

Institut für Entwerfen und Bautechnik  
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie

**Typologische Klassifikation von Doppelfassaden und  
experimentelle Untersuchung von dort eingebauten Lamellensystemen  
aus Holz zur Steuerung des Energiehaushaltes hoher Häuser unter  
besonderer Berücksichtigung der Nutzung von Solarenergie**

**Werner Lang**

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Architektur  
der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen  
Grades eines

**Doktor Ingenieurs (Dr.-Ing.)**

genehmigten Dissertation

**Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Barthel**

**Prüfer der Dissertation:**

- 1. Univ.-Prof. Dr./Univ. Rom Thomas Herzog**
- 2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen,  
Universität Gesamthochschule Kassel**

Die Dissertation wurde am 31. Mai 2000 bei der Technischen Universität  
München eingereicht und durch die Fakultät für Architektur am  
18. Juli 2000 angenommen.

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Fakultät für Architektur der Technischen Universität München.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr./Univ. Rom Thomas Herzog für die thematische Anregung zu dieser Arbeit, für deren fachliche Begleitung sowie für die Bereitschaft, die akademische Betreuung der Arbeit in Form des Hauptreferats zu übernehmen.

Herrn Professor Dr.-Ing. Gerhard Hausladen danke ich ebenfalls sehr für die fachliche Unterstützung dieser Arbeit und die Übernahme des Korreferats.

Allen Mitarbeitern und Kollegen des Lehrstuhls für Gebäudetechnologie, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, möchte ich ebenfalls sehr herzlich danken.

Ich möchte mich außerdem bei folgenden Institutionen und Personen für ihre wertvolle Unterstützung bedanken:

Frau Dipl.-Phys. Kaja Kippenberg, ehemals wiss. Mitarbeiterin am Fachgebiet Gebäudetechnik, Professor Dr.-Ing. Gerhard Hausladen, Gesamthochschule Universität Kassel

Herrn Dr. Andreas Beck und seinen Kollegen vom Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung e.V., Abteilung 2, Würzburg

Herrn Dr.-Ing. Martin Bauer, ehemals wiss. Assistent am Lehrstuhl Prof. Eberhard Schunck, TU München

Herrn Matthias Haferkorn, ehemals Mitarbeiter der Firma Scheibe Flugzeugbau, Dachau

Herrn Professor Josef Schmid und Herrn Dipl.-Ing. Martin Götz sowie den Mitarbeitern des Instituts für Fenstertechnik, Rosenheim

Herrn Professor Dr. Dr. habil. Dr. h.c. Gerd Wegener und seinen Mitarbeitern, Institut für Holzforschung der TU München

Herrn Dipl.-Ing. Thomas Rühle, Mitarbeiter der Fa. Intep, München

Die Durchführung der experimentellen Arbeit wurde vom Bund der Freunde der Technischen Universität München finanziell unterstützt - hierfür möchte ich mich ebenfalls sehr herzlich bedanken.

Besonderer Dank gilt auch folgenden Firmen, die mit ihrer Unterstützung die Durchführung der experimentellen Untersuchungen ermöglicht haben:

Solonia Sonnenschutzsysteme, 63505 Langenselbold

Schreinerei Mairhofer, 80992 München

Farben Rosner KG, 80333 München

Bischoff Glastechnik BGT, 75015 Bretten

Rodan Glashalterungen, Robert Danz, 71101 Schöneich

Holzbau Seufert-Niklaus GmbH, 97654 Bastheim

Fürg Pro-Lift GmbH, 85551 München

Inhaltsverzeichnis	Seite		Seite
<b>Vorwort</b>	1	<b>Teil 2 Energiehaushalt von Verwaltungsgebäuden</b>	<b>16</b>
<b>Teil 1 Zur Typologie mehrschaliger Gebäudehüllen aus Glas</b>	<b>3</b>	Vorbemerkung	
1. Übersicht der wesentlichen Ausführungsvarianten mehrschaliger, transparenter Fassadensysteme	3	1. Nutzungsbedingte Anforderungen	16
1.1 Erste Einteilungsebene (Position)	3	1.1 Raumlufttemperatur	16
1.2 Zweite Einteilungsebene (Lage der Luftöffnungen)	3	1.2 Mittlere Temperatur der umgebenden Oberflächen	17
1.3 Dritte Einteilungsebene (Segmentierung)	3	1.3 Luftwechselrate	17
2. Konstruktionsspezifische Merkmale von doppelschaligen Glasfassaden und deren Bedeutung für die Funktion der Fassade	5	1.4 Relative Raumluftfeuchte	17
2.1 Anordnung der Doppelschale in Relation zur Außenwand	5	1.5 Beleuchtungsstärke	17
2.2 Anordnung von Lüftungsöffnungen in der inneren und äußeren Fassadenschale	5	1.6 Leuchtdichte	17
2.3 Unterteilung des Fassadenzwischenraums	8	2. Witterungsbedingte Einflüsse	17
3. Weitere Unterscheidungsmerkmale mehrschaliger Glasfassadensysteme	11	2.1 Außenlufttemperatur	17
3.1 Ausführung der Doppelfassade hinsichtlich der Verglasungsart	11	2.2 Luftbewegung	17
3.2 Abstand der Schalen	12	2.3 Außenluftfeuchte	18
3.3 Steuerung des Luftwechsels bei Zweite-Haut-Fassaden	12	2.4 Solarstrahlung	18
3.4 Lage der Zuluft- und Abluftöffnungen bei Zweite-Haut-Fassaden	13	3. Energieverbrauch und Gebäudehülle	18
4. Zusammenfassung	14	3.1 Heizenergieverbrauch	19
Anmerkungen	15	3.2 Kühlenergieverbrauch	20
		3.3 Energieverbrauch für Kunstlicht	20
		3.4 Energieverbrauch für climatechnische Anlagen	20
		Anmerkungen	21
		<b>Teil 3 Bauliche Parameter von Zweite-Haut-Fassaden</b>	<b>23</b>
		1. Innere Verglasungsebene	23
		1.1 Verglasungsart	23
		1.2 Verglasungsanteil	23
		1.3 Öffnungsgrad	24
		1.4 Fensterrahmen	24
		2. Äußere Verglasungsebene	24
		2.1 Verglasungsart	25
		2.2 Lage der Zu- und Abluftöffnung	25
		2.3 Querschnitt der Zu- und Abluftöffnung	25

Inhaltsverzeichnis	Seite		Seite		
3.	Sonnen-, Blend- und Wärmeschutzsysteme	26	5.	Untersuchung der Reflexionseigenschaften unterschiedlicher Holz- und Aluminiumoberflächen	40
3.1	Art des Sonnenschutzsystems	26	5.1	Meßverfahren	40
3.2	Lage des Sonnenschutzsystems	26	5.2	Darstellung der Ergebnisse	41
3.3	Art des Blendschutzsystems	27	5.3	Zusammenfassung	47
3.4	Lage des Blendschutzsystems	27	6.	Entwicklung und Untersuchung von Wärme- und Sonnenschutzlamellen aus Holz	47
3.5	Art des Wärmeschutzsystems	28	6.1	Anfertigung und Untersuchung von Modellen für Wärme- und Sonnenschutzlamellen	47
4.	Weitere Einflußfaktoren	28	6.2	Konstruktiver Aufbau	48
4.1	Verschmutzungsgrad der Scheibenoberflächen	28	6.3	Funktionale Eigenschaften	48
4.2	Größe des Fassadenzwischenraumes	28	6.4	Gestalterische Eigenschaften	51
5.	Zusammenfassung	29	6.5	Primärenergieinhalt	53
	Anmerkungen	30	6.6	Zusammenfassung	54
<b>Teil 4</b>	<b>Wärme- und Sonnenschutzsysteme aus nachwachsenden Rohstoffen für Zweite-Haut-Fassaden</b>	<b>31</b>	7.	Potentialabschätzung zum Einsatz von Holzlamellensystemen zur Verbesserung des Wärmeschutzes von Zweite-Haut-Fassaden	54
	Vorbemerkung		7.1	Beschreibung der untersuchten Fassadenvarianten	54
1.	Vorauswahl möglicher Komponenten zum temporären Wärme- bzw. Sonnenschutz von Zweite-Haut-Fassaden	31	7.2	k-Wert Berechnung der verschiedenen Fassadenvarianten	57
2.	Vorauswahl von Werkstoffen zur Herstellung von Komponenten zum Wärme- und Sonnenschutz von Zweite-Haut-Fassaden	32	7.3	Interpretation der Ergebnisse	57
3.	Anforderungskatalog für die Entwicklung von Lamellensystemen aus Holz in Zweite-Haut-Fassaden	32	8.	Potentialabschätzung zu dem Einsatz von Holz-Lamellensystemen für den sommerlichen Wärmeschutz von Zweite-Haut-Fassaden	57
3.1	Funktionale Aspekte	32	8.1	Klimatische Rahmenbedingungen	57
3.2	Konstruktive Anforderungen	35	8.2	Untersuchung der Strahlungstransmission durch das Holz-Lamellensystem in Abhängigkeit vom Sonnenstand	58
3.3	Gestalterische Aspekte	36	8.3	Untersuchung der Lamellenneigung in Abhängigkeit vom Sonnenstand und der Orientierung der Fassade	60
3.4	Ökologische Aspekte	36	8.4	Zusammenfassung	64
3.5	Brandschutz	38		Anmerkungen	65
4.	Untersuchung geeigneter Holzarten bzw. Holzwerkstoffe und deren Beschichtung	38			
4.1	Auswahlkriterien	38			
4.2	Wahl geeigneter Holzarten	40			

Inhaltsverzeichnis	Seite		Seite
<b>Teil 5 Experimentelle Untersuchung der Lamellen</b>	<b>67</b>	3.	Vergleichende Untersuchung der gestalterischen Eigenschaften der alternativen Lamellensysteme 86
Vorbemerkung		3.1	Querschnittsform und Proportion 86
1. Beschreibung des Versuchsaufbaus	68	3.2	Farbe 87
1.1 Testraum	68	3.3	Oberflächenbeschaffenheit 89
1.2 Aufbau der Zweite-Haut-Fassade	68	3.4	Lichtverteilung im Innenraum 90
1.3 Lamellensysteme	69	3.5	Zusammenfassung 93
2. Meßdatenerfassung	70		Anmerkungen 94
2.1 Erfassung der klimatischen Rahmenbedingungen	71	<b>Teil 7 Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>95</b>
2.2 Erfassung der Temperaturen im Fassadenzwischenraum	71	1.	Typologie mehrschaliger Glasfassaden 95
2.3 Erfassung der Temperaturen im Rauminneren	72	2.	Energiehaushalt von Verwaltungsgebäuden 95
2.4 Diskussion möglicher Fehlerquellen	72	3.	Bauliche Parameter von Zweite-Haut-Fassaden und deren Einfluß auf den Energiehaushalt 95
3. Aufbau der Versuchsreihen	73	4.	Komponenten zum Wärme- und Sonnenschutz von Zweite-Haut-Fassaden 95
Anmerkungen	75	4.1	Lamellensysteme 95
<b>Teil 6 Auswertung der Ergebnisse der experimentellen Untersuchung der Lamellen</b>	<b>76</b>	4.2	Werkstoff Holz 95
Vorbemerkung		4.3	Reflexionseigenschaften von Ahorn- und Birkenperrholz 95
1. Ergebnisse der Meßkampagne zu den thermischen Eigenschaften und Interpretation	76	4.4	Entwicklung und Untersuchung von Wärme- und Sonnenschutzlamellen aus Holz 96
1.1 Aufbereitung und Darstellung der Meßdaten	76	4.5	Rechnerische Ermittlung der Wärmeschutzeigenschaften 96
1.2 Vorgehensweise bei der Interpretation	77	4.6	Rechnerische Ermittlung der Strahlungsdurchlässigkeit hinsichtlich der Sonnenschutzeigenschaften 96
1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Meßreihen 1 - 14 vom 22.1. bis 23.7.1999	78	5.	Auswertung der Ergebnisse der experimentellen Untersuchung der Lamellensysteme 96
1.4 Bewertung der verschiedenen Lamellensysteme	81	5.1	Temperaturen im Fassadenzwischenraum und im Rauminneren 96
2. Untersuchung der konstruktiven Eigenschaften der Lamellen	82	5.2	Wärmeschutzeigenschaften 96
2.1 Untersuchte Lamellenvarianten	82	5.3	Sonnenschutzeigenschaften 97
2.2 Meßmethode	83	5.4	Bewertung der verschiedenen Lamellensysteme 98
2.3 Fertigungstoleranzen der Lamellen	84		
2.4 Verformung der Lamellen während des Meßzeitraums vom 18.6. - 4.11.1999	84		
2.5 Verformung der Lamellen durch Vertikallasten	85		
2.6 Zusammenfassung	86		

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
6. Fertigungstechnische Toleranzen und Formstabilität der Lamellen	98
7. Gestalterische Eigenschaften der alternativen Lamellensysteme	98
8. Ausblick	99
8.1 Weiterentwicklung des Holz-Lamellensystems	99
8.2 Entwicklung folienbespannter Holz-Lamellensysteme	99
Anmerkungen	101
<b>Teil 8 Literaturverzeichnis</b>	<b>102</b>
<b>Teil 9 Verzeichnis der in Teil 6 und im Anhang (Teil 3) benutzten Abkürzungen</b>	<b>105</b>

Inhaltsverzeichnis	Seite	Seite
<b>Anhang</b>	<b>A 1</b>	
<b>Teil 1 Begriffsglossar zur Typologie</b>	<b>A 1</b>	
<b>Teil 2 Brandschutztechnische Aspekte von mehrschaligen Glasfassaden</b>	<b>A 4</b>	
1. Fassadentypen	A 4	
2. Gebäudeklasse	A 4	
3. Gebäudenutzung	A 5	
4. Brandschutzmaßnahmen	A 5	
5. Baustoffklassen	A 5	
Anmerkungen	A 6	
<b>Teil 3 Einzelauswertung der Ergebnisse der Meßreihen 1 - 14</b>	<b>A 7</b>	
Vorbemerkung		
1. Meßreihe 1: 22.- 31.1.99 Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen, Raumlufttemperatur +20°C	A 7	
1.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur	A 7	
1.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum	A 7	
1.3 Temperaturverteilung im Rauminneren	A 8	
2. Meßreihe 2: 12. - 21.2.99 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen geschlossen, Raumlufttemperatur +20°C	A 10	
2.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur	A 10	
2.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum	A 10	
2.3 Temperaturverteilung im Rauminneren	A 11	
2.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Lamellen	A 11	
		3. Meßreihe 3: 23.2. - 9.3.99 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen, Wechselmodus, Raumlufttemperatur +20°C
		3.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur
		3.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum
		3.3 Temperaturverteilung im Rauminneren
		3.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Lamellen
		4. Meßreihe 4: 13.3.-27.3.99 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen, permanent geschlossen, Raumlufttemperatur +20°C
		4.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur
		4.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum
		4.3 Temperaturverteilung im Rauminneren
		4.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Alu-Lamellen
		5. Meßreihe 5: 30.3.-13.4.99 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen, Wechselmodus, Raumlufttemperatur +20°C
		5.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur
		5.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum
		5.3 Temperaturverteilung im Rauminneren
		5.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Alu-Lamellen
		6. Meßreihen 6, 7 und 8: 14.-25.4.99 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen, permanent geöffnet (Meßreihe 6 und 8) sowie permanent geschlossen (Meßreihe 7), Raumlufttemperatur +20°C
		6.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur
		6.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum
		6.3 Temperaturverteilung im Rauminneren
		6.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Alu-Lamellen
		7. Meßreihe 9: 29.4. - 6.5.99 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen geöffnet, Raumlufttemperatur +30°C
		7.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur
		7.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum

Inhaltsverzeichnis	Seite
8. Meßreihe 10: 7.-16.5.99 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen, permanent geschlossen, Raumlufttemperatur +30°C	A 26
8.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur	A 26
8.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum	A 26
8.3 Oberflächentemperaturen der Alu-Lamellen	A 27
9. Meßreihe 11: 18. - 31.5.99 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen, Wechselmodus, Raumlufttemperatur +20°C	A 28
9.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur	A 28
9.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum	A 28
9.3 Temperaturverteilung im Rauminnen	A 30
10. Meßreihe 12: 1.-10.6. 1999 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen, permanent geöffnet, Raumlufttemperatur +20°C	A 30
10.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur	A 30
10.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum	A 30
10.3 Temperaturverteilung im Rauminnen	A 32
10.4 Oberflächentemperaturen der Alu-Lamellen	A 32
11. Meßreihe 13: 15.-16.6.1999 Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen, Raumlufttemperatur +20°C	A 32
11.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur	A 32
11.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum	A 32
11.3 Temperaturverteilung im Rauminnen	A 33
12. Meßreihe 14: 19.6.-23.7.1999 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen, permanent geöffnet, Raumlufttemperatur +20°C	A 33
12.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur	A 33
12.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum	A 33
12.3 Temperaturverteilung im Rauminnen	A 34
12.4 Oberflächentemperatur der Holz-Lamellen	A 35
Anmerkungen	A 34



## Vorwort

Ausgehend von den beiden Zielen, einerseits den Energieverbrauch von Verwaltungsgebäuden zu minimieren, andererseits den Komfort der Nutzer zu maximieren, wurden in den letzten Jahren verschiedene mehrschalige Glasfassadensysteme entwickelt, von welchen die sogenannte 'Zweite-Haut-Fassade' (ZHF) eine der interessantesten Varianten darstellt.

Bei diesem Fassadentyp erlauben Lüftungsöffnungen in der äußeren und inneren Schale im Gegensatz zu Abluffassaden einen natürlichen Luftaustausch, wodurch bei entsprechender Ausbildung und Abstimmung von Fassade, Gebäude und gebäudetechnischen Anlagen der Energieverbrauch für die künstliche Belüftung reduziert werden kann.

Einer der Hauptanwendungsbereiche liegt bei Gebäuden mit hohen Windlasten, wie beispielweise Hochhäusern, bei welchen unter Einsatz von Zweite-Haut-Fassaden der erforderliche Luftwechsel über einen großen Zeitraum des Jahres hinweg auf natürliche Weise bewerkstelligt werden kann.

Die Anordnung einer 'Zweiten Haut' ermöglicht zudem einen verbesserten Schallschutz sowie die Möglichkeit der Vorwärmung der Zuluft im vorgelagerten Fassadenzwischenraum, wodurch die Lüftungswärmeverluste verringert werden können.

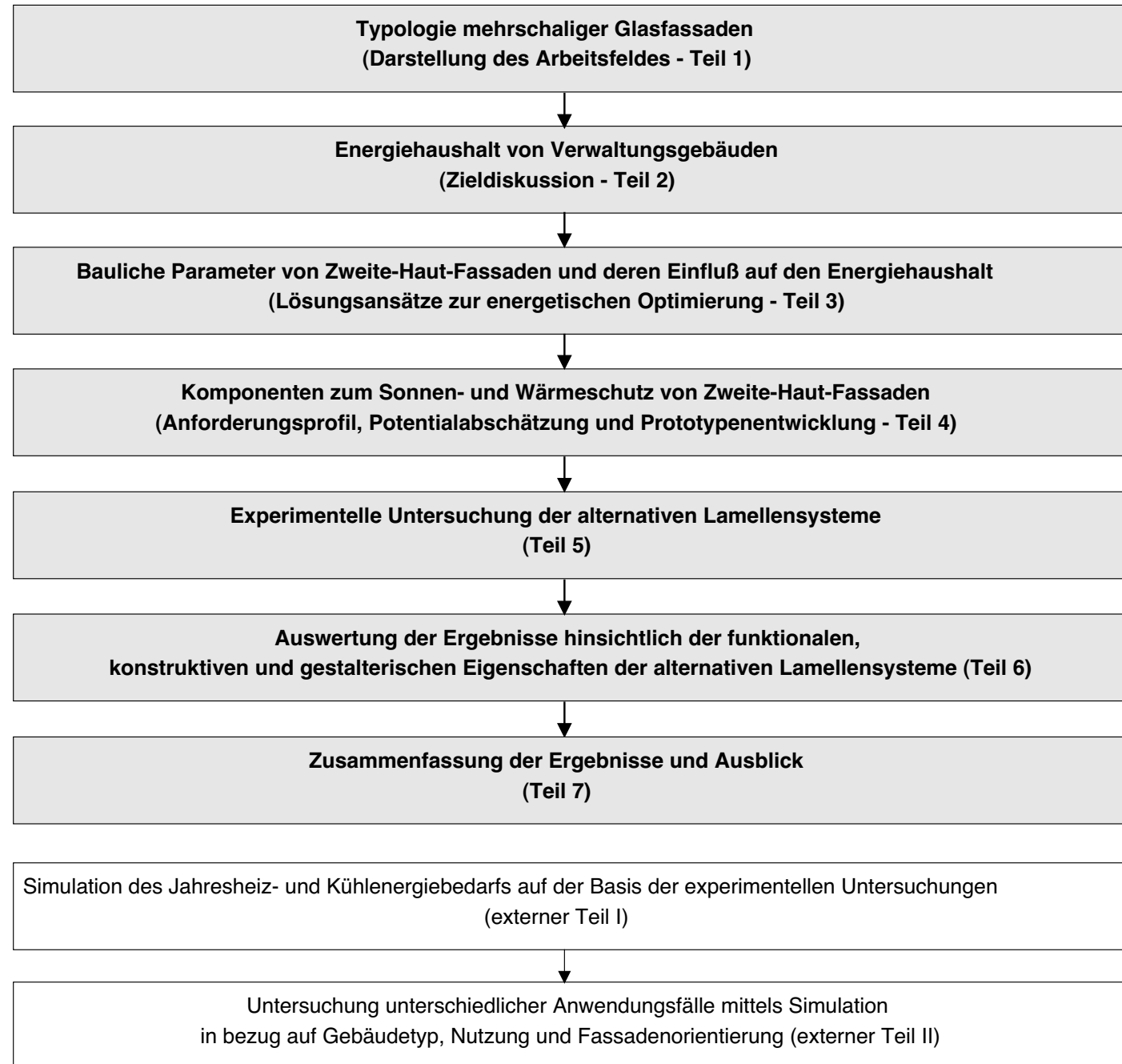


Fig. 1: Überblick zu den wesentlichen Arbeitsschritten

Der Fassadenzwischenraum bietet darüber hinaus die Möglichkeit, bewegliche Sonnen- und Wärmeschutzsysteme wettergeschützt einzusetzen, wodurch neben funktionalen Vorteilen das Spektrum denkbarer Materialien und Komponenten für diese Systeme deutlich erweitert wird. Komponenten mit einem sehr geringen Primärenergieinhalt wie beispielsweise Holz oder Materialien aus recyclingfähigen, hochleistungsfähigen Kunststoffen können zum Einsatz gelangen, wodurch neben der Verringerung des Betriebsenergieaufwandes für Kühlen und Heizen von Gebäuden die Gesamtenergiebilanz unter Berücksichtigung des Herstellungenergieaufwandes günstig beeinflusst werden kann.

Aufgrund der großen Bedeutung, die Manipulatoren in Zweite-Haut-Fassaden hinsichtlich der Gesamtenergiebilanz von Gebäuden zukommt, war es das Ziel dieser Arbeit, die Einsatzmöglichkeiten und das Potential von Sonnen- und Wärmeschutzsystemen auf der Basis nachwachsender Rohstoffe zu untersuchen. Hierbei standen neben funktionalen Fragen auch die konstruktiven und gestalterischen Bedingungen im Vordergrund.

Vorbereitende Arbeitsschritte zum Erreichen dieses Zieles waren:

- die Darstellung der funktionalen und konstruktiven Eigenschaften der verschiedenen Ausführungsvarianten von mehrschaligen, transparenten Fassadensystemen
- die Darstellung der Einflußfaktoren für den Energieverbrauch von Verwaltungsgebäuden
- die Untersuchung der baulichen Parameter von Zweite-Haut-Fassaden

Die Ergebnisse dieser Untersuchung verschiedener Manipulatoren, kombiniert mit unterschiedlichen Fassadenaufbauten, dienen der Vorauswahl von Komponenten, die aufgrund ihrer funktionalen, konstruktiven und gestalterischen Eigenschaften sowie ihres geringen Primärenergieinhaltes besonders geeignet sind, einen möglichst großen Beitrag zur Senkung des Energiebedarfs von Verwaltungsgebäuden mit 'Zweite-Haut-Fassaden' zu leisten.

In einem weiteren Arbeitsschritt wurde eine Komponente herausgegriffen und weiterentwickelt, um diese anschließend unter realen Einbaubedingungen in thermischer Hinsicht experimentell zu untersuchen.

Die Ergebnisse dienen dazu, Aussagen zu den thermischen, gestalterischen und konstruktiven Eigenschaften des entwickelten Lamellensystems zu erhalten.

Außerdem sollen die thermischen Meßergebnisse künftig als Basis für eine thermische Simulation herangezogen werden, um den Jahresenergiebedarf von Verwaltungsgebäuden mit Zweite-Haut-Fassaden unter Einsatz der entwickelten Wärme- und Sonnenschutzlamellen zu ermitteln und bekannten Fassadensystemen vergleichend gegenüberstellen zu können.

## Teil 1

### Zur Typologie mehrschaliger Gebäudehüllen aus Glas

#### Vorbemerkung

Mehrschalige, transparente Glasfassadensysteme stellen Hüllkonstruktionen von Gebäuden dar, bei denen vor bzw. hinter der eigentlichen Außenhaut eine zusätzliche Verglasung angeordnet ist, um funktionale Anforderungen und bauphysikalische Eigenschaften wie Wärmeschutz, Sonnenschutz, Schallschutz oder die Möglichkeit eines natürlichen Luftwechsels zu verbessern. Diese zusätzliche Verglasung kann sowohl aus einer ESG-, VSG- oder TVG-Scheibe als auch einer Isolierverglasung bestehen.

Zur Vereinfachung wird diese zusätzliche Verglasung im folgenden mit 'zweite Glasschale' bezeichnet.

Von diesen mehrschaligen Glasfassadensystemen stellen Zweite-Haut-Fassaden (ZHF), die in der Regel eine Fensterlüftung ermöglichen, sowohl in ästhetischer als auch in funktionaler Hinsicht eine der interessantesten Weiterentwicklungen eines Fassadentypus der letzten Jahre dar. Daneben dürfte die Diskussion um das "Sick-Building-Syndrom" [1] im Zusammenhang mit klimatisierten Gebäuden einer der wesentlichen Gründe sein, die zur zunehmenden Anwendung von Zweite-Haut-Fassaden im Verwaltungsbau beigetragen haben.

Diese verstärkte Umsetzung hat in den letzten Jahren zu einer regen Auseinandersetzung mit mehrschaligen Glasfassaden in der Fachpresse geführt, wobei häufig gestalterische und konstruktive Teilaspekte im Vordergrund stehen, ohne daß auf die funktionalen Eigenschaften näher eingegangen wird, oder eine klare Zuordnung der spezifischen Eigenschaften hinsichtlich der verschiedenen Fassadentypen erfolgt. [2]

Das Ziel der folgenden Ausführungen ist daher, die funktionalen, konstruktiven und gestalterischen Unterschiede von mehrschaligen Glasfassaden darzustellen. Ein wichtiges Hilfsmittel ist dazu die Entwicklung einer Typologie, wodurch eine Einteilung der verschiedenen Fassadensysteme vorgenommen werden kann. Des weiteren soll eine Klärung der wesentlichen Begriffe im Zusammenhang mit mehrschaligen Glasfassaden erreicht werden, da eine Begriffsvielfalt entstanden ist, die eine klare Zuordnung der jeweiligen Fassadenvariante hinsichtlich der Funktion oder Konstruktion erschwert. Wesentliche Begriffe werden daher sowohl unmittelbar im fortlaufenden Text erklärt, als auch im Begriffsglossar im Anhang zusammengefaßt. Allgemein gebräuchliche Bezeichnungen, wie z.B. 'Winterfenster' oder 'Wintergarten', die sich trotz ihrer begrifflichen Unschärfe im Laufe der Jahre etabliert haben, sollen dabei vermieden werden.

