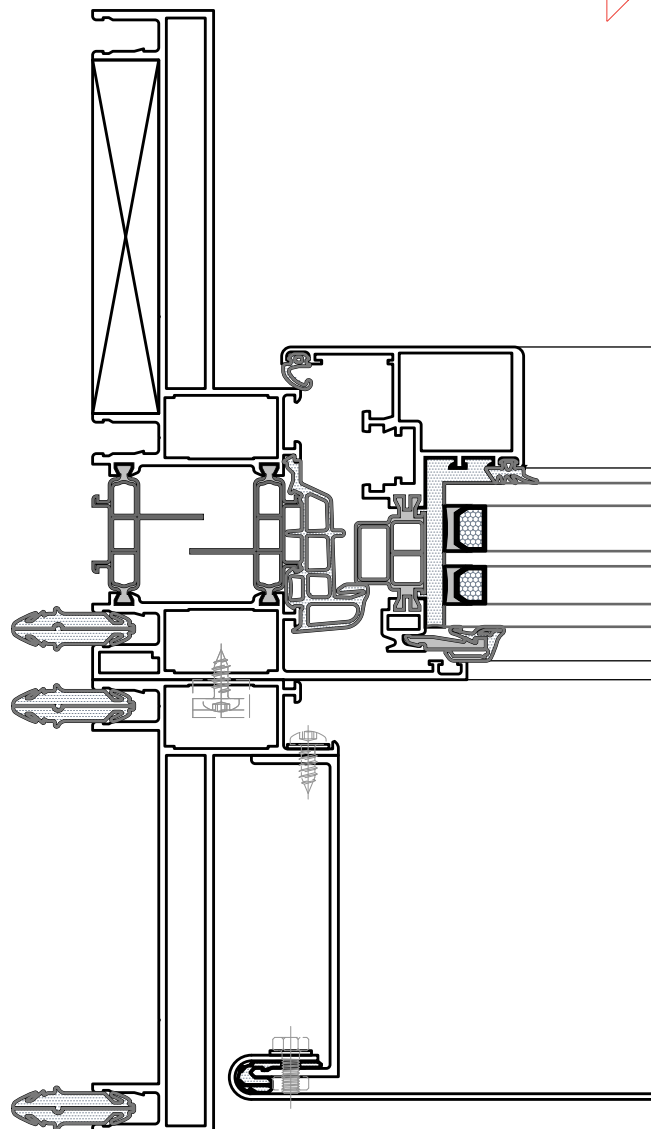


Fassadenmodul mit
fest stehendem Sonnenschutz
(offenes System)

[Abb. 2.144_1]
Schemaskizze



[Abb. 2.144_2]
Isometrischer Komponentenaufbau



[Abb. 2.144_3]
Detailzeichnung Horizontalschnitt

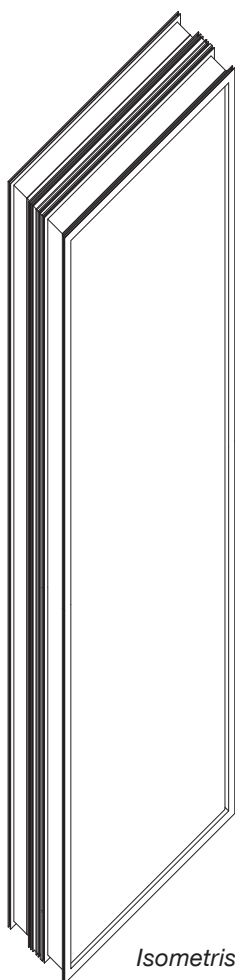
Zur Gewährleistung der Durchsicht sind dauerhaft transluzente Materialien wie perforierte Bleche, transluzente Gläser oder Membranen denkbar. Diese Materialien mit statischen Durchlassgraden an Strahlung im Allgemeinen und Licht im Besonderen würden aber im Sommerfall eventuell nicht den ausreichenden Sonnenschutz sowie im Winterfall die nötige Versorgung mit Tageslicht gewährleisten. Daher wären dynamische Elemente, die Lichttransmission und Strahlungsdurchgang steuern können, wie beispielsweise schaltbare, elektrochrome Gläser sehr viel leistungsfähiger. Eine steuerbare Verbundscheibe mit nanostrukturierten Beschichtungen färbt sich beim Anlegen einer

elektrischen Spannung zumeist blau und reduziert so in der Verbundscheibe die Transmissivität für das Sonnenlicht und verhindert Überhitzung im Sommerfall. Im Winterfall würde freie Sicht nach außen und erhöhte Lichttransmission für die Versorgung mit Tageslicht sorgen. Ein ähnlich agierendes System ist die Liquid-Crystal-Window-Technologie: Eine Verbundglasscheibe beinhaltet in der mittleren Ebene eine transparente elektrisch leitende Schicht aus spezieller Flüssigkristallmischung. Unter einer schaltbaren elektrischen Spannung trüben die Flüssigkeitskristalle ein und verringern die Lichtdurchlässigkeit der Gesamtscheibe.

Beide diese Systeme sollten

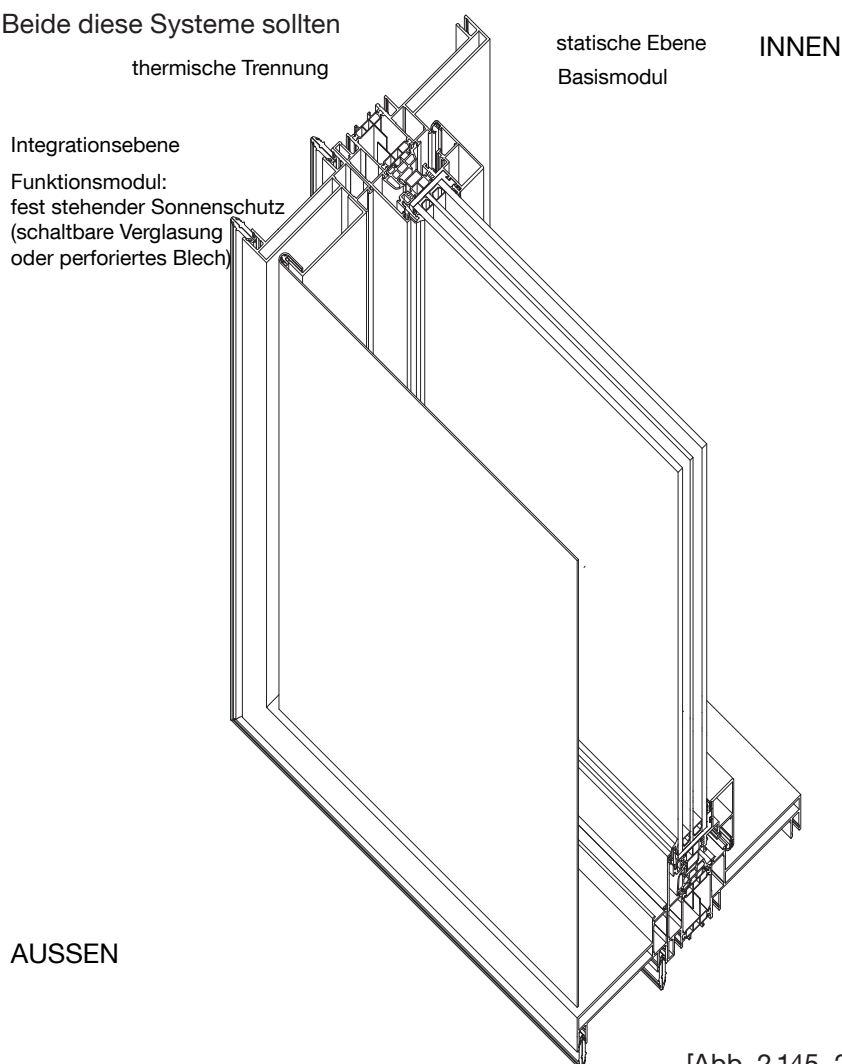
in eine Gebäudeleittechnik integriert werden, um die Steuerung in das klimatische Gesamtkonzept des Gebäudes zu integrieren.

Die Konstruktion der Zeichnung wurde gewählt, um ebenfalls eine Trennung der Funktionseinheit zu gewährleisten und zur Wartung, Reparatur und zum Austausch frei zugänglich zu sein. Um Stauwärme resultierend aus der aufgewärmten Sonnenschutzebene zu vermeiden, wurde eine Trennung von der thermischen Ebene der Einheit und Hinterlüftung der Sonnenschutzebene gewählt.



[Abb. 2.145_1]

Isometrische Darstellung



AUSSEN

statische Ebene
Basismodul

INNEN

thermische Trennung

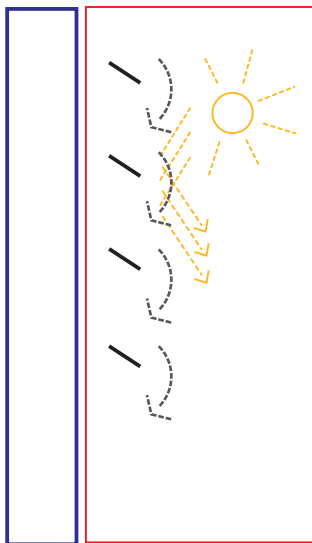
Integrationsebene
Funktionsmodul:
fest stehender Sonnenschutz
(schaltbare Verglasung
oder perforiertes Blech)

[Abb. 2.145_2]

Isometrische Detaildarstellung

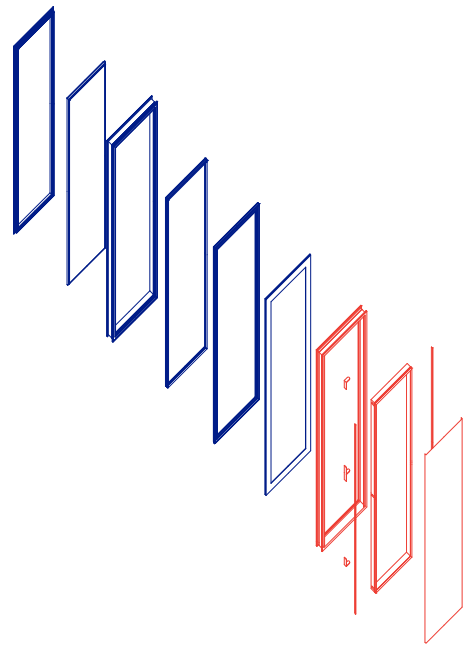
Modul 2

Basismodul mit adaptivem
Sonnenschutz als Flügelement
(Ost- / Westfassade)

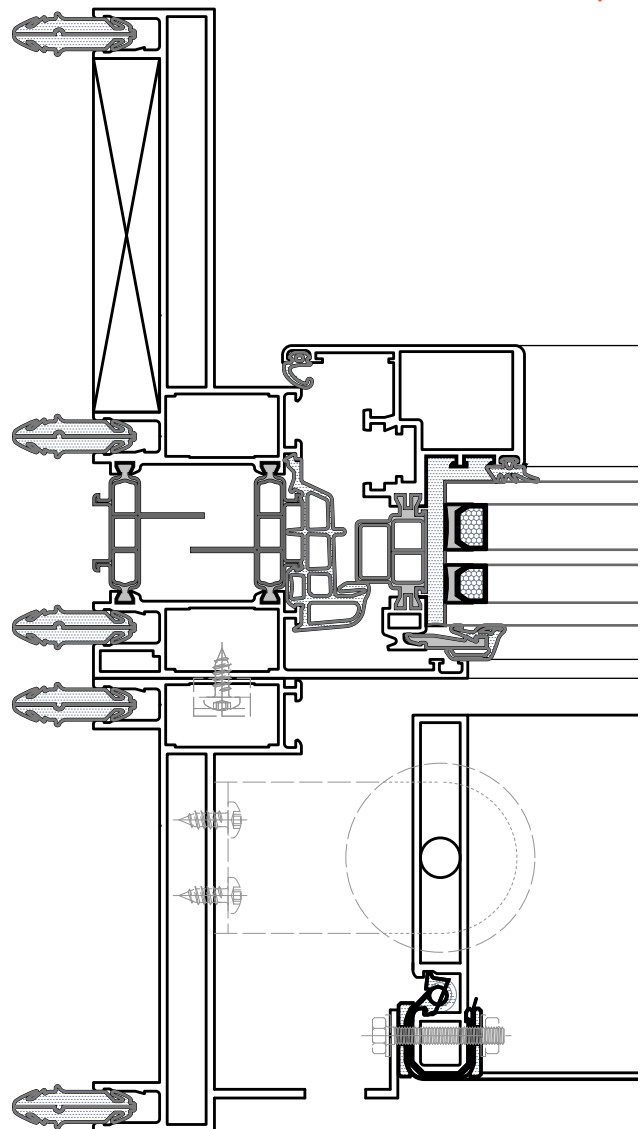


Fassadenmodul mit
adaptivem Sonnenschutz
(offenes System)

[Abb. 2.146_1]
Schemaskizze



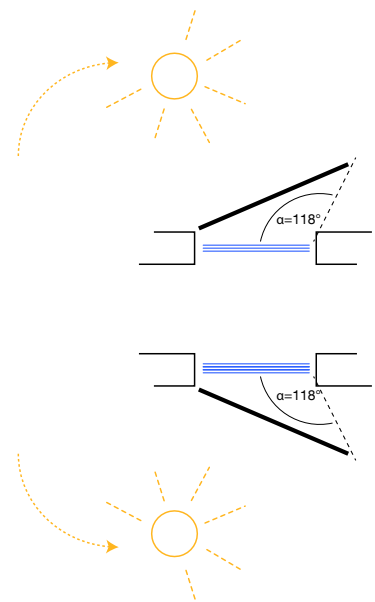
[Abb. 2.146_2]
Isometrischer Komponentenaufbau



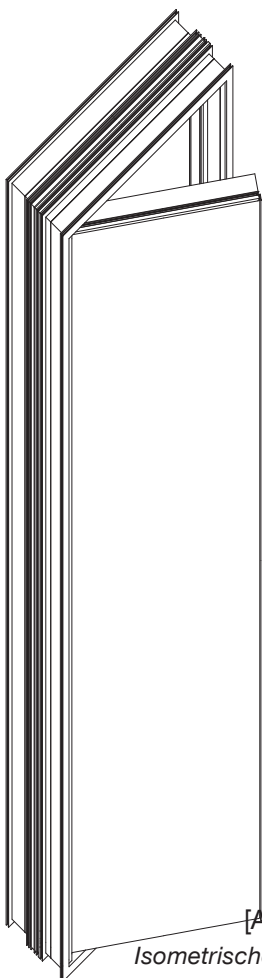
[Abb. 2.146_3]
Detailzeichnung Horizontalschnitt

Das Modul 2 fungiert als vollverschattungsfähiges Durchsichtelement mit geschosshoher Verglasung für Ost- und Westfassaden. Um eine effiziente Sonnenschutzwirkung bei größtmöglicher Transparenz und Durchsicht einer Verglasungseinheit zu gewährleisten, sind bewegliche Sonnenschutzelemente, die dem Sonnenverlauf angepasst werden können, die leistungsfähigsten. Denn diese gewährleisten nahezu immer einen Anteil von Durchsicht der Verglasung durch das nachgeführte Beschattungssystem. Der Schutz vor solarer Strahlung an Ost- und Westfassaden bei flachem Einfallswinkel der Sonne an Vormittagen und in den Abendstunden wird durch

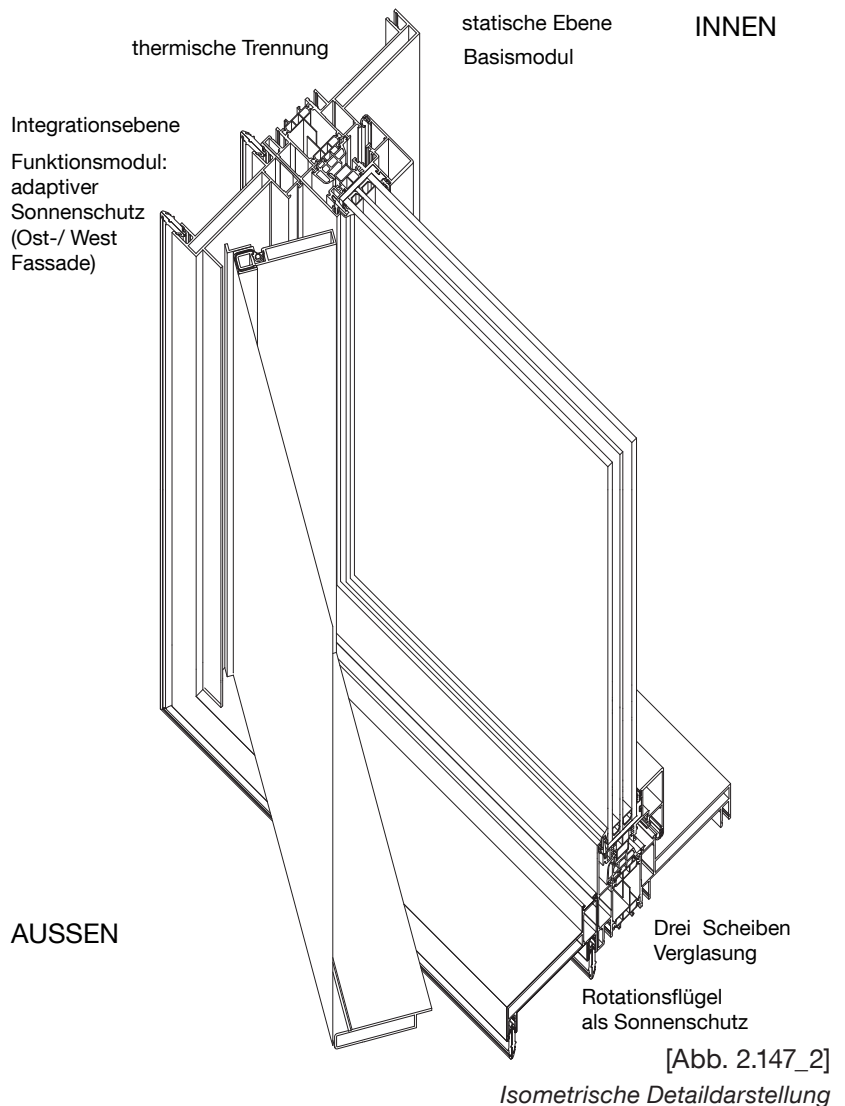
ein drehbares vertikales Sonnenschutzelement gewährleistet. Geometrisch wäre durch eine Überlängung des Sonnenschutzes bei jedem Sonnenstand noch ein direkter Sichtbezug nach außen möglich. Um aber das Modul an jedwedem geografischen Standort anzuwenden und eine geschlossene Fassadenoberfläche zu gewährleisten, wird auf eine Überlängung verzichtet. Die Füllung des Sonnenschutzes wäre an die jeweilige Materialität eines Gebäudes anzupassen. So wären neben perforierten Blechen, opaken Faserzementelementen bis hin zu textilen Füllungen eine Bandbreite von Materialien gewährleistet.



[Abb. 2.147_3] Überlängung des Sonnenschutzes für den Standort München



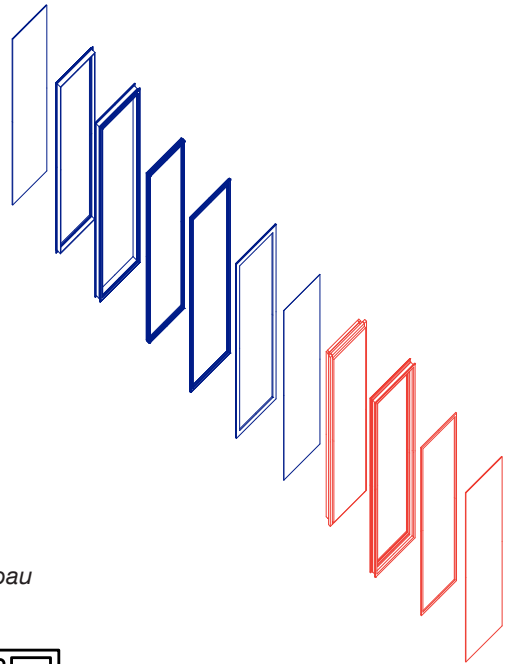
[Abb. 2.147_1] Isometrische Darstellung



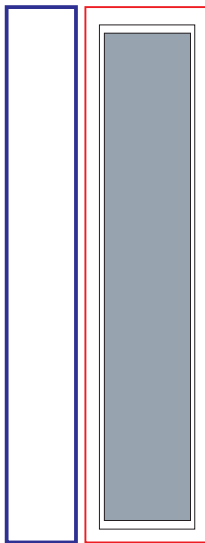
[Abb. 2.147_2] Isometrische Detaildarstellung

Modul 3

Basismodul mit opaker Einheit

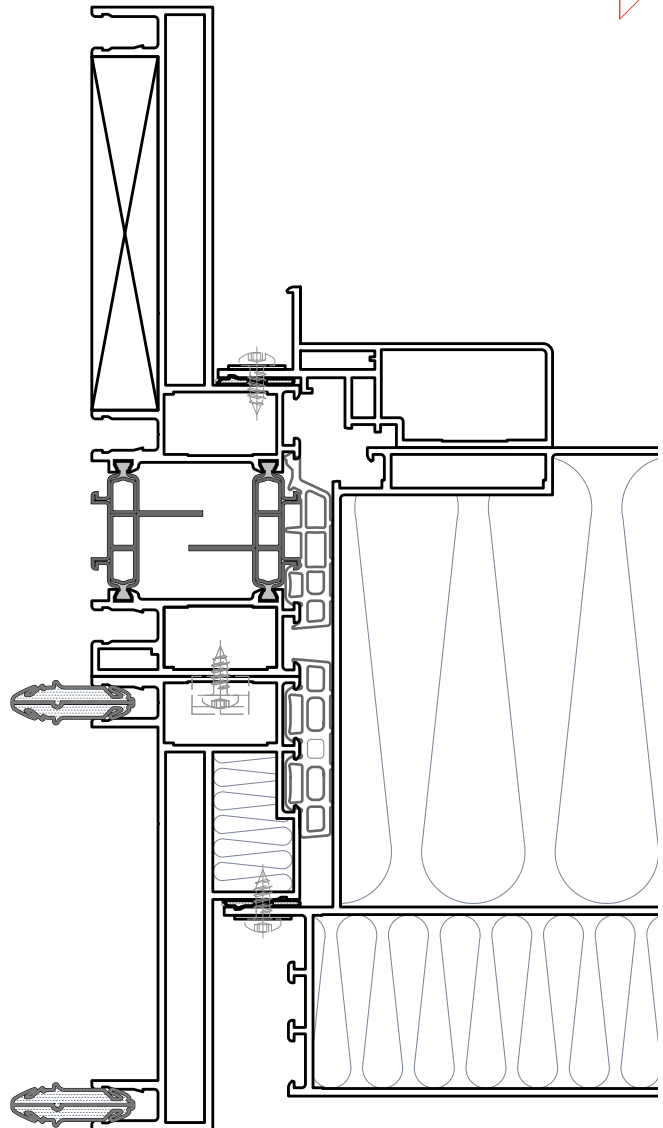


[Abb. 2.148_2]
Isometrischer Komponentenaufbau



Fassadenmodul mit
opaker Einheit
(offenes System)

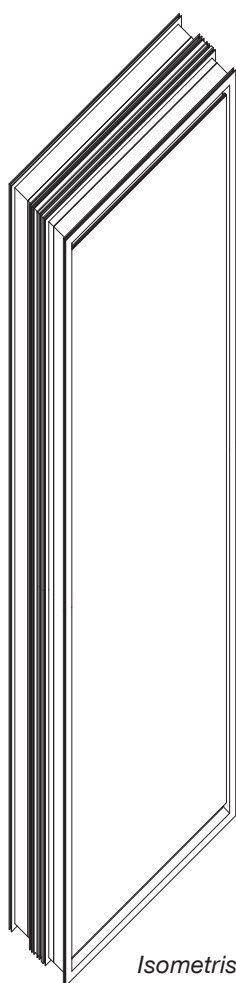
[Abb. 2.148_1]
Schemaskizze



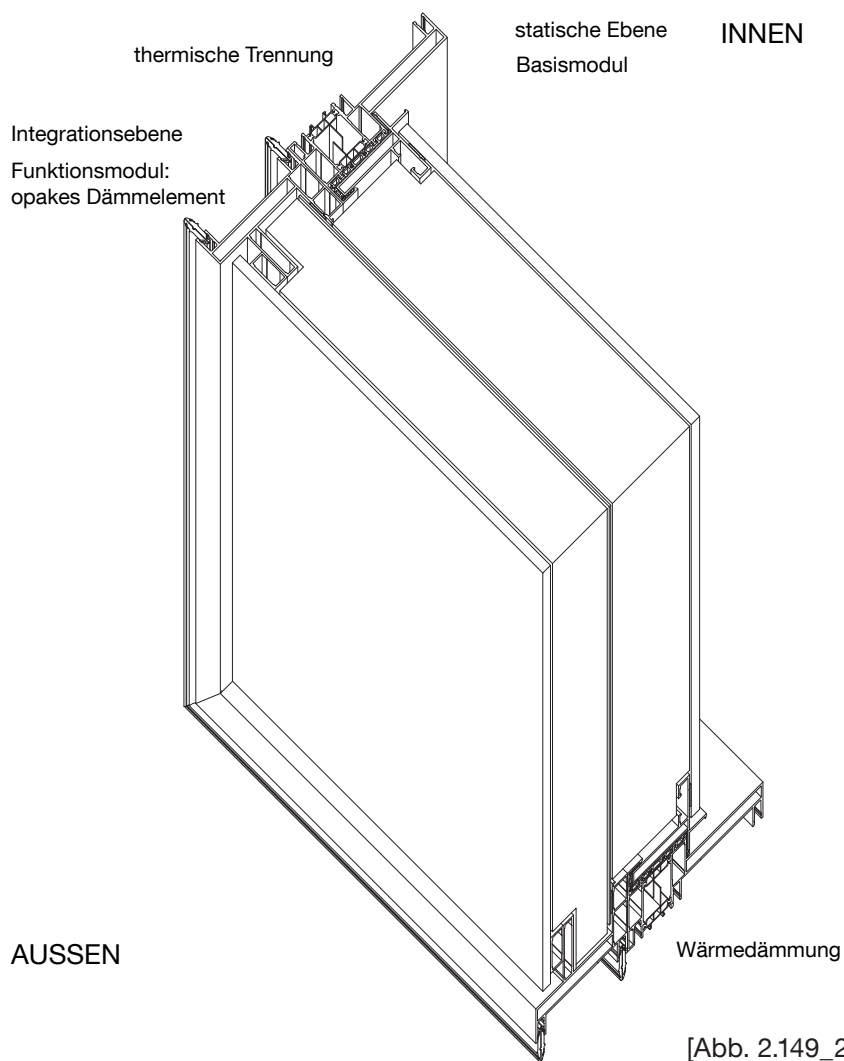
[Abb. 2.148_3]
Detailzeichnung Horizontalschnitt

Um sowohl den solaren Energieeintrag in ein Gebäude als auch die Transmissionswärmeverluste zu minimieren, umfasst die Modulgruppe auch eine hoch gedämmte opake Einheit. Diese Einheit bietet wie die anderen auch eine Flexibilität durch einfache Montage und teilweiser Entfernung der einzelnen Schichten. So kann durch Austausch der äußeren Dämmeinheit von Zellulosefüllung bis hin zur

Vakuumdämmung die Wärmeleitfähigkeit an den jeweiligen Standort angepasst werden. Wie auch bei anderen Modulen kann die äußere und auch innere Flächenfüllung an eine veränderbare Materialität eines Gebäudes angepasst werden. Im Inneren sollten perforierte Oberflächen mit dahinterliegendem Hohlraum verwendet werden, um die Nachhallzeit gemäß DIN 18041 zu verbessern.