## 1. Übersicht der wesentlichen Ausführungsvarianten mehrschaliger, transparenter Fassadensysteme

Da der konstruktive Aufbau die funktionalen und gestalterischen Eigenschaften von mehrschaligen Glasfassaden unmittelbar bestimmt, erfolgt eine erste Einteilung der verschiedenen Alternativen unter Berücksichtigung des konstruktiven Aufbaus. (Fig. 1)

### 1.1 Erste Einteilungsebene (Position)

Durch die Art der Positionierung der zweiten Glasschale werden die funktionalen und gestalterischen Eigenschaften der Außenhaut in sehr großem Umfang bestimmt. Es lassen sich folgende Varianten unterscheiden:

- Zweite Glasschale liegt innerhalb der Außenwandkonstruktion (mehrschalige Fenstersysteme in Lochfassaden)
- Zweite Glasschale ist in Teilbereichen der Außenwand vorgelagert (Fassadenvorbauten)
- Zweite Glasschale erstreckt sich über die gesamte Gebäudehülle (Doppelfassaden)

### 1.2 Zweite Einteilungsebene (Lage der Luftöffnungen)

Die Anordnung von Lüftungsöffnungen in der inneren und äußeren Schale bestimmt die Möglichkeiten der natürlichen Lüftung von Innenräumen, was eine der wichtigsten Funktionen der Gebäudehülle darstellt. Es lassen sich folgende Varianten unterscheiden:

- Lüftungsöffnungen in beiden Schalen
- Lüftungsöffnung in der inneren Schale
- Keine Lüftungsöffnung

### 1.3 Dritte Einteilungsebene (Segmentierung)

Die konstruktive Ausbildung des Fassadenzwischenraumes im Hinblick auf die Unterteilung (Segmentierung) bestimmt wesentliche funktionale Eigenschaften, wie Brand- und Schallschutz sowie das Strömungsverhalten der Luft im Fassadenzwischenraum. Es lassen sich folgende Varianten unterscheiden:

- Fassadenzwischenraum nicht unterteilt
- Fassadenzwischenraum unterteilt

Einen weiteren Teilaspekt stellt der Abstand von innerer und äußerer Schale, also die Tiefe des Fassadenzwischenraumes dar, wodurch gegebenenfalls die Nutzbarkeit als temporärer oder permanenter Aufenthaltsbereich bestimmt wird.

**1. Ebene**

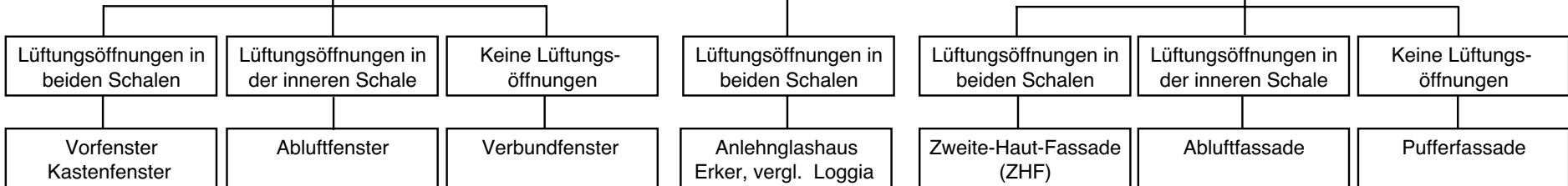
Mehrschalige, transparente Glasfassadensysteme

Zweite Glasschale liegt innerhalb der Außenwandkonstruktion  
Fenstersysteme in Lochfassaden

Zweite Glasschale ist in Teilbereichen der Außenwand vorgelagert  
Fassadenvorbauten

Zweite Glasschale erstreckt sich über die gesamte Gebäudehülle  
Doppelfassadensysteme

**2. Ebene**



**3. Ebene**

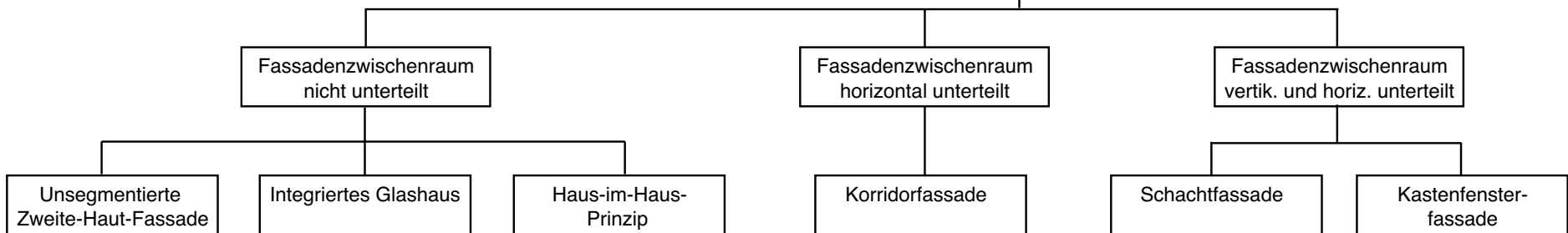


Fig. 1: Überblick der Ausführungsvarianten mehrschaliger, transparenter Glasfassadensysteme

## 2. Konstruktionsspezifische Merkmale von doppelschaligen Glasfassaden und deren Bedeutung für die Funktion der Fassade

Ausgehend von der in Tafel 1 dargestellten Einteilung dient der folgende Abschnitt dazu, die konstruktiven Merkmale und deren Bedeutung für die funktionalen Eigenschaften der verschiedenen Doppelfassadensysteme darzustellen.

Die Reihenfolge orientiert sich dabei zunächst an der vorgestellten Übersicht zu prinzipiellen Einteilungsmöglichkeiten. Im Anschluß daran werden in Ergänzung weitere konstruktive Merkmale vorgestellt, die ebenfalls starken Einfluß auf die Funktion und Gestalt der Fassade haben.

### 2.1 Anordnung der Doppelschale in Relation zur Außenwand

Die Lage der beiden Verglasungsebenen in Relation zur Außenwand hat weitreichenden Einfluß auf funktionale und vor allem gestalterische Eigenschaften der Fassade. In bezug auf dieses Kriterium lassen sich doppelschalige Glasfassadensysteme in folgende Kategorien einteilen:

#### 2.1.1 Doppelfenster liegt innerhalb der Außenwandkonstruktion

Hierzu gehören Fensterkonstruktionen, die sich über nur einen Teilbereich der Außenwand erstrecken. Die Lastabtragung erfolgt in den meisten Fällen über eine massive

Außenwand, weshalb die Anordnung und Größe von Wandöffnungen von den statischen Verhältnissen abhängt. In gestalterischer Hinsicht unterscheiden sich Lochfassaden aufgrund des relativ geringen Verglasungsanteils sehr stark von Fassadenvorbauten oder vorgehängten Glasfassadenkonstruktionen. Fenstervarianten mit zwei hintereinander angeordneten Glasschalen sind Vorfenster, Kastenfenster (Fig.1), Ablufffenster und Verbundfenster.

#### 2.1.2 Doppelschale ist in Teilbereichen der Außenwand vorgelagert

Wesentliches Merkmal von Fassadenvorbauten ist die Anordnung einer zweiten Glasschale in einem größeren Abstand vor der eigentlichen Außenwand. Hierdurch entsteht ein Zwischentemperaturbereich, der eine temporäre Nutzung zuläßt. [3] Das Vorlagern einer Glasschale in Teilbereichen beeinflusst das Erscheinungsbild der Fassade sehr stark, wobei die eigentliche Außenwand in der Regel als Gebäudeabschluß erkennbar bleibt. Zu diesem Fassadentyp sind Anlehnglashäuser (Fig.2), Erker und verglaste Loggien zu zählen.

#### 2.1.3 Doppelschale erstreckt sich über die gesamte Außenwandkonstruktion

Bei dieser Fassadenvariante befindet sich vor oder hinter der eigentlichen Glasfassade eine zweite Verglasungsebene. Diese mehrschalige

Glasfassadenkonstruktion wird allgemein als 'Doppelfassade' bezeichnet, ohne daß damit bestimmte funktionale Eigenschaften verknüpft werden können.

Zu Doppelfassaden gehören Zweite-Haut-Fassaden (Fig.3), Ablufffassaden sowie Pufferfassaden. Obwohl sich diese Fassadentypen in gestalterischer Hinsicht sehr stark ähneln können, unterscheiden sie sich bezüglich der Möglichkeiten der natürlichen Lüftung sehr stark.

### 2.2 Anordnung von Lüftungsöffnungen in der inneren und äußeren Fassadenschale

In Abhängigkeit von der Anordnung der Lüftungsöffnungen ergeben sich die nachfolgend genannten Systeme.

#### 2.2.1 Fenstersysteme in Lochfassaden - Lüftungsöffnungen in beiden Schalen

- Vorfenster

Bei dieser Fensterkonstruktion wird einem einfach verglasten Fensterahmen zur Verbesserung des Wärmeschutzes ein zweiter Rahmen mit Einfachverglasung in der kalten Jahreszeit vorgesetzt, der meist flächenbündig mit der Außenseite der Wandkonstruktion ausgeführt wird. Nach außen aufschlagend und oft nur mit einer Drahtschlaufe befestigt, stellt diese Fensterart baukonstruktiv gesehen eine sehr einfache Lösung dar, die Wärmeschutzeigenschaften des Fensters den klimatischen Bedingungen anzupassen.

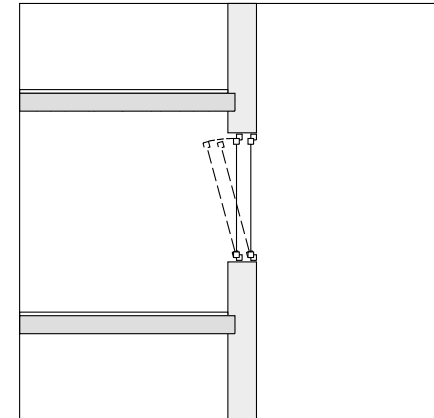


Fig. 1: Vertikalschnitt Kastenfenster

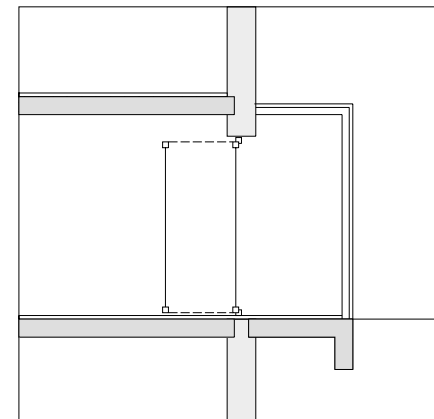


Fig.2: Vertikalschnitt Anlehnglashaus

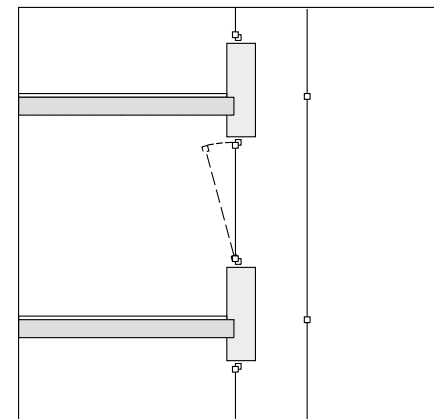


Fig. 3: Vertikalschnitt Zweite-Haut-Fassade

Charakteristisch ist dabei die jahreszeitenabhängige Veränderbarkeit der Wärmeschutzeigenschaften des Fensters, ohne jedoch tageszeitenabhängige Temperaturschwankungen zu berücksichtigen. Das Vorfenster ist seit Anfang des 18. Jahrhunderts gebräuchlich [4] und ist noch heute bei zahlreichen Bauten in Mitteleuropa, beispielsweise in historischen Zentren, aber besonders auch im ländlichen Raum zu finden. [5]

- Kastenfenster, Doppelfenster

Diese Fensterkonstruktion besteht aus zwei hintereinander eingebauten, beweglichen Fensterflügeln, meist mit Einfachverglasung, deren Abstand in einem Bereich von ca. 10 - 20 cm liegt. Prinzipiell kann zwischen Doppelfenstern mit feststehendem Mittelposten und Kastenfenstern ohne Mittelposten unterschieden werden. Bedingt durch den konstruktiven Aufbau lassen sich die äußeren Fensterflügel bei Zargen-Doppelfenstern nur nach außen öffnen, d.h. in den Falz schlagen, wodurch bei Winddruck die Fensterflügel in den Rahmen gepreßt werden und die Dichtigkeit erhöht wird. Zudem erlaubt diese einfache Konstruktion die Verwendung von schlanken Holzquerschnitten für die Rahmenprofile. Dies führt zu einer filigranen Erscheinung dieses Fenstersystems.

Bei dem aufwendiger konstruierten Kastenfenster schlagen sämtliche Fensterflügel nach innen auf, wodurch Handhabung und Lebensdauer

er wesentlich verbessert werden. Sehr häufig ist durch die Integration von separaten Öffnungsflügeln in die Rahmenkonstruktion oder durch eingebaute Kippflügel im oberen Bereich der Fensteröffnung die Möglichkeit der Nachtlüftung gegeben, da Funktionen wie Regen- oder Einbruchschutz aufrecht erhalten bleiben. Damit lassen sich Wärme- und Schallschutzeigenschaften sowie Luftwechselraten den im Tagesverlauf variierenden Außenbedingungen auf einfache Weise anpassen.

### 2.2.2 Fenstersysteme in Lochfassaden - Lüftungsöffnungen in der inneren Schale

- Abluftfenster

Bei dieser Fensterart werden die gewöhnlichen Funktionen des Fensters mit den Aufgaben der Klimatechnik verknüpft, indem die verbrauchte Abluft des Raumes über den Fassadenzwischenraum des Doppelfensters abgezogen wird. (Fig. 4) Zur Vermeidung von Transmissionswärmeverlusten ist die äußere Verglasung in der Regel mit Isolierglas ausgeführt.

In funktionaler Hinsicht bedingt die Durchströmung des Fassadenzwischenraumes mit vorgewärmter Raumluft eine Erhöhung der Oberflächentemperatur der inneren Scheibe, wodurch gerade in der kalten Jahreszeit eine deutliche Komfortverbesserung in Fensternähe erreicht wird. Der Fassadenzwischenraum dient zugleich der Aufnahme des Sonnenschutzes, der

witterungsunabhängig auch bei hohen Windgeschwindigkeiten heruntergefahren werden kann. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des Abluftfensters liegt im unmittelbaren Abführen eines Teils der Strahlungswärmegewinne aufgrund der Durchströmung des Fassadenzwischenraumes, wodurch die strahlungsbedingten Kühllasten im Rauminneren gering gehalten werden können. Die beiden genannten Vorteile werden jedoch nur durch den Einsatz von mechanischer Antriebsenergie zur Durchströmung des Fassadenzwischenraumes erzielt, was in der Regel zu erhöhten Investitions- und Betriebskosten im Vergleich zu Gebäuden ohne raumluftechnische Anlagen führt.

### 2.2.3 Fenstersysteme in Lochfassaden - keine Lüftungsöffnungen innerhalb der Schalen

- Verbundfenster

Verbundfenster bestehen aus zwei hintereinanderliegenden Fensterrahmen, die ohne Abstand direkt miteinander verbunden werden, wobei sich die Flügel zu Reinigungszwecken voneinander lösen lassen. Da die beiden Flügel im normalen Gebrauch nicht getrennt werden, besteht im Gegensatz zum Kastenfenster nicht die Möglichkeit, den Fensteraufbau den im Jahres- und Tageszeitenverlauf sich ändernden Außenbedingungen anzupassen. Diese Konstruktionsart soll daher im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter betrachtet werden, da der

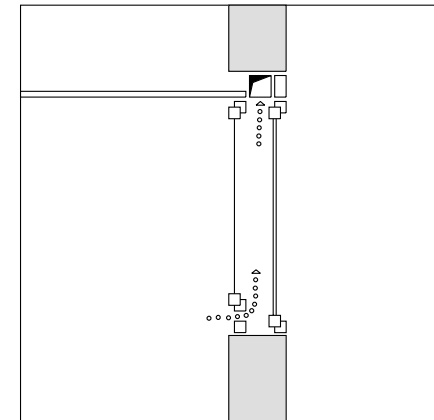


Fig. 4: Vertikalschnitt Abluftfenster

Fassadenzwischenraum, ähnlich heutiger Isolierverglasungen, in lüftungstechnischer Hinsicht nicht wirksam ist.

### 2.2.4 Fassadenvorbauten - Lüftungsöffnungen in beiden Schalen

Doppelschalige Glasfassaden, deren äußere Glashaut sich nur über Teilbereiche der Außenwand erstreckt, haben in der Regel sowohl in der äußeren als auch in der inneren Schale Lüftungsöffnungen, die einen natürlichen Luftaustausch gewährleisten. Hierzu gehören folgende Fassadentypen:

- Anlehnglashaus

Bei dieser Variante der Zweite-Haut-Fassade wird der eigentlichen Außenwand eine einfache Glashaut in einem größeren Abstand vorgelagert, wodurch ein Zwischentemperaturbereich entsteht, der eine Vielfalt von Nutzungen zuläßt.

In funktionaler und bauphysikalischer Hinsicht dient diese Zone als thermischer Puffer, als Luftschleuse, zur Vorwärmung der Zuluft, aber auch der direkten Nutzung von Solarenergie. Ein weiteres, wesentliches Merkmal ist die Wechselwirkung zwischen transparenter Hülle, der Luft im Fassadenzwischenraum und dem dahinterliegenden Mauerwerk - soweit vorhanden. Anders als bei vollkommen verglasten mehrschaligen Konstruktionen ist dieses System in der Lage, durch die Speicherwirkung der massiven Außenwand die im Tagesverlauf entstehenden Extremwerte für die Lufttemperatur zu verringern und die aufgenommene Wärme zeitlich verzögert an die angrenzenden Räume abzugeben. Da die sich einstellende Raumlufttemperatur im Anlehnglashaus im wesentlichen von den klimatischen Gegebenheiten wie Außenlufttemperatur und Strahlungsangebot abhängt, ist die Nutzung nicht während des ganzen Jahres sinnvoll, sondern hängt von den im Tages- und Jahresverlauf variierenden Bedingungen ab. [6]

- Erker, verglaste Loggia

Erker und verglaste Loggien stellen - ähnlich wie Anlehnglashäuser - Zwischentemperaturbereiche dar, deren äußere Hülle aufgrund von Fensteröffnungen eine sehr gute Abstimmung der Fassadenfunktionen wie Luftaustausch, winterlicher und sommerlicher Wärmeschutz sowie Schallschutz erlaubt.

Ein wesentlicher Unterschied liegt jedoch in der räumlichen Anordnung zur eigentlichen Außenwand bzw. Fassade, da Erker und verglaste Loggien im Regelfall direkt in funktionalem Zusammenhang mit dem dahinterliegenden Raum zu sehen sind und in wärme-, lüftungs- und schalltechnischer Hinsicht eine Einheit bilden. Hierdurch ist im Gegensatz zum Anlehnglashaus eine permanente Nutzung möglich, da dieser Zwischentemperaturbereich unmittelbar mit der erwärmten Raumluft in Verbindung steht.

In dieser geschößweisen Trennung von Erkern und verglasten Loggien liegt der Hauptunterschied gegenüber dem Anlehnglashaus, welches sich über mehrere Geschosse erstrecken kann und aufgrund seiner konstruktiven Ausbildung als ungeteilter Raum andere Eigenschaften im Hinblick auf Schall- und Brandschutz sowie Luftwechsel besitzt.

### 2.2.5 Doppelfassadensysteme - Lüftungsöffnungen in beiden Schalen

- Zweite-Haut-Fassaden

Wesentliches Merkmal von Zweite-Haut-Fassaden (ZHF) ist die Anordnung einer zweiten Schale vor der eigentlichen Außenwand bzw. Fassade, ohne daß die natürliche Lüftung unterbunden wird. Hierbei ist die äußere Schale in der Regel als nichttragendes Element vorgehängt, wobei auch stehende, ein bis zwei Geschosse hohe Fassadenelemente zu dieser Kategorie gehören.

Verglichen mit einschaligen Fassaden besitzen Zweite-Haut-Fassaden meist verbesserte Schall- sowie Wärmeschutzeigenschaften und ermöglichen eine natürliche Lüftung bei Standorten mit hohen Windgeschwindigkeiten. [7] Zu dieser Fassadenvariante sind nicht nur die Untergruppen wie Schacht-, Korridor- und Kastenfensterfassade zu zählen, sondern jene Varianten, bei welchen die zweite Schale in einem größeren Abstand angeordnet ist, wie dies bei integrierten Glashäusern oder bei dem Haus-im-Haus-Prinzip der Fall ist.

### 2.2.6 Doppelfassadensysteme - Lüftungsöffnungen in der inneren Schale

- Ablufffassaden

Analog zum Ablufffenster erfolgt die Durchströmung des Fassadenzwischenraumes mit erwärmter Raumluft, die über die Fassade zur Klimazentrale zurückgeführt wird. [8] Damit übernimmt die Außenhaut nicht nur Funktionen wie Wetterschutz, Wärmeschutz und Tageslichtversorgung, sondern ist auch wegen ihrer Wirkung als luftführender Kanal als Teil der klimatechnischen Anlage zu betrachten.

Die äußere Fassadenebene ist zur Reduktion von Transmissionswärmeverlusten in der Regel in Isolierglastechnik ausgeführt. Die Vorteile dieser Fassadenart sind sehr ähnlich den bereits genannten Vorteilen des Ablufffensters.

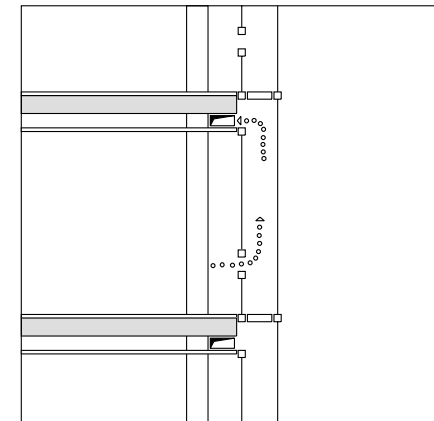


Fig. 5: Ablufffassade - Luftabsaugung oben

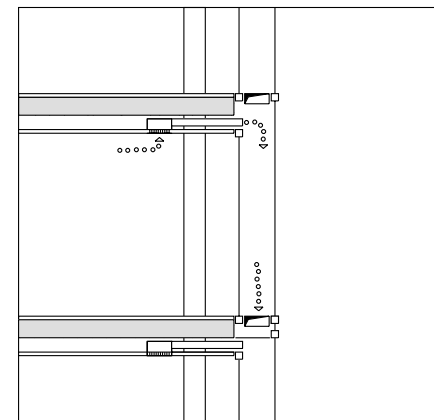


Fig. 6: Ablufffassade - Luftabsaugung unten

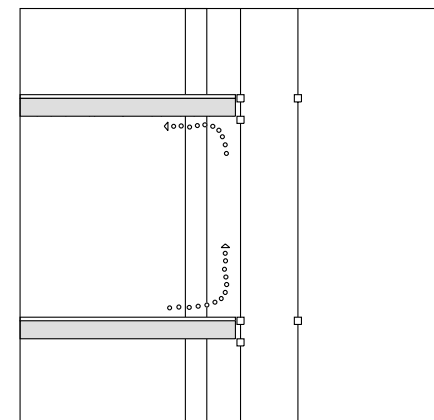


Fig. 7: Vertikalschnitt Pufferfassade

Die Anwendung dieser Fassadenbauart ist gerade bei Verwaltungsgebäuden von Vorteil, bei welchen aufgrund von Schall- und Schadstoffemissionen oder hohen Windlasten die Ausbildung einer herkömmlichen Fassade mit zu öffnenden Fensterelementen ausgeschlossen ist.

Bezogen auf die Luftführung im Fassadenzwischenraum sind folgende Varianten möglich:

- Luftführung im Fassadenzwischenraum von unten nach oben

Die verbrauchte Raumluft wird im unteren Fassadenbereich in den Fassadenzwischenraum gesaugt und anschließend nach oben geführt. (Fig.5)

- Luftführung im Fassadenzwischenraum von oben nach unten

Dies stellt lufthygienisch die bessere Variante dar, da die verbrauchte Raumluft aufgrund des thermischen Auftriebs nach oben steigt, und von dort unmittelbar in den Fassadenzwischenraum gesaugt und nach unten geführt werden kann. (Fig.6) Eine Durchmischung von verbrauchter und unverbrauchter Raumluft wird vermieden.

## 2.2.7 Doppelfassadensysteme - keine Lüftungsöffnungen in beiden Schalen

- Pufferfassaden

Sie ermöglichen es, durch das Vorhängen einer zweiten Glashaut das Gebäudeinnere verstärkt gegenüber bestimmten Außenbedingungen abzuschirmen, ohne Einbußen im Bereich der Tageslichtnutzung hinnehmen zu müssen. Sehr häufig steht hierbei der Wunsch nach erhöhtem Wärmeschutz im Vordergrund, jedoch bedingen auch andere Umwelteinflüsse, wie z.B. Straßenlärm, deren Anwendung. (Fig.7)

In der Regel stellt der Fassadenzwischenraum in lüftungstechnischer Hinsicht eine in sich geschlossene Einheit dar, die keinen Luftwechsel zulässt. Der Luftaustausch erfolgt daher über separate, kastenartige Fensterelemente, die in die Pufferfassade eingebaut sind.

## 2.3 Unterteilung des Fassadenzwischenraumes

Im Hinblick auf die Segmentierung des Fassadenzwischenraumes bei doppelschaligen Glasfassaden müssen vor allem Zweite-Haut-Fassaden näher betrachtet werden, da nur bei diesen natürlich hinterlüfteten Glasfassadensystemen eine große Bandbreite von verschiedenen Varianten mit zum Teil sehr unterschiedlichen funktionalen Eigenschaften besteht.

Prinzipiell lassen sich die nachfolgend dargestellten Hauptgruppen unterscheiden.

### 2.3.1 Zweite-Haut-Fassaden (ZHF) ohne Unterteilung des Fassadenzwischenraumes

Bei diesen Varianten der Zweite-Haut-Fassade erstreckt sich die zusätzliche Verglasung über mehrere Geschosse, ohne den entstehenden Fassadenzwischenraum zu unterteilen.

Hierdurch ergeben sich folgende funktionale Eigenschaften:

- Schallschutz:

Schall kann sich im Fassadenzwischenraum ungehindert ausbreiten, was zu Beeinträchtigungen in den angrenzenden Räumen führen kann.

- Brandschutz:

Feuer und Rauch können sich ähnlich wie Schall ungehindert im Fassadenzwischenraum ausbreiten.

- Thermisches Verhalten:

In Abhängigkeit von der vertikalen Ausdehnung kann sich ein deutliches Temperaturgefälle vom höchsten zum niedrigsten Punkt des Fassadenzwischenraumes ausbilden, was unter Ausnutzung des thermischen Auftriebs zur verstärkten Durchströmung im Sommer genutzt werden kann.

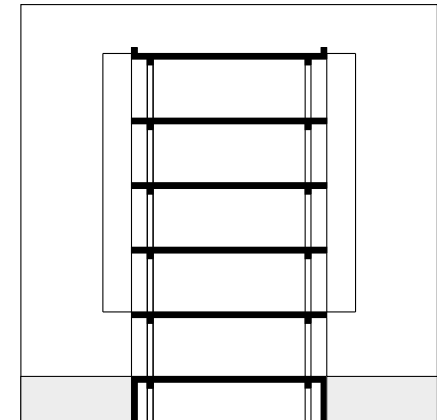


Fig. 8: Vertikalschnitt unsegmentierte ZHF

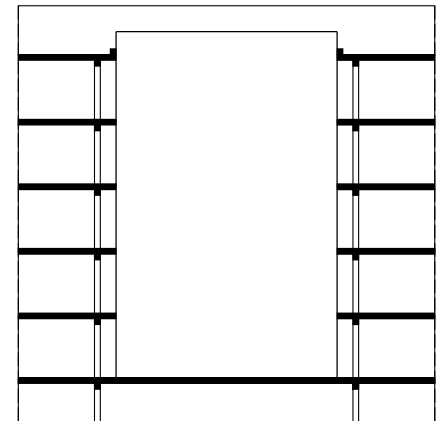


Fig. 9 Vertikalschnitt integriertes Glashaus

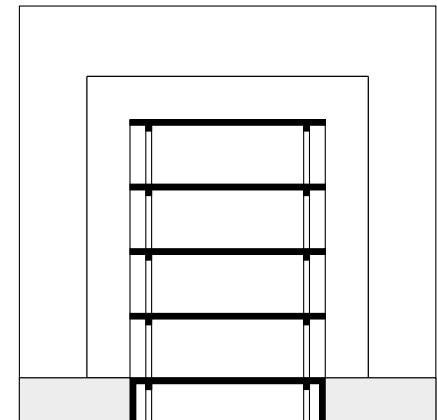


Fig. 10: Vertikalschnitt Haus-im-Haus-Prinzip



Allerdings führt dies bei fehlender Durchströmung sehr schnell zu hohen Lufttemperaturen im oberen Bereich und hat entsprechende Auswirkungen auf angrenzende Räume.