[Abb. 2.149_1]
Isometrische Darstellung



statische Ebene
Basismodul

INNEN

thermische Trennung

Integrationsebene
Funktionsmodul:
opakes Dämmelement

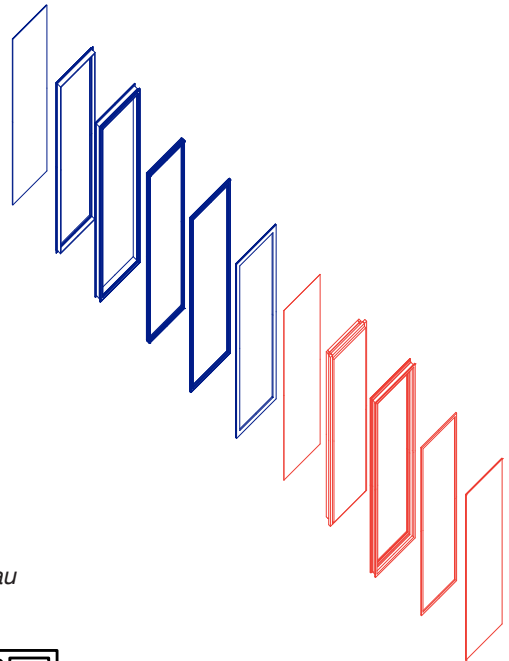
AUSSEN

Wärmedämmung

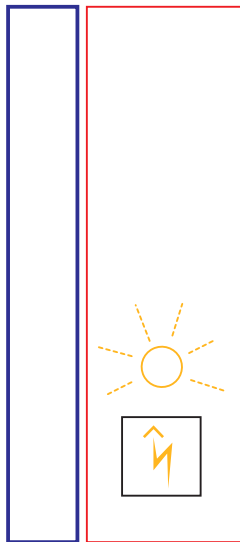
[Abb. 2.149_2]
Isometrische Detaildarstellung

Modul 4

Basismodul mit photovoltaischer Einheit

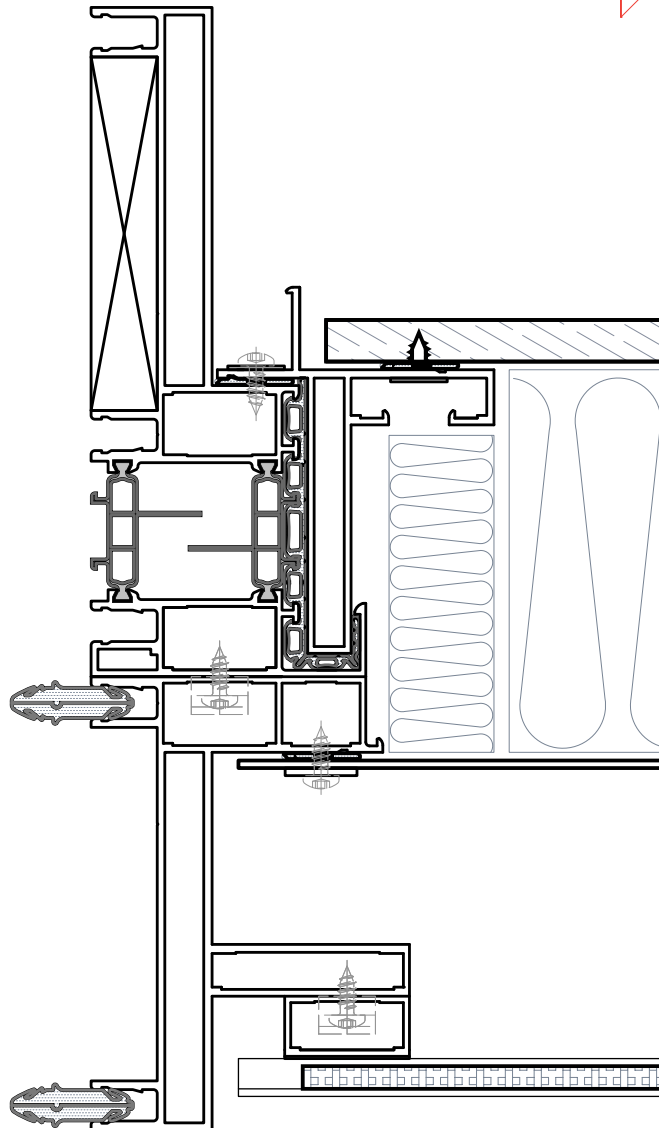


[Abb. 2.150_2]
Isometrischer Komponentenaufbau



Fassadenmodul mit
photovoltaischer Einheit
(offenes System)

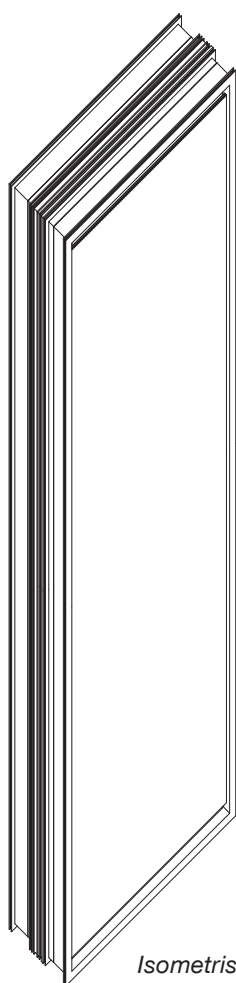
[Abb. 2.150_1]
Schemaskizze



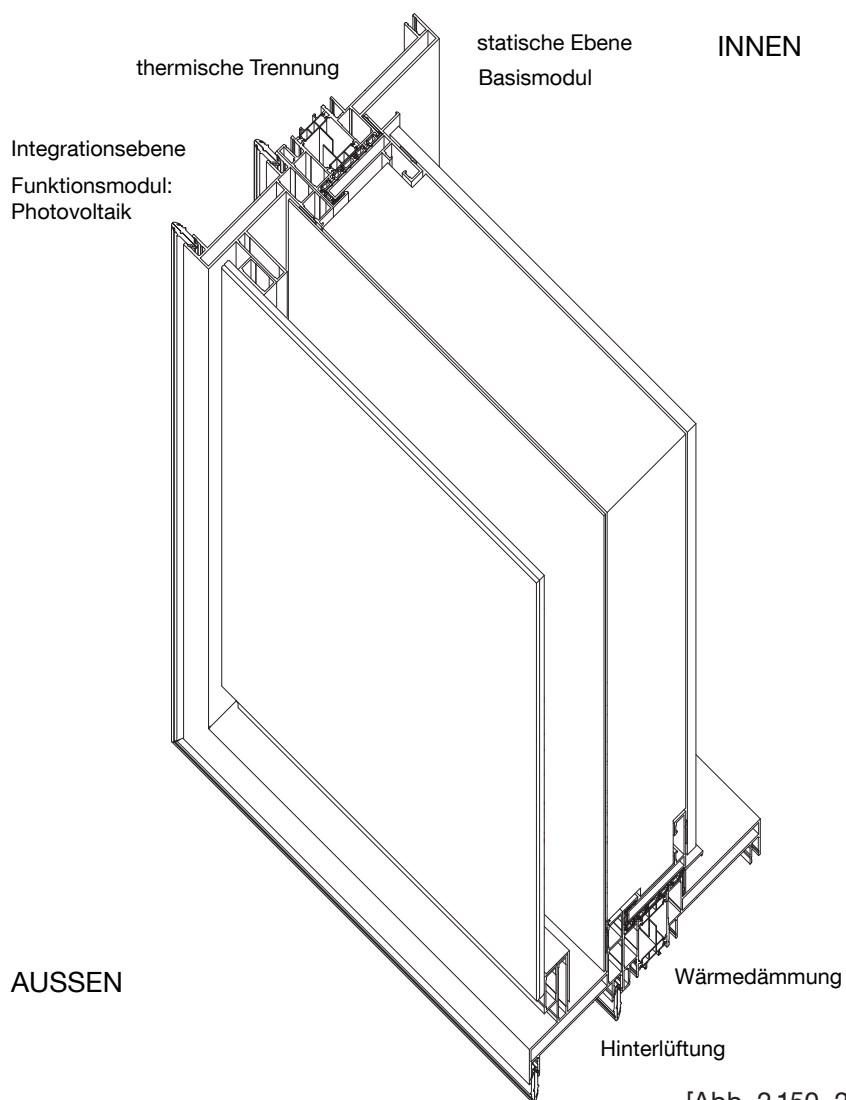
[Abb. 2.150_3]
Detailzeichnung Horizontalschnitt

Fassadenintegrierte Photovoltaik stellt momentan die gängigste Form der Energiegewinnung in der Gebäudehülle dar. Sie agiert als dezentrales Kraftwerk und ist somit von der Gebäudenutzung unabhängig. Die Trennung der technischen Solarmoduleinheit stellt eine weitere Form des offenen Systemgedankens dar. Das PV Modul kann separat ein- bzw. ausgehängt werden. Stromanschlüsse und Verkabelung sind zur Wartung, Reparatur und zum Austausch zugänglich.

Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit sowie der Effizienz der PV-Module müssen diese hinterlüftet werden, um Modulüberhitzung und Stauwärme zu vermeiden. Auch Kondensatbildung durch thermische Differenzen zwischen aufgeheiztem Modul und Außentemperatur bzw. Feuchtigkeit wird durch eine Hinterlüftung vermieden.



[Abb. 2.150_1]
Isometrische Darstellung

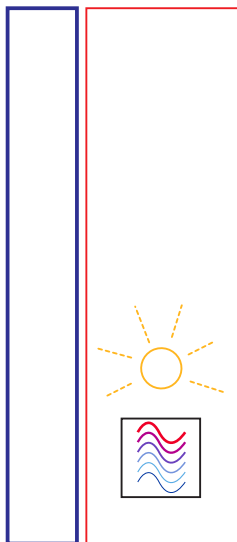


[Abb. 2.150_2]
Isometrische Detaildarstellung

Modul 5

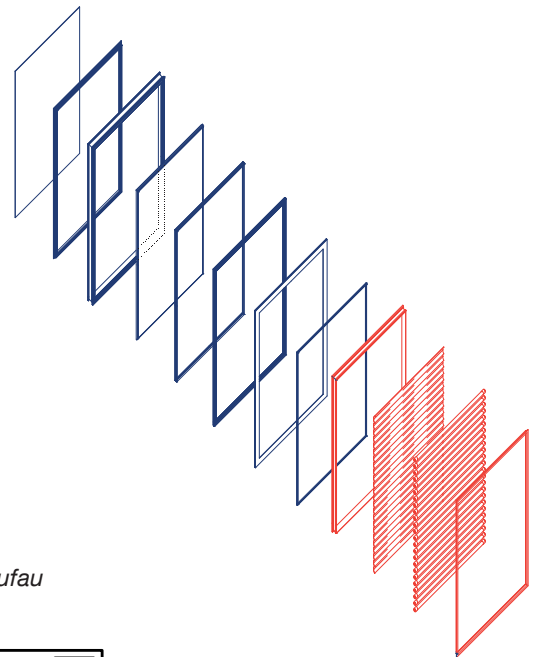
Basismodul mit solarthermischer Einheit (Entwicklung der Universität Stuttgart IBK 2)

Die Entwicklung eines Fassadenelementes mit solarthermischer Aktivierung war Teil eines Forschungsvorhabens welches die Integration von Solarthermie (Vakuumröhrenkollektoren) in Fassaden von Bürogebäuden zur Energiegewinnung, Tageslichtnutzung und Wirkung als Sonnenschutz untersuchte. Das Forschungsvorhaben war eine Kooperation von Partnern aus Forschung und Industrie und wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) gefördert.

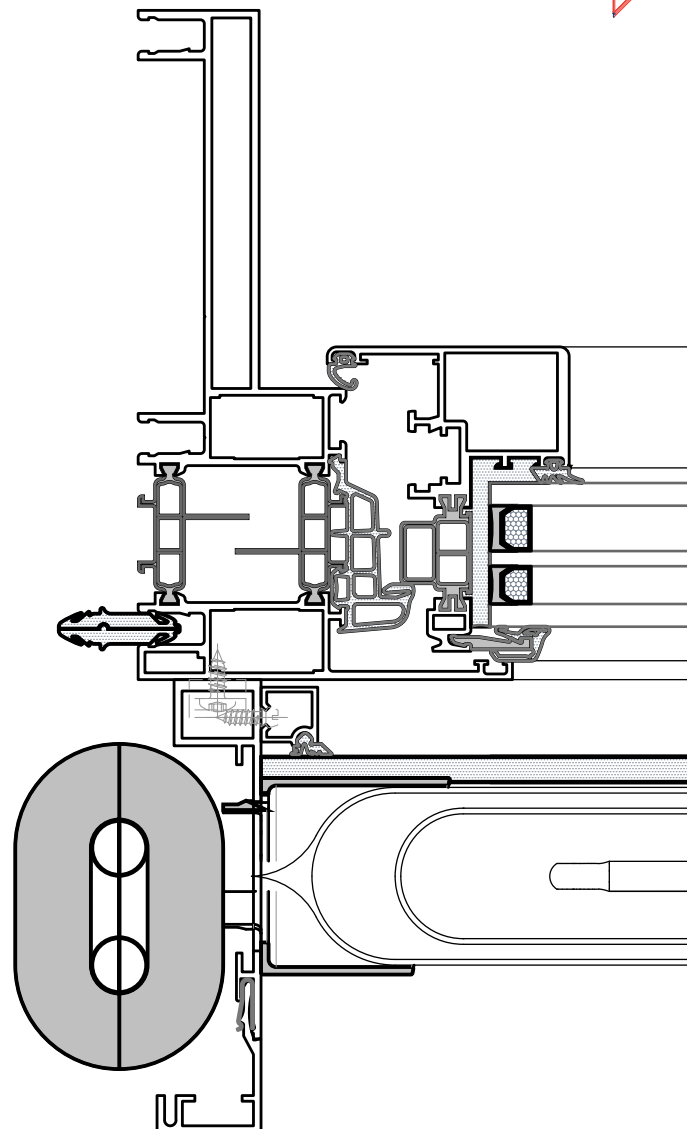


Fassadenmodul mit solarthermischer Einheit (offenes System)

[Abb. 2.152_1]
Schemaskizze



[Abb. 2.152_2]
Isometrischer Komponentenaufbau



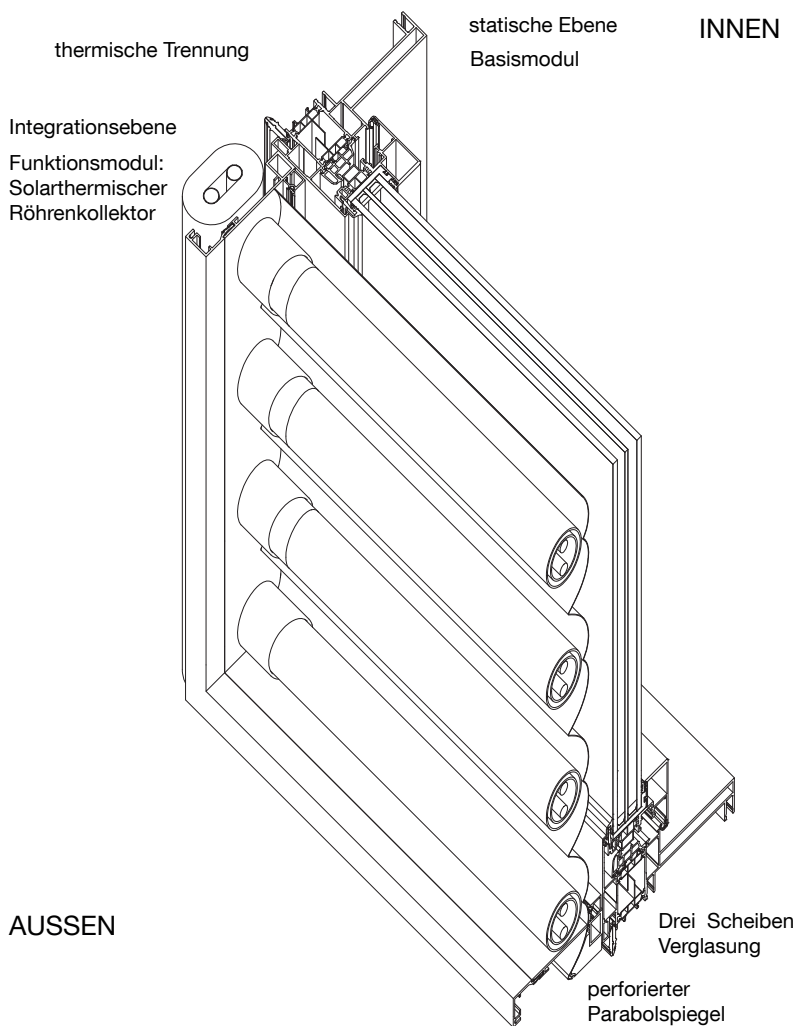
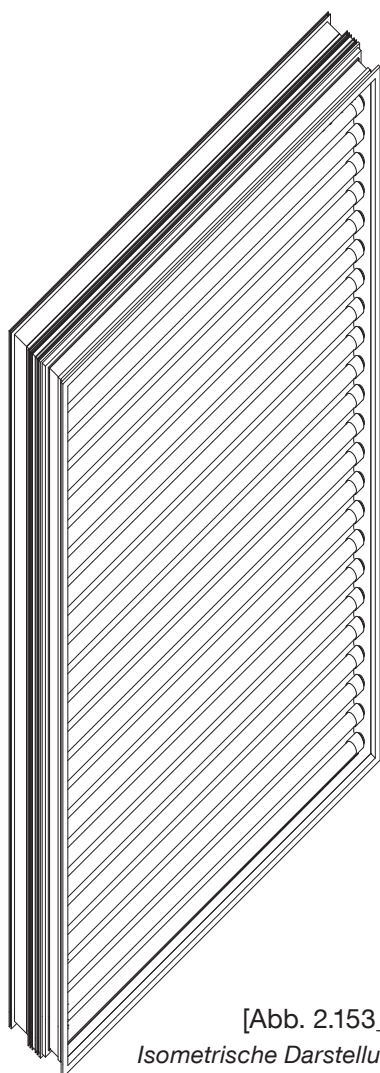
[Abb. 2.152_3]
Detailzeichnung Horizontalschnitt

Durch die vom Fassadenkollektor aufgenommene Wärme wird ein solarer Energiegewinn erzielt, der für unterschiedliche Nutzungen wie Trinkwassererwärmung für Waschbecken und Küche, solare Kühlung und zur Unterstützung der Raumheizung genutzt werden kann. Die von der Sonne aufgefangene Wärme wird vom Wärmeträger abgeführt. Durch das Thermoskannenprinzip der Vakuumröhre, in dem zwei konzentrische Glasröhren ineinander verschmolzen sind. (Sydney-Röhre), wird die vom Absorber aufgenommene Wärme nicht wieder abgegeben, die Oberfläche der Vakuumröhre ist handwarm

Der Forscher Robert Winston entwickelte den „Compound Parabolic Concentrator (CPC)“, einen parabolisch geformten Konzentratortyp, dessen Grundform durch zwei gegenüberliegende parabolisch geformte Profile gebildet wird, um hohe Absorptionsgrade solarer Erträge zu gewährleisten. So können unterschiedlich auf die Aperturfläche auftreffende Strahlen direkt auf das Absorberrohr gelenkt werden. Da der Parabolspiegel perforiert ist und die davor liegenden Vakuumröhren jeweils mit einem Abstand eingebaut werden, entsteht eine Teildurchsicht des Systems. Diese Fassadeneinheit lässt also

Tageslicht durch diese Energie gewinnende Schicht. Aspekte wie visuelle Transparenz, Raumausleuchtung, Wärmeschutz und Sonnenschutz werden von dem Fassadensystem kombiniert.

Im Wechselspiel zwischen Transparenz, Lichtdurchlässigkeit und Effizienz des Kollektors ist die genaue Abstimmung der effektiven Energie gewinnenden Fläche in Relation zur Durchsichtsfläche zentraler Aspekt der exemplarischen Bewertung eines Bausteins im ganzheitlichen Kontext.

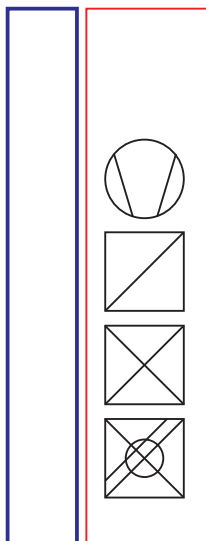


[Abb. 2.153_2]
Isometrische Detaildarstellung

Modul 6

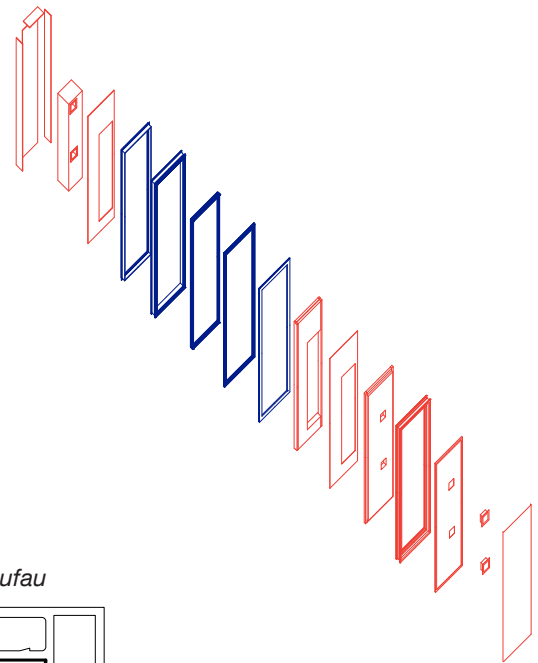
Basismodul mit dezentraler Lüftungseinheit

Um die Versorgung eines Raumes mit Frischluft zu gewährleisten, wurde für diese Modulfamilie exemplarisch ein Zu- und Abluftgerät mit Wärmerückgewinnung integriert. Auch hier wurde bewusst ein auf dem Markt verfügbares System gewählt, um Flexibilität und Integration darzustellen. Das anschlussfertige dezentrale Lüftungsgerät zur konditionierten Be- und Entlüftung von Räumen bis 6 m Raumtiefe kann einen Außenluftvolumenstrom $150\text{m}^3/\text{h}$ gewährleisten.