Vorteilhaft ist jedoch die einfache Steuerbarkeit der Luftwechselrate und der Pufferwirkung der Fassade, da die Anordnung von ausreichend dimensionierten Lüftungsklappen am Fußpunkt und an der Traufe der Fassade ausreicht, um den Querschnitt von Zu- und Abluftöffnungen zu variieren.

Obwohl diese Fassadenvarianten in funktionaler Hinsicht ähnliche Eigenschaften aufweisen, unterscheiden sie sich im Hinblick auf die Konstruktion, Gestaltung und den Möglichkeiten der Nutzung des Fassadenzwischenraumes. Bedingt durch die jeweilige Art der Anordnung der zusätzlichen Glasschale in bezug zum eigentlichen Baukörper lassen sich folgende Varianten feststellen:

- Unsegmentierte Zweite-Haut-Fassade

Bei dieser Variante ist der eigentlichen Außenwand bzw. Fassade eine zweite Verglasung vorgeblendet, ohne den entstehenden Fassadenzwischenraum zu unterteilen. (Fig.8) Die Tiefe des Fassadenzwischenraumes wird in der Regel von der Art und Größe des Sonnenschutzsystems oder anderer Fassadenkomponenten sowie den Anforderungen zur Wartung und Reinigung der Fassade bestimmt. Normalerweise liegt die Größe des Abstandes beider

Verglasungen zwischen ca. 50 cm und 70 cm.

- Integriertes Glashaus (Atrium)

Diese Anwendungsform der vorgehängten Glashaut besitzt ähnliche Eigenschaften wie das Anlehnglashaus, ist jedoch in der Regel durch zwei bis vier Gebäudeflügel umschlossen, wobei sich eine intensive Wechselwirkung von Glashaus und umgebenden Wandflächen ergibt.

Dient die zusätzliche Verglasung als Dachabschluß einer allseitig umschlossenen Halle so wird diese Variante häufig auch als 'Glasatrium' oder 'Klimahalle' bezeichnet. (Fig.9) Bezogen auf den Gebrauchswert ermöglicht dieser Bautyp eine Vielzahl von Nutzungen. So kann beispielsweise bei Verwaltungsbauten das Atrium als zentraler Kommunikationsbereich genutzt werden, um die starren Grenzen des klassischen Zellenbüros aufzuheben.

Gebäudeklimatisch gesehen stellt sich aufgrund der solaren Gewinne und der Transmissionswärmeverluste der angrenzenden Gebäudefassaden ganzjährig eine gegenüber der Außenluft erhöhte Raumlufttemperatur ein, wodurch einerseits die Nutzungsmöglichkeiten des Raumes erweitert, andererseits die bautechnischen Anforderungen an die angrenzenden Fassadenteile deutlich reduziert werden. Nutzungstechnisch gesehen dient dieser Bereich nicht nur als erweiterter Teil der Hauptnutzfläche eines Gebäudes, sondern kann in Abhängigkeit von

dem Grad der Bepflanzung des Raumvolumens einen gewissen Beitrag im Hinblick auf klimatechnische Aufgaben wie Schadstoffreduktion, Sauerstoffanreicherung und Raumluftbefeuchtung leisten. [9]

- Haus-im-Haus-Prinzip

Bei diesem Typ der mehrschaligen transparenten Gebäudehülle umschließt die Glashaut das Gebäude vollständig. (Fig.10) Neben der direkten Nutzung der Solarenergie zur Erhöhung der Umgebungstemperatur innenliegender Gebäudeteile werden Transmissions- und Lüftungswärmeverluste reduziert. Analog zu Anlehn- und integriertem Glashaus liegt der größte Vorzug im Entstehen einer vielfältig nutzbaren Zwischentemperaturzone. Die Luft kann innerhalb der Hülle frei zirkulieren, wodurch auch weniger besonnte Bereiche aufgrund interner Luftströmungen deutlich höhere Temperaturen gegenüber der Außenluft erreichen. Bei Anordnung von Lüftungsöffnungen im oberen und unteren Fassadenbereich kann bei Überhitzungsgefahr erwärmte Luft nach oben entweichen und kühlere Luft in Bodennähe aufgrund des Sogeffektes nachströmen.

### 2.3.2 Zweite-Haut-Fassaden mit horizontaler Unterteilung des Fassadenzwischenraumes

Durch eine Unterteilung des Fassadenzwischenraumes werden funktionale Eigenschaften wie Brand- und Schallschutz im Vergleich zu den

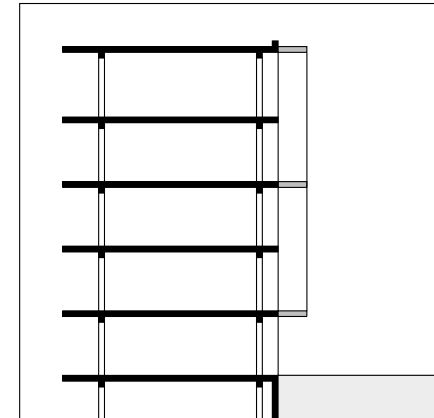


Fig.11: ZHF mehrere Geschosse zusammengefaßt

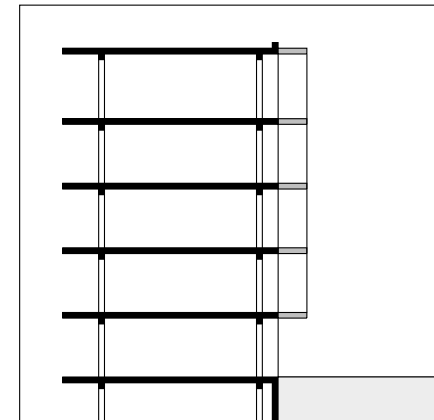


Fig. 12: ZHF geschosswise unterteilt

vorhergenannten Systemen ohne Unterteilung positiv beeinflusst.

- Korridorfassaden

Bei dieser Variante der Zweite-Haut-Fassade ist der Fassadenzwischenraum durch horizontal verlaufende Stege unterteilt, wobei entweder mehrere Geschosse zusammengefaßt sein können oder das Fassadensystem geschosswise getrennt sein kann.

- mehrere Geschosse zusammengefaßt

Hierzu gehören Ausführungsvarianten, deren Zwischentemperaturbereich sich über mehrere Geschosse erstreckt, ohne das Gebäude in seiner gesamten Höhe einzuhüllen. (Fig.11)

Ähnlich wie bei unsegmentierten Zweite-Haut-Fassaden und integrierten Glashäusern sind die bereits angesprochenen Teilaspekte wie Hitzestau, Brandschutz und Akustik besonders zu beachten.

- geschoßweise Unterteilung

Bei diesen Fassaden erfolgt eine Unterteilung des Fassadenzwischenraumes im Boden- und Deckenbereich des angrenzenden Raumes, wodurch sich in jedem Stockwerk ein begehbare Fassadenkorridor ausbildet. (Fig.12)

Die Zuluft strömt in der Regel im unteren Bereich des jeweiligen Geschosses ein; die Abluft verläßt den Fassadenkorridor im oberen Bereich. Die Gefahr der Durchmischung von ausströmender Abluft und einströmender Zuluft kann bei Korridorfassaden durch einen seitlichen Versatz der Lüftungsöffnungen oder einen ausreichenden vertikalen Abstand der Ein- und Ausströmöffnungen vermieden werden.

Bei dieser Fassadenvariante ist der baukonstruktive Aufwand gegenüber der unsegmentierten Zweite-Haut-Fassade nur geringfügig größer, gleichzeitig können aber eine Reihe

von bauphysikalischen Problemen deutlich reduziert oder vollständig vermieden werden. So werden Auflagen hinsichtlich des Brandschutzes bei entsprechender Ausbildung der Korridordecke bzw. Bodenplatte erfüllt. Ein Hitzestau im oberen Fassadenbereich wird durch die Segmentierung vermieden; das Problem der internen Schallübertragung ist nicht generell gelöst, jedoch läßt sich in vertikaler Richtung eine interne Schallübertragung bei entsprechender Ausführung nahezu vollständig unterbinden.

Ähnlich wie bei unsegmentierten Zweite-Haut-Fassaden kann durch die Integration von regelbaren Lüftungskappen die Pufferwirkung der Fassade gesteuert werden, was jedoch im Vergleich zu unsegmentierten Fassaden aufgrund der notwendigen Anzahl von Lüftungsöffnungen einen größeren konstruktiven Aufwand erfordert.

### 2.3.3 Zweite-Haut-Fassaden mit horizontaler und vertikaler Unterteilung des Fassadenzwischenraumes

Dieser Fassadentypus hat gegenüber unsegmentierten Zweite-Haut-Fassaden ähnliche Vorteile hinsichtlich des Brand- und Schallschutzes wie Korridorfassaden. Durch die Unterteilung in horizontaler und vertikaler Richtung wird jedoch eine Schallübertragung oder Ausbreitung des Rauches im Brandfall auch in horizontaler Richtung unterbunden, was zusätzliche Vorteile bietet.

### - Schachtfassade

Hier erfolgt die Unterteilung des Fassadenzwischenraumes durch vertikal verlaufende Trennelemente, so daß schachtartige Lüftungskanäle innerhalb der Zweite-Haut-Fassade entstehen. Das Auftreten einer deutlichen Temperaturdifferenz im Fassadenzwischenraum wird daher im Gegensatz zu Korridorfassaden nicht unterbunden, sondern gezielt zur Verbesserung des Luftaustausches zwischen Fassadenzwischenraum und dem angrenzenden Raum genutzt.

Die vertikale Unterteilung bei Schachtfassaden kann in folgender Weise vorgenommen werden:

- Unterteilung auf die Fensterachsen abgestimmt. (Fig.13)

Der Zwischenraum ist so aufgeteilt, daß sich schachtförmige Fassadenbereiche mit geschlossener Innenschale und kastenfensterartige Fassadenbereiche mit Öffnungsflügeln auf der Fassadeninnenseite abwechseln. Der konstruktive Aufbau stellt somit eine Kombination aus unsegmentierter Zweite-Haut-Fassade im Schachtbereich und Kastenfensterfassade im Öffnungsflügelbereich dar.

Der wesentliche Vorzug dieser Fassadenvariante besteht darin, daß der Luftwechsel der angrenzenden Räume unter Zuhilfenahme natürlicher Prinzipien unterstützt wird (Unterdruckbildung durch thermischen Auftrieb).

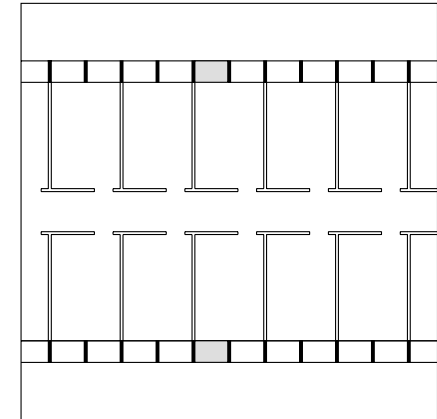


Fig. 13: Grundriß Schachtfassade

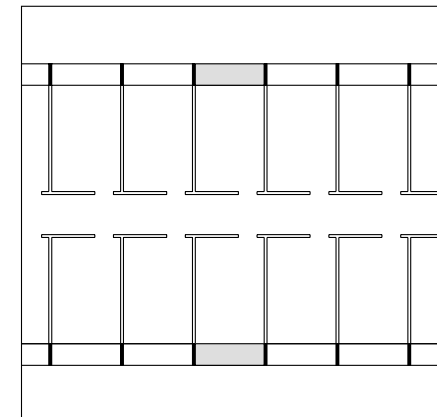


Fig. 14: Schachtfass. m. Raumachsenbezug

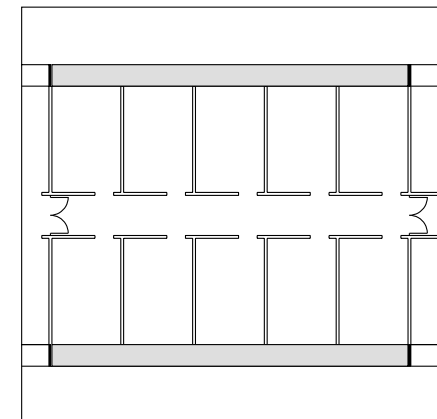


Fig. 15: Unterteilung bezogen auf die Brandschutzachsen

Die Zufuhr von Außenluft erfolgt im unteren Bereich des Kastenfensters, in welchem auch die Öffnungsflügel zu dem angrenzenden Raum angeordnet sind. Die Abluftöffnungen befinden sich im oberen Bereich der seitlichen Trennwand zu dem Fassadenschacht, der aufgrund des Thermosyphoneffekts unter leichtem Unterdruck steht. Hierdurch wird die verbrauchte Luft abgesaugt, wobei gleichzeitig die Zufuhr von Außenluft begünstigt wird. Doch auch hier bestehen in gewissem Umfang brandschutztechnische Probleme, die Gefahr der Durchmischung von Zu- und Abluft bei ungünstigen Witterungsverhältnissen sowie das Problem der internen Schallübertragung.

- Unterteilung auf die Raumachsen abgestimmt (Fig.14)

Eine raumachsenbezogene Unterteilung gewährleistet eine Trennung des Fassadenzwischenraumes in brand- und schallschutztechnischer Hinsicht, was durch eine Kombination mit einer geschoßweisen Unterteilung in seiner Wirkung noch deutlich erhöht wird. Allerdings ergibt sich hier eine sehr geringe Flexibilität im Hinblick auf die Einteilung der Geschoßflächen mit unterschiedlichen Raumgrößen oder die spätere Anpassung der Raumachsen an sich ändernde Nutzerbedürfnisse.

- Unterteilung auf Brandabschnitte abgestimmt (Fig.15)

Die Abschottung des Fassadenzwischenraumes in regelmäßigen Abständen hat im wesentlichen brandschutztechnische Vorteile, ohne daß die interne Schallübertragung benachbart angeordneter Büros unterbunden wird, wie dies bei der raumbezogenen Unterteilung der Fall ist. Die Kombination von Lüftungschacht und Kastenfenster, wie sie bei einer engliegenden Unterteilung üblich ist, läßt sich hier allerdings aus strömungstechnischen Gründen nicht realisieren.

- Kastenfensterfassade

In baukonstruktiver Hinsicht stellt dieser Doppelfassadentyp die aufwendigste Variante dar, da sowohl eine geschoßweise, horizontale Trennung als auch eine schachtartige Trennung des Fassadenzwischenraumes erfolgt. Ähnlich dem traditionellen Kastenfenster stellt das einzelne Fensterelement eine in sich geschlossene Einheit dar, die in lüftungstechnischer Hinsicht nicht mit den benachbarten Elementen in Verbindung steht.

Jede dieser Fassadeneinheiten hat eigene Zuluft- und Abluftöffnungen, wobei die Gefahr der Überlagerung der Zu- und Abluftströme übereinanderliegender Segmente, ähnlich wie bei der Korridorfassade, durch diagonal versetzte Lüftungsöffnungen verringert werden kann.

Die wichtigsten Vorzüge dieses Fassadentypus liegen in der Vermeidung von bauphysikalischen Problemen wie Brand- und Schallschutz, da die Positionierung der vertikalen und horizontalen Trennelemente in der Regel auf den dahinterliegenden Raum, und damit auf den Nutzer abgestimmt ist. Im Gegensatz zu unsegmentierten Zweite-Haut-Fassaden und Schachtfassaden ist die Durchströmung des Fassadenzwischenraumes aufgrund des thermischen Auftriebs sehr eingeschränkt, weshalb zur Vermeidung von Überhitzungsproblemen auf ausreichend dimensionierte Lüftungsöffnungen geachtet werden muß.

### 3. Weitere Unterscheidungsmerkmale von mehrschaligen Glasfassadensystemen

Die in den folgenden Abschnitten dargestellten Unterscheidungskriterien von mehrschaligen Glasfassaden zeigen weitere konstruktive Merkmale auf, die entscheidenden Einfluß auf funktionale und gestalterische Eigenschaften haben. Da sie jedoch in bezug auf die Typologie von untergeordneter Bedeutung sind, werden diese unabhängig von der in Fig. 1 aufgezeigten Systematik behandelt.

#### 3.1 Ausführung der Doppelfassade hinsichtlich der Verglasungsart

Hier ergeben sich folgende Kombinationsmöglichkeiten, die funktional zum Teil sehr unterschiedliche Eigenschaften besitzen.

#### 3.1.1 Einfachverglasung außen und innen

Dieser Fassadenaufbau findet sich in der Regel bei traditionellen Winterfenstern, Kastenfenstern und Pufferfassaden. Wie bereits erläutert, dient das Vorsetzen einer zweiten Glashaut der Verbesserung des Wärmeschutzes, wobei die Lüftungsfunktion bei Kastenfenstern unmittelbar gewährleistet ist, während bei Pufferfassaden die Lüftung über separate Lüftungselemente erfolgt.

#### 3.1.2 Einfachverglasung außen - Isolierverglasung innen

Die Lage der thermischen Trennebene auf der Innenseite der Doppelfassade erlaubt die Durchströmung des Fassadenzwischenraumes mit Außenluft, ohne erhöhte Transmissionswärmeverluste in Kauf nehmen zu müssen. Dieser Aufbau findet sich in der Regel bei allen Varianten der Zweite-Haut-Fassaden.

Aufgrund der Anordnung der Einfachverglasung an der Außenseite kühlt die äußere Glasschale bei niedrigen Außenlufttemperaturen sehr schnell ab. Gelangt bei Fensterlüftung warme, feuchte Raumluft in den Fassadenzwischenraum, so kann es bei unzureichender Durchlüftung zu Kondensatbildung an der Innenseite der äußeren Glasschale kommen. Bei Erwärmung der Glasoberfläche aufgrund von Sonneneinstrahlung, nach dem Schließen der Lüftungsöffnungen in der inneren

Fassadenschale oder einer verstärkten Durchlüftung des Fassadenzwischenraumes trocknet das Kondensat in der Regel allerdings rasch wieder ab.

### 3.1.3 Isolierverglasung außen - Einfachverglasung innen

Die thermische Trennebene liegt auf der Außenseite der Doppelfassade, um bei einer mechanischen Durchlüftung des Fassadenzwischenraumes mit erwärmter Raumluft die Transmissionswärmeverluste bei niedrigen Außentemperaturen gering zu halten. Dieser Fassadenaufbau findet sich bei Abluffassaden von Verwaltungsbauten, die an stark emissions- und/oder windbelasteten Standorten liegen, weshalb eine unmittelbare Zufuhr von Außenluft wenig sinnvoll erscheint.

### 3.1.4 Isolierverglasung außen und innen

Diese Fassadenvariante stellt eine Sonderform dar und kann in Abhängigkeit von der Steuerbarkeit des Luftwechsels als Kombination von Pufferfassade, Abluffassade und Zweite-Haut-Fassade angesehen werden. In konstruktiver Hinsicht ist diese Variante zu den aufwendigeren Fassadensystemen zu zählen, die die folgenden Vorteile der drei genannten Doppelfassadensysteme miteinander kombiniert:

- hoher Wärmedurchgangswiderstand
- hoher Schallschutz

- Durchströmung des Scheibenzwischenraumes mit Außenluft ermöglicht natürliche Lüftung und Abfuhr der Strahlungswärmegewinne im Scheibenzwischenraum

Auch hier ist auf Kondensatbildung zu achten, allerdings an der Außenseite der äußeren Isolierglasscheibe. Aufgrund des sehr hohen Wärmedurchgangswiderstandes dieses Fassadensystems kühlt die äußere Glasoberfläche bei niedrigen Außenlufttemperaturen vor allem nachts bei klarem Himmel sehr stark ab, wodurch es zu Kondensat- bzw. Rauhreifbildung an der Glasoberfläche kommen kann.

### 3.2 Abstand der Schalen

Dieses Unterscheidungs- und Einteilungskriterium ist in erster Linie hinsichtlich technischer Teilaspekte wie Konstruktion, Montagetechnik und Reinigung relevant und bestimmt die Nutzungsmöglichkeiten des Fassadenzwischenraumes. Doppelfassaden wie Puffer- und Abluffassaden haben in der Regel einen Schalenabstand bis zu 60 cm. Bei Zweite-Haut-Fassaden kann der Schalenabstand deutlich darüber liegen, wenn eine temporäre oder permanente Nutzung ermöglicht werden soll.

#### 3.2.1 Schalenabstand kleiner 30 cm

Das Minimum für den Abstand der beiden Schalen liegt aus montage-technischen Gründen bei 4 cm; die Integration eines Sonnenschutzes,

wie z.B. eines Lamellenraffstores, zwischen innerer und äußerer Fassadenschale ist erst ab einem Abstand von ca. 6 - 8 cm möglich. (Fig.16) Die Reinigung der Glasoberflächen im Fassadenzwischenraum kann schwierig werden, wenn der innere Flügel nicht vollständig zu öffnen ist. [10]

#### 3.2.2 Schalenabstand 30 bis 60 cm

Integration eines Sonnenschutzes und Reinigung der raumzugewandten Glasflächen sind unproblematisch; der Fassadenzwischenraum ist bei einer Tiefe unter 60 cm nicht begehbar. (Fig.17)

#### 3.2.3 Schalenabstand über 60 cm

Sonnenschutz und Reinigungsmöglichkeit wie oben; der Fassadenzwischenraum ist begehbar. Abhängig vom Schalenabstand und der Ausführung der äußeren Fassade ist eine temporäre Nutzung möglich. (Fig.18)

### 3.3 Steuerung des Luftwechsels bei Zweite-Haut-Fassaden

Im Gegensatz zu Abluft- und Pufferfassaden besteht bei Zweite-Haut-Fassaden die Möglichkeit, einen unmittelbaren Luftaustausch zwischen innen und außen zu gewährleisten.

Da die Versorgung des Gebäudeinneren mit Zuluft eine zentrale Funktion der Fassade darstellt, zugleich aber der Energieverbrauch eines Gebäudes sehr eng mit der Art und den Steuerungsmöglichkeiten des Luftaustausches verknüpft ist, sollen

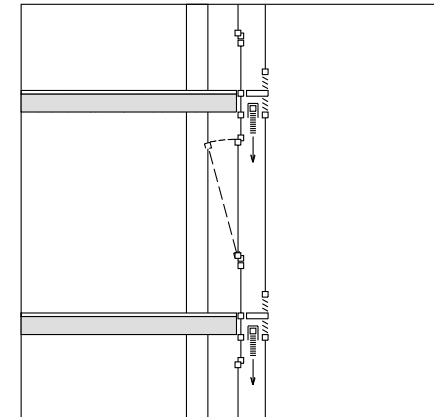


Fig. 16: ZHF mit Scheibenabstand < 30 cm

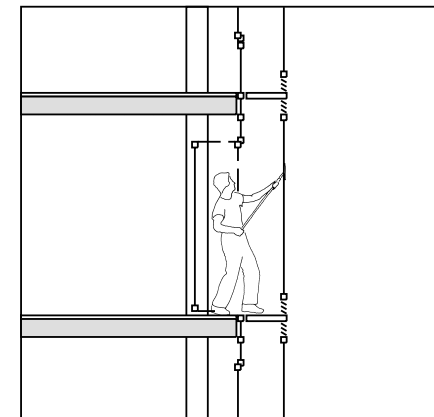


Fig. 17: ZHF mit Scheibenabstand 30 - 60 cm

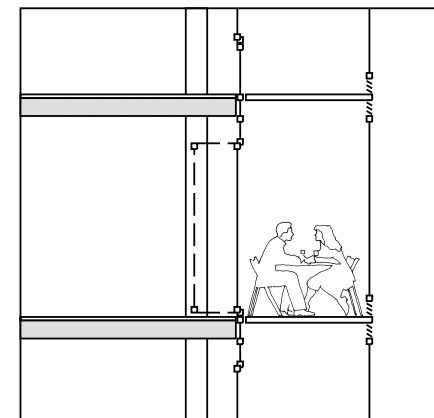


Fig. 18: ZHF mit Scheibenabstand > 60 cm

diese Steuerungsmöglichkeiten bei Zweite-Haut-Fassaden näher untersucht werden.

### 3.3.1 Zweite-Haut-Fassade mit geschlossener Außenhaut

Diese Fassadenvariante stellt eine Sonderform dar, bei der die Zuluft mechanisch über ein Lüftungssystem in den Fassadenzwischenraum eingeblasen wird. (Fig.19) Häufiger Grund für die Verwendung dieses Fassaden- und Lüftungssystems ist die Lage des Gebäudes an schadstoff- und/oder schallemissionsreichen Hauptverkehrsadern, die eine direkte Öffnung der Fassade nicht sinnvoll erscheinen läßt.

### 3.3.2 Zweite-Haut-Fassaden mit permanenter Durchlüftung

Zweite-Haut-Fassaden mit Dauerhinterlüftung stellen baukonstruktiv gesehen die geringsten Anforderungen, da weder in besonderem Maße auf hohe Fugendichtigkeit der Außenschale geachtet noch aufwendige Klappen- und Steuerungsmechanismen in die Fassade integriert werden müssen. (Fig.20)

Zu- und Abluftöffnungen befinden sich häufig an der Unter- und Oberseite des Fassadenzwischenraumes, wodurch eine natürliche Durchströmung, unterstützt durch thermischen Auftrieb, ermöglicht wird.

Im Vergleich zu Zweite-Haut-Fassaden mit regulierbarer Durchlüftung lassen sich allerdings kaum Energiespareffekte erzielen.

Zudem wird der Schallschutz gegenüber einschaligen Fassadensystemen nur geringfügig erhöht.

Dennoch hat dieser Fassadentyp den großen Vorteil, daß bei höheren Gebäuden eine Fensterlüftung über einen großen Zeitraum des Jahres möglich ist. Ähnlich konventionellen Fassadensystemen mit außenliegendem Sonnenschutz ist auch hier die Schattierungseinrichtung außerhalb der thermischen Trennebene angebracht, weshalb es kaum zu höheren Kühllasten im Vergleich zu herkömmlichen Fassaden mit außenliegendem Sonnenschutz im Sommer kommt.

### 3.3.3 Zweite-Haut-Fassaden mit regulierbarer Durchlüftung

Hier besteht die Möglichkeit, den Fassadenzwischenraum lufttechnisch von der Außenluft abzuschließen, wodurch - ähnlich einer Pufferfassade - ein nicht hinterlüfteter Bereich mit guten Wärmeschutzeigenschaften entsteht, was sich gerade in der kalten Jahreszeit - vor allem nachts - positiv bemerkbar macht. (Fig.21) Gleichzeitig wird der Schallschutz gegenüber der hinterlüfteten Variante bei geschlossenen Zu- und Abluftöffnungen deutlich erhöht, was aber aufgrund des dabei unterbundenen Luftaustauschs während der Betriebszeiten des Gebäudes nur befristet möglich sein wird. [11]

## 3.4 Lage der Zuluft- und Abluftöffnungen bei Zweite-Haut-Fassaden

Die Anordnung der Lüftungsöffnungen in der äußeren Schale bei Zweite-Haut-Fassaden hängt sehr stark von der Segmentierung des Fassadenzwischenraumes ab und hat zum Ziel, einerseits eine optimale Durchströmung des Fassadenzwischenraumes zu gewährleisten, andererseits das Durchmischen von Zuluft und Abluft zu vermeiden.

Folgende Anordnungsvarianten sind möglich:

### 3.4.1 Lüftungsöffnungen übereinander, diagonal versetzt

Diese Anordnung findet man vor allem bei Korridor- und Kastenfensterfassaden, bei denen die Zu- und Abluftöffnungen auf derselben Höhe liegen. Der diagonal angeordnete Versatz zweier im Verbund wirkender Fassadenfelder dient der Trennung von Zu- und Abluft, wobei abhängig von den Luftströmungen an der Außenhaut des Gebäudes eine geringfügige Durchmischung nicht vollständig auszuschließen ist.

### 3.4.2 Lüftungsöffnungen übereinander, mit Abstand

Anwendungsbereich und Funktionsweise sind sehr ähnlich wie bei diagonalem Versatz der Zu- und Abluftöffnungen. Aufgrund der Anordnung dieser Öffnungen stellt jedes Fassadenfeld eine in lüftungstechnischer Hinsicht unabhängige Einheit dar, wodurch sich Raumtrennwände an

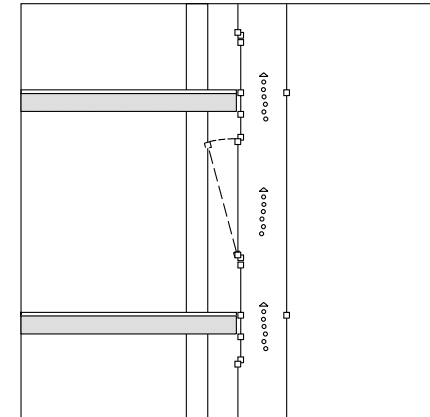


Fig. 19: ZHF mit geschlossener Außenhaut

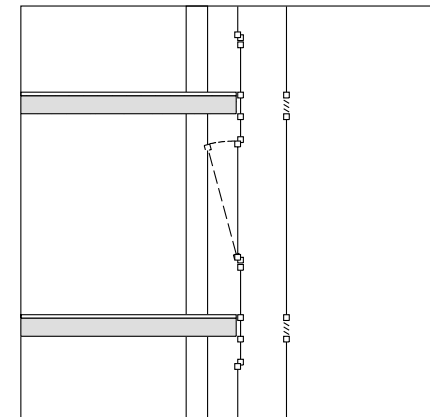


Fig. 20: ZHF mit permanenter Durchlüftung

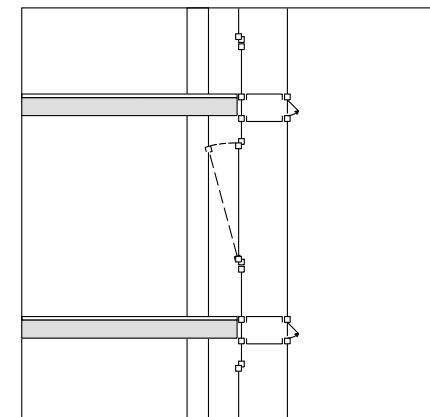


Fig. 21: ZHF mit regelbarer Durchlüftung

jedem Fassadenpfosten anschließen lassen und eine hohe Flexibilität in der Raumeinteilung erreicht wird.

### 3.4.3 Schachtsystem

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt erläutert, liegen bei diesem System die Zu- und Abluftöffnungen in räumlich getrennten Bereichen. Die Zuluft strömt in jedem Geschoß in der unteren Zone des Kastenfensters ein. Die Abluft wird im oberen Bereich des Kastenfensters über Öffnungen in den seitlichen Trennelementen in den gläsernen Abluftschacht geführt. Aufgrund des thermischen Auftriebs steigt die erwärmte Raumluft im Abluftschacht auf und verläßt das Gebäude im Bereich des Dachrandes. Dieses System verbindet die Vorteile der Kastenfensterfassade, wie das Unterbinden von Schall- und Rauchübertragung von Raum zu Raum, mit Lüftungstechnischen Vorteilen, da der thermisch bedingte Auftrieb im Schacht durch Sonneneinstrahlung gefördert werden kann. Hierdurch entsteht ein höherer Unterdruck im Schacht, wodurch in Folge verstärkt Außenluft in das Kastenfenster gesogen wird.

### 3.4.4 Äußere Fassadenschale vollflächig zu öffnen

Die Verwendung eines Glaslamellensystems oder großflächig zu öffnender Fensterflügel für die äußere Glasschale von Zweite-Haut-Fassaden erlaubt eine sehr effiziente Durchströmung des Fassadenzwischenraumes, wodurch im Sommer

unerwünschte Wärmegewinne sehr rasch abgeführt werden können.

Glaslamellen oder Fensterflügel lassen sich gewöhnlich stufenlos einstellen, wodurch die Drosselwirkung gegenüber der Windströmung in einem gewissen Umfang gesteuert werden kann. Im Vergleich zu Zweite-Haut-Fassaden mit durchgehenden Glasscheiben weisen diese Fassaden jedoch eine höhere Fugenundichtigkeit auf, weshalb beim Auftreten von sehr hohen Windgeschwindigkeiten die Anwendung dieser Fassadenvariante genau untersucht werden sollte.

## 4. Zusammenfassung

Doppelschalige Fassadensysteme weisen in Abhängigkeit von ihrer konstruktiven Ausbildung ein sehr großes Spektrum funktionaler Eigenschaften auf, die den Einsatz dieses Fassadentyps im Vergleich zu einschaligen Fassaden vorteilhaft erscheinen läßt. Argumente, die für den Einsatz sprechen, sind

- Ermöglichung von natürlicher Lüftung bei stark windbelasteten Standorten
- Vermeidung des Sick-Building-Syndroms aufgrund erweiterter Möglichkeiten zur natürlichen Lüftung unter Einflußnahme des Nutzers
- Erhöhter Komfort aufgrund höherer Oberflächentemperaturen der inneren Fassadenoberfläche bei kalter Witterung

- Verbesserung des Energiehaushaltes durch mögliche Nachtauskühlung bei Gebäuden mit exponierten Speichermassen
- Verbesserte Einsatzmöglichkeiten von Komponenten zur Tageslichtsteuerung, Sonnen-, Blend-, und Wärmeschutz aufgrund des Witterungsschutzes im Fassadenzwischenraum
- Verbesserter Schallschutz an emissionsreichen Standorten

Diesen Argumenten, die für die Verwendung von Doppelfassaden sprechen, werden sehr häufig Wirtschaftlichkeitsberechnungen entgegengehalten, die auf die mangelnde 'Rentabilität' der zweiten Schale hinweisen. Aber auch Aussagen zur Wirtschaftlichkeit müssen wie die Diskussion von funktionalen oder konstruktiven Teilaspekten stets das Gebäude als Ganzes betreffen.

Vor einer sogarteten, zu engen Betrachtungsweise sei daher ausdrücklich gewarnt, denn Rentabilitätsberechnungen dürfen sich nicht allein an Investitions- und Betriebskosten orientieren, sondern müssen Nutzerzufriedenheit, Produktivität der Mitarbeiter und Einsparmöglichkeiten bei den (viel kurzlebigeren) RLT-Anlagen und Heizungssystemen unbedingt einbeziehen, um ein vollständiges Bild zu erhalten.

Im Rahmen dieser Typologie wurde versucht, die große Bandbreite der unterschiedlichen doppelschaligen Glasfassaden darzustellen.

Es wurden konstruktive Merkmale aufgezeigt, ihre Bedeutung für die funktionalen Eigenschaften herausgearbeitet und in einer Systematik gegenübergestellt.

Es wird deutlich, daß aufgrund der großen Vielfalt in jedem Einzelfall eine genaue Definition des Anforderungsprofils hinsichtlich der Funktionen der Doppelfassade unabdingbar ist, um bei den Entscheidungen zur Ausführungsform eine befriedigende Lösung in allen Teilbereichen zu gewährleisten. Der Erfolg der Anwendung von Zweite-Haut-Fassaden hängt in besonderem Maße von der Qualifikation der beteiligten Planungspartner ab, die dieses Fassadensystem keinesfalls als isoliertes Subsystem, sondern als Teil des gesamten Gebäudes in seiner Wechselwirkung mit dem Benutzer, der Gebäudetechnik, der baulichen Konstruktion und dem Energiehaushalt sehen müssen.

## Anmerkungen

- [1] Kröling, Peter. "Das Sick-Building-Syndrom in klimatisierten Gebäuden: Symptome, Ursachen und Prophylaxe". Innenraum Belastungen: erkennen, bewerten, sanieren. Wiesbaden [u.a.]: Bauverlag 1993. S. 22-37.
- [2] Ein erster Versuch einer Gegenüberstellung zweischaliger Fassadensysteme im Hinblick auf das Lüftungskonzept findet sich in: Heusler, Winfried, und Compagno, Andrea. "Mehrschalige Fassaden". Fassade - Facade 1 (1998): S. 15-21
- [3] Eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema Zwischentemperaturbereich und Gebäudehüllen findet sich in: Herzog, Thomas, und Natterer, Julius, Hg. Gebäudehüllen aus Glas und Holz. Maßnahmen zur energiebewußten Erweiterung von Wohnhäusern. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes, 1986.
- [4] Erste Hinweise auf diese Konstruktionsart gehen auf Schriften zur Baukonstruktion aus dem Jahr 1691 zurück (Davilers: Cours d'Architecture), wobei im deutschen Sprachraum erste Zeugnisse aus den Jahren 1725 und 1730 stammen.  
Siehe: Lietz, Sabine. Das Fenster des Barock. München, Berlin: Deutscher Kunstverlag, 1982. S. 123.
- [5] Zimmermann, Markus. "Fenster im Fenster". Detail 4 (1996): S. 484-489.
- [6] Eine ausführliche Darstellung der wesentlichen Wechselwirkungen von Energieübertragung und Speicherung findet sich in: Herzog, Thomas, und Natterer, Julius, Hg. Gebäudehüllen aus Glas und Holz. Maßnahmen zur energiebewußten Erweiterung von Wohnhäusern. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes, 1986. S. 4 - 11.
- [7] In Abhängigkeit von Standort und Gebäudeausführung kann davon ausgegangen werden, daß bei Verwaltungsbauten die Laufzeiten mechanischer Belüftungsanlagen bei der Ermöglichung natürlicher Lüftung auf 35% der Betriebszeit des Gebäudes reduziert werden können. Siehe: Daniels, Klaus. "Gebäudetechnik für die Zukunft - "weniger ist mehr", Werkbericht 12. München: Selbstverlag, 1994. S. 39-53.
- Bezüglich der notwendigen Betriebszeiten der RLT-Anlagen kann davon ausgegangen werden, daß an Tagen, an denen die Außenlufttemperaturen zwischen 5°C und 22°C liegen auf den Einsatz dieser Anlagen verzichtet werden kann. Für den Standort Düsseldorf trifft dies für 63% der Betriebsstunden zu. 29% des Jahres ist es während der Betriebsstunden kälter als 5°C, Temperaturen über 22°C liegen nur zu 8% der Betriebszeiten des Jahres vor.
- Siehe: Thiel, Dieter. "Doppelfassaden - ein Bestandteil energetischer optimierter und emissionsarmer Bürogebäude". Innovative Fassadentechnologie, Tagungsband des 'Workshops Lichtlenkende Bauteile' und des 'Internationalen Forums Innovative Fassadentechnologie'. Hg. von dem Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln, Köln: Selbstverlag, 1995. S. 30.
- [8] Erste Hinweise auf die Wirkungsweisen und Einsatzmöglichkeiten mehrschaliger luftdurchströmter Glaswände finden sich bereits 1929 in Le Corbusiers Aufsatz "Die Technik als Grundlage des Lyrismus eröffnet eine neue Epoche in der Architektur" vom 5. Oktober 1929. Siehe: Le Corbusier 1929 - Feststellungen zu Architektur und Städtebau. Bauwelt Fundamente 12. 2. Aufl. Braunschweig [u.a.]: Vieweg, 1987. S. 70-72.
- [9] Ein Überblick zu Möglichkeiten der Luftverbesserung durch interne Bepflanzung findet sich in: Daniels, Klaus. Technologie des Ökologischen Bauens. Basel [u.a.]: Birkhäuser, 1995. S. 194-197.
- [10] Faist, André. Facade double-peau. Incidence de la typologie des facades double-peau sur leurs performances énergétiques et en physique du bâtiment. Partie 1: Typologie. Hg. École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Lausanne: Selbstverlag 1995. S. 5.
- [11] Nach Angaben des Ingenieurbüros Drees & Sommer liegt die Verbesserung des Schallschutzes bei permanent hinterlüfteten Fassaden bei etwa 5 - 10 dB, bei regulierbarer Durchlüftung liegt dieser Wert bei 20 - 30 dB. Während bei einer hinterlüfteten Zweite-Haut-Fassade kaum Energiespareffekte zu erwarten sind, ergibt sich bei regulierbarer Durchlüftung eine Verbesserung des Wärmeschutzes um 30 - 50%.  
Siehe: Oesterle, Eberhard. "Doppelschalige Fassaden, ein Konzept der Zukunft?". Deutsches Architektenblatt (DAB) 9 (1994): S. 1397-1400.

## Teil 2

### Energiehaushalt von Verwaltungsgebäuden

#### Vorbemerkung

In dem ersten Teil dieser Untersuchung zur Konstruktion von Doppelfassaden bei hohen Häusern wurden anhand einer Typologie unterschiedliche Doppelfassadensysteme vorgestellt und ihre wesentlichen funktionalen, gestalterischen und konstruktiven Eigenschaften bestimmt.

Da das Ziel dieser Arbeit die Optimierung von Zweite-Haut-Fassaden hinsichtlich des Energieverbrauchs von hohen Verwaltungsbauten darstellt, werden in dem folgenden zweiten Teil die relevanten Kenngrößen für den Energieverbrauch von Verwaltungsgebäuden und dessen Optimierungspotential dargestellt.

Dies dient einerseits der Klärung der Wechselwirkung von nutzungsbedingten Anforderungen, witterungsbedingten Einflüssen und Gebäudehülle. Andererseits stellen diese Untersuchungen die Basis für die anschließende Parameterstudie der verschiedenen Fassadenkomponenten dar, um deren Potential hinsichtlich der Steuerung des Energieverbrauchs von Verwaltungsbauten bezogen auf den Fassadentyp der Zweite-Haut-Fassade aufzeigen zu können. In Fig. 1 sind die wesentlichen Faktoren für den Energieverbrauch von Verwaltungsgebäuden gegenübergestellt.

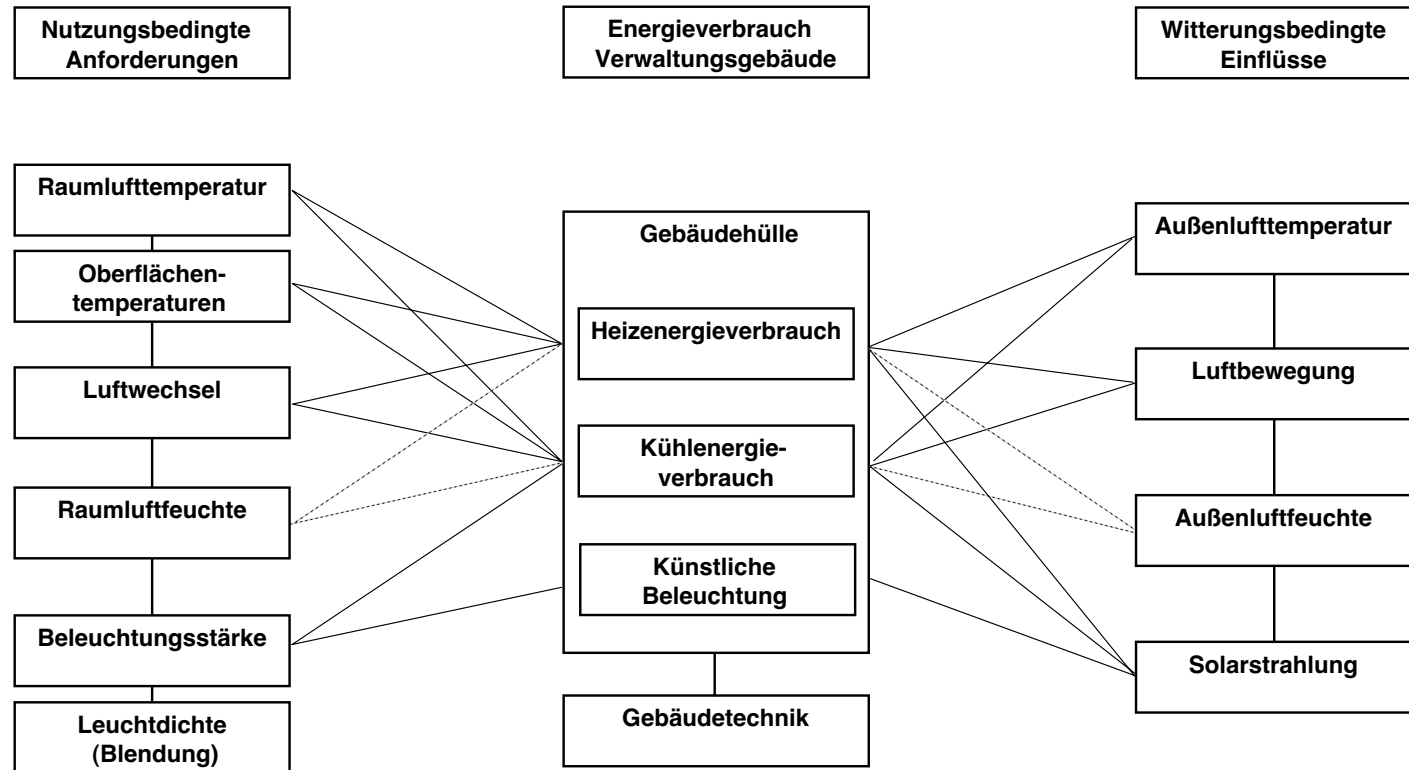


Fig. 1: Einflussfaktoren für den Energieverbrauch von Verwaltungsgebäuden

Hauptkriterien sind dabei die nutzungsbedingten Anforderungen, aus welchen Vorgaben für den angestrebten Komfort im Inneren des Gebäudes abgeleitet werden können.

Diesen Anforderungen stehen die Witterungsbedingungen gegenüber. Der Gebäudehülle kommt dabei die Aufgabe zu, auf die außerhalb des Gebäudes herrschenden Konditionen, soweit nötig, zu reagieren, um im Gebäudeinneren einen behaglichen Zustand zu gewährleisten.

Die Gebäudetechnik ist als unterstützendes System zu verstehen, welches in Ergänzung zur Gebäudehülle das Innenklima beeinflusst.

#### 1. Nutzungsbedingte Anforderungen

Die nachstehend genannten Behaglichkeitsfaktoren sind keineswegs als unabhängige Größen anzusehen, sondern stehen in enger Beziehung zueinander. So ist die als behaglich empfundene Raumlufthtemperatur in starkem Maße von der relativen Raumlufffeuchte, der Temperatur der Umschließungsflächen

oder der Luftbewegung im Raum abhängig. Die wesentlichen raumbestimmten Einflußgrößen sind:

##### 1.1 Raumlufthtemperatur

Der in DIN-Normen und VDI-Richtlinien festgelegte Behaglichkeitsbereich für die Raumlufthtemperatur liegt zwischen  $+20^{\circ}\text{C}$  und max.  $+25^{\circ}\text{C}$ ; im Sommer werden Werte bis max.  $+27^{\circ}\text{C}$  als gerade noch akzeptabel eingestuft. [1]



Trotz dieser Vorgaben werden Raumlufttemperaturen auch noch bis +18°C als behaglich empfunden, wenn die innere Wandoberflächen-temperatur und die relative Raumluftfeuchte entsprechend abgestimmt sind.

### 1.2 Mittlere Temperatur der umgebenden Oberflächen

Die mittlere Oberflächentemperatur sollte sich nach Möglichkeit nicht um mehr als 2 - 3 K von der Raumlufttemperatur unterscheiden; die Oberflächentemperaturen der Umschließungsflächen sollten nicht mehr als 3 - 4 K voneinander abweichen. [2]

### 1.3 Luftwechselrate

Während bei nicht benutzten Räumen eine Mindestluftwechselrate von 0,3 1/h ausreicht, liegt dieser Wert während der Arbeitszeit bei 1,1 1/h, was einem Außenluftstrom von 40-60 m<sup>3</sup>/h pro Person entspricht. [3] Für den Mindestquerschnitt für Zu- und Abluftöffnungen geben die Arbeitsstättenrichtlinien bei natürlicher Lüftung 200 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> Bodenfläche an. [4]

Gleichzeitig ist darauf zu achten, daß die Luftgeschwindigkeit den Wert von 0,15 m/s nicht überschreitet, damit Zugerscheinungen vermieden werden. [5]

### 1.4 Relative Raumluftfeuchte

Abhängig von der Raumlufttemperatur schwankt der Bereich der relativen Raumluftfeuchte, der als behaglich empfunden wird, zwischen 30%

und 70%. [5] Nach Grandjean [6] ist der Spielraum der als behaglich empfundenen relativen Luftfeuchte jedoch deutlich geringer, und liegt in einem Bereich von 40 - 60 %.

### 1.5 Beleuchtungsstärke

Richtwerte für die Beleuchtung von Arbeitsstätten finden sich sowohl in DIN 5035, Teil 2, als auch in der Arbeitsstättenrichtlinie ASR 7/3 zur künstlichen Beleuchtung von Räumen. Hierin werden Nennbeleuchtungsstärken in Abhängigkeit von der Tätigkeit, dem Raumzuschnitt und der Nähe des Arbeitsplatzes zu Fenstern angegeben. Typische Werte liegen bei 300 lux für Arbeitsplätze in Fensternähe, 500 lux bei gewöhnlichen Zellenbüros und 700 lux bei Großraumbüros mit hohem Reflexionsgrad der Oberflächen bzw. 1000 lux bei Großraumbüros mit mittlerem Reflexionsgrad der Oberflächen. Durch diese Forderungen wird der Bedarf an Tageslicht bzw. Kunstlicht klar definiert. Ziel einer energetisch optimierten Planung ist daher die Maximierung der Tageslichtnutzung bei gleichzeitiger Minimierung des Wärmeeintrages durch Solarstrahlung. Der Einsatz von Kunstlicht verursacht neben dem direkten Verbrauch elektrischer Energie eine Erhöhung der Kühllasten, die wiederum mit erhöhtem energetischen Aufwand abgeführt werden müssen.

### 1.6 Leuchtdichte

Während für die Qualität der Raumbeleuchtung neben Beleuchtungs-

stärke und Blendung weitere Faktoren wie Lichtrichtung und Farbwidrigkeit entscheidend sind, spielt bezogen auf den Wärmehaushalt von Verwaltungsgebäuden - das Vermeiden von Blendung eine große Rolle. Zu beachten ist dabei besonders, daß die Leuchtdichte des Umfelds etwa 2/3 bis 1/10 der In-feldleuchtdichte ausmachen sollte. [7]

Vergleicht man die allgemein übliche Beleuchtungsstärke bei Büronutzung von 500 lux mit der Helligkeit des klaren Himmels von 100.000 lux bzw. dem Jahresmittelwert von 10.000 lux, wird erkennbar, welche Bedeutung einem ausreichenden Blendschutz zukommt. Wichtig ist dabei die Ausführungsform und die Lage des Blendschutzes, um ausreichend Tageslicht blendfrei und in gleichmäßiger Verteilung in den Raum einzubringen und zusätzliche Kühllasten vom Rauminnen fernzuhalten.

## 2. Witterungsbedingte Einflüsse

### 2.1 Außenlufttemperatur

Abhängig vom Standort des Gebäudes schwankt die Außenlufttemperatur im Jahres- und Tagesverlauf beträchtlich. Während die mittleren monatlichen Außenlufttemperaturen von -3,2°C im Januar bis +17,2°C im Juli reichen [8], liegen die Werte für die absoluten Außenlufttemperaturen deutlich darüber bzw. darunter. So werden am Standort München im Winter- bzw. Sommerhalb-

jahr Werte von bis zu -17°C bzw. +34°C erreicht. Dies entspricht einer Schwankungsbreite im Jahresverlauf von mehr als 50 K. [9]

Im Tagesverlauf sind ebenfalls deutliche Temperaturschwankungen zu verzeichnen, die gewöhnlich bei 10 K liegen, in extremen Fällen jedoch bis zu 20 K ausmachen können. [10] Da die Werte für die Außenlufttemperatur für gewöhnlich im Schatten erfaßt werden, liegt die Schwankungsbreite bei Fassadenflächen, die der direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt sind und sich dabei sehr stark erwärmen können, sowohl im Tages- als auch Jahresverlauf deutlich darüber.

Grundlage für die Berechnung von Kühllasten ist die Außenlufttemperatur im Sommer, die nach VDI Richtlinie 2078 in der BRD mit Ausnahme des norddeutschen Küstengebietes mit maximal +32°C angesetzt wird.

Als Grundlage zur Berechnung des Wärmebedarfs dient die sogenannte 'Isothermenkarte', die das tiefste Zweitagesmittel der Lufttemperatur in °C nach DIN 4701 angibt. Diese Temperatur liegt in München bei -16°C. [11]

### 2.2 Luftbewegung

Der Einfluß von Wind auf den Energiehaushalt von Gebäuden hängt in starkem Maße vom konstruktiven Aufbau sowie der Fugendichtigkeit der Außenhaut ab. Erhöhter Winddruck und -sog wirken sich unmittelbar auf den durch Undichtigkeiten der Gebäudehülle bedingten

Luftwechsel aus, da die Lüftungswärmeverluste erhöht werden. Zudem wird durch das Anströmen der Gebäudeoberflächen mit Kaltluft der Wärmeübergangswiderstand an der äußeren Oberfläche der Außenwand deutlich herabgesetzt, wodurch die Transmissionswärmeverluste vergrößert werden.

### 2.3 Außenluftfeuchte

Die relative Feuchte der Außenluft beeinflusst in unseren Breiten lediglich auf indirekte Weise den Energiebedarf von Gebäuden, da die Schwankungsbreite der Außenluftfeuchte in einem für Menschen zuträglichen Bereich liegt.

Allerdings muß während der kalten Jahreszeit davon ausgegangen werden, daß aufgrund des geringen Feuchtegehalts der Außenluft bei Temperierung des Innenraumes die relative Luftfeuchtigkeit unter 40% fallen kann, wodurch gerade bei klimatisierten Verwaltungsbauten ein zusätzlicher Energiebedarf durch das notwendige Befeuchten der Zuluft entsteht. Dies ist im Sommer bei Kühlung der Zuluft in umgekehrter Weise der Fall, da aufgrund hoher Außenluftfeuchte die zu kühlende Luft getrocknet werden muß, bevor diese in den Raum einströmt, um eine unangenehm hohe relative Raumluftfeuchte zu vermeiden.

### 2.4 Solarstrahlung

Während die auf die Erdatmosphäre auftreffende Solarstrahlung (Solar-konstante) mit  $1.350 \text{ W/m}^2$  einen gleichbleibenden Wert darstellt, ist

die Globalstrahlung, die sich aus der Summe der direkten und diffusen Sonnenstrahlung zusammensetzt, sowohl im Jahresverlauf als auch im Tagesverlauf witterungsabhängig extremen Schwankungen unterworfen. Entscheidenden Einfluß haben dabei Bewölkungsanteil, Zusammensetzung der Atmosphäre und die Länge des von den Strahlen durchlaufenen Luftweges. Die Werte der Globalstrahlung können bei klarem Himmel in München Werte bis zu  $1.000 \text{ W/m}^2$  erreichen; an einem trüben Tag sinkt dieser Wert auf etwa  $50 \text{ W/m}^2$ .

Die Jahressummen für München liegen bei  $1.088 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , wobei die Tagessummen im Winter und im Sommer um den Faktor 8 voneinander abweichen. In Mitteleuropa ist die in den Monaten November bis Februar auftreffende Strahlung fünfmal geringer als in den Sommermonaten. [12] Da diese Angaben für horizontale Flächen und damit unabhängig von einer Himmelsrichtung gelten, ist bei der Untersuchung von Fassaden eine himmelsrichtungsabhängige Betrachtung notwendig.

Bei Verwaltungsbauten ist aufgrund interner Kühllasten der kritische Zeitraum das Sommerhalbjahr, wobei ab Mitte April bis Anfang August die Gesamtstrahlung auf ost- und westorientierte Fassadenflächen vergleichbar bzw. höher als auf südorientierte Fassaden ist. Nur außerhalb dieses Zeitraums trifft auf Südfassaden deutlich mehr Strahlung auf. [13] So beträgt die durchschnitt-

	Tagessumme Globalstrahlung Südfassade	Tagessumme Globalstrahlung Ost-/Westfassade
Anfang Januar Standort Weihenstephan	1,7 kWh/m <sup>2</sup> d	0,7 kWh/m <sup>2</sup> d
Direktanteil	75%	42%
Diffusanteil	25%	58%
Anfang Juli Standort Weihenstephan	2,9 kWh/m <sup>2</sup> d	3,1 kWh/m <sup>2</sup> d
Direktanteil	31%	37%
Diffusanteil	69%	63%

Tab. 1: Tagessummen der Globalstrahlung auf unterschiedlich orientierte Fassadenflächen für Standort Weihenstephan [14]

liche Tagessumme für eine südorientierte Fassade am Standort Weihenstephan Anfang Januar ca.  $1,7 \text{ kWh/m}^2\text{d}$ , der vergleichbare Wert für ost- und westorientierte Fassaden beträgt etwa  $0,7 \text{ kWh/m}^2\text{d}$ . (Tab. 1)

Anfang Juli beträgt dieser Wert für südorientierte Fassaden etwa  $2,9 \text{ kWh/m}^2\text{d}$ , für ost- und westorientierten Fassaden etwa  $3,1 \text{ kWh/m}^2\text{d}$ . Hierbei liegt der Diffusanteil im Januar bei Südfassaden bei etwa 25%, bei Ost- und Westfassaden dagegen bei 58%. Im Juli liegen diese Werte bei 69% für Südfassaden, bei 63% für Ost- und Westfassaden. [14] Dies bedeutet, daß in den Sommermonaten nicht nur die Strahlungsintensität auf ost- und westorientierte Fassaden vergleichbar

und höher als bei südorientierten Fassaden ist, sondern auch der Anteil der Direktstrahlung, was bei der Planung von Sonnenschutzsystemen eine bedeutende Rolle spielt.