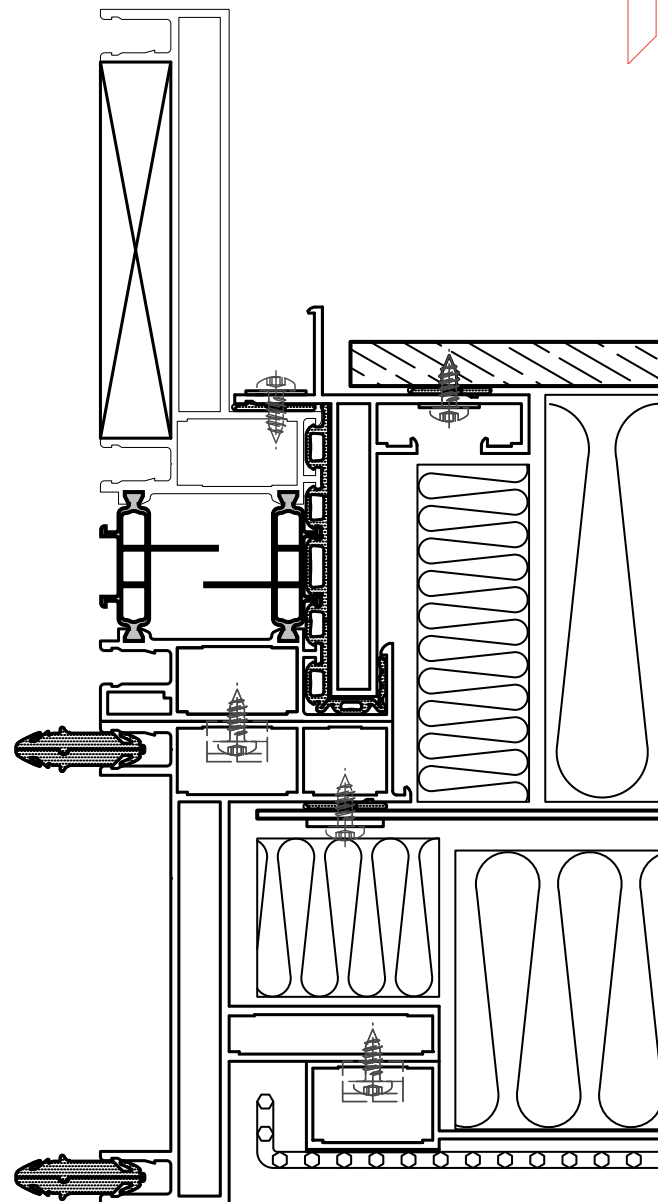


Fassadenmodul mit dezentraler Lüftungseinheit (offenes System)

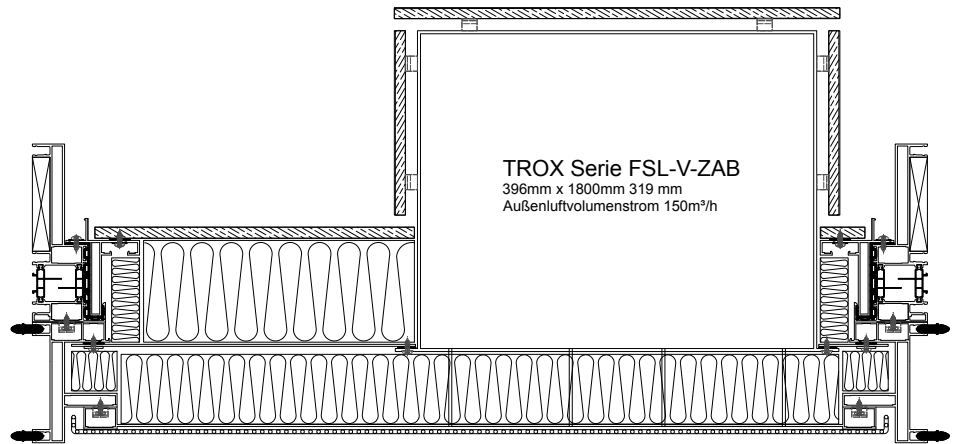
[Abb. 2.154_1]
Schemaskizze



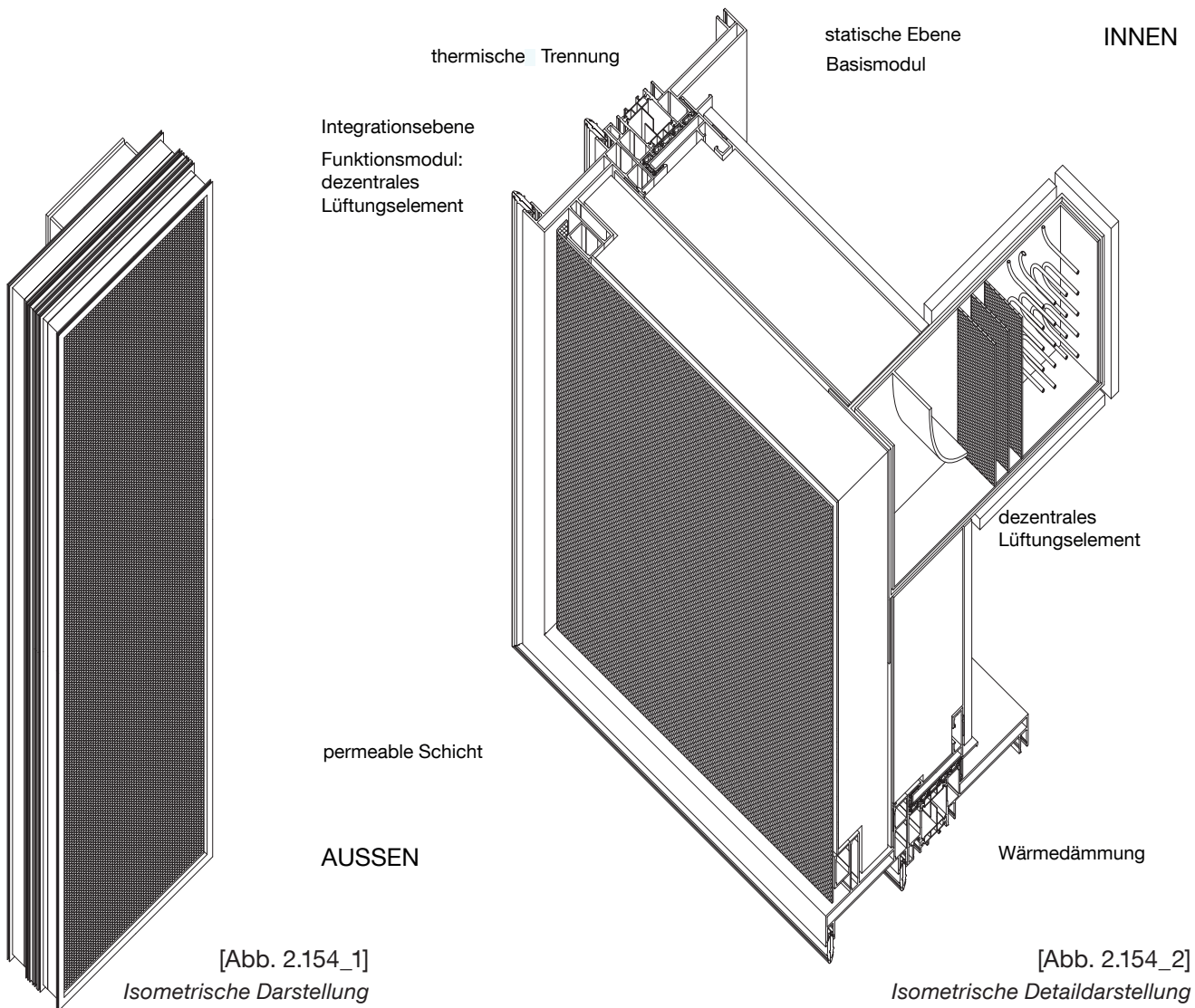
[Abb. 2.154_2]
Isometrischer Komponentenaufbau



[Abb. 2.154_3]
Detailzeichnung Horizontalschnitt



[Abb. 2.154_3]
 Horizontalschnitt



[Abb. 2.154_1]

Isometrische Darstellung

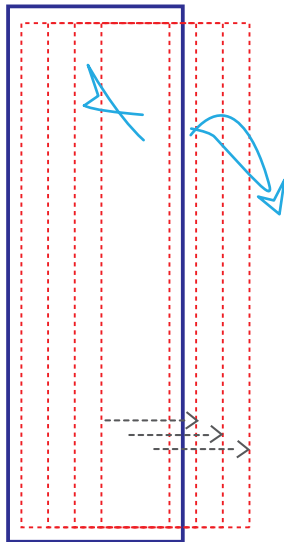
[Abb. 2.154_2]

Isometrische Detaildarstellung

Modul 7

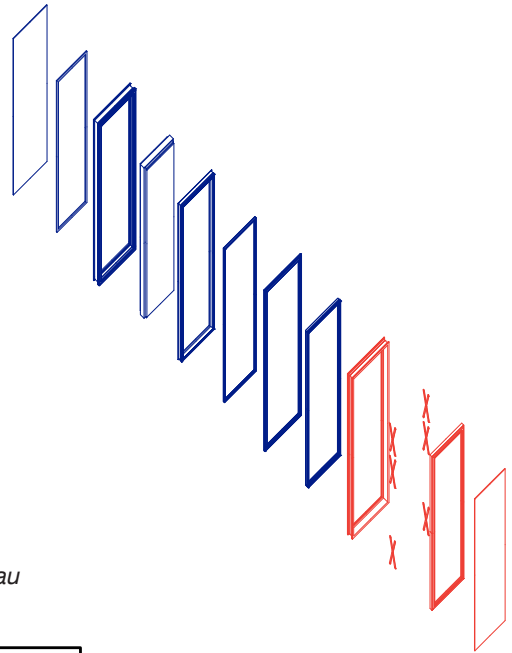
Basismodul mit natürlicher Lüftungseinheit als Parallel Ausstellfenster

Dieses Element dient zur natürlichen Belüftung von Räumen und der Unterstützung von passiven Konditionierungsstrategien wie Nachtauskühlung. Eine stufenlose Regulierung der Öffnung wird durch ein Scherenprinzip der Öffenbarkeit gewährleistet. Somit kann bei hohen Windgeschwindigkeiten in Hochhäusern oder bei hohem Winddruck auf Fassaden der Volumenstrom geregelt werden. Die äußere Erscheinung kann ebenfalls durch Austauschbarkeit der äußeren Flächenfüllung an eine veränderbare Materialität eines Gebäudes angepasst werden.

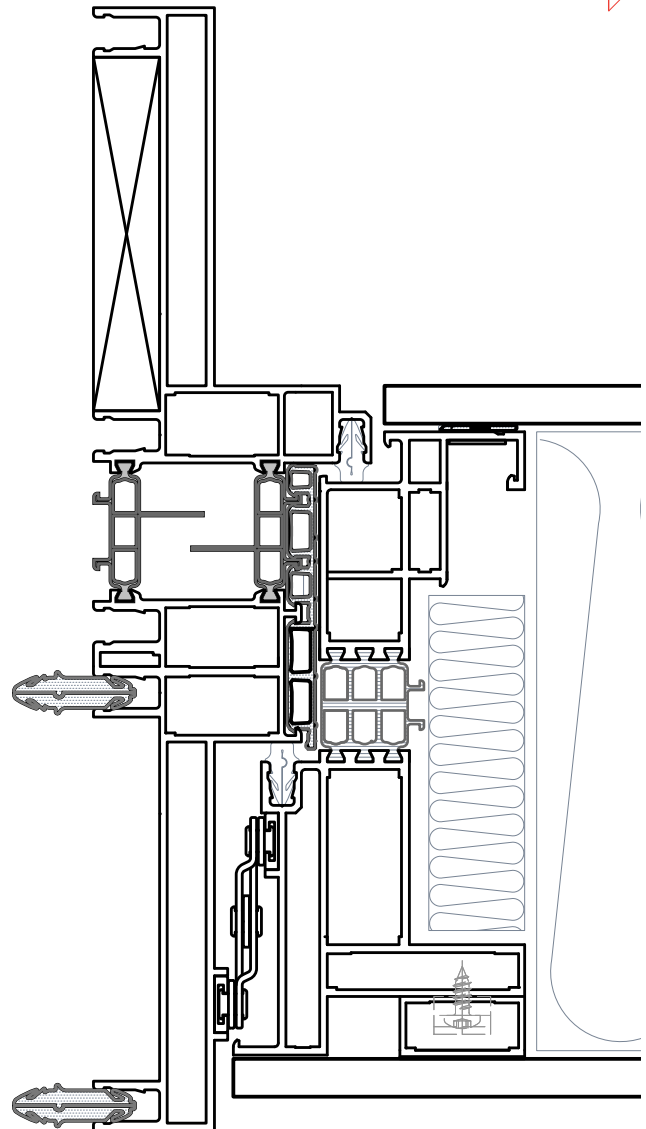


Fassadenmodul mit Öffnungsflügel (offenes System)

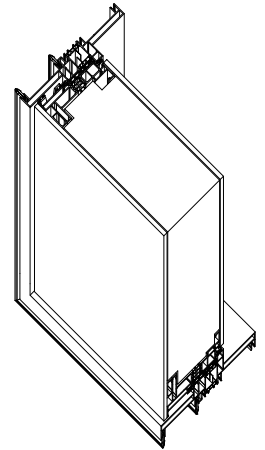
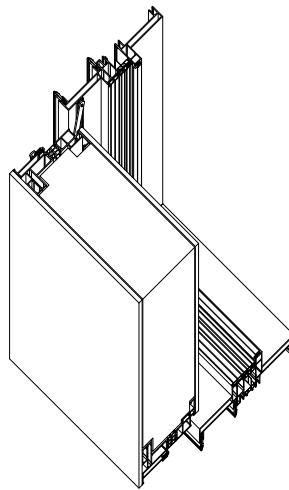
[Abb. 2.156_1]
Schemaskizze



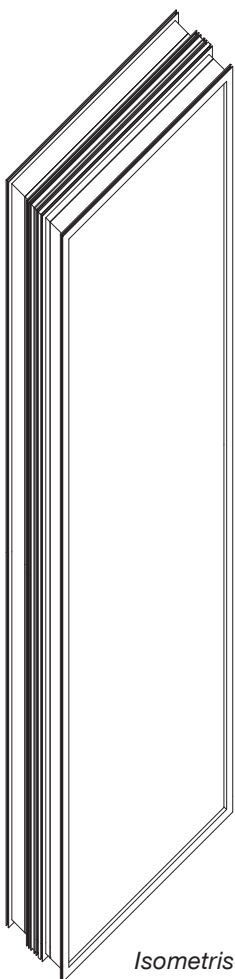
[Abb. 2.156_2]
Isometrischer Komponentenaufbau



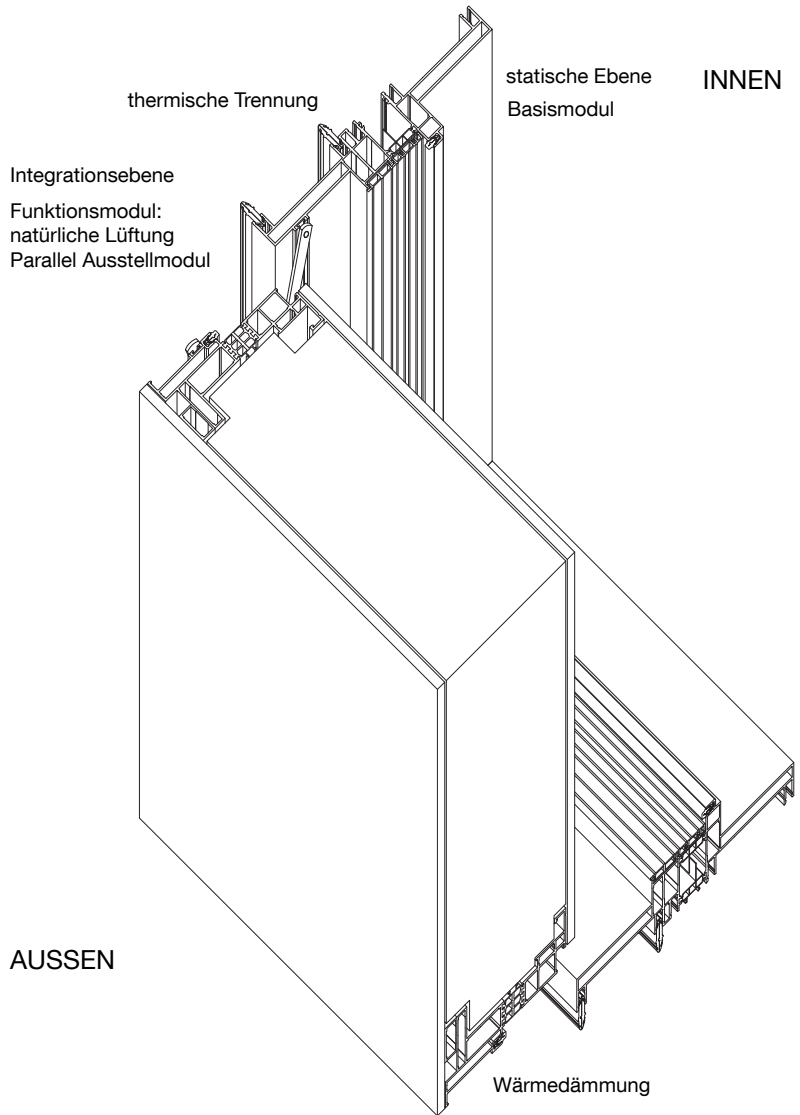
[Abb. 2.156_3]
Detailzeichnung Horizontalschnitt



[Abb. 2.157_3] Parallel-Ausstell
Fenster in geöffnetem und
geschlossenem Zustand



[Abb. 2.157_1]
Isometrische Darstellung



[Abb. 2.157_2]
Isometrische Detaildarstellung

Modul 8

Basismodul als
Durchsichtelement

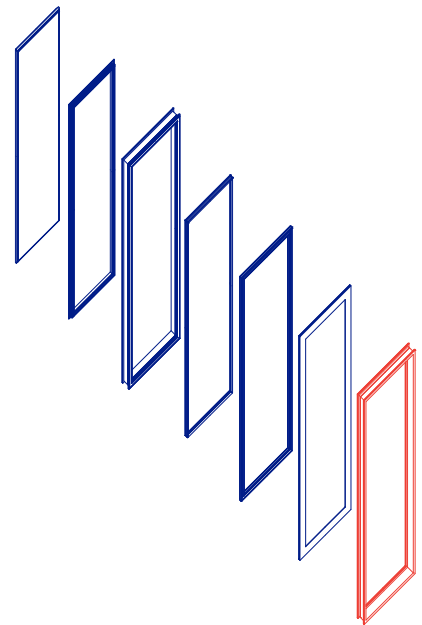
(Festverglasung)

In Sonderfällen besonderer Kontexte kann auch ein reines Basismodul mit Verglasung ohne Funktionseinheit eingesetzt werden. Auch in dieses könnten mögliche additive Elemente wie Sonnenschutz, Blendschutz, schaltbare Gläser, partielle Photovoltaikverglasung oder ähnliches integriert werden.

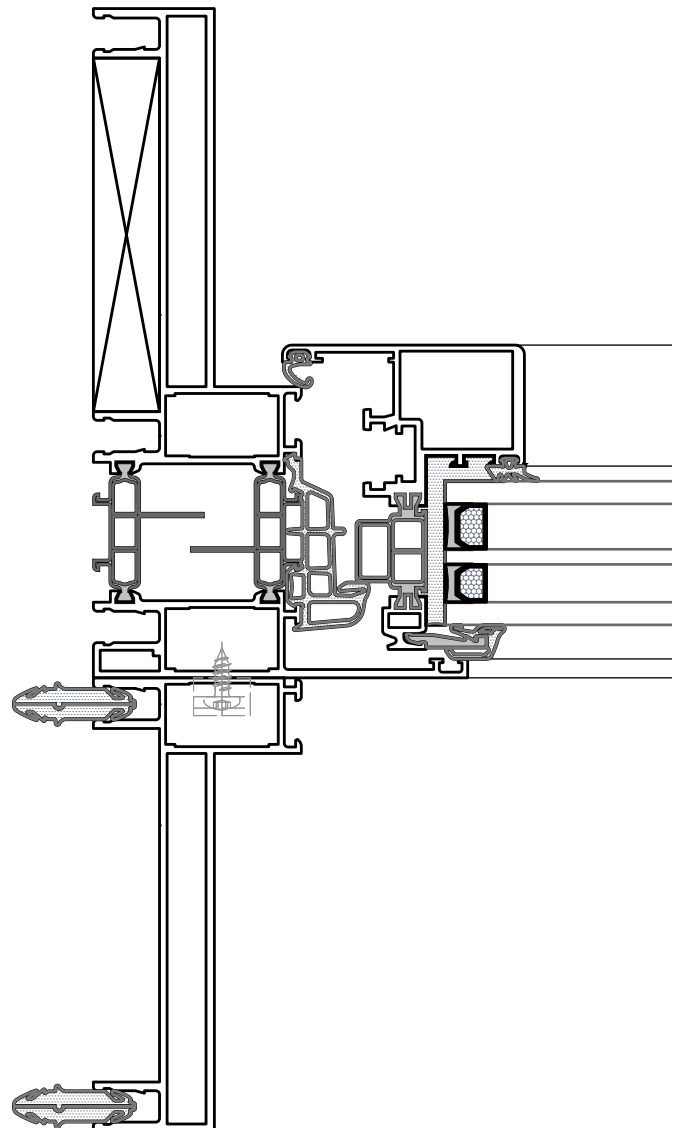


Basismodul als
Durchsichtelement
(Festverglasung)
(offenes System)

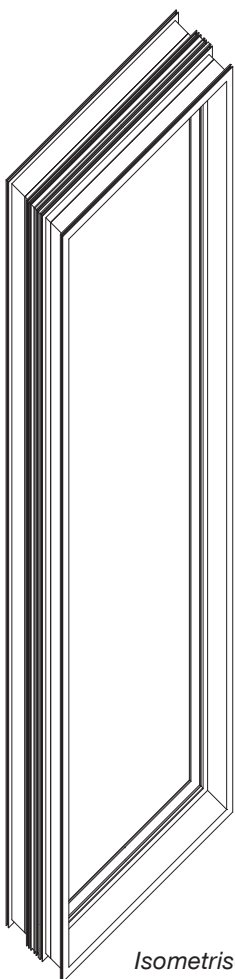
[Abb. 2.158_1]
Schemaskizze



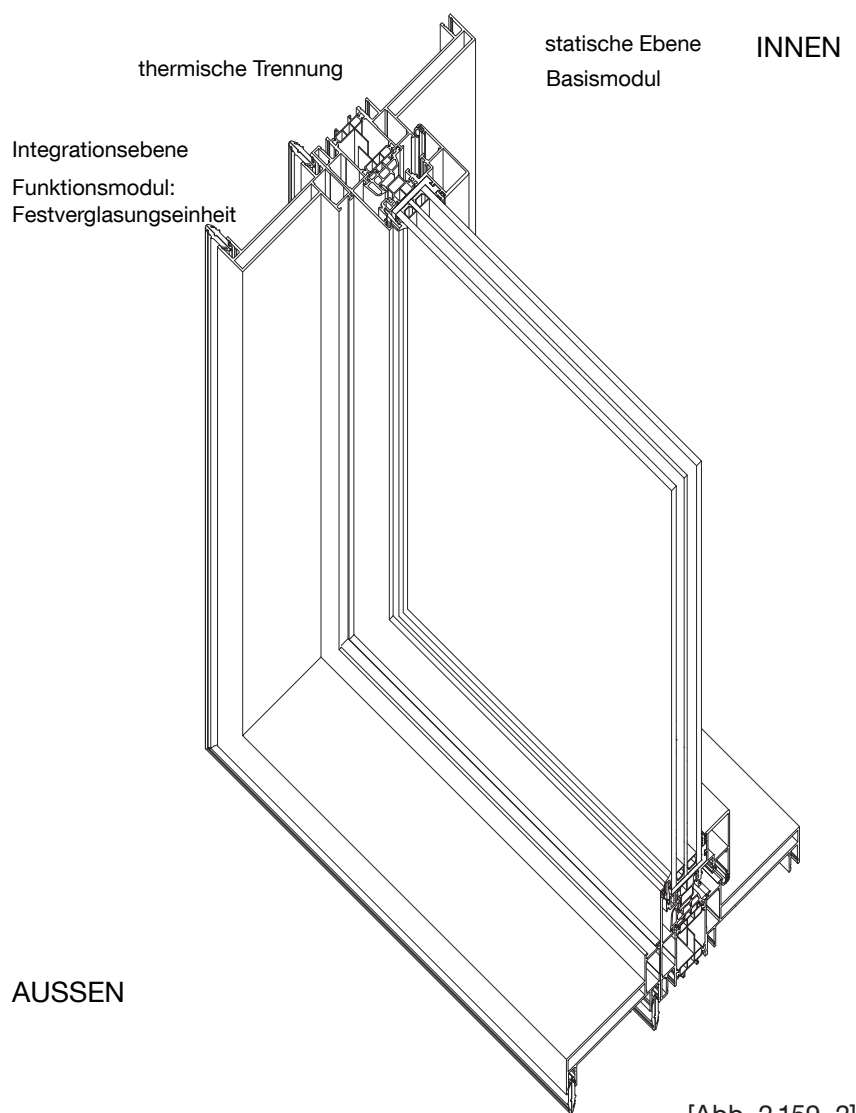
[Abb. 2.158_2]
Isometrischer Komponentenaufbau



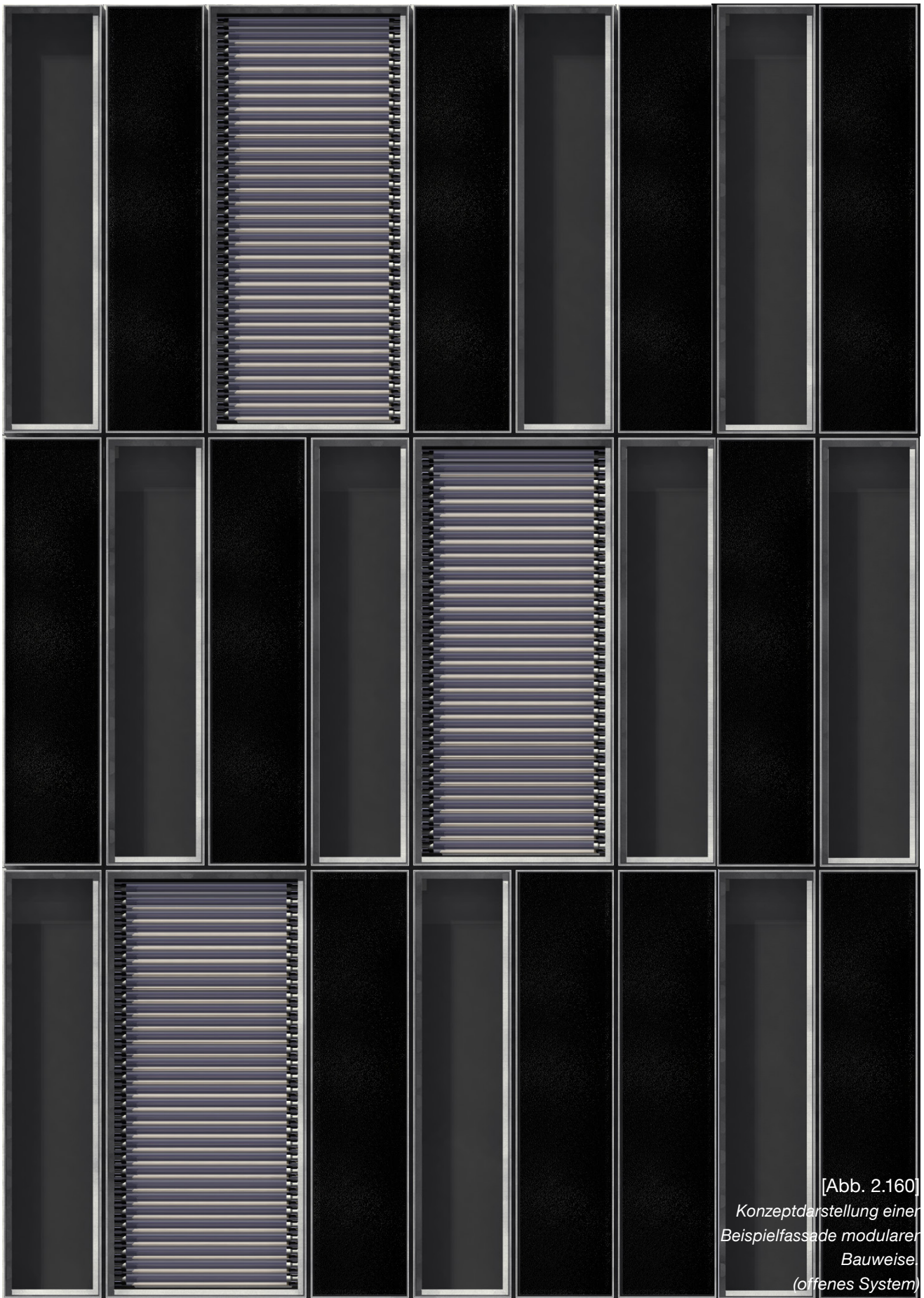
[Abb. 2.158_3]
Detailzeichnung Horizontalschnitt