### 3. Energieverbrauch und Gebäudehülle

Eine wesentliche Aufgabe der Gebäudehülle ist es, im Gebäudeinneren einen behaglichen Zustand sicherzustellen.

Aufgrund von jahreszeiten-, tageszeiten- und witterungsabhängigen Änderungen der Außenbedingungen sollte die Gebäudehülle veränderbar sein, um in energetisch optimierter Weise die folgenden Aufgaben erfüllen zu können:

- winterlicher Wärmeschutz
- sommerlicher Wärmeschutz
- Tageslichtnutzung
- Luftaustausch

Die entsprechenden allgemeinen Kennwerte zur Quantifizierung dieser funktionalen Eigenschaften von Fassaden sind:

- k-Wert  
Der Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert) gibt den Wärmedurchgang von Außenwandkonstruktionen in  $W/m^2K$  an. Typische Werte für heutige Isolierglasscheiben liegen bei  $1,4 W/m^2K$ , wobei Gläser mit Spezialfüllungen Werte bis zu  $1,1 W/m^2K$  und darunter erreichen können.
- g-Wert  
Der Gesamtenergiedurchlaßgrad (g-Wert) gibt an, welcher Anteil der auf eine transparente oder transluzente Außenwandkonstruktion auftreffende Solarstrahlung in den Raum weitergegeben wird. Dieser Wert ergibt sich aus der Summe von transmittierter Strahlung und Wärmeabgabe der inneren Scheibe.  
Die g-Werte heutiger Isolierverglasungen liegen in der Regel zwischen 60 und 80 %.
- $\tau_{vis}$ -Wert  
Der Tageslichtdurchlaßgrad ( $\tau_{vis}$ ) gibt an, welcher Prozentsatz der außerhalb eines Gebäudes vorhanden Helligkeit im Inneren gemessen wird.

Ein typischer  $\tau_{vis}$ - Wert für heutige Isolierverglasungen liegt bei etwa 70%.

- z-Wert  
Der Abminderungsfaktor z gibt an, welchen Anteil der auftretenden Strahlungsenergie von einem Sonnenschutzsystem durchgelassen wird.
- Luftwechselrate  
Bestimmung des Luftaustauschs eines Raumes bezogen auf das Raumvolumen, Maßeinheit 1/h

Das Ziel muß es sein, die Gebäudehülle so zu konzipieren, daß die vorherrschenden Außenbedingungen bzw. inneren Kühllasten vollständig ausgeglichen werden können, um einen behaglichen Zustand im Gebäudeinneren ohne den Einsatz von zusätzlicher Energie herzustellen. Da dies in unseren Breiten jedoch (noch) nicht vollständig von der Gebäudehülle geleistet werden kann, ist der Einsatz von gebäudetechnischen Einrichtungen notwendig. Ziel muß es daher sein, den Leistungsanteil der Außenhaut zu maximieren, um den Restenergiebedarf fossiler oder anderer Brennstoffe minimieren zu können.

Dieser zusätzliche Energiebedarf zum Erreichen eines behaglichen Zustandes setzt sich zusammen aus:

- Heizenergieverbrauch
- Kühlenergieverbrauch
- Energieverbrauch für Kunstlicht

Jahr	Transmissionswärmeverluste	Lüftungswärmeverluste	innere Wärmelast
1950	100 $W/m^2$	30 $W/m^2$	-16 $W/m^2$
1977	84 $W/m^2$	30 $W/m^2$	-24 $W/m^2$
1982	54 $W/m^2$	30 $W/m^2$	-32 $W/m^2$
1995	22 $W/m^2$	30 $W/m^2$	-36 $W/m^2$

Tab. 2: Veränderung der Wärmeströme in Verwaltungsbauten von 1950 - 1995 [15]

- Energieverbrauch für klimatechnische Anlagen

Um das Leistungsbild der Gebäudehülle bestimmen zu können, ist es unter anderem notwendig, den Energieverbrauch von Verwaltungsgebäuden näher zu betrachten. Hierbei ist zu beachten, daß sich die durchschnittlichen Wärmeströme von Verwaltungsgebäuden in den letzten 45 Jahren drastisch verändert haben. (Tab. 2)

Dennoch ist auch bei heutigen Verwaltungsbauten von einem durchschnittlichen Gesamtenergieverbrauch von  $400 kWh/m^2a$  auszugehen [16], wobei hier bei Niedrigenergiegebäuden Werte von unter  $130 kWh/m^2a$  erreicht werden können. [17]

### 3.1 Heizenergieverbrauch

Der Anteil des Energieverbrauchs zur Erwärmung der Raumluft in Gebäuden liegt bei etwa 35% des Endenergieverbrauchs der BRD. [18] 1989 lag der Nutzenergieverbrauch

für Raumwärme von Nichtwohngebäuden in den alten Bundesländern bei einer Gesamtfläche von  $910 Mio. m^2$  bei ca.  $135,5 TWh$ , was in etwa  $149 kWh/m^2$  entspricht. Dem steht der Nutzenergieverbrauch für Raumwärme von Wohngebäuden bei einer Gesamtfläche von  $2.198 Mio. m^2$  von  $333,8 TWh$  gegenüber, was etwa  $152 kWh/m^2$  entspricht. [19]

Dieser Heizenergieverbrauch setzt sich zusammen aus dem Verbrauch zur Deckung von

- Transmissionswärmeverlusten sowie
- Lüftungswärmeverlusten

Die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz ergeben sich aus der DIN 4108 [20] und der Wärmeschutzverordnung (WSchVO 1995). [21]

Den Wärmeverlusten stehen bei allen Gebäudearten Wärmegewinne gegenüber, die aus externen und internen Wärmequellen resultieren.

Während der Wärmegewinn aus der Solarstrahlung unabhängig von der Nutzungsart anzusetzen ist, haben interne Wärmequellen, wie z.B. Bürogeräte und künstliche Beleuchtung im Verwaltungsbau eine weitaus höhere Bedeutung als bei Wohnnutzung oder anderen Nutzungsarten. Die Schwankungsbreite des Energieverbrauchs zur Heizung liegt bei heutigen Verwaltungsgebäuden im Durchschnitt zwischen 80 und 150 kWh/m<sup>2</sup>a. [22]

Bei gut gedämmten Verwaltungsgebäuden liegt der Heizwärmebedarf bei -10°C Außentemperatur nur noch bei 15 W/m<sup>2</sup>; bei 0°C ist die Bilanz durch interne Wärmegewinne bereits ausgeglichen. [23]

### 3.2 Kühlenergieverbrauch

Der Kühlenergieverbrauch eines Verwaltungsgebäudes ist abhängig von

- Wärmegewinnen durch Solarstrahlung
- internen Wärmegewinnen
- Luftwechselrate zum Abführen der Wärmegewinne

Die Solarstrahlung auf Fassadenflächen kann abhängig von der Orientierung der Fassade Werte zwischen 400 und 750 W/m<sup>2</sup> erreichen. [24]

Im Gegensatz zu einschaligen Fassaden ist bei Doppelfassaden besonders zu beachten, daß bei ungenügender natürlicher Durchlüftung oder mechanischer Durchströmung mit Luft [25] im Fassadenzwischenraum Lufttemperaturen bis zu

60°C entstehen, die sich negativ auf das Innenraumklima auswirken und zu zusätzlichen Kühllasten führen können. [26]

Bezüglich interner Wärmequellen ist nach VDI 2067 bezogen auf die Einschaltdauer von künstlicher Beleuchtung und Büromaschinen bzw. Anwesenheit der Nutzer von folgenden Werten auszugehen: [27]

Nutzer:	7 W/m <sup>2</sup>
Büromaschinen:	5 W/m <sup>2</sup>
Beleuchtung:	15 W/m <sup>2</sup>
Summe:	27 W/m <sup>2</sup>

Die Werte zur Berechnung interner Kühllasten weichen in der Literatur zum Teil beträchtlich voneinander ab. So wird beispielsweise folgenden Ansatz für einen Raum mit südorientierter Fassade empfohlen: [28]

Nutzer:	12,5 W/m <sup>2</sup>
Büromaschinen:	15 W/m <sup>2</sup>
Beleuchtung:	12 W/m <sup>2</sup>
Sonneneinstrahlung:	36,7 W/m <sup>2</sup>
Summe:	76,2 W/m <sup>2</sup>

Während der kalten Jahreszeit sind diese internen Wärmequellen zur Verringerung des Heizenergiebedarfs durchaus von Vorteil, führen jedoch in der wärmeren Jahreszeit zu einem erhöhten Kühlenergieverbrauch. Hierbei ist besonders zu beachten, daß der Energieaufwand zum Kühlen in etwa um den Faktor 4 über dem Energieaufwand zum Heizen von Raumluft liegt. [29]

Vergleichende Untersuchungen haben gezeigt, daß die Möglichkeit der Nachtlüftung großen Einfluß auf den Kühlenergiebedarf hat. Allerdings schneidet hier die Zweite-Haut-Fassade deutlich schlechter als eine einschalige Fassade ab. Während eine Zweite-Haut-Fassade ohne Nachtkühlung einen Kühlenergiebedarf von ca. 10,5 kWh/m<sup>2</sup>a aufweist, sinkt dieser Wert mit Nachtkühlung auf etwas über 2 kWh/m<sup>2</sup> a. [30]

Bei einschaligen Fassaden liegen diese Werte in Abhängigkeit von Orientierung und Verglasungsanteil deutlich niedriger, nämlich bei etwa 1,8 kWh/m<sup>2</sup> a für eine Fassade ohne Nachtkühlung und 0,9 kWh/m<sup>2</sup> a mit Nachtkühlung. Bei einschaligen Fassadensystemen ist allerdings zu klären, wie bei geöffneten Fenstern Wetter- und Einbruchschutz gewährleistet werden können. [31]

### 3.3 Energieverbrauch für Kunstlicht

Der Anteil des Energieverbrauchs für Kunstlicht macht gegenwärtig etwa 10% des Stromverbrauchs der BRD aus. [32] Dieser Energieverbrauch hängt wie Heiz- und Kühlenergieverbrauch sehr stark von der Ausbildung der Fassade und der Kunstlichtsteuerung ab. [33]

Bei einer angenommenen Einschaltdauer von 60% der Betriebszeiten erhält man Werte, die im Bereich von etwa 30 kWh/m<sup>2</sup>a liegen. Dieser Wert läßt sich jedoch durch entsprechende Kontrollstrategien auf Werte um 9 kWh/m<sup>2</sup>a bei Gebäuden mit

30% Verglasungsanteil, und 6 kWh/m<sup>2</sup>a bei Gebäuden mit 80% Verglasungsanteil senken. [34]

Ein entscheidender Faktor ist dabei die deutlich höhere Lichtausbeute bei Tageslicht mit 120-150 Lumen/Watt gegenüber Kunstlicht mit 20-50 Lumen/Watt. [35]

### 3.4 Energieverbrauch für klimatechnische Anlagen

Abhängig von der Art der raumlufttechnischen Anlage (RLT-Anlage), den baulichen Gegebenheiten sowie den nutzerbedingten Anforderungen schwankt der Energiebedarf für die Klimatisierung von Verwaltungsbauten enorm. Bezogen auf die Art der RLT-Anlage kann man unterscheiden in reine Lüftungsanlagen, die lediglich den lufthygienisch notwendigen Luftwechsel sicherstellen, Teilklimaanlagen, die die zugeführte Luft temperieren, sowie Klimaanlagen, die die zugeführte Luft sowohl temperieren als auch filtern und befeuchten.

Aufgrund des sehr hohen Energieverbrauchs klimatechnischer Anlagen liegt hier ein enormes Einsparpotential, wobei die Art der Luftführung, Möglichkeit der Trennung der Funktionen Luftwechsel, Kühlen und Heizen sowie Wärmerückgewinnung wesentliche Aspekte darstellen. Numerische Untersuchungen an einem nach der WSchVO 1995 konzipierten Gebäude ergaben Energieverbrauchswerte für Ventilatoren (Quellüftung) von 14,8 kWh/m<sup>2</sup>a, was etwa 1/3 des gesamten Strom-

bedarfs von 50 kWh/m<sup>2</sup>a ausmacht.  
[36]

Der Wärmeenergiebedarf für Zuluftbehandlung liegt bei etwa 34 kWh/m<sup>2</sup>a, was 29% des Gesamtwärmebedarfs für Brauchwasser, Heizen und Kühlen von 116,5 kWh/m<sup>2</sup>a entspricht.

## Anmerkungen

[1] Während in der DIN 1946, Teil 2, der untere Grenzwert des Behaglichkeitsbereichs bei 22°C angegeben wird, liegt nach VDI 2067 die anzunehmende Norminnentemperatur bei 20°C.

[2] Zürcher, Christoph, und Frank, Thomas. Bauphysik. Bau und Energie. Leitfaden für Planung und Praxis. Stuttgart: B.G. Teubner Verlag, 1998. S. 15.

[3] Daniels, Klaus. Technologie des Ökologischen Bauens. Basel [u.a.]: Birkhäuser Verlag, 1995. S. 39.

[4] Arbeitsstättenverordnung §5 - Lüftung sowie Arbeitsstättenrichtlinien § 5. Abschnitt 3. Freie Lüftung. Filderstadt: Weinmann, 1988.

[5] RWE Energie AG, Hg. RWE Energie Bau-Handbuch. 12. Aufl. Heidelberg: Energie Verlag GmbH, 1998. S. 16/6.

[6] Grandjean, Etienne. Wohnphysiologie. Zürich: Artemis, 1974. S. 205.

[7] Bartenbach, Christian, und Witting, Walter. "Licht- und Raummilieu". Jahrbuch für Licht und Architektur. Berlin: Ernst & Sohn, 1995. S. 13- 23.

[8] Diese Werte gelten für Standort München. Siehe: Werner, H. Berechnung des Jahresheizenergiebedarfs von Gebäuden. Berichte des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart. EB-29 (1991).

[9] Schäfer, Jochen Peter. "Das Klima ausgewählter Standorte der BRD, München". Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 159, Offenbach/Main: Selbstverlag, 1982.

[10] Die Schwankungsbreiten der Außenlufttemperatur in Berlin erreichen extreme Minima für den Monat Februar von weniger als -20°C und extreme Maxima von +20°C.

Siehe hierzu: Bundesarchitektenkammer, Hg. Energiegerechtes Bauen und Modernisieren. Basel [u.a.]: Birkhäuser, 1996. S. 24.

[11] Daniels, Klaus. Technologie des Ökologischen Bauens. Basel [u.a.]: Birkhäuser Verlag, 1996. S. 34.

[12] Wagner, Andreas. "Klimatische Parameter und ihre Bedeutung für die Planung". Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden. Seminarbericht des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme. Freiburg: Selbstverlag, 1994. S. 7-8.

[13] Daniels, Klaus. Technologie des Ökologischen Bauens. Basel [u.a.]: Birkhäuser Verlag, 1996. S. 35, Abb. 26.

[14] Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Hg. Atlas über die Sonnenstrahlung Europas. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH, 1984. S. 157.

[15] Nüßle, Fritz. "Heizen und Kühlen mit abgehängten Decken". Deutsche Bauzeitschrift (DBZ) 8 (1997): S. 105.

[16] 1996 wird der durchschnittliche Energiebedarf von Verwaltungsbauten mit 400 kWh/m<sup>2</sup>a angegeben. Siehe: Ortmanns, Günter. "Vakuum beschichtetes Low-Emissive-Glass vor dem Hintergrund der deutschen und europäischen Bestrebungen zur Energieeinsparung in Gebäuden". glas+rahmen 6 (1996). S. 177.

Dem steht der durchschnittliche Energiebedarf von Wohngebäuden im vor der WSchVO errichteten Gebäudebestand von  $300 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  gegenüber. Siehe: Feist, Wolfgang, und Eicke-Hennig, Werner. "Wie groß ist das Energiesparpotential im Gebäudebereich?". Tagungsband zur Fachtagung 'Niedrig-EnergieHaus '93, 2./3.9. 1993 in Hannover. Hg. von dem Forum für Zukunftsenergien Bonn: Selbstverlag, 1993. S. 37.

[17] Eicke-Hennig, Werner, und Jäkel, Michael. "Mehr Gebäudequalität mit weniger Energie. Ein Vergleich zweier Bürogebäude". Bundesbaublatt 11 (1997): S. 788.

[18] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Hg. Klimaschutz in Deutschland, Nationalbericht der Bundesregierung für die BRD im Vorgriff auf Artikel 12 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn: Selbstverlag, o.J. S. 40.

[19] Gülec, T., Kolmetz, S., und Rouvel, L. "Energieeinsparungspotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle". Bericht des Entwicklungsvorhabens IKARUS Nr. 5-22. Forschungszentrum Jülich GmbH, Hg. Jülich: Selbstverlag, 1994. S. 112-114.

[20] DIN 4108, Wärmeschutz im Hochbau. Berlin: Beuth Verlag, 1981.

[21] Verordnung über einen wirksamen Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung). Bundesgesetzblatt, Jahrgang 1994 Teil 1 55 (1994).

[22] Erhorn, Hans, und Kluttig, Heike. "Energiesparpotentiale im Verwaltungsbau zur Reduzierung der  $\text{CO}_2$ -Emission". Sonderdruck aus gi - Gesundheits-Ingenieur 5 (1996): S. 270-274 und

6 (1996): S. 309-321.

[23] Im Vergleich ist für die gut gedämmte Variante ein mittlerer k-Wert von  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  angenommen worden.

Hausladen, Gerhard. "Doppelfassaden - Energetische und Raumklimatische Auswirkungen". Tagungsband 'Doppelfassaden und Technische Gebäudeausrüstung' Hg. von dem Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. Bonn: Selbstverlag, 1997. S. 80.

[24] Daniels, Klaus. "Hochhäuser - natürlich belüftet? Neue Wege ökologischen Bauens bei hohen Gebäuden". Werkbericht 11. München: Selbstverlag, 1992. S. 15.

[25] Schwab unterscheidet bei Doppelfassaden zwischen folgenden Arten der Luftdurchströmung: Hinterlüftete Fassaden sind Doppelfassaden, bei denen die Luftströmung aufgrund natürlicher Konvektion erfolgt, wie dies bei Zweite-Haut-Fassaden der Fall ist. Bei luftdurchströmten Fassaden, z.B. Abluffassaden, erfolgt der Luftwechsel mittels Gebläseantrieb. Siehe: Schwab, Armin. Wärmeübertragung bei Mischkonvektion in luftdurchströmten Fassaden. Dissertation, TU München, 1993.

[26] Schwarz, Uwe. "Doppelfassade - architektonisches Stilelement oder technisch-wirtschaftlich vorteilhafte Lösung". Fassade 4 (1995): S. 21-32.

[27] Gülec, T., Kolmetz, S., und Rouvel, L. "Energieeinsparungspotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle". Bericht des Entwicklungsvorhabens IKARUS Nr. 5-22. Forschungszentrum Jülich GmbH, Hg. Jülich: Selbstverlag, 1994. S. 65.

[28] Thiel, Dieter. "Doppelfassade - ein Bestandteil energetisch optimierter und emissionsarmer Bürogebäude". Innova-

tive Fassadentechnologie. Tagungsband des Workshop 'Lichtlenkende Bauteile' und 'Internationales Forum Innovative Fassadentechnologie. Hg. von dem Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln. Köln: Selbstverlag, 1995. S. 13-37.

[29] Gläser, Hans-Joachim. Funktions-Isoliergläser. Böblingen: Expert Verlag, 1992. S. 41.

[30] Vergleichende Untersuchungen an zwei unterschiedlichen Bauten über den Betrachtungszeitraum des Jahres 1996 brachten folgende Ergebnisse:

Bürohaus mit konventioneller Fassade, 1995 fertiggestellt:

Heizenergieverbrauch:  $196,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$   
Kühlenergieverbrauch:  $84,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Verwaltungsgebäude Firma Götz, Würzburg:

Heizenergieverbrauch:  $51,9 \text{ kWh/m}^2\text{a}$   
Kühlenergieverbrauch:  $7,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Siehe: Lödel, Thomas. "Geprüft. Erfahrungsbericht über das Sol-Skin-Gebäude der Götz GmbH in Würzburg". AIT Spezial. Intelligente Architektur 11 (1997): S. 76-79.

[31] Hausladen, Gerhard. "Doppelfassaden - Energetische und Raumklimatische Auswirkungen". Tagungsband 'Doppelfassaden und Technische Gebäudeausrüstung' Hg. Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. Bonn: Selbstverlag, 1997. S. 90.

[32] Müller, Helmut F.O. "Einsatz und Erprobung holografisch-optischer Elemente für die Tageslichtlenkung". Innovative Fassadentechnologie. Tagungsband des Workshop 'Lichtlenkende Bauteile' und 'Internationales Forum Innovative Fassadentechnologie. Hg. von dem

Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln. Köln: Selbstverlag, 1995. S. 213.

[33] Das Einsparpotential liegt hier bei 75%, wobei der Einsatz von modernen Spiegelrasterleuchten, elektronischen Vorschaltgeräten und tageslichtabhängiges Dimmen als die wirkungsvollsten Maßnahmen angesehen werden.

Siehe: Stenzel, Jürgen. "Energiesparende und tageslichtabhängige Regelung von Beleuchtungsanlagen". Innovative Fassadentechnologie. Tagungsband des Workshop 'Lichtlenkende Bauteile' und 'Internationales Forum Innovative Fassadentechnologie. Hg. von dem Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln. Köln: Selbstverlag, 1995.

[34] Diese Werte beziehen sich auf tageslichtgeregeltes Dimmen der künstlichen Beleuchtung bezogen auf einen bestimmten Kontrollpunkt im Raum. In: Erhorn, Hans, und Kluttig, Heike. "Energiesparpotentiale im Verwaltungsbau zur Reduzierung der  $\text{CO}_2$ -Emission". gi - Gesundheits-Ingenieur 5 (1996): S. 270-274 und Heft 6 (1996): S. 309-321.

[35] Schuler, Mathias. "Energiegewinnung durch Glasfassade?" Bauwelt 43/44 (1996): S. 2462.

[36] Kornadt, Oliver, und Güttler, Gerhard. "Energieverbrauch und  $\text{CO}_2$ -Emissionen eines Bürogebäudes und Untersuchung der Wirtschaftlichkeit bei Einsatz von Solarenergie". Bauphysik 3 (1997): S. 74-75.

### Teil 3

#### Bauliche Parameter von Zweite-Haut-Fassaden

##### Vorbemerkung

Der vorhergehende Abschnitt diente dazu, den Einfluß der funktionsbedingten Anforderungen des Nutzers sowie der von außen auf das Gebäude einwirkenden Witterungsbedingungen auf den Energieverbrauch von Verwaltungsgebäuden darzustellen.

Aufbauend auf diesen allgemeinen Erläuterungen wird im folgenden dargestellt, in welcher Form 'Zweite-Haut-Fassaden' und deren Subsysteme wie innere und äußere Fassadenebene sowie Sonnen- und Blendschutzsystem den Energiebedarf von Verwaltungsgebäuden beeinflussen.

#### 1. Innere Verglasungsebene

Aufgrund der Durchlüftung des Fassadenzwischenraums stellt bei Zweite-Haut-Fassaden die innere, mit Isolierverglasung ausgestattete Fassadenebene die bauphysikalisch relevante Trennschicht zwischen dem Gebäudeinneren und der Außenluft dar. Damit hat die Konzeption und Ausführung dieser Fassadenebene entscheidenden Einfluß auf den Energiehaushalt des gesamten Gebäudes, weshalb Maßnahmen zur energetischen Optimierung von Zweite-Haut-Fassaden auf diese Fassadenebene abgestimmt sein werden müssen.

#### 1.1 Verglasungsart

Gewöhnliches Isolierglas hat einen Gesamtenergiedurchlaßgrad von ca. 75% bei einer Tageslichttransmission von ca. 80%. Heutige Sonnenschutzgläser weisen Gesamtenergiedurchlaßgrade von 34-40% bei Lichttransmissionsgraden von 66-70% auf. Dies wirkt sich vor allem auf die Verminderung der Kühllasten sehr positiv aus, da die wirksamen Kühllasten durch Sonnenschutzverglasung um 50% reduziert werden. [1]

Die verminderte Tageslichttransmission läßt sich durch Erhöhung des Verglasungsanteils um 20% ausgleichen. Mit der dauerhaften Reduktion des Gesamtenergiedurchlaßgrades werden potentielle Wärmeenergiegewinne im Winterhalbjahr verhindert, weshalb vor Einsatz dieser Verglasungsart geprüft werden muß, ob ein anpassungsfähiges System, beispielsweise aus Isolierverglasung mit low-e Beschichtung und vorgelagertem Sonnenschutzsystem nicht sinnvoller ist, um mit einem variabel einstellbaren g-Wert die Eigenschaften der Fassade den Witterungsbedingungen anpassen zu können.

Experimentelle Untersuchungen an unterschiedlichen Fassadenaufbauten zeigen, daß sowohl der Gesamtenergieverbrauch als auch der Kühlenergieverbrauch bei anpassungsfähigen Fassadensystemen niedriger liegen als bei Systemen mit Sonnenschutzverglasung ohne zusätzliche Maßnahmen. [2]

	Verwaltungsgebäude mit 30% Verglasungsanteil	Verwaltungsgebäude mit 80% Verglasungsanteil
Heizenergiebedarf	80 kWh/m <sup>2</sup> a	105 kWh/m <sup>2</sup> a
Kühlenergiebedarf	7 kWh/m <sup>2</sup> a	27 kWh/m <sup>2</sup> a
Bedarf für künstliche Beleuchtung	30 kWh/m <sup>2</sup> a	30 kWh/m <sup>2</sup> a
Kühlenergiebedarf in % des Heizenergiebedarfs	10%	25%
Summe Energiebedarf	117 kWh/m <sup>2</sup> a	162 kWh/m <sup>2</sup> a

Tab. 1: Darstellung des Einflusses des Verglasungsanteils von Fassaden auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf von Verwaltungsgebäuden, dargestellt anhand der Untersuchung von zwei realisierten Gebäuden. [4]

#### 1.2 Verglasungsanteil

In der Regel liegt der Außenfensteranteil der Fassade zwischen 30% und 100%. Da bei hohen inneren Kühllasten besonders auf Überhitzung in den Sommermonaten geachtet werden muß, spielt der Anteil transparenter Außenwandflächen an der gesamten Fassade eine bedeutende Rolle. Ab einem Fensteranteil von 50% ist bei bestimmten Fassadenausrichtungen mit Überhitzungsproblemen zu rechnen, wodurch der Einsatz eines Sonnenschutzsystems unerläßlich wird. Deshalb muß gerade bei Außenwandkonstruktionen mit höherem Verglasungsanteil als 50% genau untersucht werden, ob das Gebäude noch ohne besondere Schutzmaßnahmen oder RLT-Anlagen im Hochsommer benutzbar bleibt. [3]

Vergleichende, beispielhafte Untersuchungen an einschaligen Bürohaufassaden mit unterschiedlichem Verglasungsanteil an zwei realisierten Verwaltungsgebäuden brachten die in Tab. 1 zusammengefaßten Ergebnisse. Zu beachten ist allerdings, daß die angegebenen Werte nur als grobe Anhaltspunkte zu betrachten sind, da sich die Gebäude neben dem Fassadenanteil in wesentlichen, den Energieverbrauch beeinflussenden Merkmalen wie Lage, Volumen, Baukörpergeometrie, innere Masse u.s.w. unterscheiden haben.

Bei einem Verglasungsanteil von ca. 30% ist bei dem der Untersuchung zugrunde gelegten, gut gedämmten Verwaltungsgebäude mit einem Heizenergiebedarf von ca. 80 kWh/m<sup>2</sup>a zu rechnen, bei einem Verglasungsanteil von 80% beträgt

dieser Wert etwa 105 kWh/m<sup>2</sup>a.

Der Kühlenergiebedarf beträgt bei 30% Verglasungsanteil bezogen auf dieselben Gebäudetypen 7 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. 27 kWh/m<sup>2</sup>a bei 80% Verglasungsanteil.

Der Bedarf für künstliche Beleuchtung beträgt in beiden Fällen etwa 30 kWh/m<sup>2</sup>.

Betrachtet man ein Gebäude mit geringerem Verglasungsanteil, so beträgt der Gesamtenergiebedarf etwa 117 kWh/m<sup>2</sup>, wobei 68% auf den Heizenergiebedarf, 6% auf den Kühlenergiebedarf und 26% auf den Kunstlichtbedarf entfallen.

Bei einem Gebäude mit 80% Verglasungsanteil betragen die Anteile bei einem Gesamtenergiebedarf von 162 kWh/m<sup>2</sup>a 65% für den Heiz-, 17% für den Kühl- und 18% für den Kunstlichtbedarf. [4]

### 1.3 Öffnungsgrad

Freie Lüftung ist in der Regel bei Räumen ausreichend, deren Raumtiefe das 2,5-fache der Raumhöhe nicht überschreitet. In der Literatur angeführte Werte zu erreichbaren Luftwechselzahlen in Abhängigkeit von der Fensteröffnungsart und Öffnungsstellung [5] lassen sich jedoch bei Anordnung einer zweiten Schale nicht unmittelbar übertragen. Experimentelle Untersuchungen an einer Zweite-Haut-Fassade mit jeweils 20 cm hohen, durchlaufenden Zu- und Abluftöffnungen in der äußeren Verglasungsebene zeigen, daß der relative Luftdurchsatz in Abhängigkeit

von der Öffnungsart der Innenfassade stark variiert. [6]

Hierbei kann von folgenden Werten ausgegangen werden:

Schwingflügelfenster	bis	100%
Wendflügelfenster	bis	100%
Drehflügelfenster	bis	100%
Vertikalschiebeflügel	bis	90%
Senk-Klappflügel	bis	80%
Horizontal-Schiebeflügel	bis	70%
Kippflügel	bis	25%

### 1.4 Fensterrahmen

Materialwahl und die konstruktive Ausbildung des Fensterrahmens haben weitreichenden Einfluß auf den Gesamtenergiedurchlaßgrad des Fenster- bzw. Fassadensystems, da in der Regel der Rahmenanteil bei 15 - 35% liegt und dieser einen bis zu 100% schlechteren k-Wert als die Verglasung besitzt. Deshalb ist auf die Verwendung von Rahmen mit niedrigem k-Wert zu achten, wobei mit Holzrahmen Werte zwischen 1,4 und 2,3 W/m<sup>2</sup>K erreicht werden können. [7]

Bei Verwendung von Rahmenprofilen der Rahmenmaterialgruppe 1 ist sichergestellt, daß k-Werte unter 2,0 W/m<sup>2</sup>K eingehalten werden. Hierzu gehören neben Holzrahmen auch Verbundkonstruktionen aus Holz-Aluminium sowie Kunststoffprofile.

### 2. Äußere Verglasungsebene

Die äußere Verglasung dient in Abhängigkeit von der Ausführung dazu, vor Witterungseinflüssen wie Regen, Schnee und Wind zu schützen. Zudem können die Schall- und Wär-

	g-Wert	k-Wert	τ <sub>vis</sub> -Wert
Sommertag, klarer Himmel	niedrig	nicht relev.	hoch
Sommertag, bedeckter Himmel	nicht relev.	nicht relev.	hoch
Sommernacht	nicht relev.	hoch (Auskühlung)	niedrig (Sichtschutz)
Wintertag, klarer Himmel	hoch	niedrig	hoch
Wintertag, bedeckter Himmel	nicht relev.	niedrig	hoch
Winternacht	nicht relev.	niedrig (Wärmesch.)	niedrig (Sichtschutz)

Tab. 2: Wesentliche Anforderungen an Sonnen-/Wärmeschutzsysteme in Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeit

meschutzigenschaften von Fassaden verbessert werden. Bei hohen Häusern ist allerdings der Windschutz der bestimmende Faktor für die Anwendung einer Zweite-Haut-Fassade, weshalb dieser Aspekt im folgenden genauer betrachtet wird.

Die mittlere Windgeschwindigkeit liegt in Deutschland in 10 m Höhe zwischen 2 und 5 m/s. Mit zunehmender Höhe nimmt die Windgeschwindigkeit stark zu und erreicht in 80 m Höhe bereits das 2,3-fache gegenüber 10 m Höhe. Dies bedeutet für den Winddruck eine Zunahme um das 5,3-fache.

Einerseits stellt dies eine starke Belastung der Fassade dar, andererseits baut sich bei Fassaden mit Lüftungsöffnungen ein hoher Innendruck im Raum auf, was hinsichtlich der erforderlichen Türöffnungskräfte bereits bei Windgeschwindigkeiten

ab 7 m/s problematisch werden kann. [8]

Durch das Vorsetzen einer zweiten Glashaut vor die eigentliche Außenwand bzw. Fassade kann dieser Innendruck in einem solchen Maße gedrosselt werden, daß das Öffnen von Fenstern über einen großen Zeitraum des Jahres ermöglicht wird, ohne intolerable Zugserscheinungen oder ungünstige Druckverhältnisse im Rauminneren zu erhalten, die das Öffnen von Türen beeinträchtigen würden. [9] Zudem sollte auch die Größe von internen Öffnungen, wie Büro- und Flurtüren besonders beachtet werden. [10]

Einer der wichtigsten Nebeneffekte der vorgehängten Glashaut ist der Schutz der im Fassadenzwischenraum angeordneten Sonnenschutzanlage vor Windböen.



Hierdurch können beispielsweise Jalousietenanlagen während der gesamten Betriebszeit genutzt werden, wodurch einerseits der Komfort verbessert, andererseits strahlungsbedingte Kühllasten gering gehalten werden. [11] Bei Gebäuden mit hohen Windlasten ist der Sonnenschutz für gewöhnlich auf der Innenseite der Verglasung angebracht, wodurch es bei intensiver Sonneneinstrahlung zu einer starken Erwärmung des Sonnenschutzsystems und damit zu einer Erhöhung der Kühllasten im Raum-inneren kommt.

Auch bei im Fassadenzwischenraum von Zweite-Haut-Fassaden angebrachten Sonnenschutzsystemen muß allerdings auf eine ausreichende Durchlüftung zur Abfuhr der Strahlungswärmegewinne im Sommer geachtet werden, um bei Fensterlüftung eine Überhitzung des Innenraums aufgrund hoher Lufttemperaturen im Fassadenzwischenraum zu vermeiden.

## 2.1 Verglasungsart

Der Einsatz einer Zweite-Haut-Fassade kann eine Verringerung des Wärmedurchgangs bei nicht hinterlüftetem Fassadenzwischenraum um 25% bewirken. [12] Darüber hinaus kann zur weiteren Verbesserung des Wärmeschutzes die äußere Verglasung in Isolierglastechnik ausgeführt werden.

Allerdings verringert sich in Abhängigkeit von der Dicke der äußeren Scheibe die Lichttransmission gegenüber einer einschaligen Fassade

mit gewöhnlicher Zweifach-Isolierverglasung. So ist bei einer Scheibendicke von 15 mm die Tageslichttransmission der doppelschaligen Fassade um 27% geringer als bei einer gewöhnlichen einschaligen Fassade mit Isolierverglasung. [13] Im Fall der sehr häufig angewandten Ausführung in ESG- bzw. VSG-Verglasung mit punktgehaltenen Scheiben spielt der Rahmenanteil bei der äußeren Verglasung eine untergeordnete Rolle.

## 2.2 Lage der Zu- und Abluftöffnung

Wie bereits im Rahmen der Typologie erläutert, ist die Anordnung der Lüftungsöffnungen so vorzunehmen, daß es zu keiner Durchmischung von unverbrauchter Zu- und verbrauchter Abluft kommt. Daher sollten die beiden Lüftungsöffnungen möglichst weit voneinander entfernt angeordnet sein. Alternativ dazu kann bei der Gefahr einer Durchmischung der Luftströme durch eine entsprechende Überdimensionierung des Lüftungsquerschnitts ein lufthygienisch einwandfreier Luftwechsel sichergestellt werden.

## 2.3 Querschnitt der Zu- und Abluftöffnung

Wie bereits erwähnt, ist bei der Wahl des Lüftungsquerschnittes vor allem auf eine ausreichende Durchlüftung des Fassadenzwischenraumes zur Vermeidung von Überhitzung im Sommer zu achten

Bei einem Lüftungsquerschnitt von jeweils 15 cm Höhe im Decken- und

	Fassadensystem	rel. Energieumsatz gesamt	davon für Heizen	davon für Kühlen
1	2-Scheiben-Isolierglas, ohne Sonnen- oder temporären Wärmeschutz	100%	38%	62%
2	Sonnenschutzglas, ohne Sonnen- oder temporären Wärmeschutz	68%	30%	38%
3	2-Scheiben-Isolierglas, Innenjalousie aus Alu-Lamellen	88%	42%	46%
4	2-Scheiben-Isolierglas, Außenjalousie aus Alu-Lamellen	63%	44%	19%
5	3-Scheiben-Isolierglas, Außenjalousie aus Alu-Lamellen	48%	29%	19%
6	Fassadenpaneel	25%	21%	4%
7	Verbundfenster, 1-fach Glas mit 2-Scheiben-Isolierglas und Folienrollo	52%	27%	25%
8	Verbundfenster, 1-fach Glas mit 2-Scheiben-Wärmeschutzglas und Folienrollo	38%	19%	19%
9	Abluftfenster, 2-Scheiben-Wärmeschutzglas mit Einfachglas und Folienrollo	35%	19%	16%
10	Wärmefenster, 3-Scheiben-Wärmeschutzglas	58%	21%	37%
11	Temporärer Wärmeschutz, 2-Scheiben-Isolierglas mit drehbaren Lamellen	46%	29%	17%

Tab. 3: Relativer Jahresenergieumsatz unterschiedlicher Testfassaden [16]

Bodenbereich einer Korridorfassade kann bei einer Einstrahlung von 600 W/m<sup>2</sup> auf die Fassade mit einer Durchströmung von 50 m<sup>3</sup>/h je Quadratmeter Fassadenfläche gerechnet werden, was bei einem Fassadenzwischenraum von 50 cm einem 100-fachen Luftwechsel entspricht.

Trotz dieser sehr hohen Luftwechselrate stellen sich im Sommer Temperaturen im Fassadenzwischenraum ein, die bis zu 6 K über der Außenlufttemperatur liegen, und

Werte bis zu 36°C erreichen. [14]

Damit wird deutlich, daß süd-, ost- und westorientierte Räume hinter Zweite-Haut-Fassaden in der Regel über Kühleinrichtungen verfügen müssen, um den zusätzlichen Wärmeeintrag durch Lüftung und Strahlung aus dem erwärmten Fassadenzwischenraum auszugleichen.

Das Schließen der Innenfassade stellt aufgrund des lufthygienischen notwendigen Luftwechsels keine Lösungsmöglichkeit dar, weshalb zur

Abfuhr der Wärmegewinne eine großflächige Öffnung der äußeren Fassadenschicht möglich sein sollte, wie dies bei einer Außenhaut aus beweglichen Glaslamellen der Fall ist. Eine Alternative stellt die Nutzung des thermischen Auftriebs dar, wodurch eine intensive Durchlüftung des Fassadenzwischenraumes erreicht werden kann, wie dies anhand der Schachtfassade erläutert worden ist.

### 3. Sonnen-, Blend- und Wärmeschutzsysteme

Der Hauptenergieverbrauch von heutigen Verwaltungsbauten liegt im Bereich des Heiz- und Kühlenergiebedarfs, weshalb Komponenten zum Schutz vor übermäßigem Wärmeeintrag im Sommer und unerwünschten Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten im Winter eine besondere Bedeutung zukommt.

In Tab. 2 sind die wesentlichen Anforderungen an ein Sonnen-/Wärmeschutzsystem in Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeit dargestellt.

#### 3.1 Art des Sonnenschutzsystems

Vergleichende experimentelle Untersuchungen an verschiedenen Fassadensystemen mit unterschiedlichen Wärme-/Sonnenschutzsystemen ergaben eine große Schwankungsbreite hinsichtlich des Energieverbrauchs in Abhängigkeit von der Art des Sonnenschutzsystems. (Tab. 3) |

m Vergleich zu einer Fassade mit Isolierverglasung ( $k_{\text{Glas}} = 3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) ohne Sonnenschutz bewirkt die Verwendung einer außenliegenden Jalousette eine Verringerung des Energiebedarfs auf weniger als 70%, was vor allem mit der deutlichen Verringerung des Kühlenergiebedarfs zu tun hat. [15]

Unter Verwendung einer außenliegenden Lamellenkonstruktion, die sowohl als Sonnen- als auch als temporäre Wärmeschutzvorrichtung dient, läßt sich der Energieverbrauch bei gleichem  $k_{\text{Glas}}$ -Wert auf etwa 46% im Vergleich zur Fassadenkonstruktion ohne Sonnenschutzvorrichtung senken. Hierbei ist jedoch zu beachten, daß bei heutigen Isoliergläsern mit k-Werten von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  diese Verbesserung weniger deutlich ausfallen dürfte.

Der Vergleich der verschiedenen Fassadenaufbauten zeigt, daß der Einsatz von Elementen für den Sonnen- und temporären Wärmeschutz das größte Potential besitzt, den Energiebedarf von transparenten Fassadenkonstruktionen zu reduzieren. Bemerkenswert ist hierbei, daß im Vergleich zu einer 3-fach Wärmeschutzverglasung der Heizenergiebedarf der Fassade mit Isolierverglasung und temporärem Wärmeschutz zwar etwas höher liegt, dafür aber der Kühlenergiebedarf deutlich niedriger liegt. [16]

	Energiebedarf in kWh/m <sup>2</sup> a		
	Gesamt	Anteil Heizen	Anteil Kühlen
Typ 1 (o. Sonnenschutz)	122	32	90
Typ 2 (o. Sonnenschutz)	110	10	100
Typ 3 (o. Sonnenschutz)	95	5	90
Typ 1 (Innenjalousie)	78	32	44
Typ 2 (Innenjalousie)	83	13	70
Typ 3 (Innenjalousie)	83	6	77
Typ 1 (Außenjalousie)	56	38	18
Typ 2 (Außenjalousie)	42	15	27
Typ 3 (Außenjalousie)	38	5	33

Tab. 4: Energiebedarf für Heizen und Kühlen pro m<sup>2</sup> eines Büroraumes mit Ost-West-orientierten Fenstern in Abhängigkeit vom Fassadentyp/Wärmedämmstandard. [17]

Typ 1: Moderne Metallfassade, Standardtyp

Typ 2: Fassade nach DIN 4108 (1981), Wärmeschutztyp

Typ 3: Fassade nach Wärmeschutzverordnung 1995, Superwärmeschutztyp

#### 3.2 Lage des Sonnenschutzsystems

Unabhängig vom Wärmedämmstandard einer transparenten Fassade hat die Anordnung von Sonnenschutzsystemen großen Einfluß auf den Energieverbrauch von Verwaltungsgebäuden. (Tab. 4) Berechnungen an konventionellen Fassaden mit Ost- und Westorientierung ergaben, daß gegenüber einer Glasfassade ohne Sonnenschutz der Energieverbrauch beim Einsatz einer Außenjalousie auf weniger als die Hälfte fällt. Im Vergleich dazu

bringt die Verwendung einer Innenjalousie nur eine Verringerung des Energieverbrauchs auf 80% im Vergleich zur Fassade ohne Sonnenschutzsystem, wobei der Anteil des Kühlenergieverbrauchs gerade bei Fassaden, die nach der WSchVO 1995 konzipiert wurden, überproportional groß ist. [17]

Beachtenswert ist bei außenliegenden Sonnenschutzsystemen die Häufigkeitsverteilung von mittlerer Sonnenwahrscheinlichkeit und Windgeschwindigkeit, die stark vom jeweiligen Standort abhängt.

In Frankfurt beträgt dieser Wert beispielsweise ca. 480 Sonnenstunden bei einer Windstärke von 1,5 - 2,5 Beaufort. [18] Im allgemeinen kann bei Gebäuden unterhalb der Hochhausgrenze von 22 m davon ausgegangen werden, daß sich Ausfallzeiten für den außenliegenden Sonnenschutz aufgrund von zu hohen Windgeschwindigkeiten von bis zu 8% der Betriebszeiten ergeben. [19]

Hier bieten Zweite-Haut-Fassaden den Vorteil, daß der Sonnenschutz trotz hoher Windlasten außerhalb der bauphysikalisch relevanten Fassadenebene montiert werden kann, und aufgrund des Witterungsschutzes einfachere und kostengünstigere Systeme zum Einsatz kommen können. Weitere Vorteile liegen im weitgehenden Schutz des Sonnenschutzsystems vor Verschmutzung durch umweltbedingte Einflüsse und dem geringeren Aufwand für Reinigung, Wartung und gegebenenfalls den Austausch dieser Systeme. [20]

Innerhalb des Fassadenzwischenraums bestehen folgende Möglichkeiten, den Sonnenschutz anzuordnen:

- an der Innenseite der äußeren Verglasungsebene
- mittig im Fassadenzwischenraum
- an der Außenseite der inneren Verglasungsebene

Die Anordnung des Sonnenschutzsystems unmittelbar hinter der äußeren Verglasungsebene ist deshalb sinnvoll, weil dadurch eine ma-

ximale Durchströmung des Fassadenkorridors vor der inneren Schale erreicht wird, was einen wirkungsvollen Luftwechsel hinsichtlich des Gebäudeinneren sicherstellt. Zudem wird bei ausreichender Konvektion die an den Lamellenoberflächen absorbierte Wärme unmittelbar abgeführt, ohne im Gebäudeinneren wirksam zu werden.

Zu beachten ist allerdings, daß der Sonnenschutz allseitig mindestens 5 cm Abstand zu angrenzenden Bauteilen haben sollte, um eine Umströmung mit Luft zur Vermeidung von lokalem Hitzestau sicherzustellen.

### 3.3 Art des Blendschutzsystems

Die wesentliche Aufgabe von Blendschutzsystemen liegt darin, unzutragliche Leuchtdichtekontraste zu vermeiden, was vor allem im Verwaltungsbau mit Bildschirmarbeitsplätzen zur Wahrung eines ausreichenden Sehkomforts eine große Rolle spielt. Hier liegt ein Hauptunterschied zu Sonnenschutzsystemen, die im wesentlichen vor Überhitzung, vor allem im Sommerhalbjahr schützen sollen, während im Winterhalbjahr solare Warmegewinne durchaus erwünscht sein können.

Lichtdämpfung und -streuung können von unterschiedlichen Systemen, wie textilen Blendschutzsystemen, Tageslichtsystemen oder auch Jalousetten übernommen werden. Es ist jedoch darauf zu achten, daß die Tageslichttransmission nicht so-

	Winterlicher Wärmeschutz	Sommerlicher Wärmeschutz	Blendschutz
<b>Bewegliche Systeme</b>			
Rolladen außen	X	X	X
Klappladen außen oder innen	X	X	X
Schiebeladen außen oder innen	X	X	X
Jalousie außen	-	X	X
Jalousie innen	-	O	X
Markise	-	O	X
Rollo außen	O	O	X
Rollo innen	O	O	X
Vorhang innen	O	O	X
Lamellen, drehbar	X	X	X
<b>Starre Systeme</b>			
Auskragung	-	O	-
Lamellenblende	-	X	X
Schutzgläser	O	X	O
Folie	O	X	O

- X Komponente für angegebene Funktion gut geeignet
- O Komponente für angegebene Funktion bedingt geeignet
- Komponente für angegebene Funktion ungeeignet

Tab. 5: Übersicht möglicher Sonnenschutzsysteme und deren funktionale Eigenschaften

weit herabgesetzt wird, daß Kunststoff zugeschaltet werden muß oder die Sichtbeziehungen zwischen innen und außen unterbunden werden. Textile Blendschutzsysteme, Folienrollos oder perforierte Alu-Lamellen stellen hier sinnvolle Varianten dar.

### 3.4 Lage des Blendschutzsystems

Die Lage eines Blendschutzsystems in Relation zu der inneren Verglasungsebene bestimmt das Auftreten strahlungsbedingter Warmegewinne im Rauminnen. So ist bei einer Kombination von einer Sonnenschutzverglasung mit einem innenliegenden Blendschutzsystem davon

auszugehen, daß der Heizenergiebedarf um ca. 20 - 30%, der Kühlergiebedarf um ca. 10 - 20% höher liegt, als bei einem mit außenliegendem Sonnenschutz ausgestatteten Bürogebäude. [21]

### 3.5 Art des Wärmeschutzsystems

Möglichkeiten, den Wärmedurchgangswiderstand einer mehrschichtigen Fassadenkonstruktion in Abhängigkeit von den inneren Anforderungen und äußeren Witterungsbedingungen flexibel zu steuern, sind

- die Ausbildung von stehenden Luftschichten zur Verringerung der Konvektionswärmeverluste
- der Einsatz von Materialien mit geringem Wärmedurchlaßgrad zur Verringerung von Strahlungs- und Leitungswärmeverlusten
- der Einsatz von Materialien zur Reflexion der Wärmestrahlung des Innenraumes zur Verringerung der Strahlungswärmeverluste

Eine Übersicht zu Varianten flexibel einsetzbarer Wärmeschutzvorrichtungen findet sich in Tab. 5.

Aus diesen Möglichkeiten zur Steuerung des Energiehaushaltes ergibt sich eine sehr große Bandbreite unterschiedlicher Materialien und Komponenten, wobei neben funktionalen Aspekten gestalterische, konstruktive und ökologische Aspekte wie Primärenergieinhalt, Verfügbarkeit, Transportaufwand, Lebensdauer

	Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient $k_{FA, m}$	
k-Wert des Fensters ohne Abdeckung	$k_F = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$	$k_F = 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
Jalousieladen aus Holz, außenliegend	$1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	$1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$
Rolladen aus Holz oder Kunststoff, außenliegend	$1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
Vollholzläden, außenliegend	$1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$
innenseitige Abdeckung mit Wärmedämmelement, $D = 25 \text{ mm}$ ( $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$ )	$1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
außenseitige Abdeckung mit Wärmedämmelement, $D = 50 \text{ mm}$ ( $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$ )	$1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tab. 6: Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient  $K_{FA, m}$  von Fenstern mit Wärmeschutzvorrichtung bei einer täglichen Einsatzdauer von ca. 12 Stunden [24]

und Recyclingfähigkeit eine entscheidende Rolle spielen.

Beispielhafte Werte für die Verbesserung des Wärmedurchgangswiderstandes von Fassaden durch den Einsatz von temporären Wärmeschutzvorrichtungen finden sich in Tab. 6.

## 4. Weitere Einflußfaktoren

### 4.1 Verschmutzungsgrad der Scheibenoberflächen

Bei einer mittleren Verschmutzung der äußeren Scheibenoberfläche der Außenscheibe und mittlerer Verschmutzung der inneren Scheibenoberflächen ergibt sich eine um ca. 20% verringerte Lichttransmission. Bei beidseitiger starker Verschmutzung wird die Transmission auf ca.

50% reduziert. [22]

### 4.2 Größe des Fassadenzwischenraums

Wie bereits in Teil 1 dargestellt wurde, bestimmt der Abstand der beiden Verglasungsebenen die Nutzungsmöglichkeiten sowie die Art der Wartung und Reinigung des Fassadenzwischenraumes. Erst ab einer Tiefe von ca. 50 cm ist eine Begehbarkeit gewährleistet.

Der Fassadenabstand bestimmt außerdem die Größe des Luftvolumens im Fassadenzwischenraum. In Abhängigkeit von der Größe der Lüftungsöffnungen und den Druckverhältnissen wird dadurch der lufthygienisch notwendige Luftwechsel und die Abfuhr von Wärmeenergie

gewinnen beeinflusst.

Bei Korridor- und Kastenfensterfassaden wird in Abhängigkeit von der Orientierung der Fassade der Tageslichteinfall durch die Tiefe des Fassadenzwischenraumes beeinflusst. Durch die geschoßweise Abschottung wird ähnlich einer starren Sonnenschutzvorrichtung, wie z. B. einem Vordach, ein Teil der Fassadenebenen sonnenstandsabhängig verschattet.

## 5. Zusammenfassung:

Der Energieverbrauch von nach der WSchVO 1995 errichteten Verwaltungsgebäuden mit einschaligen Fassadensystemen schwankt in Abhängigkeit von der Ausführung der Fassade beträchtlich.

Bei konventionellen Bürogebäuden teilt sich der Energieverbrauch etwa folgendermaßen auf [23]:

RLT/Kälteanlagen:	40%
Lüftung/Heizung:	40%
Beleuchtung:	20%

Obwohl der Anteil der benötigten Heizenergie durchaus höher liegen kann, spielt gerade bei 'Zweite-Haut-Fassaden' der Kühlenergiebedarf eine große Rolle, da hier ganzjährig von erhöhten Temperaturen im Fassadenzwischenraum gegenüber der Außenlufttemperatur ausgegangen werden muß. Entsprechend diesen Werten ergeben sich die größten CO<sub>2</sub>-Minderungspotentiale in den Bereichen:

- Reduzierung der Kühllasten mittels optimiertem Sonnenschutz und Nachtlüftung
- Reduzierung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste
- Tageslichtsteuerung und tageslichtabhängige Beleuchtungsregelung

Bei hohen Häusern können Zweite-Haut-Fassaden im Vergleich zu einschaligen Fassadensystemen einen nennenswerten Beitrag zur Verringerung des Energieverbrauchs und der Komfortverbesserung leisten. Da neben dem Primärenergieverbrauch die eingesetzte Energie zur Erstellung des Gebäudes eine ebenso entscheidende Größe darstellt, sind die Ziele einer energetisch optimierten Fassade:

- Einsatz von langlebigen Komponenten mit geringem Primärenergieinhalt und guter Wiederverwertbarkeit
- Wahl einer Verglasungsart, die
  - den sichtbaren Tageslichtanteil im Raum maximiert
  - Wärmeenergieverluste minimiert
- Wahl eines Sonnen-, Blend- und Wärmeschutzsystems, welches bei Bedarf
  - den Wärmeenergieeintrag in den Raum minimiert (niedriger Strahlungstransmissionsgrad für kurzwellige Strahlung, niedrige sekundäre Wärmeabgabe in den Raum)
  - die Transmissionswärmeverluste der Fassade minimiert
  - das einfallende Tageslicht gezielt in die Tiefe des Raumes reflektiert

und zudem

- mit geringem Energieaufwand hergestellt werden kann
- geringe Investitionskosten verursacht
- geringen Wartungsaufwand erwarten läßt
- Konzeption der äußeren Hülle derart, daß
  - eine möglichst gute Durchlüftung des Fassadenzwischenraums gewährleistet ist, um den lufthygienisch erforderlichen Luftwechsel sicherzustellen
  - unerwünschte Wärmeenergiegewinne im Sommerhalbjahr wirkungsvoll abgeführt werden können
  - die Pufferwirkung der Zweite-Haut-Fassade ausgeschöpft werden kann.

Diese Bedingungen lassen sich optimal erfüllen, wenn der Querschnitt der Lüftungsöffnungen in der äußeren Fassadenebene in Abhängigkeit von der Windrichtung und -stärke sowie der Außenlufttemperatur geregelt werden kann.

Diese grundsätzlichen Forderungen sollen bei der nachfolgenden Potentialabschätzung zum Heizenergiebedarf verschiedener Fassadenalternativen anhand eines rechnerischen Vergleichs näher untersucht werden.

## Anmerkungen

[1] Schwarz, Uwe. "Doppelfassaden: Architektonisches Stilelement oder technisch-wirtschaftlich vorteilhafte Lösung?". Fassade 4 (1995): S. 28.

[2] Kraus, Roland [u.a.]. "Energie-transport durch transparente und nicht-transparente Außenwandkonstruktionen". Bauphysik 6 (1991): S. 239-242.

[3] Tepasse, Heinrich. "Ganzglasgebäude im Simulator - Eine Kritik der neuen Energiekonzepte". Bauwelt 43/44 (1996): S. 2488.

[4] Erhorn, Hans, und Kluttig, Heike. "Energiesparpotentiale im Verwaltungsbau zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission". Sonderdruck aus gi - Gesundheits-Ingenieur 5 (1996): S. 270-274 und 6 (1996): S. 309-321.

[5] Daniels, Klaus. Gebäudetechnik. Ein Leitfaden für Architekten und Ingenieure. 2. Aufl. München: R. Oldenbourg, 1996. S. 262.