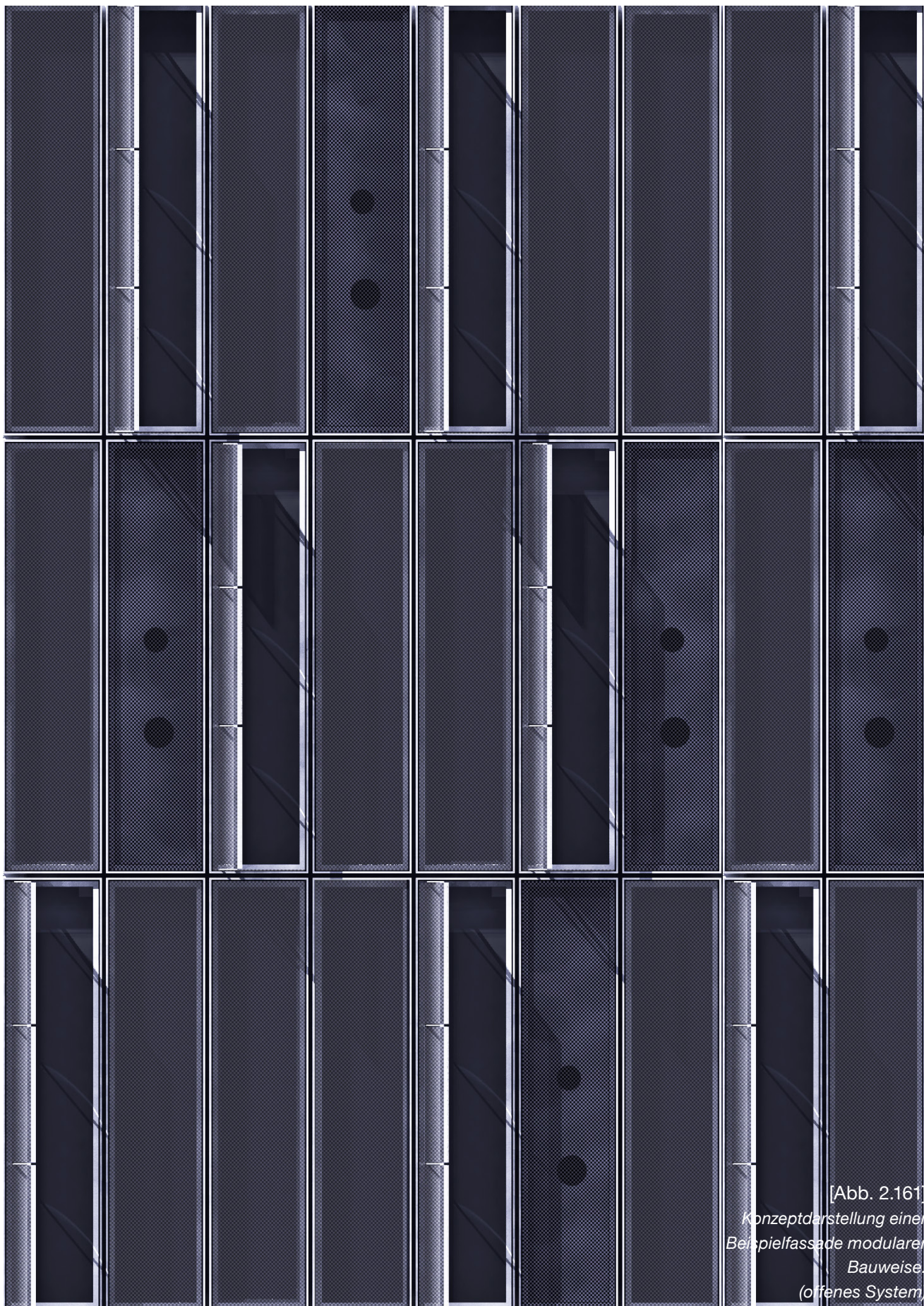
[Abb. 2.159_1]
Isometrische Darstellung



[Abb. 2.159_2]
Isometrische Detaildarstellung



[Abb. 2.160]
Konzeptdarstellung einer
Beispielfassade modularer
Bauweise
(offenes System)



[Abb. 2.161]
Konzeptdarstellung einer
Beispielfassade modularer
Bauweise.
(offenes System)

**Entwicklung eines
entwurfsbegleitenden
Werkzeugs**

Der Konfigurator

Eine Akzeptanz am Markt eines leistungsfähigen Fassadensystems als Produkt hängt neben der Kompatibilität mit bestehenden Planungen und Geometrien von Gebäuden vor allem von der gestalterischen Freiheit ab, die ein modulares System dem Planer zur Verfügung stellt. Die im Vorangegangenen erläuterten geometrischen Überlegungen sind Grundlage für die Entwicklung eines planerischen Werkzeugs, das Planern und am Bau Beteiligten als Planungshilfe dient, um sowohl energetische Leistungsfähigkeit als auch gestalterisches Erscheinungsbild des Systems zu evaluieren und zu verändern. Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte computerbasierte Konfigurator unterstützt die Elementauswahl für Fassadenflächen in Abhängigkeit von der Orientierung und liefert Kennwerte wie Energieertrag, Strahlungsdurchgang und Wärmedurchgang.

Die Komposition der Module innerhalb einer Fassadenfläche bildet das Erscheinungsbild des Gebäudes. Das durch die Funktion eines einzelnen Elements generierte Aussehen eines Bausteins ergibt in der Addition ein Muster. Die Verteilung auf einer Fassadenfläche ergibt neben der kompositorischen Gestalt auch die energetische Bilanz einer Fassadenfläche und damit des Gebäudes. Um diese komplexen Zusammenhänge zu kontrollieren wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Werkzeug geschaffen, das begleitend zum Entwurfsprozess ein visuelles Designtool mit integrierter simultaner Bilanzierung ist. Somit kann erstmals eine energetische Aussage zum gewonnenen Energieertrag gemacht werden und gleichzeitig

die Erscheinung des Gebäudes mit den sich alternierenden einzelnen Fassadenmodulen visualisiert werden.

Da der architektonische Entwurf zumeist in einem iterativen Prozess entwickelt wird, also in einem Verfahren, in dem schrittweise in wiederholten Abläufen der Lösung angenähert wird, ist solch ein Werkzeug von zentraler Bedeutung. Die hohe Komplexität, die aus der Belegung von unterschiedlichsten Funktionsmodulen resultiert, die wiederum einen Einfluss auf die Haustechnik hat, kann mittels eines solchen Werkzeugs kontrolliert werden.

Folgende Funktionen und Parameter wurden in die Planungssoftware zur Veränderbarkeit eingearbeitet und können vom Nutzer variiert werden:

Variablen der Anwendung:

I. Gebäude:

- a) Höhe
- b) Breite
- c) Ausrichtung / (Himmelsrichtung)
- d) geografische Lage

II. Fassade:

- a) Geschosshöhe
- b) Achsraster - Breite Modul
- c) Modulhöhe (in Schritten)

III. Modulgeometrie $l \times b \times h$

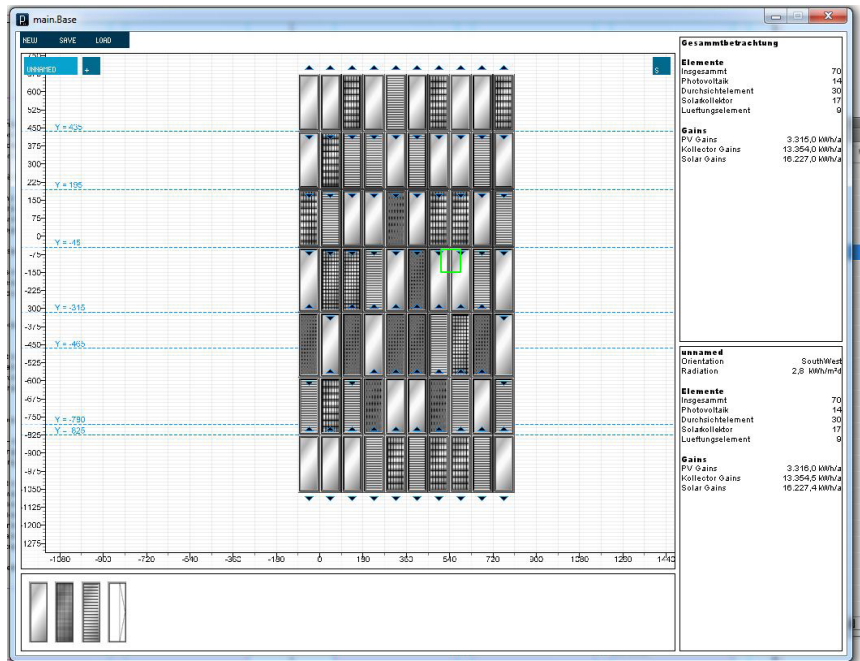
- a) PV
- b) Lüftungselement
- c) Solarthermiekollektor
- d) Durchsichtmodul (verschattete Festverglasung)

IV. Moduleigenschaften

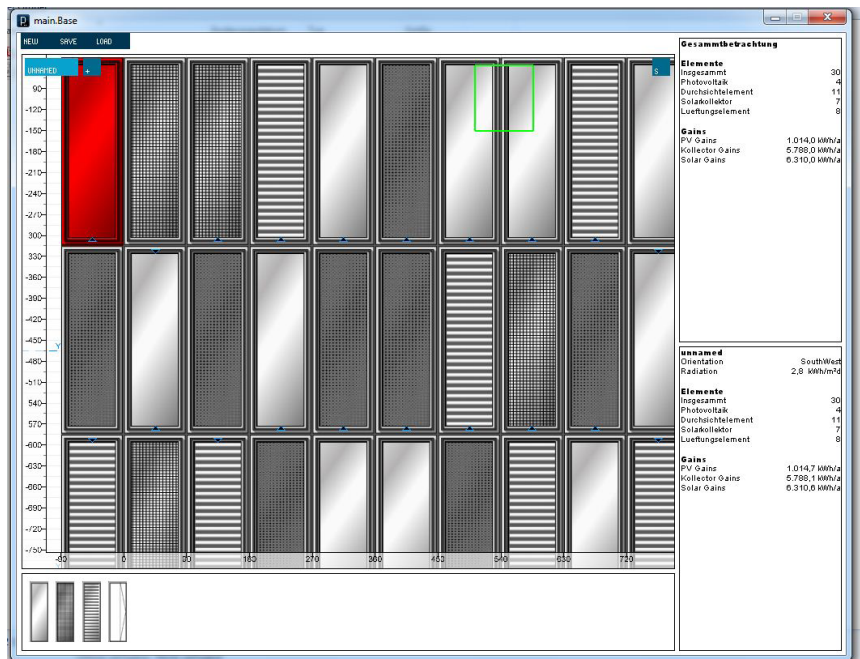
- a) PV – (Abhängigkeit nach Orientierung sowie des Wirkungsgrads des Moduls) Leistung W/m^2
- b) Lüftungselement
 - Luftwechselrate
 - Kühlleistung
 - Heizleistung
 - Volumenstrom
 - Schalleistungspegel
 - Leistungsaufnahme

Die energetische Bilanzierung der Gebäudehülle mittels dieses Konfigurators erfasst drei Aspekte, die im weiteren Verlauf näher erläutert werden:

- Erträge aus Solarthermie (collector gains)
- passive Solarnutzung (solar gains)
- Erträge aus photovoltaisch gewonnener Energie (PV gains)



[Abb. 2.160]
[MUSE_2011_1]
Bildschirmansicht des
Fassadenkonfigurators

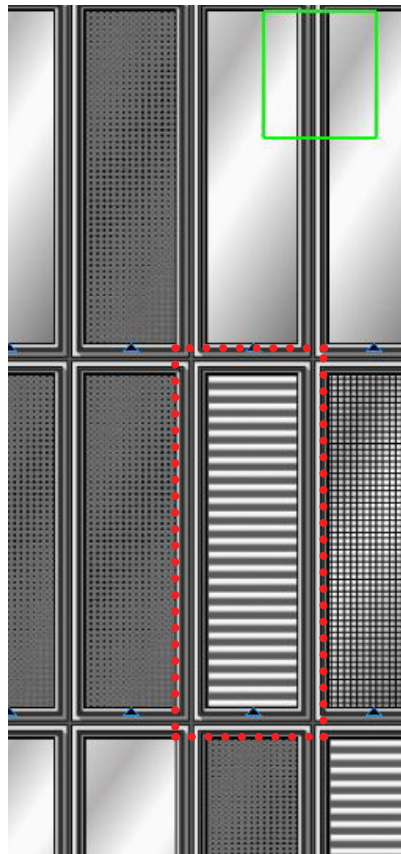


[Abb. 2.160]
[MUSE_2011_1]
Der Fassadenkonfigurator als visuell
grafisches Planungswerkzeug.

Erträge aus Solarthermie
(Collector gains):

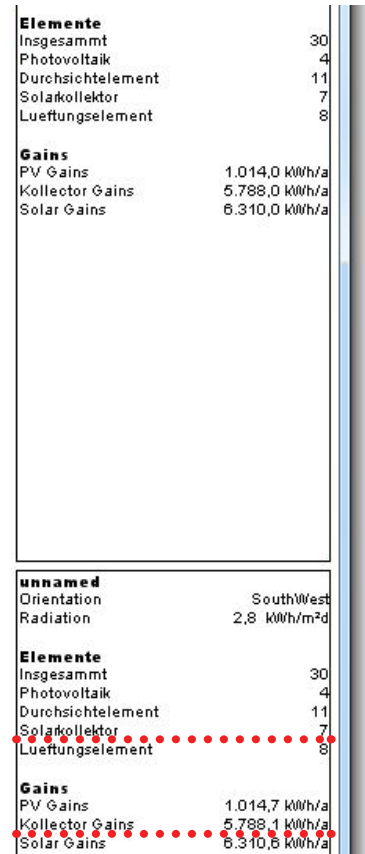
Diese Funktion berechnet Erträge aus solarthermischer Erhitzung von Wärmeträgerflüssigkeit in einem integrierten Fassadenkollektor mit Vakuumröhren der Fa. Paradigma/Ritter Solar. Für die Simulation der Erträge sind gemessene Werte des Instituts für Thermodynamik der Universität Stuttgart hinterlegt, die mittels In-Situ-Messungen ermittelt wurden. Dabei wurde ein solarthermischer Kollektor in einer Langzeitmessung auf seinen Ertrag unter realen Bedingungen hin untersucht, um die verschiedenen Erträge in Abhängigkeit von Winkeln der Einstrahlung zu erfassen. In dieser Testphase wurden drei verschiedene Kollektoren auf einer nachführbaren Messeinrichtung, einem so genannten „Trekker“ näher untersucht. Dabei wird der Kollektor auf spezifische Sonneneinstrahlungswinkel eingestellt und thermisch in seinen Erträgen vermessen.

Auf Grundlage dieser Messungen wurden die Erträge auf fünf verschiedene Standorte in der Welt (Tel Aviv, Oslo, Madrid, Würzburg und Frankfurt) simuliert und errechnet.



[Abb. 2.166_1]
[MUSE_2011_1]

Grafische Darstellung des solarthermischen Kollektors



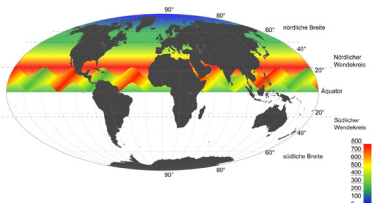
[Abb. 2.166_2]
[MUSE_2011_1]

Darstellung der Erträge des solarthermischen Kollektors

Die Ergebnisse der auf thermischen Messungen basierenden Simulationen der Erträge bilden die Hauptparameter für die Berechnung des hier gezeigten Fassadenkonfigurator. Die

solarthermischen Erträge werden dem Planer in Bezug auf die Ausrichtung der Fassade und den geografischen Standort berechnet.

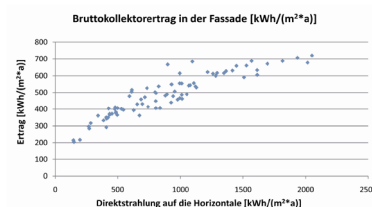
Visualisierter Fassadenertrag der nördlichen Halbkugel



[Fig. 2.166_1]
[SOLI_2012]

Simulation zur Potentialanalyse der Bruttokollektorerträge sowie zu solaren Nutzwärmeerträgen für solare Trinkwassererwärmung und solare Kühlung

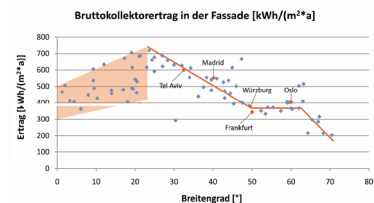
Zusammenhang zwischen Fassadenertrag und Direktstrahlung



[Fig. 2.166_2]
[SOLI_2012]

Zusammenhang zwischen Fassadenertrag und Direktstrahlung: Bruttokollektorertrag in der Fassade

Maximaler Fassadenertrag der analysierten Standorte

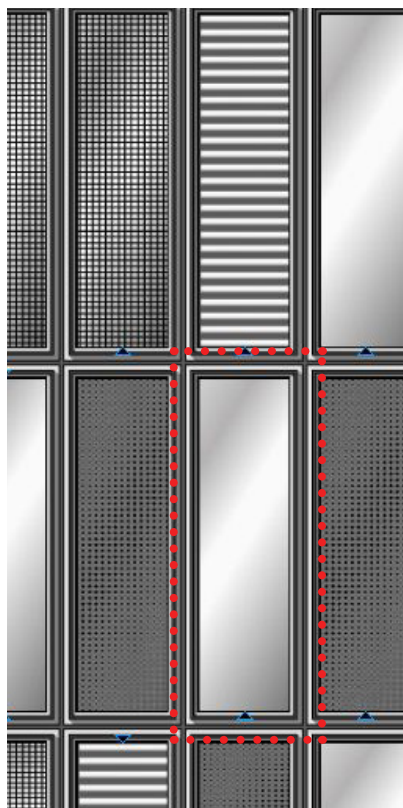


[Fig. 2.166_3]
[SOLI_2012]

Maximaler Fassadenertrag der analysierten Standorte: Bruttokollektorertrag in der Fassade

passive Solarnutzung
(Solar gains):

Die sogenannte passive Solarnutzung quantifiziert die Auswirkung solarer Energieeinträge auf ein Gebäude. Die in Form von solarer Strahlung durch transparente oder transluzente Fassadenelemente eindringende und absorbierte (z.B. Wände, Böden) Energie wird in Wärme umgewandelt und bildet so einen Wärmeeintrag in das Gebäude. Solare Gewinne tragen daher zur Erwärmung des Gebäudes bei und reduzieren den Heizwärmebedarf. Im Sommer können aber solare Gewinne zur Überwärmung von Gebäuden führen.



Elemente	
Insgesamt	30
Photovoltaik	4
Durchsichtelement	11
Solarkollektor	7
Lueftungselement	8
Gains	
PV Gains	1.014,0 kWh/a
Kollektor Gains	5.788,0 kWh/a
Solar Gains	6.310,0 kWh/a

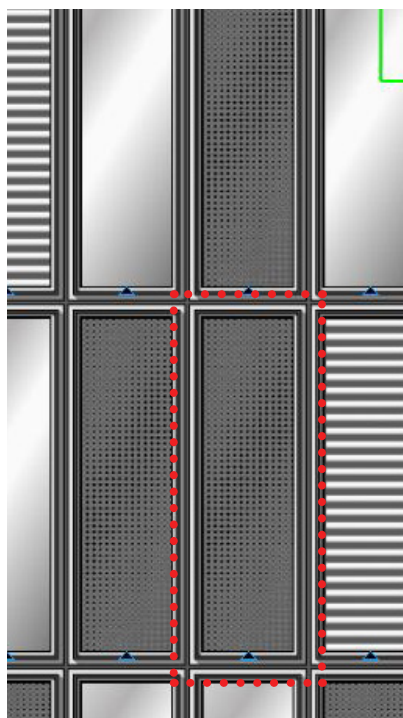
unnamed	
Orientation	SouthWest
Radiation	2,8 kWh/m²d
Elemente	
Insgesamt	30
Photovoltaik	4
Durchsichtelement	11
Solarkollektor	7
Lueftungselement	8
Gains	
PV Gains	1.014,7 kWh/a
Kollektor Gains	5.788,1 kWh/a
Solar Gains	6.310,8 kWh/a

[Abb. 2.167_1]
[MUSE_2011_1]
Grafische Darstellung des
Durchsichtelements

[Abb. 2.167_2]
[MUSE_2011_1]
Darstellung der passiven
Wärmegewinne

Erträge aus photovoltaisch
gewonnener Energie
(PV gains)

Diese Kategorie berechnet die Energieeinträge aus der Umwandlung solarer Strahlung in elektrische Energie mittels fassadenintegrierten Photovoltaikmodulen. Als Grundlage sind sowohl die Wirkungsgrade von integrierten Photovoltaiksystemen als auch die Ausrichtung der Fassade und des geografischen Standorts hinterlegt. Diese Werte können bei einer Verbesserung von Technologien (beispielsweise der Erhöhung von Wirkungsgraden von PV-Zellen) jeweils verändert werden. Als Ergebnis werden dann Gesamtenergiebeträge einer Fassade oder gar des gesamten Gebäudes im Entwurfsprozess errechnet.



Elemente	
Insgesamt	30
Photovoltaik	4
Durchsichtelement	11
Solarkollektor	7
Lueftungselement	8
Gains	
PV Gains	1.014,0 kWh/a
Kollektor Gains	5.788,0 kWh/a
Solar Gains	6.310,0 kWh/a

unnamed	
Orientation	SouthWest
Radiation	2,8 kWh/m²d
Elemente	
Insgesamt	30
Photovoltaik	4
Durchsichtelement	11
Solarkollektor	7
Lueftungselement	8
Gains	
PV Gains	1.014,7 kWh/a
Kollektor Gains	5.788,1 kWh/a

[Abb. 2.167_3]
[MUSE_2011_1]
Grafische Darstellung des
PV Kollektors

[Abb. 2.167_4]
[MUSE_2011_1]
Darstellung elektrisch
gewonnener Energie durch PV

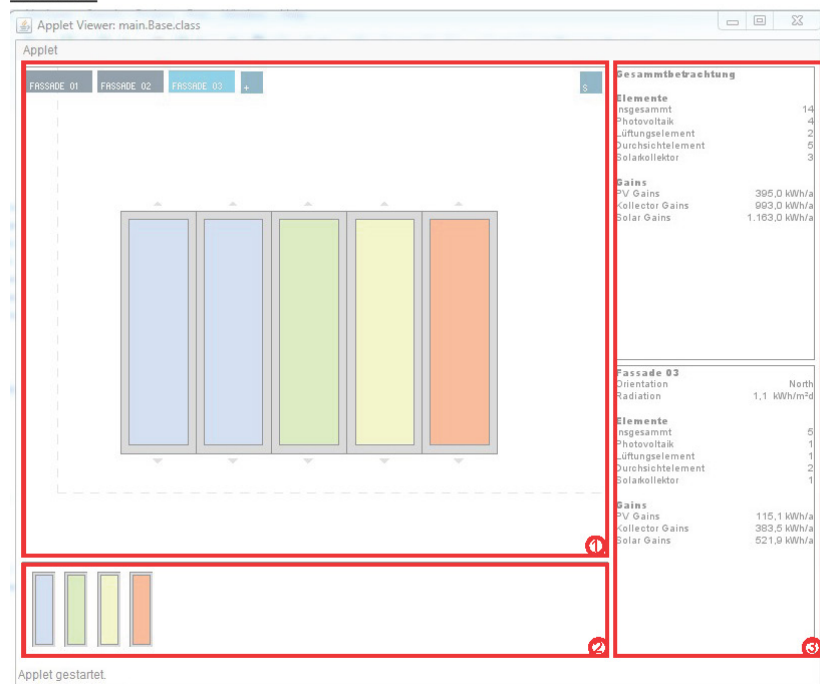
Erläuterungsschritte des Werkzeugs

Auf den folgenden Seiten wird die Bedienung des Fassadenkonfigurations-Werkzeugs in seinen einzelnen Funktionsschritten der Anwendung erläutert.

[Abb. 2.168_1]
Schritt A

Kurzanleitung FassadenTool_Alphaversion (in Entwicklung befindlich)

Bereiche:



- ① Fassadenbereich / Arbeitsbereich
- ② Drag-In-Menue
- ③ Infobereich

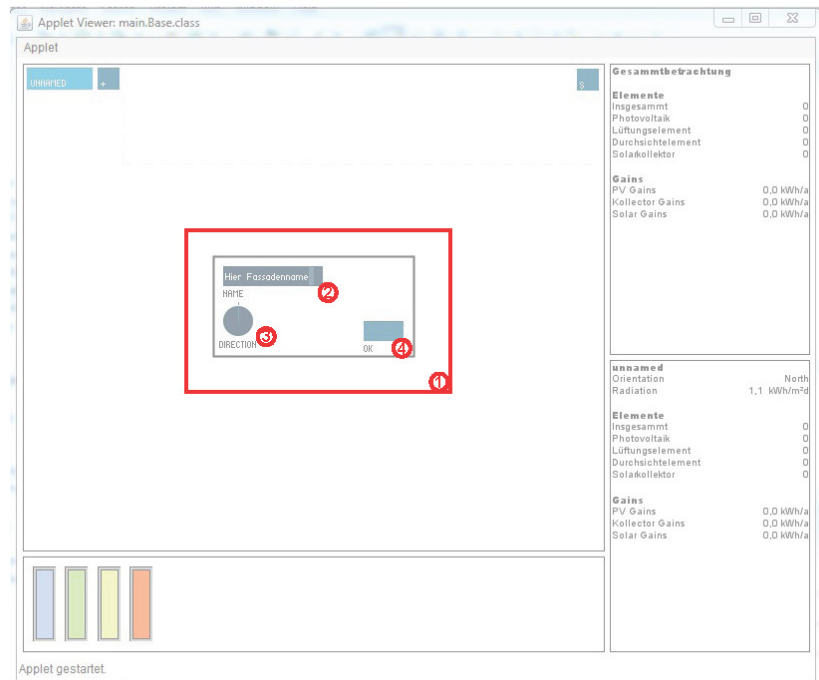
Steuerung Fassadenbereich



- ① Reiter zum Umschalten zwischen den Fassaden eines Projektes
Die aktive Fassade wird heller hervorgehoben
- ② Knopf zum Hinzufügen einer neuen Fassade
- Eine neue Fassade wird angelegt und ihr Einstellungsmenü geöffnet.
- ③ Knopf zum Aufrufen des Einstellungsmenüs der aktiven Fassade

[Abb. 2.169_1]
Schritt B

Fassaden Einstellmenü



- ① **Das Einstellmenue**
- ② **Textfeld zur Einstellung des Namens der Fassade**
Durch Anklicken mit der Maus fokussieren
Eingaben mit der Tastatur vornehmen
mit Enter bestätigen
- ③ **Regler zur Einstellung der Ausrichtung der Fassade**
Mit der linken Maustaste auf den Regler klicken und bei gedrückter linker Maustaste die Maus nach rechts bzw. links bewegen um Einstellungen vorzunehmen
- ④ **Knopf zum Bestätigen der Einstellungen**
und zum Verlassen des Menüs

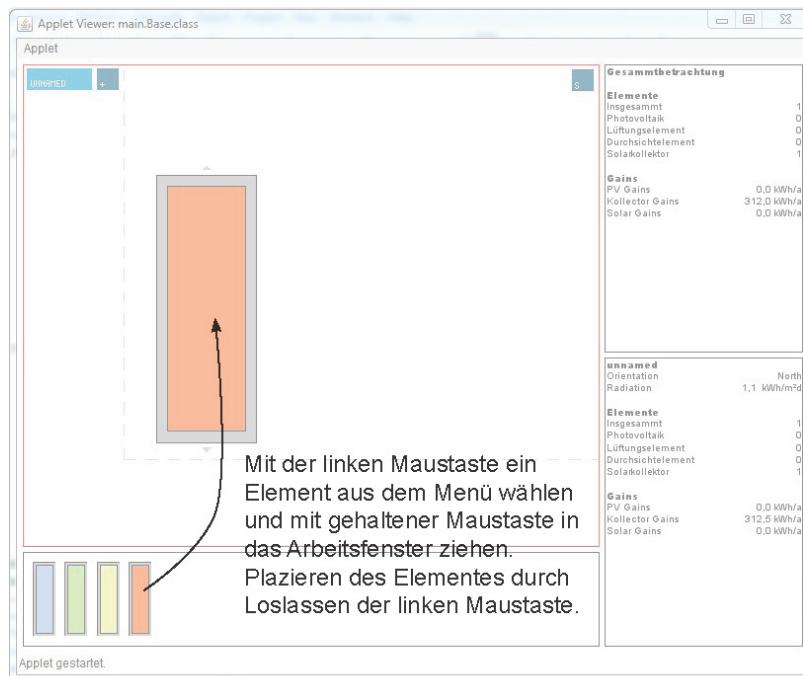
Navigation im Arbeitsfenster

Verschieben der Ansicht:
Ziehen bei gedrückter rechter Maustaste im Arbeitsfenster

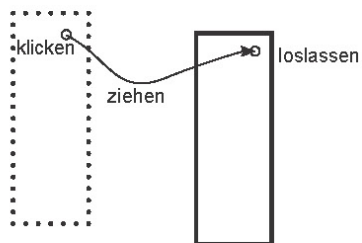
Zoomen der Ansicht:
Durch Drehen am Mausrad

[Abb. 2.170_1]
Schritt C

Plazieren eines Fassadenelementes

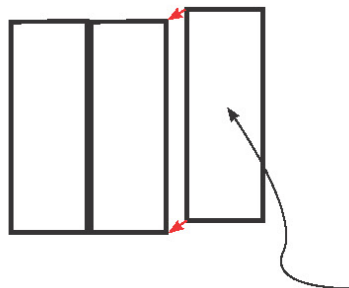


Verschieben von Fassadenelementen



Um ein Element zu verschieben mit der linken Maustaste darüber drücken und die Maus bei gedrückter linker Maustaste bewegen.
Durch Loslassen der linken Maustaste wird das Element wieder platziert.
(Momentan kann immer nur ein Element verschoben werden)

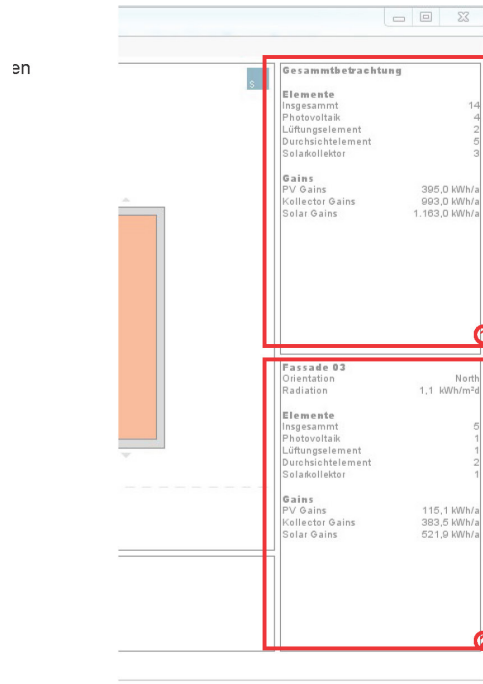
„Snap“ Funktionalität von Fassadenelementen



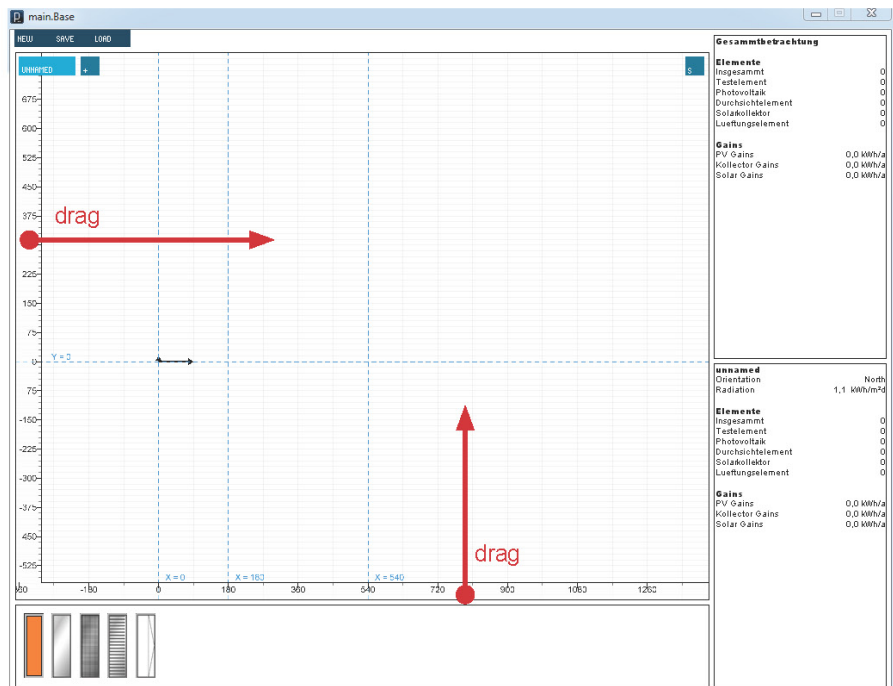
Werden Fassadenelemente mit der Maus geführt, richten sich diese (ab einer bestimmten Distanz zu anderen Elementen), selbstständig an anderen Elementen aus.

[Abb. 2.171_1]
Schritt D

Durch Klicken auf ein Element wird dieses ausgewählt. (Bei gedrückter Shift-Taste ist Mehrfachauswahl möglich.)
Durch Drücken der Entf-Taste werden die Elemente gelöscht.

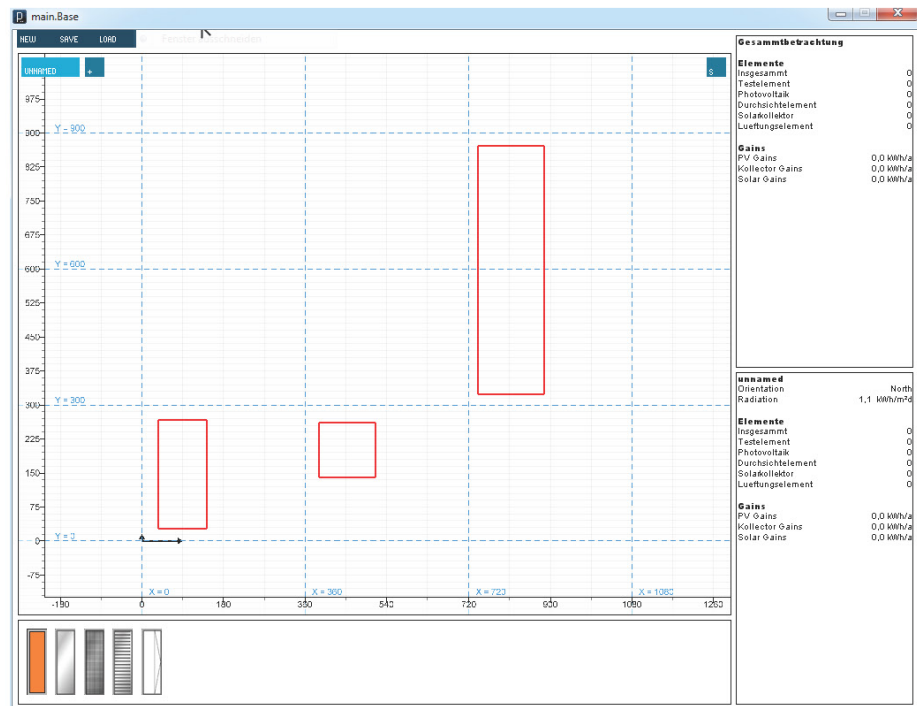


[Abb. 2.171_2]
Schritt E

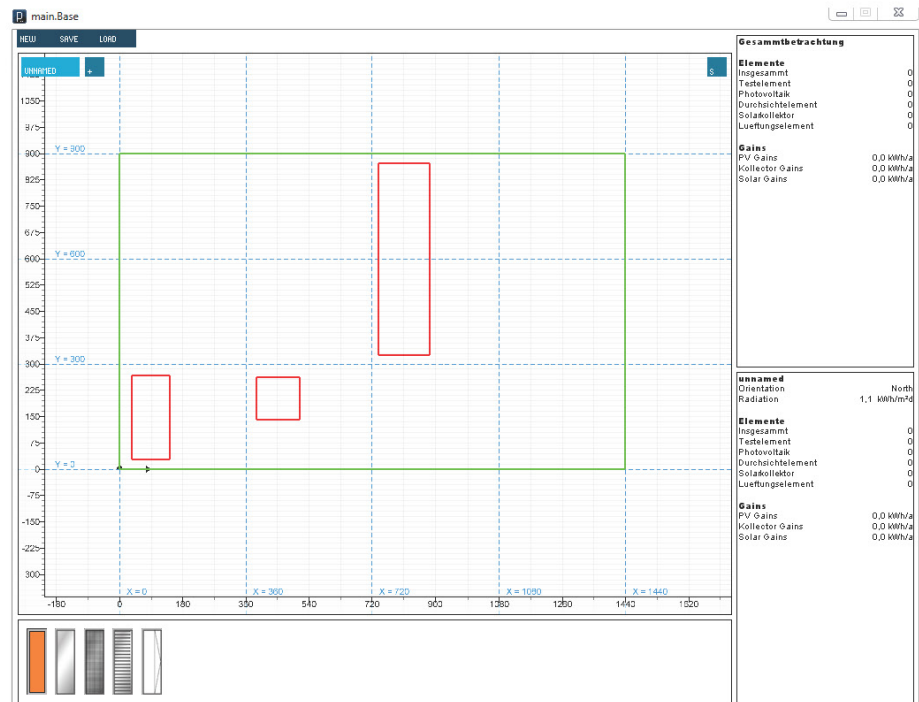


Mit der Maus können horizontale und vertikale Hilfslinien erstellt werden. Dazu muss auf das Lineal am Rand des Fensters geklickt und die neue Hilfslinie mit der Maus in den Arbeitsbereich hereingezogen werden.

[Abb. 2.171_1]
Schritt F

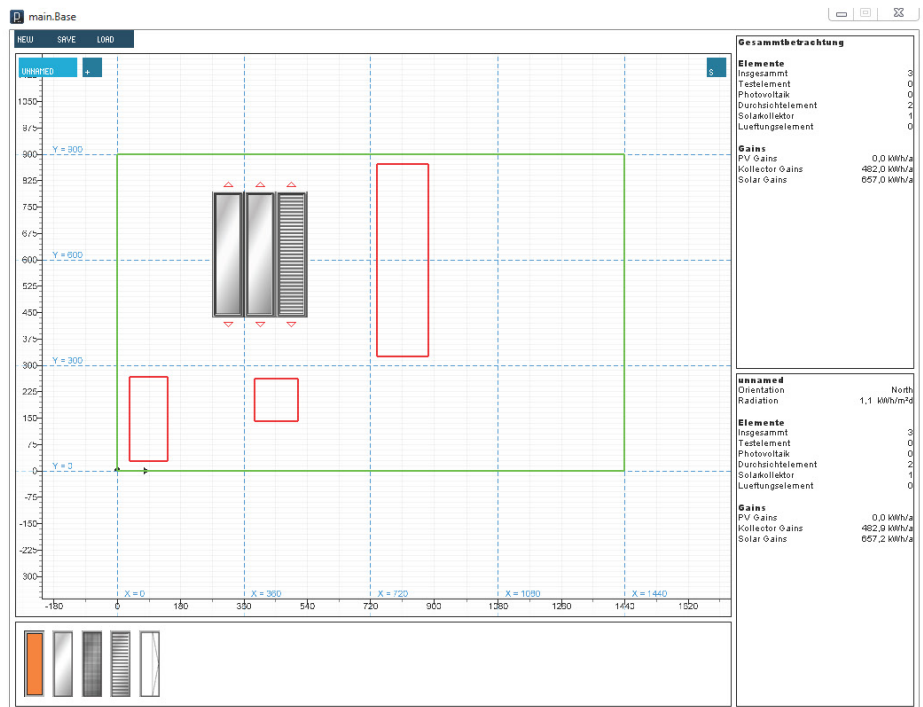


Wird die Taste ‚n‘ gedrückt, kann danach ein Negativfeld aufgezo- gen werden (rot).



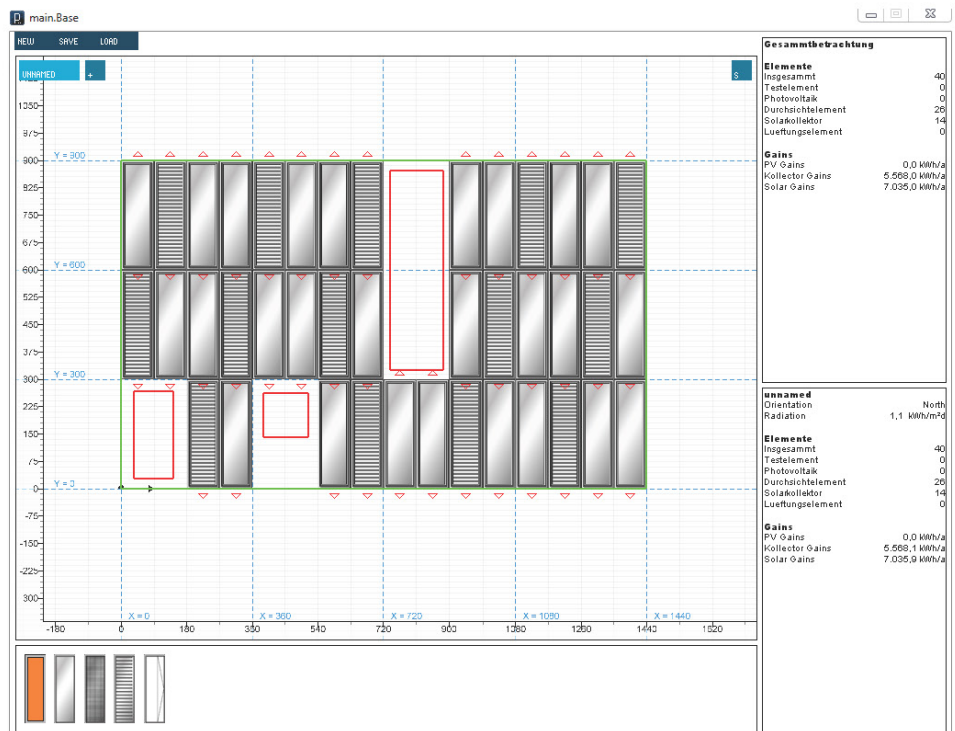
Wird die Taste ‚c‘ gedrückt, kann danach ein Containerfeld aufgezo- gen werden (grün). Gibt es Hilf- linien innerhalb der aufgezo- genen Fläche, passt sich das Containerfeld automatisch an diese an.

[Abb. 2.173_1]
Schritt G



Elemente im Containerfeld platziert werden.

[Abb. 2.173_2]
Schritt F

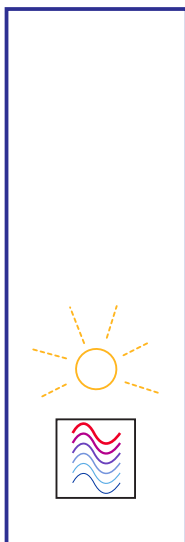


Mit der Taste ‚f‘ wird der Bereich im Containerfeld automatisch gefüllt. Als Füllelemente werden diejenigen Elemente verwendet, die sich während des Vorgangs im Containerfeld befinden. Negativflächen bleiben bei der automatischen Füllung frei.

**Konzeptionelle
Entwicklung eines
geschlossenen Systems**

Weitergehende Entwicklung eines Modulbausteins: (geschlossenes System)

Integration von solarthermischen Vakuumröhren in den Scheibenzwischenraum einer Mehrfach-Isolierglasscheibe als Beispiel eines bauteilintegrierten Verbundelements



Fassadenmodul mit solarthermischer Einheit (geschlossenes System)

[Abb. 2.176]
Schemaskizze

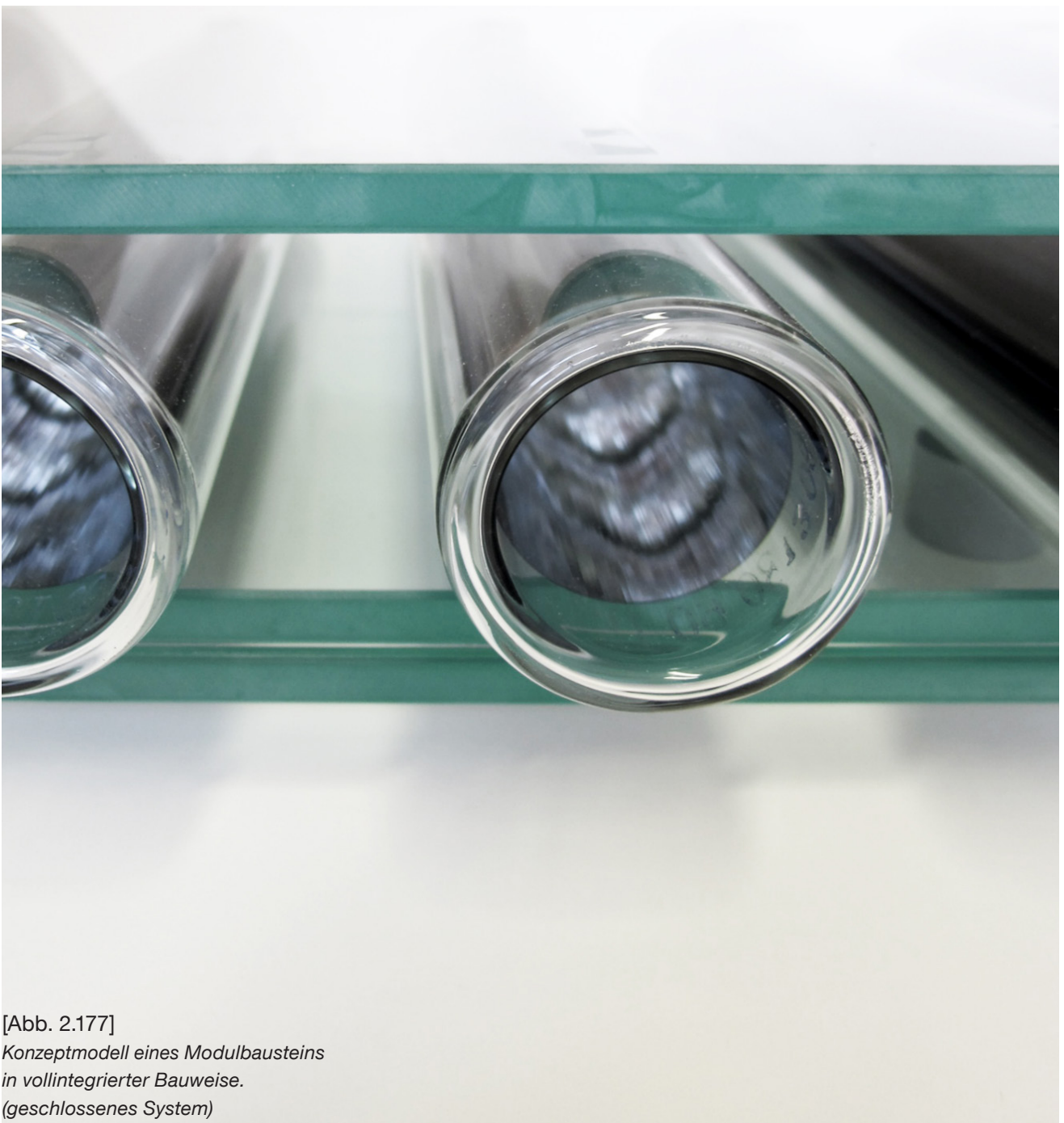
Als Gegenthese zum vorangegangenen offenen System der Entwicklung eines Modulkatalogs wurde die Vollintegration einer technischen Komponente in ein Bauteil untersucht. Dieser weitere Schritt beschreibt anhand der Integration solarthermischer Elemente den Einsatz von Vakuumröhren in einen Scheibenzwischenraum (SZR) einer Mehrfach-Isolierglasscheibe. Dies hätte den Vorteil, dass die Energiegewinnung flexibler einsetzbar in konstruktiv verschiedene Bauarten von Fassaden ist. Somit wäre der Einsatz in Gebäude mit einer Pfosten-Riegel (stick system) oder Elementfassade (unitized panel system) darstellbar. Diese Einheit entsteht als konstruktiver Verbund aus zwei ESG-Scheiben mit dazwischen liegenden Vakuumröhren. Als energieerzeugende Einheit wird das Gesamtpaket in jegliche konstruktiven Fassadentypologien einsetzbar. Durch das Verschmelzen der Elemente Energiegewinnung und wetterschützende Schicht zu einem Produkt mit glatter Oberfläche entspricht der Reinigungsaufwand dem einer konventionellen Verglasung. Ein weiterer Vorteil wäre das Thema Sicherheit im Schadensfall, denn es können keine gebrochenen Einzelteile der Vakuumröhren auf einen Straßenraum um ein Gebäude fallen. Ferner könnte dieses Ele-

ment durch die direkte Verklebung der Röhren mit den Glasscheiben zu einem konstruktiven und bauteilintegrierten Verbundelement ausgebildet werden mit dem Ziel einer Erhöhung der Spannweite im Überkopfbereich gegenüber einer konventionellen Isolierverglasung. Neben der gleichzeitigen Energiegewinnung und der verschattenden Komponente im Oberlichtbereich durch die teilweise opaken Vakuumröhren wäre die Bauteilintegration verschiedener Funktionen mit Sicherheit ein entscheidender Faktor.

Als Beispiel für ein geschlossenes System bildet dieses integrierte Modul die Grundfunktionen Witterungsschutz, thermische Trennung, raumbildendes Element und Tragwerk als Funktionsmodul eine solarthermische Einheit.