[6] Oesterle, Eberhard [u.a.]. "Die doppelte Haut unter der Lupe". Clima Commerce International (CCI) 3 (1997): S. 46.

[7] Eine weiterführende Auseinandersetzung mit Fenstersystemen findet sich in: Bregulla, Ute. Fenster- und Fenstersysteme: ein Informationspaket. Köln: TÜV Rheinland, 1993.

[8] Oesterle, Eberhard [u.a.]. "Die doppelte Haut unter der Lupe". Clima Commerce International (CCI) 3 (1997): S. 45-51.

[9] Die Drosselwirkung der Fassade hängt sehr stark vom Querschnitt der Lüftungsöffnungen ab, und sollte in jedem Fall kleiner als der Querschnitt der Türöffnung sein.

Siehe: Oesterle, Eberhard [u.a.]. "Die doppelte Haut unter der Lupe". Clima Commerce International (CCI) 3 (1997): S. 49.

[10] Versuche im Windkanal und numerische Simulationen anhand des RWE Hochhauses in Essen ergaben eine mögliche Reduzierung der Druckbeiwerte um 50% bei einer Ausführung der Zweite-Haut-Fassade als Korridorfassade, da hier ein gewisser Druckausgleich im Fassadenspalt von Luv- und Leeseite stattfinden kann. Siehe: Daniels, Klaus. Technologie des ökologischen Bauens. Basel [u.a.]: Birkhäuser, 1995. S. 113.

[11] Bei Gebäuden unterhalb der Hochhausgrenze werden Ausfallzeiten des Sonnenschutzes aufgrund ungünstiger Windverhältnisse von 8% angenommen. Siehe: Schwab, Armin. "Neue Konzepte mehrschaliger Glasfassaden". Deutsches Architektenblatt 3 (1996): S. 451-456 und 4 (1996) S. 693-695

[12] Bei einer Vollverglasung mit k-Wert 1,7 W/m<sup>2</sup>K und Rahmengruppe 2.1 ergibt sich ein Mittelwert von 2,0 W/m<sup>2</sup>K für die gesamte Fassade. Dieser Wert wird bei nicht hinterlüftetem Fassadenzwischenraum durch die Anordnung einer zweiten Glasschale auf 1,5 W/m<sup>2</sup>k verbessert. Siehe. Schwarz, Uwe. "Doppelfassaden: Architektonisches Stilelement oder technisch-wirtschaftlich vorteilhafte Lösung?" Fassade 4 (1995): S. 28.

[13] ebd.

[14] Hausladen, Gerhard. "Doppelfassaden - Energetische und Raumklimatische Auswirkungen". Tagungsband 'Doppelfassaden und Technische Gebäudeausrüstung 22.10.1997. Bonn: Fachinstitut Gebäude-Klima e.V., 1997. S. 82.

[15] Diese hohe Effizienz dürfte der Grund dafür sein, daß in der BRD jährlich etwa 2 Mio. m<sup>2</sup> außenliegende Sonnenschutzsysteme montiert werden. Angaben nach Information von Firma Eha-ge, Juni 1997.

[16] Kraus, Roland [u.a.]. "Energietransport durch transparente und nichttransparente Außenwandkonstruktionen". Bauphysik 6 (1991): S. 239-242.

[17] Bei den angegebenen Werten handelt es sich um die Ergebnisse einer modellhaften Energiebedarfsberechnung, die von spezifischen Rahmenbedingungen ausging. Die Werte sind nicht allgemeingültig oder unmittelbar auf andere Gebäude übertragbar, da gerade der Kühlenergiebedarf sehr stark von der Raumlüftung abhängt.

Siehe: Heusler, Winfried. "Energie- und komfortoptimierte Fassaden" Fassade 4 (1996): S. 48.

[18] Zimmermann, Klaus. "Licht- und Wärmeeinstrahlung, Sonnenschutz". Technik am Bau (TAB) 7 (1976): S. 663-668.

Siehe außerdem: Nicht veröffentlichte Studie der Firma Hüppe: Sonnenschutz und Gebäude-Klimatisierung. Eine Untersuchung über Wirtschaftlichkeit und Zweckmäßigkeit von Sonnenschutzanlagen. Oldenbourg, 1973. 14 Seiten.

Bemerkung: Die Betriebszeiten eines Verwaltungsgebäudes werden in der Regel nach folgendem Schema erfaßt:

- max. mögliche Nutzungsdauer eines Bürogebäudes: 8760 Std./Jahr (365 Tage x 24 Stunden)
- Nutzungsdauer bei einer 5-Tage-Woche: 6264 Std./Jahr (8760 Std. / 7 Tage x 5 Tage)

- Nutzungsdauer bei Abzug von Urlaub und Feiertagen: 5328 Std./Jahr

- Nutzungsdauer bei 8-Std.-Tag: 1776 Std./Jahr (5328/24 x 8 Std.), entspricht 20% der möglichen Jahresnutzungsdauer von 8760 Std./Jahr

- Nutzungszeit nach Abzug von Krankheit und Pausen: ca. 1600 Std./Jahr

Quelle: nicht veröffentlichtes Skriptum: Neue Arbeitswelten, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr./Univ.Rom Thomas Herzog, TU München 1998, S. 57.

[19] Schwab, Armin. "Neue Konzepte mehrschaliger Glasfassaden". Deutsches Architektenblatt 3 (1996): S. 456.

[20] Gräf, Werner. "on the sunny side. Reinigung und Wartung von Sonnenschutzanlagen". Facility Management 6 (1998): S. 50-51.

[21] Gülec, T., Kolmetz, S., und Rouvel, L. "Energieeinsparungspotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle". Bericht des Entwicklungsvorhabens IKARUS Nr. 5-22. Forschungszentrum Jülich GmbH, Hg. Jülich: Selbstverlag, 1994. S. 33.

[22] Schwarz, Uwe. "Doppelfassaden: Architektonisches Stilelement oder technisch-wirtschaftlich vorteilhafte Lösung?" Fassade 4 (1995): S. 26.

[23] Tepasse, Heinrich. "Ganzglasgebäude im Simulator - Eine Kritik der neuen Energiekonzepte". Bauwelt 43/44 (1996): S. 2489.

[24] RWE Energie AG, Hg. RWE Energie Bau-Handbuch. 12. Aufl. Heidelberg: Energie Verlag GmbH, 1998. S. 4/20.

#### Teil 4

### Wärme- und Sonnenschutzsysteme aus nachwachsenden Rohstoffen für Zweite-Haut-Fassaden

#### Vorbemerkung

Im vorhergehenden Abschnitt wurde aufgezeigt, daß der Einsatz von Manipulatoren der wirkungsvollste Weg ist, um den Energieverbrauch heutiger Verwaltungsbauten zu minimieren. Etwa 80% des Betriebsenergieaufwandes entfallen zu etwa gleichen Teilen auf den Transmissions- und Lüftungswärmebedarf sowie den Kühlenergiebedarf für RLT- und Kälteanlagen. Die Ziele des Einsatzes von Manipulatoren sind daher die

- Reduzierung der Kühllasten mittels optimiertem Sonnenschutz
- Reduzierung der Transmissionswärmeverluste
- Optimierung der Tageslichtnutzung zur Verringerung des Energieverbrauchs für Kunstlicht sowie von Kühllasten

Aufgrund der hohen Bedeutung des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen liegt der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Untersuchung, welche Art von Manipulatoren beim Einsatz in Zweite-Haut-Fassaden dazu geeignet ist, sowohl den Wärme- als auch den Sonnenschutz von Fassaden zu übernehmen.

Weitere Teilaspekte zur energetischen Optimierung von Zweite-Haut-Fassaden, wie die Reduktion des Energiebedarfs für Kunstlicht unter Berücksichtigung der Möglichkeit der Tageslichtnutzung, sollen bei der Komponentenentwicklung als untergeordnetes Kriterium ebenfalls berücksichtigt werden.

#### 1. Vorauswahl möglicher Komponenten zum temporären Wärme- bzw. Sonnenschutz von Zweite-Haut-Fassaden

Bei einer gemeinsamen Betrachtung der in Frage kommenden Wärmeschutzsysteme, die auch zum Sonnenschutz eingesetzt werden können, muß darauf geachtet werden, daß die Einzelkomponenten aufgrund ihrer Werkstoffeigenschaften über einen hohen Wärmedurchgangswiderstand verfügen und/oder innere Hohlräume besitzen, die einen hohen Wärmedurchgangswiderstand besitzen. Dies kann durch stehende Luftschichten oder die Füllung dieser Hohlräume mit Wärmedämmmaterial erreicht werden. [1]

Zudem sollen die Teilaspekte Tageslichtnutzung und visueller Kontakt mit der Außenwelt gleichermaßen betrachtet werden.

Wie bereits gezeigt wurde, sind u.a. folgende Systeme für den Wärme- und Sonnenschutz von Fassaden geeignet:

	Aluminiumblech	Kunststoff (Polyethylen)	Holz (Bauschnittholz)
Rohdichte	0,96 t/m <sup>3</sup>	2,7 t/m <sup>3</sup>	0,6 t/m <sup>3</sup>
Rohdichte in %	100%	281%	62%
Primärenergieinhalt gewichtsbezogen	260820 MJ/t	74000 MJ/t	2822 MJ/t
Primärenergieinhalt gewichtsbezogen in %	100%	28%	1%
Primärenergieinhalt volumenbezogen	704214 MJ/m <sup>3</sup>	90235 MJ/m <sup>3</sup>	1693 MJ/m <sup>3</sup>
Primärenergieinhalt volumenbezogen in %	100%	13%	0,2%

Tab. 1: Primärenergiegehalt verschiedener Baustoffe [2]

- Rolladen
- Klapp-, Faltdamen
- Drehläden
- Schiebeläden
- Lamellen

Von diesen Fassadenkomponenten haben drehbare Lamellen den Vorteil, daß das System sehr einfach den jeweiligen Erfordernissen hinsichtlich des Wärme- und Sonnenschutzes angepaßt werden kann und die Durchsicht bei entsprechend angeordneten Lamellen nur geringfügig behindert wird. Zudem erlaubt die drehbare Lagerung die einfache Anpassung des Systems an unterschiedliche Sonnenstände, was sich sowohl bei horizontaler Anordnung vor Südfassaden als auch bei vertikaler Anordnung vor Ost- oder Westfassaden sehr positiv auf die Tageslichtnutzung und die Möglichkeiten des Blendschutzes auswirkt.

Erfolgt die Anordnung der Drehachse, und damit der Aufhängung, in der Mitte der Lamelle, so wird das Eigengewicht der Lamelle gleichmäßig verteilt. Dies erlaubt die Verwendung einfacher Antriebe, da hier im Gegensatz zu einer Aufhängung der Lamelle am Rand, das Eigengewicht der Lamelle bei der Wahl der Antriebskraft des Motors nicht berücksichtigt werden muß.

Ein weiterer Vorteil von drehbaren Lamellensystemen ist, daß im Vergleich zu Rolläden oder Schiebläden der Luftaustausch unter Einsatz von Lamellen als Sonnenschutzelement nur geringfügig behindert wird, was gerade während der Sommermonate einen entscheidenden Vorteil hinsichtlich der Vermeidung von Überhitzung darstellt.

## 2. Vorauswahl von Werkstoffen zur Herstellung von Wärme- und Sonnenschutzsystemen für 'Zweite-Haut-Fassaden'

Neben den erwähnten funktionalen Vorteilen von Lamellensystemen zur Reduktion des Energieverbrauchs und Erhöhung des Komforts im Gebäudeinneren ist es eine wesentliche Fragestellung der vorliegenden Arbeit, inwiefern der Primärenergieinhalt dieser Komponenten, die bisher nahezu ausschließlich aus Aluminium gefertigt werden, minimiert werden kann.

Wie in Tab. 1 aufgezeigt wird, hat der Baustoff Holz im Vergleich zu Aluminium sowohl volumen- als auch gewichtsbezogen hinsichtlich des Primärenergieinhaltes deutliche Vorteile gegenüber Werkstoffen wie Aluminium. Neben Gewicht und Volumen spielen aber auch andere Werkstoffeigenschaften wie Druck- und Zugfestigkeit sowie Formstabilität eine entscheidende Rolle für die Herstellung von Fassadenkomponenten, weshalb das Kriterium 'Primärenergieinhalt' auch hinsichtlich dieser Fragen betrachtet werden muß.

Doch auch in bezug auf diese Größen ist die Belastbarkeit von Holz relativ hoch, was sich zum Beispiel durch den Einsatz von Holz als einem sehr leichten und zugleich leistungsfähigen Material im Segelflugzeugbau zeigt.

Aufgrund des geringen Primärenergieinhalts und der großen Vorteile

von Holz als nachwachsender Rohstoff sollte deshalb auf der Basis von drehbaren Lamellen untersucht werden, inwiefern sich diese Systeme unter Einsatz von Holz in ihren wärme- und sonnenschutztechnischen Eigenschaften sowie im Hinblick auf den Primärenergieinhalt optimieren lassen.

Anforderungen an das zu entwickelnde System, wie hohe Funktionalität und Lebensdauer, angemessener konstruktiver Aufwand und geringer Energieverbrauch bei der Herstellung, bedingen eine gesamtheitliche Betrachtung sämtlicher Kriterien, die im nachfolgenden Teil untersucht wurden.

## 3. Anforderungskatalog für die Entwicklung von Lamellensystemen aus Holz in Zweite-Haut-Fassaden

Um die im folgenden genannten Aspekte wie Durchsicht, Spannweite und Gestaltung der Lamelle sowohl in theoretischer als auch in praktischer Hinsicht untersuchen zu können, wurde ein Modell der geplanten Zweite-Haut-Fassade im Maßstab 1:10 erstellt. (Fig. 4-7) Dieses Modell ist zweiteilig aufgebaut, um den vorderen Teil der Zweite-Haut-Fassade austauschen zu können, was im vorliegenden Fall die Untersuchung unterschiedlicher Fassadenteilungen und Lamellenlängen zugelassen hat. Zudem kann die innere Fassadenebene zur Untersuchung von alternativen Fassadeneinteilungen ausgetauscht werden.

Die Rückwand des Modells ist abnehmbar, um den Raumeindruck hinsichtlich des Fassadensystems und unterschiedlicher Lamelleneinstellungen untersuchen zu können.

Aufgrund der Fassadenorientierung der am Lehrstuhl vorhandenen Versuchseinrichtung und der Zielrichtung der vorliegenden Arbeit wurde bei der Entwicklung des Lamellensystems und den experimentellen Untersuchungen im Maßstab 1 : 10 und 1 : 1 von einer Südorientierung der Fassade ausgegangen, da hier im Jahresmittel eine hohe Strahlungsintensität und damit eindeutige Aussagen zu den Sonnenschutz-eigenschaften zu erwarten waren.

### 3.1 Funktionale Aspekte

#### 3.1.1 Wärmeschutz

Die Wärmeabgabe von Räumen über das Fassadensystem an die Umgebung erfolgt primär über Strahlung und Konvektion. Die Wärmeleitung über das Medium Luft kann aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Luft in diesem Fall vernachlässigt werden.

Zur Verringerung von Wärmeverlusten während kalter Winternächte sollten die Lamellen daher über folgende Eigenschaften verfügen:

- hoher Wärmedurchgangswiderstand
- Ausbildung einer möglichst fugenfreien Schicht zur vollständigen Abdeckung der inneren Fassadenebene

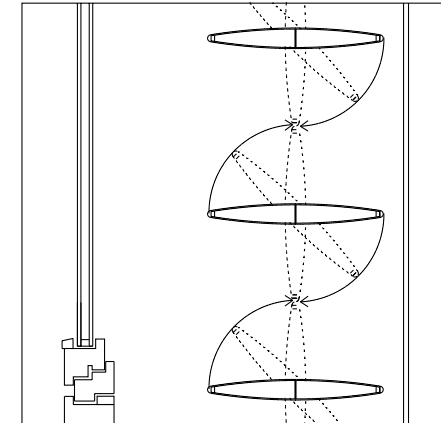


Fig. 1: Lamelle um 90° drehbar

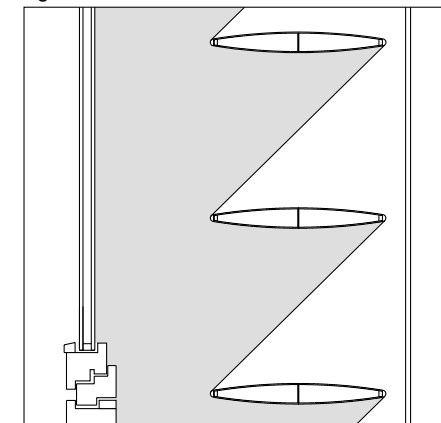


Fig. 2: Höhenwinkel Sonne  $\geq 45^\circ$

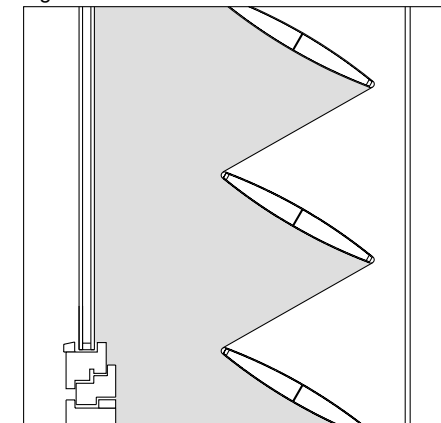


Fig. 3: Höhenwinkel Sonne  $< 45^\circ$



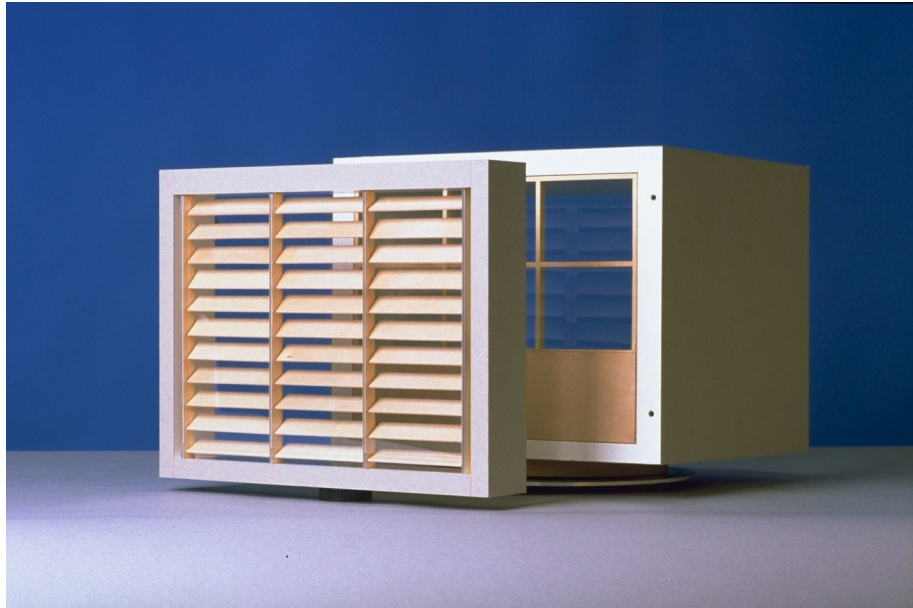


Fig. 4: Modell der Meßeinrichtung mit Zweite-Haut-Fassade, Fassadenteilung mit Achsmaß von ca. 1,2 m

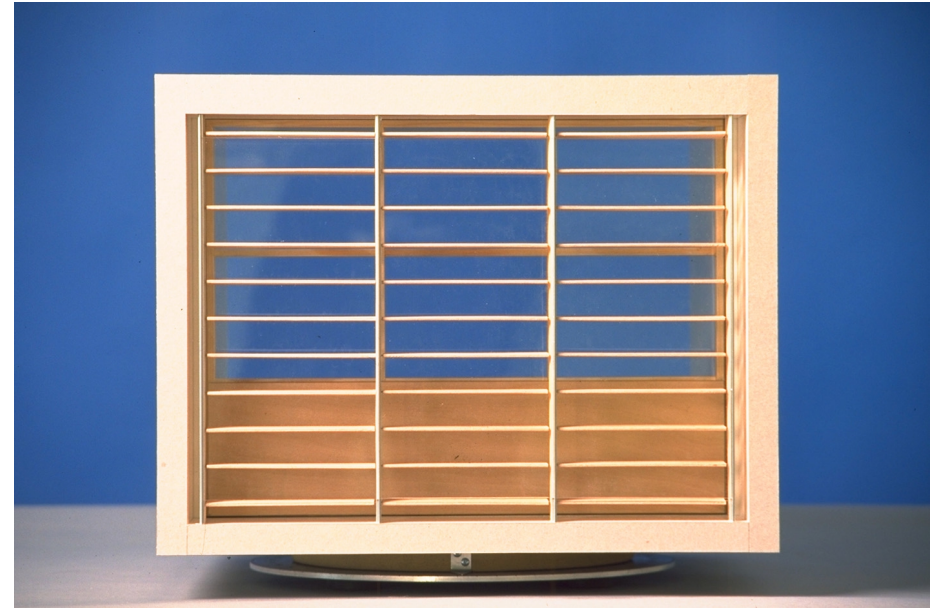


Fig. 6: Modell der Meßeinrichtung mit Zweite-Haut-Fassade, Fassadenteilung mit Achsmaß von ca. 1,2 m

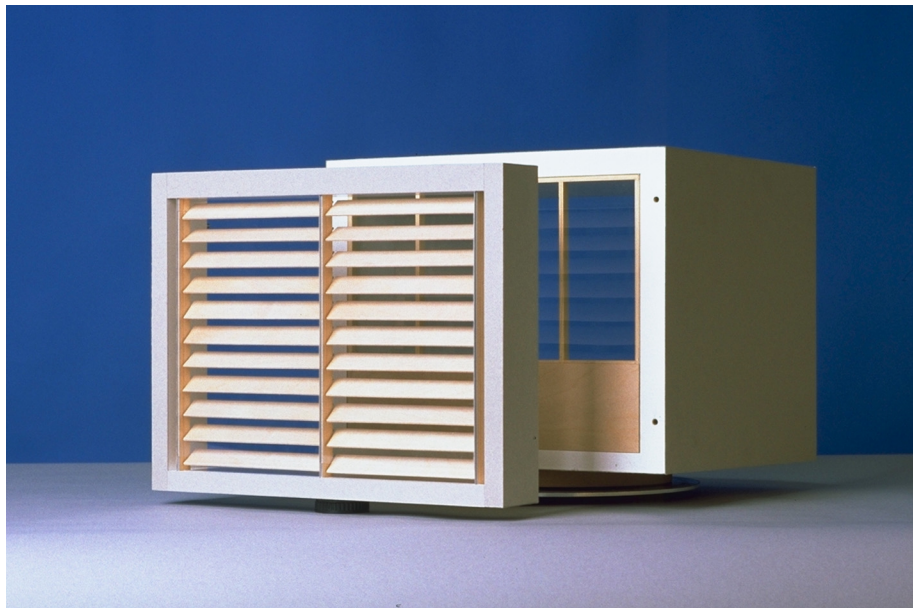


Fig. 5: Modell der Meßeinrichtung mit Zweite-Haut-Fassade, Fassadenteilung mit Achsmaß von ca. 1,8 m

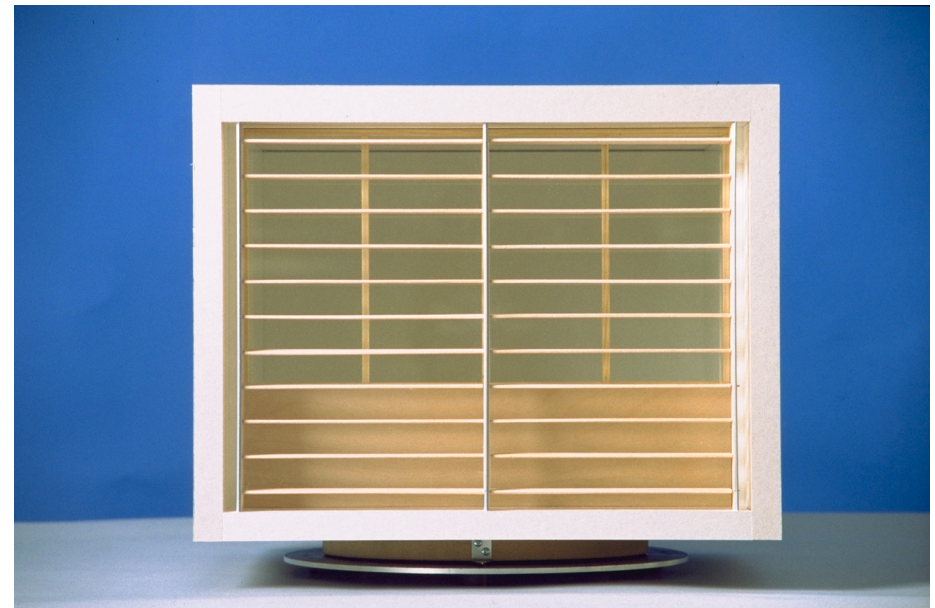


Fig. 7: Modell der Meßeinrichtung mit Zweite-Haut-Fassade, Fassadenteilung mit Achsmaß von ca. 1,8 m

Um Tageslichtnutzung, Wärme- und Sonnenschutz mit derselben Fassadenkomponente ermöglichen zu können, müssen die Lamellen um die eigene Längsachse gedreht werden können. (Fig.1) Dadurch wird einerseits bei senkrecht zur Verglasung ausgerichteten Lamellen eine maximale Durchsicht, andererseits bei parallel zur Verglasung ausgerichteten Lamellen eine geschlossene, wärmedämmende Lamellenebene ermöglicht. Dies gilt sowohl für horizontal gelagerte Lamellen bei südorientierten Fassaden als auch für vertikal gelagerte Lamellen bei einer Ost- oder Westorientierung der Fassade.

### 3.1.2 Sonnenschutz

Aufgrund der gewählten Lamellengeometrie wird ab einem Sonnenhöhenwinkel von 45° Vollverschattung erreicht, was bei südorientierten Fassaden im Sommer während der kritischen Tageszeit gegeben ist. In diesem Fall wird gleichzeitig eine maximale Durchsicht ermöglicht. (Fig. 2)

Übertragen auf den 48° Breitengrad (München, Freiburg) bedeutet dies, daß am 21. Juni von 9.00 Uhr bis 15.00 Uhr bei horizontaler Stellung der Lamellen Vollverschattung erreicht wird. Von Mitte April bis Mitte August wird bei horizontaler Lamellenstellung von 10.00 Uhr bis 14.00 Uhr Vollverschattung erreicht. [3]

Bei flacheren Sonnenständen kann das System so nachgeführt werden, daß gerade noch Vollverschattung

erreicht und die Durchsicht möglichst wenig eingeschränkt wird ('cut-off-Winkel') (Fig.3)

Die Lamellen sollten eine geringe Strahlungsabsorption aufweisen, um eine Erwärmung, und damit Belastung des Materials, sowie eine Überhitzung des Fassadenzwischenraumes zu vermeiden. [4] Die Strahlungsabsorption wird sehr stark von den nachfolgend angeführten strahlungstechnischen Eigenschaften der Holzoberfläche bestimmt.

### 3.1.3 Lichttechnische Eigenschaften

Die Lichtreflexion und -absorption von Holzoberflächen sind zwei bisher wenig untersuchte Eigenschaften, die jedoch in starkem Maß die Einsatzmöglichkeiten von Holz-Lamellen zur Tageslichtsteuerung sowie für den Sonnen- und Wärmeschutz beeinflussen. Hierbei spielen insbesondere die Holzfärbung und die Oberflächenbeschaffenheit eine große Rolle. So ist der Anteil der reflektierten gegenüber der absorbierten Strahlung bei Oberflächen mit heller Farbgebung höher als bei dunkel gefärbten Materialien. [5]

Zudem reflektieren stark glänzende Oberflächen die Strahlung gerichtet, (Fig.8) während matte Oberflächen die auftretende Strahlung diffus reflektieren (Fig.9).

Die Vorteile eines hohen Reflexionsvermögens der Lamellenoberfläche sind die Möglichkeit der Tageslichtlenkung, die Vermeidung einer starken Erwärmung und damit die Ver-

minderung der sekundären Wärmeabgabe der Lamellen.

Um diese Eigenschaften beeinflussen zu können, sollte das Holz eine gute Aufnahmefähigkeit für Beschichtungen mit Lasuren und Lack besitzen. Zudem kann derartigen Beschichtungen ein UV-Schutz beigegeben werden, wodurch sich die lichttechnischen Eigenschaften des Holzes in einem gewissen Umfang konservieren lassen. [6]

Ein weiterer Teilaspekt der lichttechnischen Eigenschaften ist die Beachtung der Blendung des Nutzers durch hohe Leuchtdichtekontraste, die bei sehr hellen, hoch reflektierenden Materialien entstehen könnten. Hierbei ist die Lamellenstellung von besonderer Bedeutung, da bei geeigneter Einstellung der Lamellenneigung eine Blendung des Nutzers ausgeschlossen werden kann.