Folgende Überlegungen liegen als Ausgangspunkt der Entwicklung eines solchen Bauteils aus Vakuumröhren in einer Mehrfach-Isolierglasscheibe zugrunde:

1. geometrische Parameter
2. produktionstechnische Parameter
3. thermodynamische Parameter
4. konstruktive Parameter
5. statische Parameter



[Abb. 2.177]
*Konzeptmodell eines Modulbausteins
in vollintegrierter Bauweise.
(geschlossenes System)*

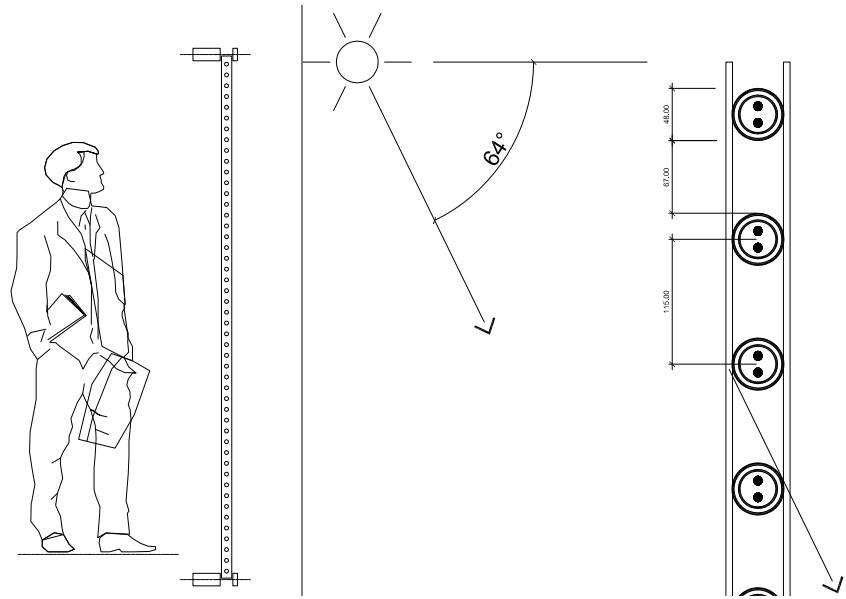
Parameter der Entwicklung

Im Rahmen der Entwicklungen des Verbundelementes ergeben sich folgende Punkte, die identifiziert und untersucht wurden:

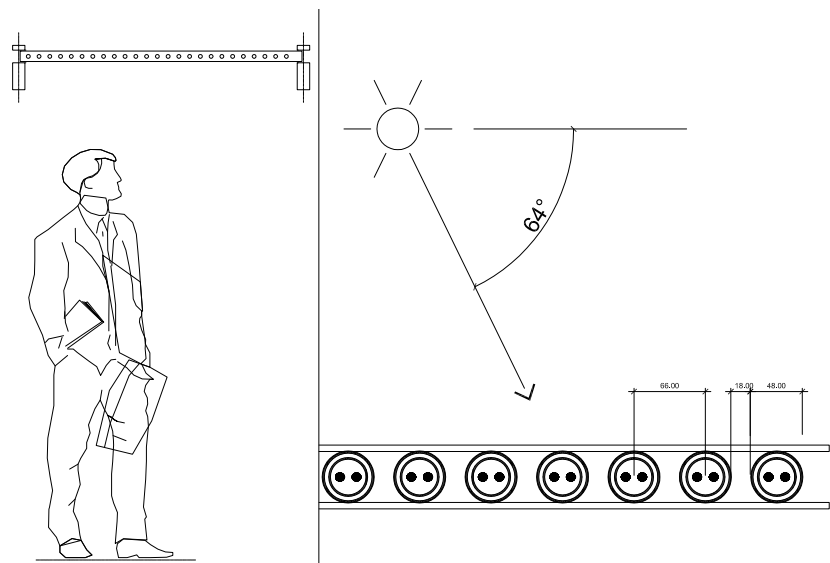
1. Geometrische Parameter

Für den Einsatz in vertikalen Verglasungen sind vor allem die Achsabstände der Röhren von besonderer Bedeutung. Aufgrund der gegenseitigen Verschattung der Röhren untereinander hängt der optimale Achsabstand stark vom lokalen Standort ab. Ein Standort nahe am Äquator ist für den Einsatz von Vakuumröhren in einer vertikalen Anordnung an Südfassaden ungeeignet, da durch die Verschattung der Röhren untereinander der Ertrag nicht darstellbar ist. Deutlich höher sind an diesen Standorten die Erträge an Ost- und Westfassaden. Dies geht aus Untersuchungen am ITW Stuttgart und Simulationen von Solites hervor, die im Rahmen des gemeinsamen Forschungsprojektes erarbeitet wurden.

Zunächst wurden für den Standort München jeweils zwei Röhrenabstände angenommen, die auf den gegenüberliegenden Seiten dargestellt sind. Sie zeigen jeweils exemplarisch für den Einsatzbereich Südfassade und Überkopfverglasung (südliche Ausrichtung) die Abhängigkeiten der Röhrenabstände und Sonneneinfallswinkel am 21.06. Die Röhrenabstände ergeben sich aus der Ausblendung direkter Strahlung in den jeweiligen Sonnenhöchstständen, um die Integration der Röhren auch als wirksamen Sonnenschutz zu verwenden.



[Abb. 2.178_1] Abhängigkeit zwischen Röhrenabstand und Einsatzort eines Kollektors. Hier: Vertikale Verglasungseinheit.



[Abb. 2.178_1] Abhängigkeit zwischen Röhrenabstand und Einsatzort eines Kollektors. Hier: Horizontale Verglasungseinheit.

2. Produktionstechnische Parameter

Es gilt, einen konstruktiv belastbaren, klar durchsichtigen Klebstoff für Glas-Glas-Kle- bungen zu finden. Dieser sollte nach Möglichkeit zunächst eine feste Konsistenz aufweisen. Bei einem Flüssigkleber würde das Aufbringen, die Aushärtung und der daraus resultierende optische Eindruck Probleme mit sich bringen. Des Weiteren gilt es zu beurteilen, inwiefern sich bei unterschiedlichen Klebeverbindungen Tropfnasen oder un- gleichmäßige Klebefugen bilden, da die Verklebung einer runden Röhre mit einer planen Schei- be in einer tangential - linearen Geometrie schwierig zu gewähr- leisten ist. Unsaubere Verklebun- gen können den solaren Eintrag beeinträchtigen und zu erhebli- chen Ertragseinbußen führen. Ideal wäre eine klare doppel- seitige Klebeverbindung, die Belastungen aushält, die durch thermodynamische Verformun- gen auftreten. (siehe statische Parameter)

So können aus Gründen, die eine maschinelle Laminierung voraus- setzen, die Vakuumröhren unter einem Bar Druck nur einseitig an die plane Scheibe geklebt wer- den. In einem weiteren Vorgang entsteht dann erst ein geschlos- senes Sandwichelement mit Randverbund.

3. Thermodynamische Parameter

In Messungen am ITW Stuttgart, die die energetischen Qualitäten der durchströmten Vakuumröh- ren im Fassadenkollektor unter- suchten, wurden Kollektoren mit Deckscheiben aus Einscheiben- Sicherheitsglas (ESG), Verbund- Sicherheitsglas (VSG) mit Folien aus Polyvinylbutyral (PVB) und Verbund-Sicherheitsglas mit SentryGlas® (SG) laminier- ten Scheiben getestet. Es war festzustellen, dass es erhebliche Unterschiede in den Energie- erträgen der flüssigkeitsdurch- strömten Vakuumröhren gibt. So betragen die Unterschiede zwischen Kollektoren, die mit einem Einscheiben-Sicherheits- glas als Deckscheibe vor dem Kollektorfeld bestückt waren und Kollektoren, die ein Verbund- Sicherheitsglas mit Folien aus Polyvinylbutyral als Deckscheibe vor dem Kollektorfeld hatten bis zu 10 % weniger Energieertrag. Aus diesem Grunde wurden auch Verbund-Sicherheitsgläser mit SentryGlas - Folien getestet. Er- gebnis war eine deutlich bessere Energieausbeute im Vergleich zu Kollektoren mit Deckscheiben, die mit PVB laminiert waren. Kollektoren mit Deckscheiben aus Verbund-Sicherheitsglas mit Sentry-Glas-Folien ließen aber auch weniger Energieer- trag feststellen als Kollektoren, die mit einem Einscheiben- Sicherheitsglas als Deckscheibe versehen waren. Des Weiteren

geht Polyvinylbutyral bei erheb- lich geringeren Temperaturen in einen viskosen Zustand über als Sentry-Glass- Folien. PVB ist ein weicher Kunststoff, der unter länger einwirkender Belas- tung zu fließen beginnt während die Festigkeit von PVB deutlich höher ist. Die Steifigkeit bei Raumtemperatur von SG ist so- gar rund einhundert mal so hoch wie PVB. Laut dem Hersteller „Du Pont“ gilt: „Im Vergleich zu herkömmlichen Zwischenlagen ist SentryGlas auch unempfindli- cher gegenüber Feuchtigkeit und Witterungseinflüssen bei Tempe- raturen zwischen $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, so die übereinstimmenden Ergebnisse aus Laborversuchen und Untersuchungen an real ausgeführten Projekten“ [STEL_2008_1]

Bessere Energieeffizienz, höhere Steifigkeit und bessere Tempe- raturbeständigkeit könnten für einen Einsatz von SentryGlass (SG) als Klebeverbindung spre- chen, doch in Recherchen wer- den auch andere Klebeverbind- ungen untersucht und geprüft.

4. Konstruktive Parameter

Durch den direkten Kontakt der äußeren Glasscheibe mit der Vakuumröhre und dieser mit der inneren Glasscheibe der Mehrfach-Isoliereinheit sind konstruktive bauteilimmanente Wärmebrücken zu erwarten. Dadurch wird sich der gesamte U-Wert der Einheit verschlechtern.

Darüber hinaus entwickeln die Vakuumröhren mit ihren schwarzen Absorberschichten eine sehr hohe Temperatur, die sie an ihre Umgebung abstrahlen.

Ein weiterer Punkt ist, dass die am Markt erhältlichen Vakuumröhren einen Außendurchmesser von 48 mm haben. Mit der Klebelage entsteht ein Scheibenzwischenraum, eine über 50 mm tiefe Schicht als Scheibenzwischenraum. Hier wäre aufgrund der thermischen Unterschiede Konvektion zu erwarten und somit wäre die isolierende Wirkung zusätzlich verringert.

Ein Lösungsansatz wäre, den Scheibenzwischenraum thermisch zu konditionieren und zu entfeuchten. Das Prinzip könnte hier ähnlich sein wie in folgendem Beispiel: Die Closed-Cavity-Fassade ist eine in sich abgeschlossene, mehrschalige Konstruktion. Die seit 2012 von der Firma Gartner aus Gundelfingen am Markt erhältliche transparente Außenwandkonstruktion weist erstmals eine geschlossene Luftspülung mit entfeuchteter, gereinigter und konditionierter Luft auf, die den ersten Scheibenzwischenraum einer Mehrscheibenisolierverglasung thermisch kontrolliert.

Diese konditionierte Luft ist an eine zentrale Haustechnikanlage mit Absorptionstrockner angeschlossen und sorgt dafür, dass kein Kondensat im Scheibenzwischenraum entstehen kann. Die dafür notwendige Druckluft-Ringleitung wird in der abgehängten Decke installiert und über einen Kapillarrohr-Schlauchanschluss aktiviert. Da dies mit einem erhöhten technischen Aufwand verbunden ist, wäre die klimatische Konditionierung des Scheibenzwischenraumes mit einem diffusionsoffenen Randverbund vorzuziehen, der eine passive Lüftung durch Interaktion mit dem Außenklima gewährleistet. Somit wäre zwar das thermische Niveau im Vergleich zu einer vorkonditionierten und mechanischen Luftzufuhr höher, aber eine zweite isolierende Schicht hinter dieser Kollktorschicht könnte diesen Umstand kompensieren. Dieser Lösungsansatz bedeutet, dass eine Dreischeibenverglasung nötig wäre.

Der vielversprechendste Lösungsansatz ist die thermische Trennung der Funktionsbereiche Energiesammlung und thermische Trennung der Gebäudehülle zwischen innen und außen. Über eine Aufteilung in zwei Scheibenzwischenräume mit drei Ebenen von Glasscheiben ähnlich einer Dreischeibenverglasung oder eines Kastenfensters wäre die thermische Trennung dieses Hüllelementes und die Behaglichkeit in dem dahinter liegenden Raum

gewährleistet. Das Raumklima, besonders im Sommer, würde durch das „beheizte“ Fenster zu vernachlässigend beeinflusst. Zudem käme, dass der Wartungszugang der Röhren möglich wäre, ohne den mit Edelgasen gefüllten thermisch trennenden Scheibenzwischenraum zu beeinträchtigen.

Auch der Anschluss des Sandwichelementes an die Sammelleitungen, die in die haustechnischen Einheiten führen, einem konstruktiv schwierigen Punkt, würde eine Vereinfachung erfahren. Denn die medienführende Rohrleitung des Systems durchstößt den Randverbund der Verglasungseinheit an einer Stelle. Da dieses Rohr auf bis zu 180°C aufgeheizt werden kann und dadurch auch Bewegungen durch Längenänderungen erfährt, wäre der Durchstoßpunkt eine Schwachstelle in einer isolierenden, thermisch trennenden Aufbauschicht einer Isolierglasscheibe. Ein mehrschichtiger Aufbau mit mindestens zwei Scheibenzwischenräumen gewährleistet eine Trennung der thermisch trennenden Einheit und Energie gewinnender Schicht.

5. Statische Parameter

1. Klebeverbindungen Scheibe-Röhre:

Die Klebeverbindung zwischen der Vakuurröhre und den angrenzenden Scheiben stellt sich als ein zentrales Problemfeld dar. Der verwendete Klebstoff muss UV-stabil, mit wenig Einfluss auf die Lichttransmission und konstruktiv belastbar sein. Durch einen kraftschlüssigen Verbund kann sich die Stabilität der gesamten Isolierglaseinheit verbessern.

Die gängigen Vakuurröhren sind aus Bor-Silikatglas hergestellt, wohingegen herkömmliche Einscheiben-Sicherheitsgläser (ESG) und Verbund-Sicherheitsgläser (VSG) Kalknatron-Silicatglas als Ausgangsmaterial verwenden. Borsilikatgläser sind gegenüber herkömmlichen Kalknatron-Silicatgläsern in Temperaturbeständigkeit z.B. bei plötzlichen Temperaturschwankungen deutlich unempfindlicher. Der geringe Wärmeausdehnungskoeffizient ($\approx 3,3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) von Borsilikat steht einem Wärmeausdehnungskoeffizient von $9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ von Kalknatron-Silicatglas gegenüber. Die unterschiedlichen Stärken und Materialien der beiden zu verklebenden Komponenten lassen unterschiedliche Verhalten und Ausdehnungen bei thermischen Beanspruchungen erwarten. So muss eine Klebeverbindung, die diese unterschiedlich reagierenden Materialien verbindet, den eintretenden Beanspruchungen standhalten und sie gegebenenfalls ausgleichen.

Grundsätzlich sind in der Klebeverbindung zwei Ausführungen möglich:

a. Punktuelle Verklebung von Glasscheibe aus Kalknatron-Silicatglas und Vakuurröhren aus Bor-Silikatglas jeweils an den Enden der Röhre an insgesamt vier Punkten.

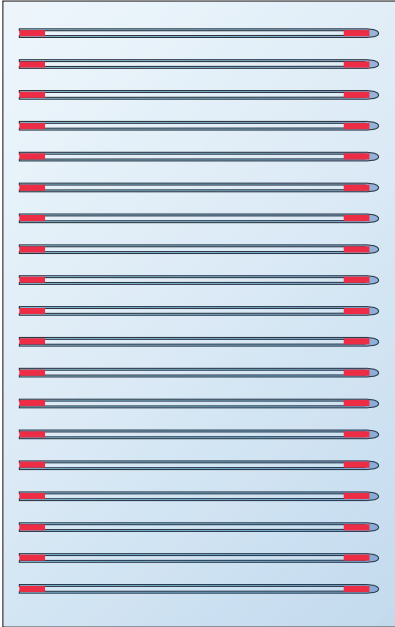
Angenommen wurde zunächst eine Klebeverbindung mit dem „VHB structural glazing cladding type“ der Firma 3M, die eine Zulassung für so genanntes „structural glazing“ für Klebeverbindungen in Fassadenverglasungen hat. Damit würde man durch eine erhöhte Kraftschlüssigkeit eine statische Gesamtleistung der Verbundeinheit aus Glasscheiben mit innenliegenden Vakuum Röhrenkollektoren erreichen. Dieses opake Klebeband mit 2,3 mm Stärke und 15 mm Breite ist auf Druck zu beanspruchen, um seine volle Klebewirkung aufzubauen. Die Länge der Klebeverbindung würde an den vier Punkten je 50 mm betragen, bei einem Abstand der Klebepunkte von ca. 1350 mm. Durch die unterschiedlichen Ausdehnungen von Scheibe und Röhre entsteht ein statisch unbestimmtes System. Der Kleber sollte also flexibel auf leichte Verformungen reagieren. Diese Variante ist nicht statisch wirksam als Sandwich, verbessert jedoch den gesamt U-Wert der Einheit durch Reduzierung der Wärmebrücken.

b. Lineare Verklebung am tangentialen Berührungspunkt von Glasscheibe aus Kalknatron-Silicatglas und Vakuurröhren aus Bor-Silikatglas über die Länge der Vakuurröhre.

Die Klebeverbindung sollte aus einem sehr leistungsfähigen, transparenten Kleber (Silikon o. Ä) bestehen, der UV-beständig und extrem lichtdurchlässig ist, um keine Einbußen beim Energieeintrag auf die absorbierende Röhre zu bekommen. Die Länge der Klebeverbindungen könnte 1450 mm tangential zwischen runder Röhre und flacher Scheibe betragen um einen maximalen statischen Verbund zu erzielen. Im besten Fall kann eine kraftschlüssige und schubfeste Verbindung zwischen den Röhren und den beiden Scheiben zu einem statischen Gesamtpaket aufgebaut werden, um ein leistungsfähiges Gesamtpaket zu erzielen.

Als Nachteil dieser Verbindung wäre eine Verschlechterung des U-Werts der Einheit zu erwarten, da die Klebeverbindung eine Wärmebrücke darstellt.

Ist jedoch die Klebeverbindung maximal schubsteif und wenig elastisch, so könnten die unterschiedlichen Längenausdehnungskoeffizienten zu Spannungen in der Klebeverbindung führen. Anders herum kann eine flexible Klebeverbindung, die die unterschiedlichen Längenänderungen von Röhre und Scheibe aufnehmen kann, keinen schubsteifen Verbund zwischen Röhre und Scheibe zu einem gesamt-



[Abb. 2.182_1]

Schematische Darstellung zu
a. punktuelle Verklebung am tangentialen Berührungspunkt von
Glasscheibe und Vakuumröhren.



[Abb. 2.182_3]

Modell zu a. punktuelle Verklebung am tangentialen Berührungspunkt von
Glasscheibe und Vakuumröhren.



[Abb. 2.182_2]

Schematische Darstellung zu
b. lineare Verklebung am tangentialen Berührungspunkt von
Glasscheibe und Vakuumröhren.



[Abb. 2.182_4]

Modell zu b. lineare Verklebung am tangentialen Berührungspunkt von
Glasscheibe und Vakuumröhren.

wirkenden Sandwich garantieren.
2. Materialwahl der Scheiben

Laut den technischen Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen (TRLV) ist beim Einsatz von ESG stets fremdüberwachtes ESG-H zu verwenden; es sei denn, die Verglasung liegt nicht an einer Verkehrsfläche und ist unterhalb von 4 m Höhe eingesetzt.

ESG-H ist ein monolithisches Sicherheitsglas mit erhöhten Qualitätsanforderungen. Die Vorspannung zum Einscheibensicherheitsglas gleicht dem Herstellungsverfahren von herkömmlichem ESG, indem eine Floatglasscheibe auf mehr als 600 Grad Celsius erhitzt und mit kühler Luft zügig abgekühlt wird. Danach wird das ESG-H Glas im Unterschied zum herkömmlichen ESG bei einer Temperatur von 280 bis 300 Grad Celsius mehrere Stunden heiß gelagert. Diese zusätzliche Wärmebehandlung reduziert die durch Nickelsulfideinschlüsse ausgelösten, in der Praxis allerdings eher selten vorkommenden Spontanbrüche von normalem ESG, bei denen ESG ohne Außeneinwirkung durch Nickelsulfid-Einschlüsse „spontan“ bricht.

Laut Saint-Gobain Glass Deutschland GmbH liegt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Scheibe ESG-H bricht, statistisch bei ca. 0,0001 %. Aus diesem Grunde muss ein Sandwich, der in Überkopf-Verglasungen angewendet wird oder über Verkehrsflächen von über 4 m liegt, mit einer ESG-H Scheibe als Außenscheibe versehen sein.

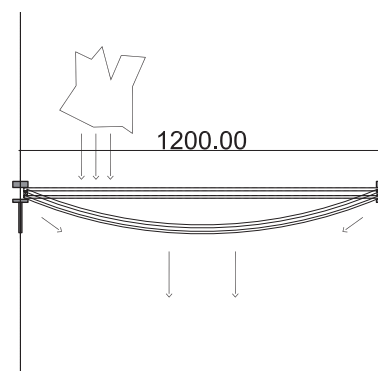
3. Einbausituation des Elementes

Für den Einsatz von Überkopfverglasungen ist neben der Leistungsfähigkeit der Klebeverbindung auch die statische Wirksamkeit der Reststandsicherheit im Schadensfall bei Glasbruch von größerer Bedeutung. Der Vorteil der Bauteilintegration des statisch wirksamen Verbundes von zwei Scheiben mit einer Vakuurröhre als Mittellage wäre die mechanische Haltefunktion der gebrochenen Glasscheiben. Die technischen Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen (TRLV) sehen eine maximale Scheibengröße von 1,2 m für den Einsatz von zweifach gelagerten Glasscheiben vor: Unter 3.2 Zusätzliche Regelungen für Überkopfverglasungen ist folgender Fall geregelt: „In 3.2.2 VSG-Scheiben aus SPG und/oder aus TVG mit einer Stützweite größer 1,20 m sind allseitig linienförmig zu lagern“. Eine zweifach gelagerte Scheibe würde sich aufgrund ihres Eigengewichtes bei Bruch und der resultierenden Sackbildung des Pakets aus den zwei Verankerungen links und rechts herauslösen können und auf die darunter liegenden Flächen fallen (vgl. Abb. a).

[TRLV_2006_1]

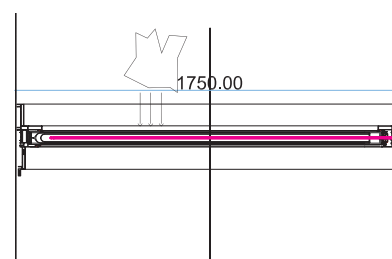
Bei der konstruktiven Ausbildung zweier Glasscheiben mit einer mittig liegenden Vakuurröhre und Metallregister wird die Sackbildung durch das Metallregister verhindert.

Dadurch ist die Verbreiterung der Maximalgröße der einzusetzenden Scheibe in Überkopfverglasungen möglich (vgl. Abb. b).



[Abb. 2.183_1]

a. Schematische Darstellung zur Sackbildung des Pakets: Herauslösen der zwei Verankerungen



[Abb. 2.183_2]

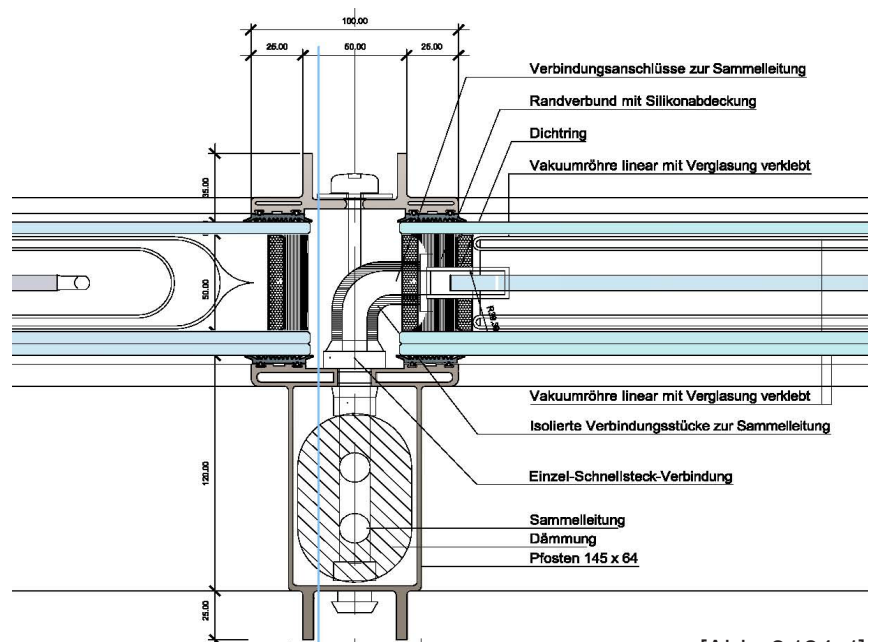
b. Schematische Darstellung zur Reststandsicherheit des Pakets: Sackbildung wird durch das Metallregister verhindert.

Auf den folgenden Seiten werden die einzelnen konstruktiven Schritte dokumentiert und zeigen von einem einfachen Aufbau einer Doppelverglasung mit einem Scheibenzwischenraum in einer Pfosten-Riegelfassade hin zu einem komplexen Aufbau einer Dreischeibenverglasung in der Elementfassade.

Entwicklungsschritte und Varianten

V1 Vakuumröhre komplett im
Scheibenzwischenraum

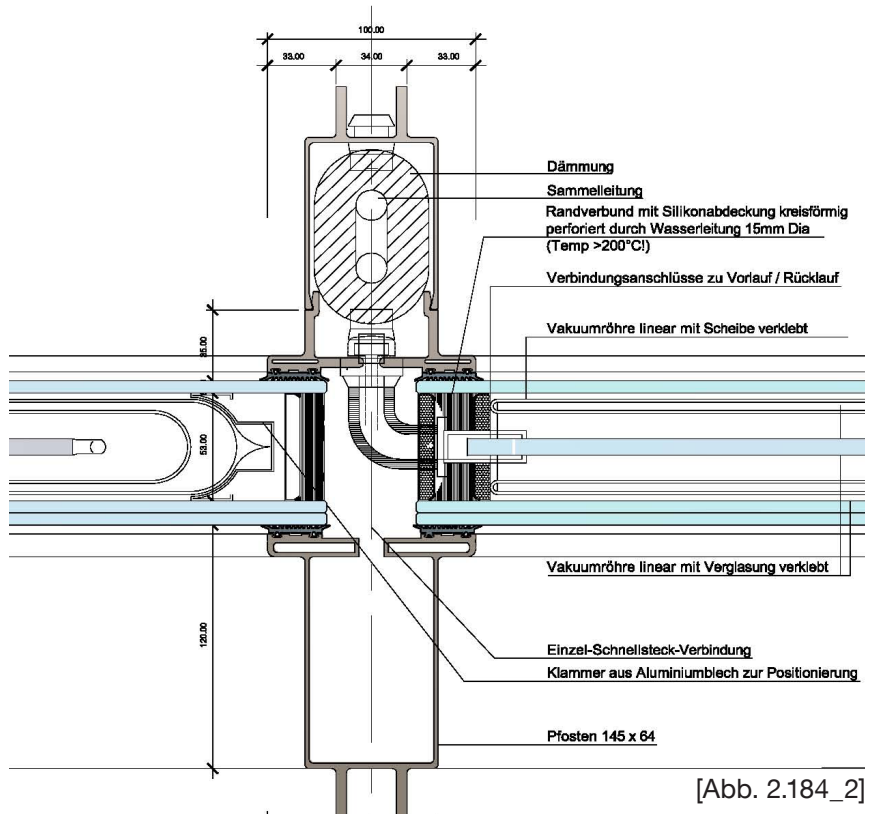
a) Außenliegende Sammelleitung
im Fassadentragwerk
(Pfosten-Riegel-Fassade)



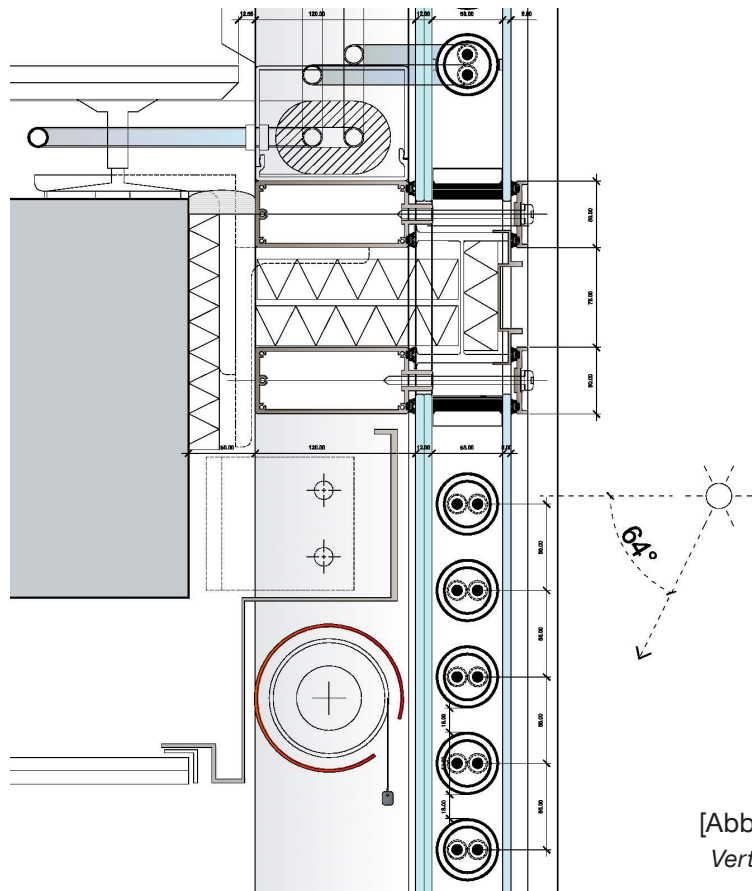
[Abb. 2.184_1]
Horizontalschnitt

V1 Vakuumröhre komplett im
Scheibenzwischenraum

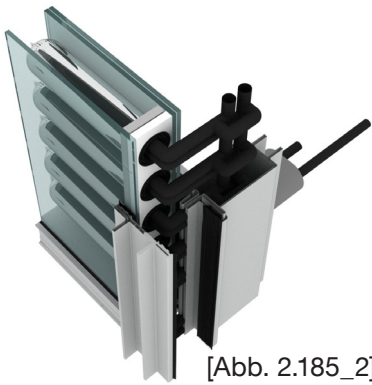
b) Außenliegende Sammelleitung
vor / hinter Fassadentragwerk
(Pfosten-Riegel-Fassade)



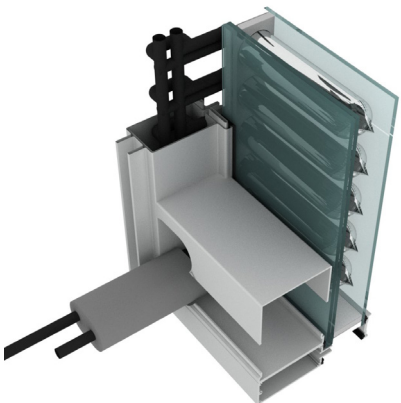
[Abb. 2.184_2]
Horizontalschnitt



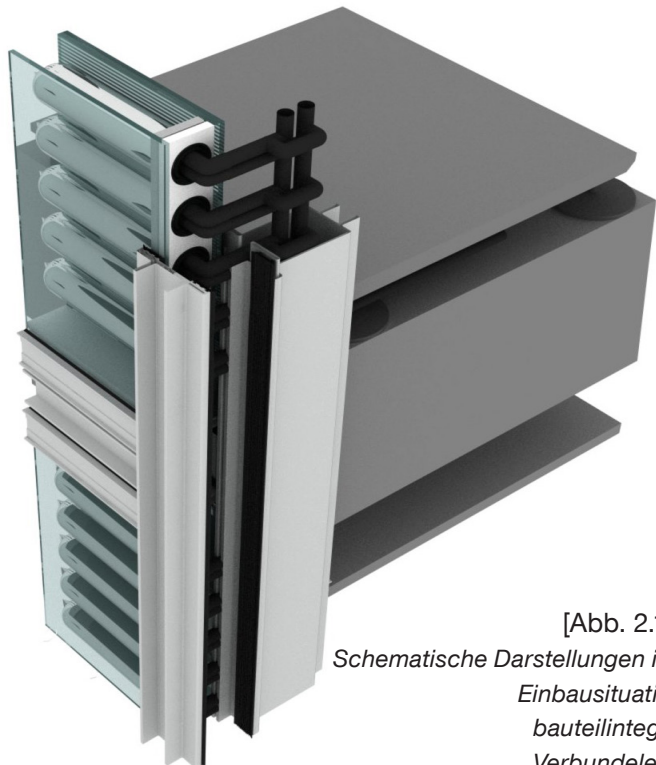
[Abb. 2.185_1]
Vertikalschnitt



[Abb. 2.185_2]



[Abb. 2.185_3]



[Abb. 2.185_4]
Schematische Darstellungen in einer
Einbausituation des
bauteilintegrierten
Verbundelements.

V2 Innenliegendes Register

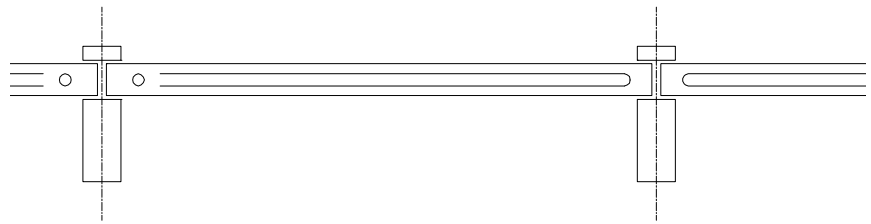
In dieser Variante sind sowohl Vakuümrohre als auch Sammelrohr komplett im SZR integriert. Der Randverbund wird an einem Punkt von Vor- und Rücklauf durchstoßen.

1. Pfosten-Riegel-Fassade
2. Über-Kopf-Verglasung (Aufbau des bauteilintegrierten Verbundelements: Pfosten-Riegel-System)
3. Elementfassade

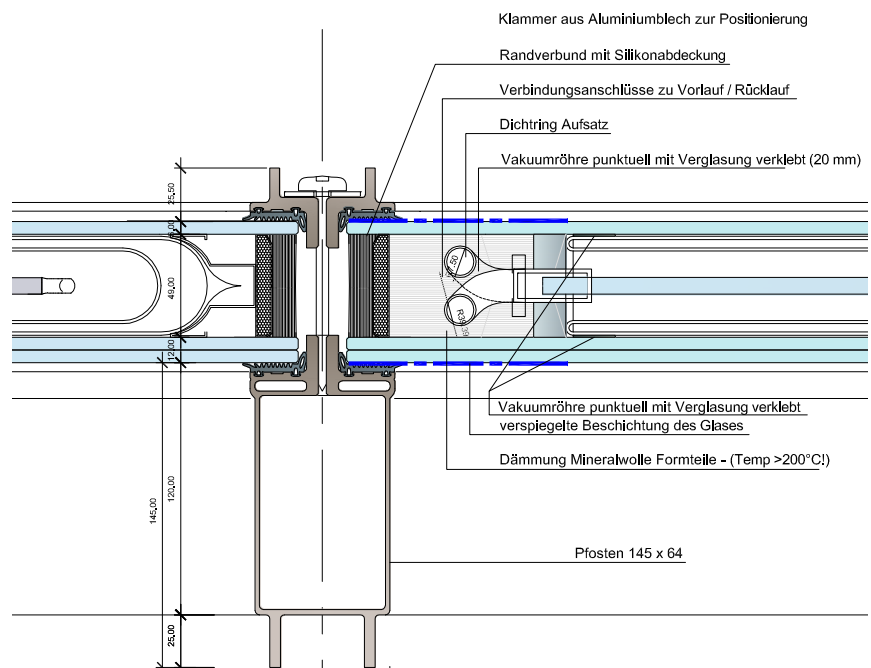
Die Vorteile sind wie folgt aufzugliedern:

Gegenüber der Variante V1 wird der Randverbund nur an einer Stelle durchstoßen. Der Randverbund stellt eine sehr sensible Stelle dar, da die Anforderungen an Dichtigkeit und vor allem Dauerhaftigkeit der Dichtigkeit sehr hoch sind. Im Scheibenzwischenraum werden Edelgase wie Argon oder Krypton zur U-Wertverbesserung der Scheibe verwendet und so muss die Dichtigkeit über Jahre hin bei sehr hohen Temperaturschwankungen im Sommer und Winter gewährleistet sein. Aufgrund der schlechteren Wärmeleitfähigkeit (λ) von Argon ($0,018 \text{ W/mK}$) und Krypton ($0,010 \text{ W/mK}$) im Vergleich zu Luft ($0,026 \text{ W/mK}$) verringert sich so der Wärmeverlust von Gebäuden.

Gegenüber V4 hat V3 den Vorteil, dass der Aufbau eine leichtere Einheit darstellt. Ein Einsatz in Über-Kopf-Verglasungen ist somit besser möglich, da an Atrien oft nicht genaue Anforderungen an das Raumklima gestellt werden. So kann ein weniger leistungsfähiger U-Wert in Kauf genommen werden.



[Abb. 2.186_1]
Horizontalschnitt (Schema)



[Abb. 2.186_2]
Horizontalschnitt (Detail)

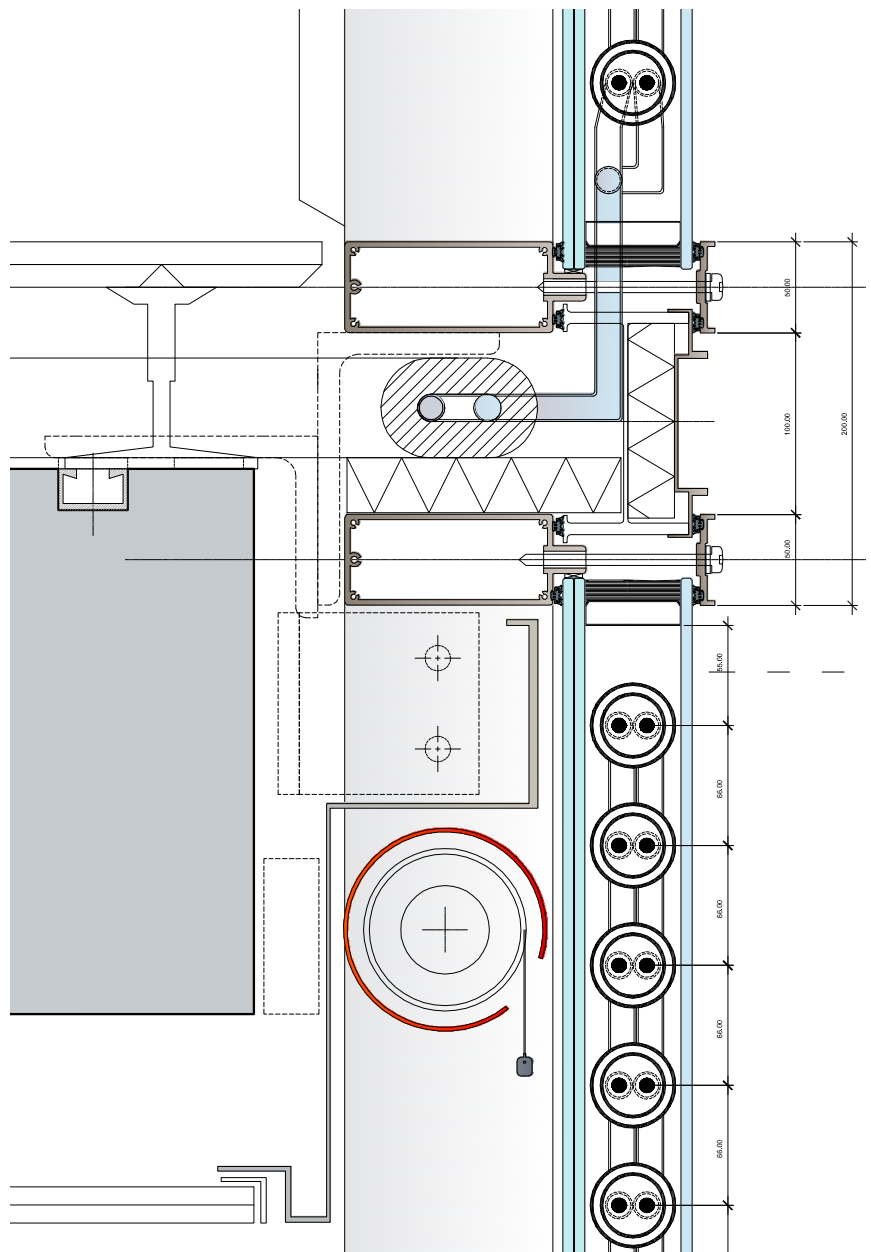


[Abb. 2.187]
*Schematische Darstellungen in einer
Einbausituation des
bauteilintegrierten
Verbundelements.*

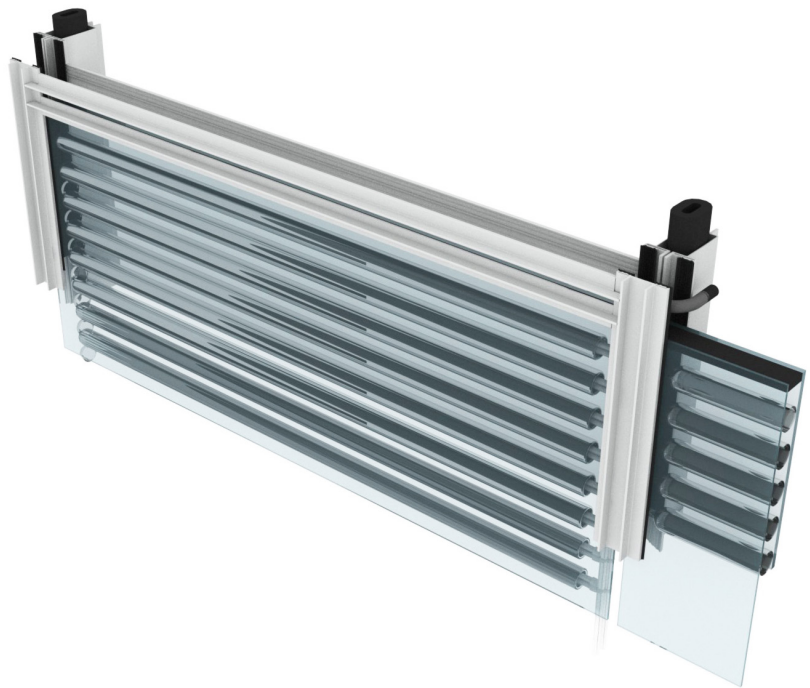
V2 - Sandwich mit innenliegendem Register
- Zu- und Ablauf an der unteren Sandwichkante



[Abb. 2.188_1]



[Abb. 2.188_2]
Vertikalschnitt (Detail)



[Abb. 2.189_3]
*Sandwich mit innenliegendem
 Register; Zu- und Ablauf an der
 unteren Sandwichkante.*



[Abb. 2.189_2]
*Sandwich mit innenliegendem
 Register; Zu- und Ablauf an der
 unteren Sandwichkante.*



[Abb. 2.190]
V2 - Verbundelement mit innenliegendem Register
- Zu- und Ablauf an der unteren Verbundelementkante.



[Abb. 2.191]
V2 - Verbundelement mit innenliegendem Register
- Zu- und Ablauf an der unteren Verbundelementkante.

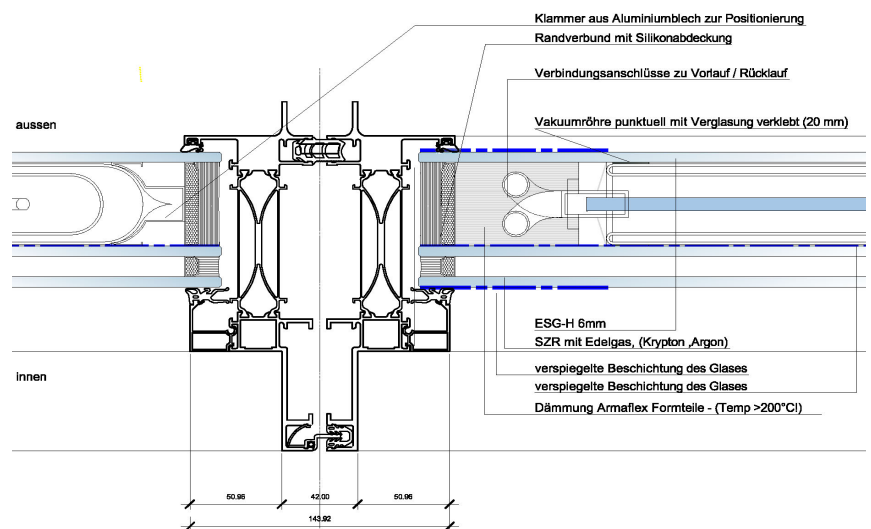
V3 - Innenliegendes Register im Drei-Scheiben-Verbund (Elementfassade)

Aufbau von Außen nach Innen:

- 6 mm ESGH
- 1. SZR: Vakuumröhre und Sammelrohr komplett im SZR; Randverbund einmalig vom Leitungsrohr durchstoßen (Vor- und Rücklauf).
- 6 mm ESG; Pos. 3 Verspiegelung ca. 45%.
- 2. SZR: Edelgasfüllung mit Krypton/Argon
- 6 mm ESGH;
- Zu- und Ablauf an der unteren Sandwichkante.



[Abb. 2.192_1]
horizontalschnitt (Schema)



[Abb. 2.192_2]
Horizontalschnitt (Detail)

Der Vorteil dieses Aufbaus liegt in einem deutlich verbesserten U-Wert der Einheit durch einen zusätzlichen Scheibenzwischenraum. Auch dieser Scheibenzwischenraum wird mit einer Edelgasfüllung versehen, welche die Wärmeleitung und Konvektion reduziert. Als Basis ist hier das System einer marktüblichen Dreifachverglasung angedacht, welches speziell für die Integration von Vakuumröhren inklusive Leitungsführung verändert wird. Zusätzlich zu einer marktüblichen Dreifachverglasung müsste auch hier ein neuer Randverbund entwickelt werden, der in der Tiefe dem Außendurchmesser der Vakuumröhren entspricht.

Durch die Einteilung einer Dreifachverglasung in zwei getrennte Zwischenräume wird die Konvektion unterbrochen und somit der Energietransport reduziert. Bei größeren Abständen verschlechtert sich jedoch durch die eintretende Konvektion die Wärmedämmung.

Heute besitzen die gängigen Drei-Scheiben-Isolierglaseinheiten einen U-Wert von 0,4 bis 0,8 W/m²k.

Neben der Problematik der Konvektion und somit einer Beeinträchtigung der Wärmedämmung könnte auch eine Kondensation in dem vergrößerten Scheibenzwischenraum entstehen. Besonders in Kombination mit einem undichten Randverbund, der sich an den Durchstoßpunkten der Medium führenden Leitungen einstellen könnte, käme es dann zu Absetzungen von Feuchtigkeit an den Glasoberflächen im Zwischenraum des Isolierglases. Diese würden bei erhöhtem Temperaturunterschied von innen und außen, also in den Wintermonaten auftreten.

Abhilfe könnte hier ein diffusionsoffener Scheibenzwischenraum schaffen, der sich den äußeren Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen anpassen und somit Feuchtigkeitsunterschiede ausgleichen kann, denn über den Tagesverlauf stellen sich unterschiedliche Drucksituationen ein, die über eine Permeabilität im Randverbund mit der Umgebung ausgeglichen werden kann. Diese Anpassungsfähigkeit wirkt einer Kondensatbildung entgegen.

Solch ein Prinzip wurde bereits in Mehrfach-Isolierglasscheiben von der Fa. Seele in Gersthofen realisiert. Fassadeneinheiten des Hotels „Wagram“ in Paris sind diffusionsoffen und verhindern das Absetzen von Feuchtigkeit an den Scheiben. Vorbild waren hier die offenen Kastenfenster der Bauernhäuser des späten 19. Jahrhunderts und der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts.

Technisch war es nicht möglich, eine vollkommene Luftdichtigkeit zu erzielen und somit stellte sich über den Tagesverlauf ein Temperaturanstieg in dem Zwischenraum des Kastenfensters ein, der eine Umwälzung der Luft bewirkte. Diese erwärmte Luft konnte die sich an den Scheiben abgesetzte Feuchtigkeit durch Konvektion und erhöhte Temperatur aufnehmen.

Dem Grundprinzip eines diffusionsoffenen Scheibenzwischenraumes entgegenstehend verfolgt die Fa. Gartner aus Gundelfingen ein aktives Prinzip, welches bis heute in mehreren Projekten zur Realisierung gekommen ist. Die zweischalige «Closed Cavity»-Aluminiumelementfassade (CCF) besteht aus einem vollständig geschlossenen Fassaden-Zwischenraum mit innerer Dreifachverglasung. Zwischen dieser Dreifachverglasung und einer Einfachverglasung (aus VSG für die Resttragfähigkeit bei Glasbruch) als äußerer Scheibe befindet sich ein Zwischenraum mit Sonnenschutzeinheit. Dieser im Englischen „cavity“ genannte Zwischenraum wird konstant mit gereinigter und getrockneter Luft in einer Überdrucksituation versorgt. Ähnliche Konditionierungssysteme verfolgen in Entwicklungsprojekten die Fa. Wicona und andere.

Beide Systeme zeigen Möglichkeiten auf, der Problematik der Konvektion und der Kondensatbildung entgegen zu wirken.



[Abb. 2.190]
 V3 - Verbundelement mit
 innenliegendem Register und
 diffusionsoffenem Randverbund

Funktionsweise V3

Die entwickelte Sandwichkonstruktion teilt sich in folgende Zonen auf:

Zone 1

Sicherheitsschicht. Glasscheibe aus ESG-H mit erhöhten Qualitätsanforderungen zur Vermeidung eines „Spontanbruchs“ des Glases nach TRLV.

Zone 2

Energiegewinnende Schicht. Scheiben-Zwischenraum mit Vakuumröhren.

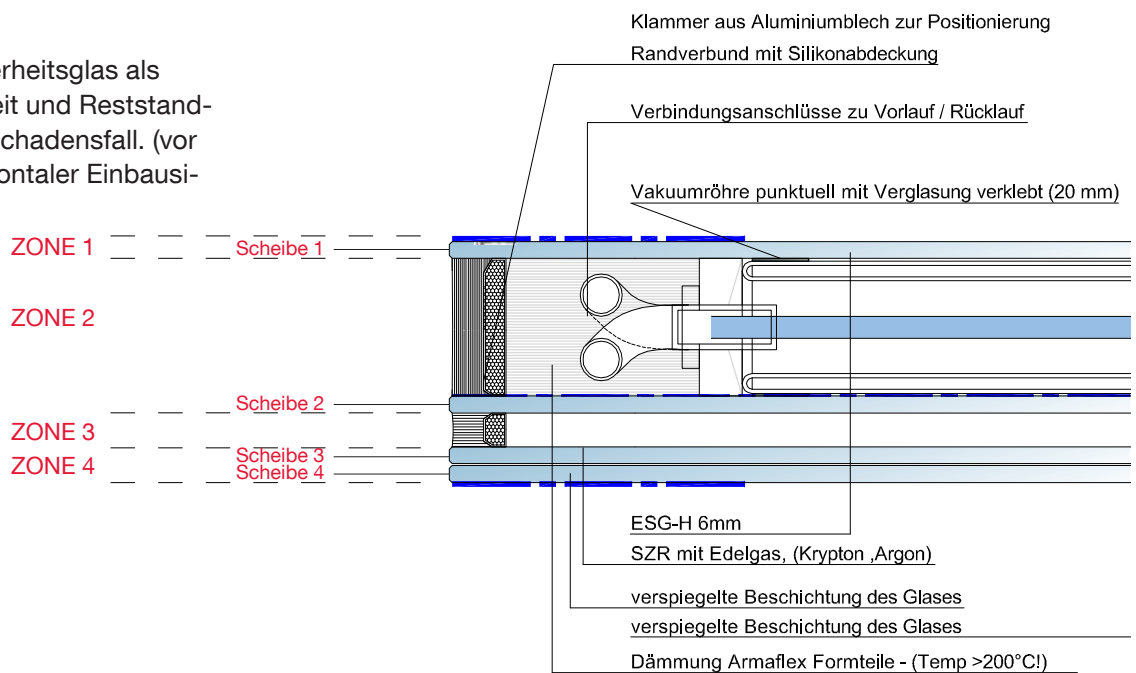
Die Scheibe 2 ist mit einer verspiegelnden Beschichtung oder mit einer teilspiegelnden Klebefolie mit reduziertem Lichttransmissionsgrad versehen. Die Beschichtung ist zum Schutz vor Beschädigung durch Reinigung zum SZR hin angeordnet.

Zone 3

Scheiben-Zwischenraum mit Edelgasfüllung als thermisch trennende Ebene.

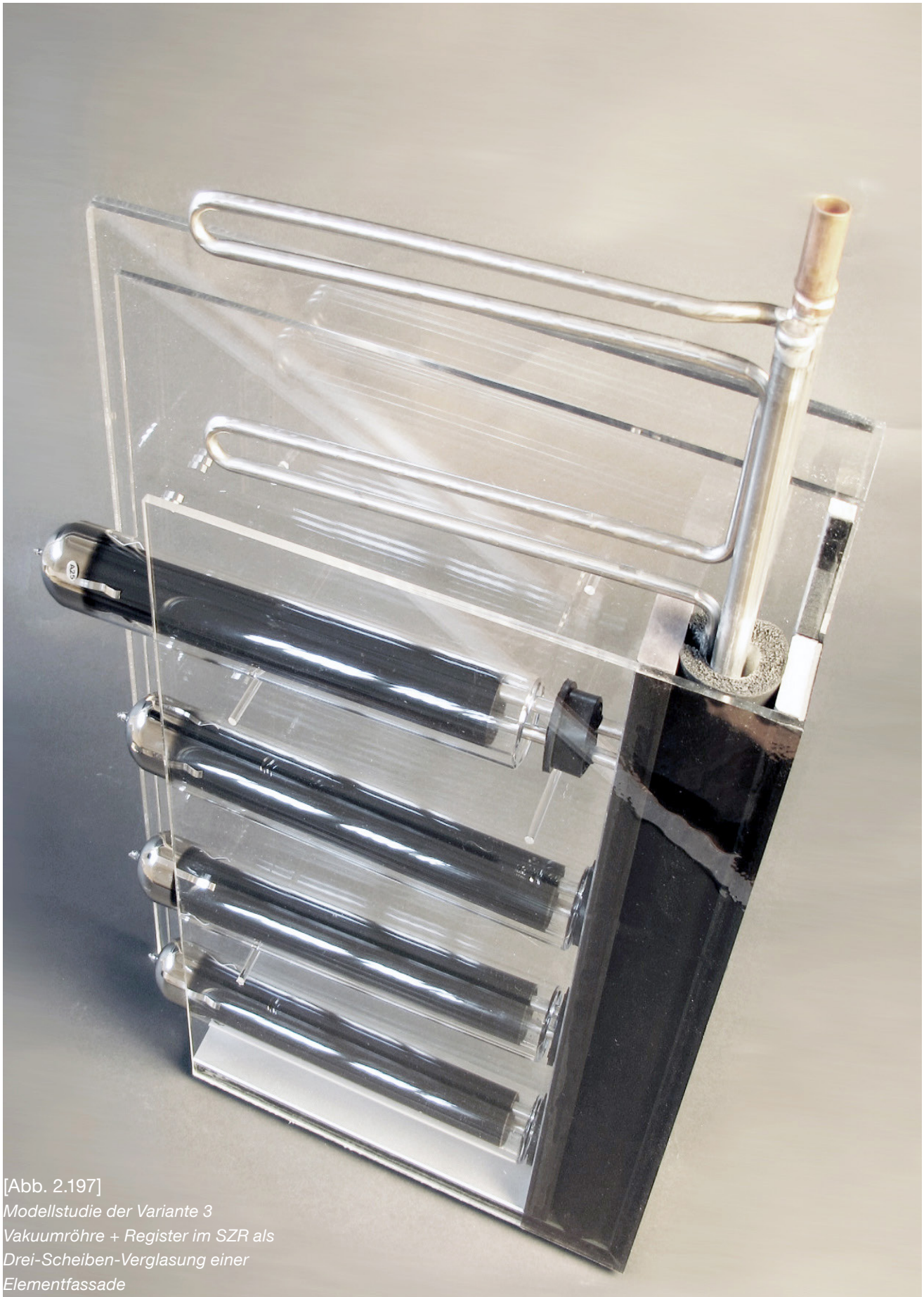
Zone 4

Verbund-Sicherheitsglas als tragende Einheit und Reststand-sicherheit im Schadensfall. (vor allem bei horizontaler Einbausituation.)

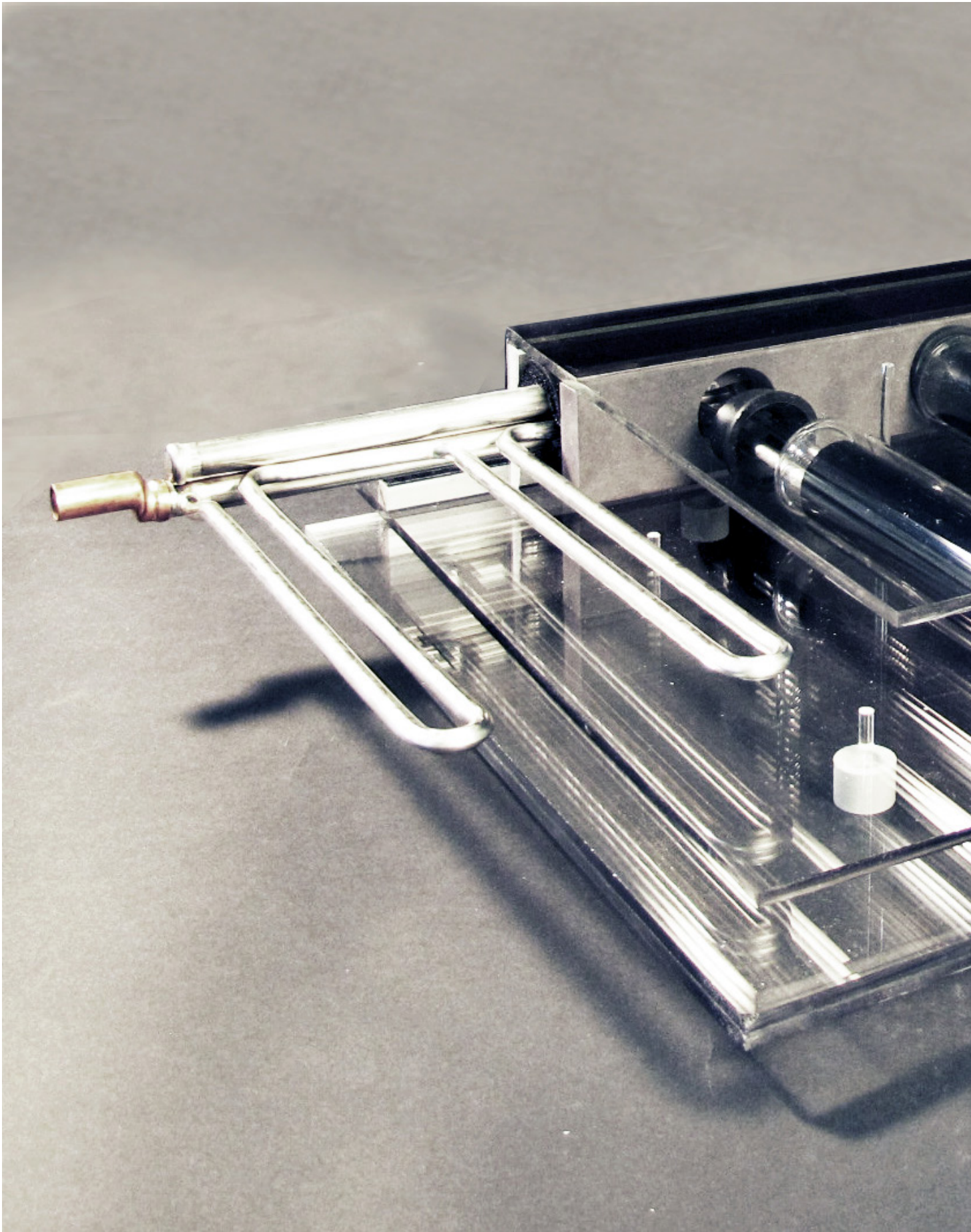


[Abb. 2.196]

Positionierungen des
 Verbundelements

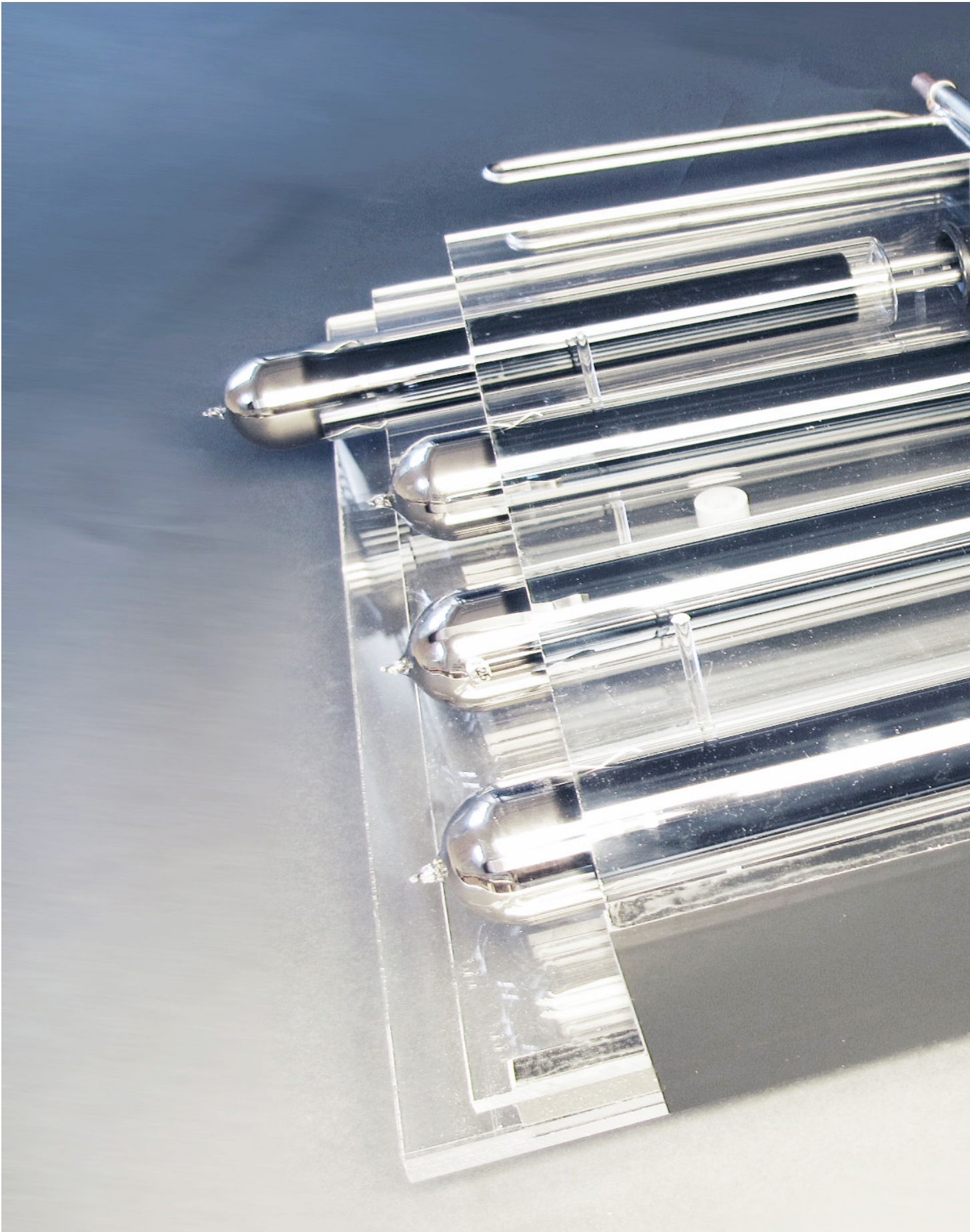


[Abb. 2.197]
Modellstudie der Variante 3
Vakuurröhre + Register im SZR als
Drei-Scheiben-Verglasung einer
Elementfassade





[Abb. 2.199]
Modellstudie der Variante 3
Vakuumröhre + Register im SZR als
Drei-Scheiben-Verglasung einer
Elementfassade



[Abb. 2.199]

*Modellstudie der Variante 3
Vakuumröhre + Register im SZR als
Drei-Scheiben-Verglasung einer
Elementfassade*



Zusammenfassung

Die zentrale Fragestellung dieser Arbeit

„Inwieweit können solaraktive Fassadenkomponenten synergetische Funktionen zur Bereitstellung von visuellem so-wie thermischen Nutzerkomfort übernehmen?“

kann wie folgt beantwortet werden:

Die Integration einer technischen Komponente erhöht auf mehrfache Weise die Komplexität einer Fassade. Ferner impliziert die haustechnische Bauteilintegration zur Erhöhung des Nutzerkomforts den Einsatz zusätzlicher adaptiver und regulatorische Elemente. Dies bedeutet, dass innerhalb sich eines Fassadenmoduls kaum Ansätze für Funktions-überlagerungen verschiedener Komponenten ergeben. Zusätzliche regulatorische Elemente bringen eine weitere Komplexität der Bauteile mit sich, was aufgrund der damit zusammenhängenden Fragen nach Wartung und unterschiedlicher Lebensdauer der einzelnen Technik Komponenten den Markteintritt solcher Systeme weiter erschweren wird. Daher wird als weiterer Ausblick die exemplarisch aufgezeigte Strategie der Trennung von Funktionen in einzelnen Fassadenmodule als erfolgversprechend eingestuft. Die Addition dieser Module als Familie gewährleistet die Leistungsfähigkeit der Gebäudehülle hinsichtlich der vier Komfortparameter

- thermischer Komfort
- akustischer Komfort
- visueller Komfort
- Versorgung mit Frischluft

und die erweiterten Parameter

- Energie einsparen
- Energieverbrauch an die Jahreszeiten und die Anforderungen anpassen
- Energie sammeln

Ferner kann in der Unterscheidung von offeneren Fassadensystemen und geschlossenen Fassadensystemen eine klare Präferenz für die offenen Systeme erkannt werden. Denn durch die Austauschbarkeit von Aufsatzmodulen ergeben sich folgende Vorteile:

- Die Divergenz von Zyklen der einzelnen Bauteile eines Gebäudes mit dem Zyklus des Gesamtgebäudes kann flexibler gehandhabt werden.
- Abhängigkeit eines Herstellers
- kein Austausch bei laufendem Betrieb möglich
- Der Austausch von Bauteilen mit unterschiedlichen begrenzten Lebenserwartungen kann flexibler gestaltet werden
- Die Verschiedenartigkeit der Gewerke kann durch die Teilung eines Moduls in Basismodul und Aufsatzmodul gezielter im Bauablauf und Wartung getrennt werden.
- die exemplarisch aufgezeigte gestalterische Freiheit ermöglicht eine höhere Akzeptanz bei Planern
- die Schwächung der Abhängigkeit zu einem Hersteller ermöglicht dem Betreiber des Gebäudes eine flexiblere Handhabung von vertraglichen Bindungen
- eine Austauschbarkeit einzelner Komponenten bei laufendem Betrieb kann ermöglicht werden.
- eine höhere Flexibilität der Einbausituation (Ort, Kontext, Material)

**Anhang:
Literatur- und
Abbildungsverzeichnis**

Literaturquellen

[AGEB_2003_1]

Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2011 und 2012 Studie beauftragt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie Projektnummer: 23/11 Berlin, 2013, S.12

[AGEB_2013_1]

Pressedienst Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik Nr. 08|2013 S. 2

[AGEB_2014_1]

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (AGEB), Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW) in: Energiedaten: Gesamtausgabe 2014 vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie S. 17.

[ASV_2004_1] Verordnung über Arbeitsstätten (Arbeitsstättenverordnung - ArbStättV) ArbStättV Ausfertigungsdatum: 12.08.2004)

[BAUA_2010_1]

Wohlbefinden im Büro – Arbeits- und Gesundheitsschutz bei der Büroarbeit. Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) 7. aktualisierte Auflage, November 2010, S. 9 ISBN 978-3-88261-671-2

[BINE_2007_1]

Zielwerte für primärenergetisch optimierte Bürogebäude im EnOB-Forschungsbereich »Energieoptimierter Neubau« (EnBau), Fraunhofer ISE, Freiburg,- in Bine Informationsdienst Themeninfo I/2007. S. 5.

[BINE_2007_2]

Grafik: Philipp Molter, Daten: Themeninfo BINE Informationsdienst 1/2007, S.5 Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi).

[BS_ISO_2004] 15469:2004

Spatial distribution of daylight – CIE standard general) Gemeinsamer ISO/CIE-Standard ISO 15469:2004(E) / CIE S 011/E:2003: Spatial distribution of skylight

[DAV_1981_1]

Mike Davies, 1981 A wall for all seasons. RIBA Journal, 88(2): S. 55–57

[DIN_4108_1]

Tab. 8 in DIN 4108-2 (April 2003)

[DIN 5035/2]

DIN 5035-2: „Innenraumbeleuchtung mit künstlichem Licht“, Teil 2: Richtwerte für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien

[DIN EN 12464-1_1]

[DIN EN 12464-1_2]

[DIN EN 12464-1_3]

Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen

[DIN EN 12464-1_4]

[DIN EN 12464-1_5]

[DIN EN 12464-1_6]

Richtwerte für die Beleuchtung von Arbeitsstätten laut DIN 5035, Teil 2, / Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3 zur künstlichen Beleuchtung von Räumen.

[DGU_2009_1]

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung BGI/GUV-I 7007 Tageslicht am Arbeitsplatz – leistungsfördernd und gesund Hamburg, 2009) Abschnitt 4

[EKGEV_2003_1]

Europäische Kommission, Generaldirektion Energie und Verkehr, Europäische Gemeinschaften, September 2003; Faltblatt S.1

[ESOC_2005_1]

Escorp-EU 25 Energieeinsparungs- Und Co2-Reduktions-Potenzial von solaren Verschattungssystemen und Fensterläden. Hrsg. ES-SO, European Solar Shading Organization, Georges Timmermans, Maldegem 2005 S.36

[EEX_2012_1] Strombörse EEX, Leipzig, 2012). : IWR Online, Int. Wirtschaftsforum Regenerative Energien, 2012; abgerufen am 16.09.2012 um 9.46h

[FLASS_2010_1-11]

Flassak, Thomas, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe und Dresden <http://www.lohmeyer.de/de/content/forschung-entwicklung/gisdienstleistungen> abgerufen am jeweiligen Tag der Messung.

[HAAS_2007_1-3]

D. Haas-Arndt, F. Ranft; „Tageslichttechnik in Gebäuden“, Hüthig Jehle Rehm, Heidelberg, 2007 Hrsg.: Energieagentur NRW, ISBN 978-3-7880-7790-7 S. 5 ff und S. 15ff

[HENN_2000_1]

Hennings, Leitfaden Elektrische Energie im Hochbau. Vollständig überarbeitete Fassung Juli 2000 Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft und Forsten; Darmstadt 2000, S.36

- [KNI_2002_1]
Knirsch, J. (2002) ‚Büroräume, Bürohäuser‘, Alexander Koch Verlag; Leinfelden-Echterdingen. (2002), S. 29
- [KUCK_2002_1]
Kuckelkorn, Thomas;
Nichtabbildende Konzentratoren für den Sonnenschutz in Gebäuden; Diss.; TU München 2002 Fakultät für Architektur; S. 8
- [KUCK_2002_2]
Kuckelkorn, Thomas;
Nichtabbildende Konzentratoren für den Sonnenschutz in Gebäuden. Diss.; TU München 2002 Fakultät für Architektur; S. 112
- [METEO_2010_1-13]
Meteorologisches Institut der Universität München
<http://www.meteo.physik.uni-muenchen.de/dokuwiki/doku.php?id=wetter:stadt>
abgerufen am jeweiligen Tag der Messung.
- [MOOS_2012_1]
Moosmann, Wienold, Wagner, Wittwer
Ermittlung relevanter Einflussgrößen auf die subjektive Bewertung von Tageslicht zur Bewertung des visuellen Komforts in Büroräumen. Fachgebiet Bauphysik und Technischer Ausbau (fbta), Fakultät Architektur, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Abschlussbericht Karlsruhe 2012 S. 3
- [MUSE_2011_1]
[MUSE_2011_2]
Studiensprojektarbeit:
Michael Mühlhaus und Nils Seifert. Betreuung: Philipp Molter Fakultät für Architektur TU München, 2011
- [ÖNOR_1999_1]
A. Wittmann, M. Wichtl:
„ÖNORM O 1040 versus EN 12464 - Theorie und Praxis der Umsetzung“;
„Tagungsbericht zur Fachtagung 1999 - Lichttechnische Gesellschaft Österreichs“, (1999), S. 27 - 32.
- [REU_2009_1]
Anpassung EU-Richtlinie: Rat der Europäischen Union: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Neufassung), Anpassung aufgrund des Inkrafttretens des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union (AEUV), Brüssel, 14. Dezember 2009
- [SASS_2014_1]
Sassmannshausen-Wahlen, Dirk;
„Informationen zur Arbeitssicherheit“ Arbeitssicherheit und Umweltschutz; Universitätsklinikum des Saarlandes und Medizinische Fakultät der Universität des Saarlandes
http://www.uniklinikum-saarland.de/einrichtungen/verwaltung/arbeitsicherheit_und_umweltschutz/arbeitsicherheit/informationen_zur_arbeitsicherheit_1/#Bildschirm
abgerufen am 13.11.2014 11h03)
- [SOLI_2012]
SOLITES Stuttgart
Kai Schäfer, Dirk Mangold in Abschlussbericht des Forschungsprojekts „Weiterentwicklung von solarthermischen Fassadenkollektoren mit Vakuumröhren in Bürogebäuden (FKZ 0325956A) Fördermittelgeber Bundesumweltministerium (BMU) Projektträger Jülich Stuttgart, 2012. S. 10 und 14
- [TRIL_2004_1]
Kurz + bündig
Die wichtigsten Neuerungen in DIN EN12464-1
Beleuchtung von Arbeitsstätten in Innenräumen nach DIN EN 12464-1 und weiteren DIN-Normen und Regelwerken der Beleuchtung 2. Auflage Oktober 2004 TRILUX-LENZE GmbH + Co KG ISBN 3-00-012496-9
- [TRA_2011_1]
Technischen Regeln für Arbeitsstätten Ausgabe: April 2011; zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287)
- [TRA_2012_2] „Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A 3.4 „Beleuchtung“ Ausgabe: April 2011 (GMBI. 2011, S. 303; zuletzt geändert GMBI 2014, S. 287)
- [TRLV_2006_1]
Deutsches Institut für Bautechnik; Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen (TRLV) - Schlussfassung Berlin, 2006 S. 2.
- [STAT_2005_1]
Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland 2014; Hrsg. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden; 2014 S. 503
- [STEL_2008_1]
Stelzer, Ingo,
DuPont™ SentryGlas® – Kosteneffizientes Leistungsplus für Verbund-Sicherheitsglas von DuPont Ausgabe 2008/11 Deutschland, Neu-Isenburg, S. 6).

Abbildungsverzeichnis

[Abb. 0.12;]

[DAV_1990_1]

Mike Davies, Eine Wand für alle Jahreszeiten, in: 104 ARCH+, S. 46 ff., Juli 1990

[Abb. 1.34_1 - 1.34_3];

[UWER_2011_1]

Berechnet mit dem Internetbasierten Simulationswerkzeug u-Wert.net
<http://www.u-wert.net/berechnung/u-wert-rechner/#>
erstellt am 06.06.2011 um 18.08h

[Abb. 2.141_1 - 2.141_6]

Zeichnungen: Philipp Molter auf der Basis von Handskizzen von Jan Fuhrmann im Rahmen des betreuten studentischen Projekts „icover“. TU München 2011

[Fig. 1.59_1]

[FLASS_2010_1-11]

Strahlungsdiagramm

Flassak, Thomas; Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe und Dresden
<http://www.lohmeyer.de/de/content/forschung-entwicklung/gisdienstleistungen>
abgerufen am jeweiligen Tag der Messung.

[FLASS_2010_1b-11b]

[FLASS_2010_1-11]

Flassak, Thomas; Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, Karlsruhe und Dresden
<http://www.lohmeyer.de/de/content/forschung-entwicklung/gisdienstleistungen>
abgerufen am jeweiligen Tag der Messung.

[Abb. 2.142_1]

[Abb. 2.143_1 - 2.143_1-8]

[Abb. 2.144_3]

[Abb. 2.145_2]

[Abb. 2.146_3]

[Abb. 2.147_2]

[Abb. 2.148_3]

[Abb. 2.149_2]

[Abb. 2.150_3]

[Abb. 2.151_2]

[Abb. 2.154_3]

[Abb. 2.155_2]

[Abb. 2.156_3]

[Abb. 2.157_2]

[Abb. 2.158_3]

[Abb. 2.159_2]

Zeichnungen von P. Molter, auf der Grundlage des Fassadensystems Wictec Wicono Hydro, Bellenberg

[Abb. 2.152_3]

[Abb. 2.153_2]

Zeichnungen von P. Molter, auf der Grundlage des Fassadensystems Wictec CPC. Entwickelt im Rahmen des Projekts „Weiterentwicklung von solarthermischen Fassadenkollektoren mit Vakuumröhren in Bürogebäuden (FKZ 0325956A) Fördermittelgeber Bundesumweltministerium (BMU) Projektträger Jülich Stuttgart, 2012. Wicono Hydro, Bellenberg (Entwicklung: Universität Stuttgart Institut für Baukonstruktion II)

[Fig. 2.166_1 - Fig. 2.166_3]

[SOLI_2012]

SOLITES Stuttgart

Kai Schäfer, Dirk Mangold in Abschlussbericht des Forschungsprojekts „Weiterentwicklung von solarthermischen Fassadenkollektoren mit Vakuumröhren in Bürogebäuden (FKZ 0325956A) Fördermittelgeber Bundesumweltministerium (BMU) Projektträger Jülich Stuttgart, 2012. S.10 ff

[Abb. 2.168_1 - Abb. 2.173_2]

[MUSE_2011_1]

[MUSE_2011_1]

Entwicklung: P. Molter
Darstellungen im Rahmen einer von Philipp Molter betreuten Arbeit; Programmierung in Java: Michael Mühlhaus und Nils Seifert. Fakultät für Architektur. TU München, 2011, Auftraggeber: Frener Reifer, Brixen,

[Abb. 2.182_3]

[Abb. 2.182_4]

Muster: BGT Bretten

Bild: P. Molter

Veröffentlichungen im Rahmen der Dissertation:

Teile des Abschlussberichts des Projekts „Weiterentwicklung von solarthermischen Fassadenkollektoren mit Vakuumröhren in Bürogebäuden (FKZ 0325956A) Fördermittelgeber Bundesumweltministerium (BMU) Projektträger Jülich Stuttgart, 2012.