### 3.1.4 Durchsicht

Um einen nahezu ungestörten visuellen Kontakt mit der Außenwelt zu gewährleisten, sollten die Lamellen in horizontaler Stellung den Durchblick möglichst wenig einschränken. (Fig.11, 12)

Dies wird erreicht durch

- eine geringe Bauhöhe in Relation zum Lamellenabstand

Lamellenbreite und -achsabstand sind nahezu gleich, soll eine geschlossene 'Lamellenwand' mit einer geringfügigen Überlappung der Lamellen erreicht werden. (Fig.1)

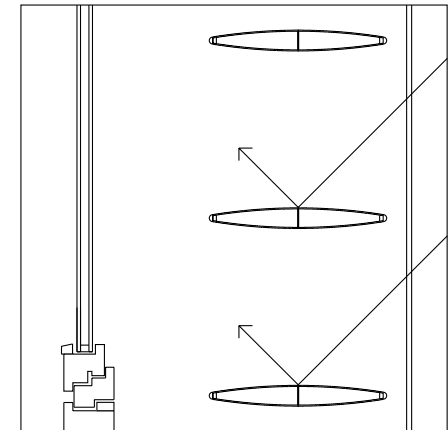


Fig. 8: Direkte Reflexion des Tageslichts

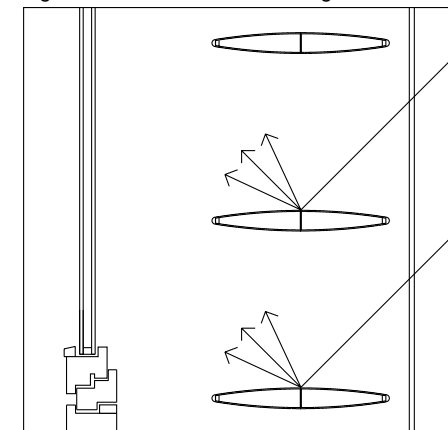


Fig. 9: Diffuse Reflexion des Tageslichts

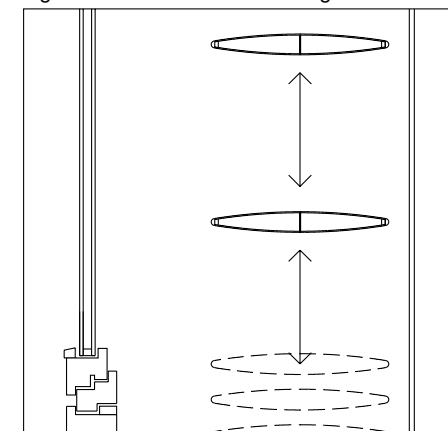


Fig. 10: Lamellen vertikal verfahrbar

Je breiter die Lamelle ist, desto größer ist also der Lamellenabstand, wodurch die freie Durchsicht beeinflusst wird. Ein weiterer Faktor zur Optimierung der freien Durchsicht ist eine möglichst geringe Bauhöhe der Lamelle. Bestimmende Faktoren sind hierbei die freie Spannweite der Lamelle und die Leistungsfähigkeit der Lamellenkonstruktion.

Hierbei spielt das gezielte Nachführen der Lamelle in Abhängigkeit vom Sonnenstand eine besondere Rolle, um die Durchsicht auch bei flacherem Sonnenstand möglichst wenig einzuschränken.

Um einen optimalen visuellen Kontakt mit der Außenwelt zu ermöglichen, sollte das Sonnenschutzsystem, sobald es nicht benötigt wird, vertikal verfahren werden können. Die Fassaden von Verwaltungsgebäuden besitzen häufig durchgehende Fensterbänder mit Brüstungsanteil, wohin ein derartiges 'Lamellenpaket' sehr gut verfahren werden könnte, ohne die Durchsicht zu behindern. (Fig.10)

### 3.1.5 Wartungs- und Reinigungsaufwand

Ein wesentlicher Faktor für das Sicherstellen einer einwandfreien Funktion, hohen Lebensdauer und eines ansprechenden Erscheinungsbildes der Lamellen ist die Möglichkeit einer problemlosen Reinigung. Staub- und Schmutzablagerungen beeinträchtigen nicht nur das Erscheinungsbild, sondern auch die strahlungstechnischen Eigenschaften

der Lamellen. Deshalb sollte die Lamellenoberfläche schmutzabweisend sein und leicht gereinigt werden können.

## 3.2 Konstruktive Anforderungen

### 3.2.1 Spannweite der Lamellen

Die im Verwaltungsbau üblichen Raum- und Modulgrößen führen zu Achsmaßen für das Fassadenraster in horizontaler Richtung, welche zwischen 1,20 m und 1,80 m liegen. Die Achsabstände der Lamellenkonstruktion sollten sich an diesen Größen orientieren. [7] Die gestalterische Wirkung der unterschiedlichen Achsmaße wurde anhand des Modells untersucht. (Fig. 4 - 7) Hierbei ist vor allem darauf zu achten, daß bei gleichbleibender Lamellenbreite die Bauhöhe der Lamelle in direktem Zusammenhang mit der Spannweite steht. Ein weiterer bestimmender Faktor für die Höhe der Lamellen ist die erforderliche Wärmedämmwirkung, die in starkem Maße von der Dicke der Dämmschicht bestimmt wird.

### 3.2.2 Höhe von Lamellensystem und Fassade

Um einen optimalen Wärmeschutz zu ermöglichen, muß sich das Lamellensystem über die gesamte innere Verglasung der Fassade erstrecken.

Da im Verwaltungsbau in der Regel Raumhöhen von etwa 3,0 m üblich sind, ergeben sich daraus Geschoßhöhen bei Bürogebäuden mit

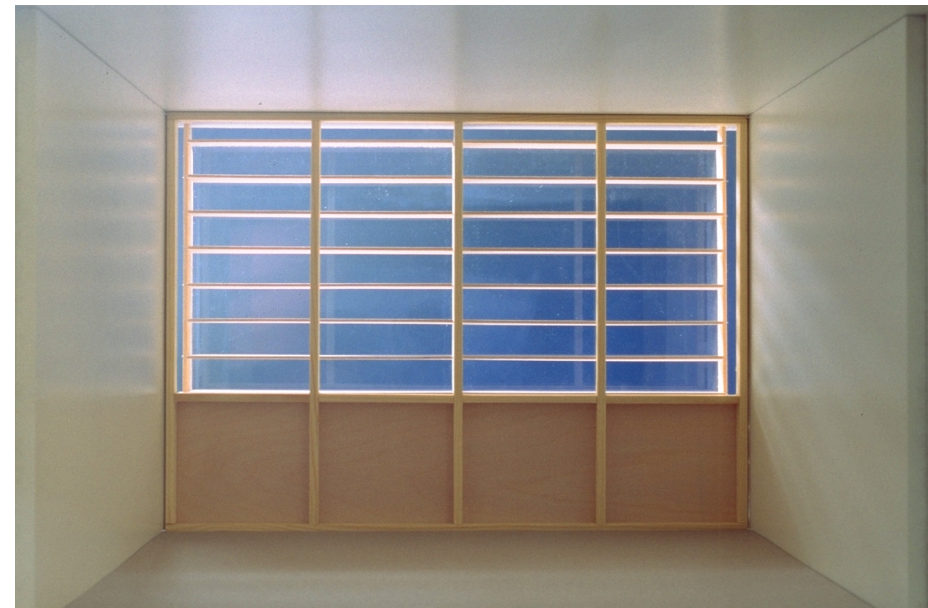


Fig. 11: Innenaufnahme des Modells der Meßeinrichtung mit Zweite-Haut-Fassade, Lamellen horizontal



Fig. 12: Innenaufnahme des Modells der Meßeinrichtung mit Zweite-Haut-Fassade, Lamellen geneigt

Doppelboden und/oder abgehängter Decke von bis zu etwa 3,60 m. Diese Größe ist vor allem für die Ermittlung von Stapelhöhen der Lamellen und für die Dimensionierung der Unterkonstruktion sowie der Antriebs- und Führungssysteme bestimmend.

### 3.2.3 Dimensions- und Formstabilität

Eine einwandfreie Funktion und ein in gestalterischer Hinsicht überzeugendes Erscheinungsbild erfordern eine hohe Formstabilität, um ein Durchhängen oder Verwinden der Lamellen auch bei wechselnden Temperaturen und unterschiedlicher Luftfeuchte auf Dauer zu verhindern. Dies muß bei der Materialwahl, dem konstruktiven Aufbau und der Herstellung der Lamellen beachtet werden. Neben Holz ist die Verwendung von Holzwerkstoffen mit sehr günstigen Eigenschaften besonders hervorzuheben. Eine bedeutende Rolle spielt hierbei Birkensperholz, welches für Konstruktionen mit hohen Beanspruchungen besonders geeignet ist. [8]

### 3.2.4 Alterungs- und Korrosionsbeständigkeit

Ein wesentlicher Vorteil von Doppelfassaden ist der Schutz von im Fassadenzwischenraum integrierten Sonnen- und Wärmeschutzsystemen vor Regen, Schnee und Wind. Dennoch treten auch hier äußere Belastungen wie Temperaturwechsel, Sonneneinstrahlung und wechselnde Luftfeuchtigkeit auf, gegen die alle Fassadenkomponenten

weitgehend unempfindlich sein sollten, um eine lange Lebensdauer und eine geringe Reparaturanfälligkeit zu garantieren. [9] Diese witterungsbedingten Schwankungen der Holztemperatur und Holzfeuchte können zu einem Auftreten von Spannungen durch Quellen und Schwinden des Holzes führen, was bei der Auswahl des Materials und der Konstruktion der Lamelle berücksichtigt werden muß. [10]

## 3.3 Gestalterische Aspekte

### 3.3.1 Färbung

Die Eigenfarbe unterschiedlicher Holzarten ist ein gestalterisches Merkmal, welches die Wahrnehmung und das psychische Wohlbefinden des Nutzers beeinflusst. Im allgemeinen wird davon ausgegangen, daß helle Farbtöne das Wohlbefinden positiv beeinflussen, zu grelle Farben jedoch die Konzentrationsfähigkeit herabsetzen. (Tab. 2)

Sollte die Oberflächenfarbe der Lamelle über die Eigenfarbe des Materials hinaus künstlich gesteuert werden können, so ist auf eine gute Farbaufnahmefähigkeit der verwendeten Holzart bzw. des Holzwerkstoffes zu achten.

### 3.3.2 Formgebung

Maßstab und Proportion von Fassadenkomponenten müssen sowohl hinsichtlich der Einzelelemente, als auch im Zusammenhang mit der Gebäudehülle und dem gesamten Baukörper gesehen werden.

Die wesentlichen Größen sind La-

Farbe	Temperaturwirkung	ausgelöste psychische Stimmung
Blau	kalt	beruhigend
Grün	sehr kalt bis neutral	sehr beruhigend
Rot	warm	sehr aufreizend und beunruhigend
Orange	sehr warm	anregend
Gelb	sehr warm	anregend
Braun	neutral	anregend
Violett	kalt	aggressiv, beunruhigend, entmutigend

Tab. 2: Psychologische Wirkung von Farben [11]

mellenbreite, -höhe und -länge, wobei sich auch der Lamellenquerschnitt in Abhängigkeit von Neigungswinkel und Blickrichtung des Betrachters sehr stark auf das visuelle Erscheinungsbild auswirkt.

Aufgrund des Lichteinfalls von außen ist zu beachten, daß die Ansichtshöhe sehr stark von der Querschnittsform bestimmt wird. Bei gleicher Bauhöhe weist ein Lamelle mit einem ellipsenförmigen Querschnitt eine wesentlich schmalere Außenkante auf als mit einem kastenförmigen Profil.

### 3.3.3 Oberflächenstruktur

Die unterschiedliche Oberflächenstruktur, die eng mit der Maserung, Zellstruktur und den Eigenheiten des Wachstums der einzelnen Baumarten zusammenhängt, entscheidet neben der Farbgebung über das Erscheinungsbild des Holzes.

Um gute lichttechnische Eigenschaften mit einem hohen Reflexionsgrad zu erhalten, sollte eine gleichmäßig helle, feinporige Oberfläche mit geringem Wechsel zwischen hellen

und dunklen Streifen bevorzugt werden.

## 3.4 Ökologische Aspekte

Hier sind vor allem die folgenden Punkte relevant:

- Verfügbarkeit (Rohstoff)
- Primärenergieinhalt
- Verbindungstechnik (Leim-, Dübel-, Steckverbindungen) und Montage

Wie bereits erwähnt, bietet Holz als nachwachsender Rohstoff den großen Vorteil, mit einem relativ geringem Energieverbrauch gewonnen, verarbeitet und eingesetzt werden zu können, wodurch der Primärenergiegehalt deutlich geringer ist als beispielsweise bei Aluminium. [2]

### 3.4.1 Verfügbarkeit

Ein nachhaltiges Handeln im Umgang mit natürlichen Baustoffen sollte sich an der Verfügbarkeit und dem Primärenergieinhalt der jeweiligen Holzarten und Holzwerkstoffe orientieren. Daher spielt bei der Bestimmung umweltrelevanter Kriterien das Holzvorkommen eine große Rolle. So kann die Nutzung einer

heimischen Baumart trotz geringem Energieaufwand für den Transport durchaus problematisch sein, wenn dadurch Bestand und die Artenvielfalt ernsthaft bedroht würden.

### 3.4.2 Primärenergieinhalt

Hierzu müssen folgenden Punkte berücksichtigt werden:

- Gewinnung (Rohstoff)
- Transport (Rohstoff)
- Herstellung (Bauteil)
- Einbau (Bauteil)
- Lebensdauer (Bauteil)
- Entsorgung (Bauteil)
- Wiederverwendbarkeit

Der Aufwand für Gewinnung, Transport und Verarbeitung des Rohmaterials sowie der Energieaufwand für Transport, Einbau und Recycling nach dem Ablauf der Lebensdauer von Fassadenkomponenten muß im Gesamtzusammenhang von Lebensdauer, Wartungsaufwand und Effizienz des jeweiligen Bauteils gesehen werden. Hinweise auf den Primärenergieinhalt verschiedener Werkstoffe wurden bereits in Tab. 1 gegeben. [12] Beachtenswert ist dabei, daß auch innerhalb einer Werkstoffgruppe, wie beispielsweise Holz, die unterschiedlichen Holzarten zum Teil sehr unterschiedliche Primärenergieinhalte haben. [13]

### 3.4.3 Montageaufwand / Verbindungstechnik

Die Verbindungstechnik bestimmt nicht nur den Herstellungs- und Montageaufwand, und damit die Kosten eines bestimmten Systems,

	<b>Merkmal</b>	<b>Anforderung</b>
<b>Funktion</b>	Wärmeschutzeigenschaften	hoher Wärmedurchgangswiderstand geringer Fugendurchlaßgrad des Gesamtsystems
	Sonnenschutzeigenschaften	Erreichen von Vollverschattung der Fassade bei geringer Einschränkung der Durchsicht geringe Strahlungsabsorption zur Vermeidung von Erwärmung der Lamellen, und damit des Scheibenzwischenraumes und von sekundärer Wärmeabgabe über Strahlung in das Rauminnere
	Lichttechnische Eigenschaften	hohe Strahlungsreflexion der Lamellenoberfläche
	Durchsicht	geringe Bauhöhe in Relation zum Lamellenabstand vertikale Verfahrbarkeit der Lamellen
	Wartungsfreundlichkeit	schmutzabweisende Oberflächen einfache Reinigungsmöglichkeit
<b>Konstruktion</b>	Spannweite der Lamellen Höhe des Lamellensystems Dimensions- und Formstabilität	Spannweiten zwischen 1,2 und 1,8 m geringe Lamellenhöhe und damit Stapelhöhe geringe Veränderung der Form durch Witterungseinflüsse und Alterung
	Alterungs- und Witterungsbeständigkeit Montageaufwand	hohe Lebensdauer aller Komponenten geringer Aufwand für Ein- und Ausbau des Systems
<b>Gestaltung</b>	Färbung Formgebung Bauhöhe	helle, kontrastarme Farbgebung schlanke Querschnitte mit geringen Ansichtshöhen geringe Bauhöhe und Beachtung der erforderlichen Wärmedämmwirkung
	Oberflächenstruktur	gleichmäßig helle, kontrastarme und feinporige Oberfläche
<b>Ökologie</b>	Verfügbarkeit	hohe Verfügbarkeit des Materials mit geringem Transportaufwand
	Primärenergieinhalt	möglichst geringer Primärenergieinhalt unter Berücksichtigung der Lebensdauer, Entsorgung und Recycling
<b>Brandschutz</b>	Baustoffklasse	Rohdichte von 400 - 800 kg/m <sup>3</sup> (Furniersperrholz) sowie Materialstärke von mind. 2 mm ermöglicht Zuordnung zur Baustoffklasse B2 (normal entflammbar)

Tab. 3: Überblick zum Anforderungsprofil für Komponenten zum Wärme- und Sonnenschutz von Zweite-Haut-Fassaden

sondern auch den Aufwand für die Reparatur und den Austausch von schadhafte Teilen. Deshalb sollten Verbindungen so konzipiert sein, daß Montage, Wartung und Austausch reparaturbedürftiger Teile einfach durchgeführt werden können. Nach Ablauf der Lebenszeit sollte zudem ein sortenreines Recycling ermöglicht werden.

### 3.5 Brandschutz

Aufgrund der Brennbarkeit von Materialien auf der Basis nachwachsender Rohstoffe wie Holz, Holzwerkstoffe und Papier ist der Brandschutz in Doppelfassaden besonders zu beachten. [14]

Eine Zusammenfassung der wesentlichen Faktoren bei der Beurteilung der unterschiedlichen Fassadentypen und deren brandschutztechnischen Eigenschaften, Gebäudeklassen, Gebäudenutzungen und Brandschutzmaßnahmen findet sich im Anhang. [15]

Im folgenden soll deshalb nur die Einzelkomponente betrachtet werden, bei welcher der Baustoff die brandschutztechnischen Eigenschaften des Gesamtsystems bestimmt.

#### - Baustoffklassen

Aufgrund der Brennbarkeit von Holz muß genauer untersucht werden, inwiefern Wärme- und Sonnenschutzsysteme als nichttragende, unabhängig von der Primärkonstruktion zu betrachtende Komponenten in 'Zweite-Haut-Fassaden' besondere

Anforderungen erfüllen müssen. [16]

Sperrholz mit einer Schichtdicke von 2 mm und einer Rohdichte  $\geq 400 \text{ kg/m}^3$  wird nach DIN 4102, Teil 4 der Baustoffklasse B2 (normal entflammbar) zugeordnet, was im Zusammenhang mit der Lamellenentwicklung berücksichtigt werden muß.

Dies gilt ebenfalls für Sperrholz mit einer Rohdichte  $\geq 200 \text{ kg/m}^3$ , allerdings erst ab einer Stärke von 5 mm.

Eine Zuordnung zur Baustoffklasse B 1 (schwerentflammbar) ist prüfzeitpflichtig und kann unter Verwendung von Feuerschutzsalzen bei der Herstellung, oder nachträglich durch Schutzanstriche erreicht werden. [17]

Daher ist bei dem Einsatz von Birken-sperrholz mit einer anzunehmenden Rohdichte von  $400 - 800 \text{ kg/m}^3$  (Furniersperrholz) eine Materialstärke von mind. 2 mm zu verwenden, um eine Zuordnung zur Baustoffklasse B2 (normal entflammbar) zu erreichen.

Die bestimmenden Merkmale und Anforderungen zur Entwicklung von Wärme- und Sonnenschutzsystemen sind in Tab. 3 zusammengefaßt worden.

## 4. Untersuchung geeigneter Holzarten bzw. Holzwerkstoffe und deren Beschichtung

Im vorhergehenden Abschnitt wurden die wesentlichen Kriterien aufgezeigt, die bestimmend für die Entwicklung von Komponenten zum Wärme- und Sonnenschutz von Fassaden sind.

Da einen wesentlichen Aspekt dieser Arbeit der Einsatz von Holz für Wärme- und Sonnenschutzsysteme darstellt, werden im folgenden Abschnitt die Auswahlkriterien für die zu verwendenden Holzarten aufgezeigt.

### 4.1 Auswahlkriterien [18]

#### 4.1.1 Holzfarbe

Das Aussehen unterschiedlicher Holzarten wird bestimmt durch den Farbton sowie die sichtbaren Gefügemerkmale. Bei Nadelhölzern wird die Struktur durch die Früh- und Spätholzverteilung, bei Laubhölzern durch die Größe der Gefäßzellen bestimmt. Aufgrund der im vorhergehenden Abschnitt erwähnten Kriterien ist eine möglichst helle Holzart zu bevorzugen.

#### 4.1.2 Faserverlauf, Struktur, Aussehen

Zu auffälligen Strukturmerkmalen gehören Wechseldrehwuchs, Riegelwuchs und Markflecken. Wechseldrehwuchs findet sich häufig bei tropischen Hölzern und besteht in einer periodischen, meist im Abstand von 0,5 bis 2 cm wechselnden

Neigung der Fasern zur Stammachse. Dies führt je nach Lichteinfall zu unterschiedlich hellen Streifen und beeinträchtigt unter Umständen die Möglichkeiten der Bearbeitung.

Riegelwuchs verursacht durch Unregelmäßigkeiten des Faserverlaufes eine auffällige wellige Texturierung von Längsflächen bzw. eine Hell/Dunkelzeichnung quer zur Faser.

Markflecken sind länglich-schmale, braune Flecken, die durch Wundreizung entstehen.

In lichttechnischer und gestalterischer Hinsicht sind Hölzer mit möglichst homogener Struktur und unauffälligem Faserverlauf zu bevorzugen.

#### 4.1.3 Rohdichte

Durch die Rohdichte und die Holzfeuchtigkeit werden wesentliche Eigenschaften des Holzes und der Holzwerkstoffe, wie z.B. die Festigkeit, bestimmt, wobei Hölzer mit einer hohen Rohdichte zu bevorzugen sind. Die Rohdichte ( $\text{g/cm}^3$ ) wird in lufttrockenem Zustand, also bei einer Holzfeuchte von 10 bis 15% bestimmt. Beispielhafte Werte sind  $0,43 - 0,47 \text{ g/cm}^3$  für Fichte oder  $1,05 - 1,18 \text{ g/cm}^3$  für Ebenholz, jeweils in lufttrockenem Zustand.

#### 4.1.4 Differentielles Schwindmaß (in % je 1% Holzfeuchteänderung)

Diese Angabe ermöglicht es, zu einer gegebenen Holzfeuchteänderung die Dimensionsänderung von

Holz quer zur Faser abzuschätzen. Es ist auf ein möglichst geringes Schwindmaß zu achten.

#### 4.1.5 Dimensions- und Formstabilität

Maßhaltigkeit und Stehvermögen sind komplexe Größen, die sehr stark von der Anisotropie von Schwindung und Quellung, Abweichung des Faserverlaufs, Angleichgeschwindigkeit der Holzfeuchte, Querschnittsabmessungen und Reaktionsgeschwindigkeit auf Klimawechsel abhängen. Neben den Eigenschaften des Holzes spielt die Verarbeitung, beispielsweise zu Holzwerkstoffen, eine entscheidende Rolle. So zeichnet sich Sperrholz durch große Festigkeit und Formbeständigkeit aufgrund des schichtweisen, gekreuzten Aufbaus seiner Lagen aus. Der Rechenwert nach DIN 1052 für das Schwind- und Quellmaß von Baufurniersperrholz liegt beispielsweise bei 0,02% je % Holzfeuchte unterhalb des Fasersättigungsbereiches, während dieser Wert bei etwa 0,2% für Birke und Buche liegt. [19]

#### 4.1.6 Sorptionsgeschwindigkeit

Die Sorptionsgeschwindigkeit (Angleichgeschwindigkeit) ist bisher wenig untersucht worden. Im allgemeinen nimmt diese Größe mit abnehmender Rohdichte zu. Um eine geringe Sorptionsgeschwindigkeit zu erhalten, sollte das Holz eine möglichst hohe Rohdichte besitzen.

Holzart	Douglasie	Western Redcedar	Weymouthkiefer	Ahorn	Birke	Esche
<b>Holzfarbe Splint</b>	gelblichweiß	weiß	hellgelblichweiß	Splint und Kern kaum zu unterscheiden, gelblichweiß, leicht vergilbend, seidig glänzend	Splint und Kern nicht zu unterscheiden, gelblichweiß bis rötlichgelb	weiß bis hellgelblich
<b>Holzfarbe Kern</b>	rötlichbraun, nachdunkelnd, Spätholz dunkel	rotbraun, nachdunkelnd, Spätholz dunkler	hellrötlichbraun, nachdunkelnd	s.o.	s.o.	hellgrau bis oliv, häufig etwas zonig gedunkelt
<b>Faserverlauf, Struktur Aussehen</b>	schlicht bis dekorativ	schlicht bis dekorativ	schlicht	häufig dekorativer Riegelwuchs, Jahrringgrenzen erkennbar, dekorativ	häufig welliger Faserverlauf, oft Markflecken, Zuwachszonen schwach markiert, schlicht bis dekorativ	Jahresringe sehr deutlich, gelegentlich Riegelwuchs, dekorativ
<b>Rohdichte (g/cm<sup>3</sup>) r<sub>15</sub> (lufttrocken)</b>	0,51 - 0,58	0,36 - 0,39	0,40 - 0,43	0,61 - 0,66	0,65 - 0,73	0,68 - 0,76
<b>Differentielles Schwindmaß radial (in % je 1% Holzfeuchteänderung)</b>	0,15 - 0,19	0,07 - 0,09	0,08 - 0,11	0,10 - 0,20	0,18 - 0,24	0,17 - 0,21
<b>Dimensions- und Formstabilität</b>	gut	sehr gut	sehr gut	mittel bis gut	mittel	mittel
<b>Sorptionsgeschwindigkeit der Holzfeuchte</b>	groß	groß	groß	gering	mittel	gering bis mittel
<b>Wärmeleitfähigkeit λ (W/mK)</b>	0,12	0,09	0,10	0,16-0,18	Wert für Birke liegt nicht vor. Rohdichte von Birke mit Buche vergleichbar, λ Buche = 0,16	0,15-0,17

Tab. 4: Überblick zu den unterschiedlichen Eigenschaften verschiedener Holzarten [18]

#### 4.1.7 Wärmeleitfähigkeit

Wie in Tab. 4 ersichtlich, schwankt die Wärmeleitfähigkeit der ausgewählten Holzarten zwischen 0,09 und 0,18 W/mK. Im Vergleich zu anderen Werkstoffen, wie z.B. Aluminium (221 W/mK) oder Fensterglas (0,80 W/mK), verfügt Holz in dieser Hinsicht über sehr günstige Werkstoffeigenschaften, die dieses Material als sehr geeignet für den Einsatz für Wärmeschutzvorrichtungen erscheinen lassen.

Zusammenfassend lassen sich folgende Kriterien feststellen, die Hölzer erfüllen sollten, um zur Herstellung von Wärme- und Sonnenschutzsystemen herangezogen zu werden:

- helle Holzfärbung
- schlichter Faserverlauf
- geringe bis mittlere Sorptionsgeschwindigkeit der Holzfeuchte
- gute Verfügbarkeit
- gute Bearbeitungsfähigkeit
- hohe Materialfestigkeit

#### 4.2 Wahl geeigneter Holzarten

Eine Gegenüberstellung der vorher genannten Auswahlkriterien mit den in Tab. 4 dargestellten Eigenschaften verschiedener Holzarten führt zur Vorauswahl von Ahorn und Birke für die Herstellung von Wärme- und Sonnenschutzlamellen.

Neben den reinen Materialeigenschaften ist ein wesentliches Kriterium die Verfügbarkeit dieser Hölzer als Sperrholzmaterial, da die Dimen-

sions- und Formstabilität ein ausschlaggebender Faktor im Hinblick auf die Funktion und Lebensdauer ist. Dies ist vor allem darin begründet, daß das Lamellensystem einen geringen Fugendurchlaßgrad haben sollte, was sich auf Dauer nur mit formstabilen Lamellen erreichen läßt. Hier erscheint Birken-sperrholz aufgrund seiner sehr guten Festigkeitswerte besonders günstig, weshalb es auch bevorzugt im Segelflugzeugbau eingesetzt wird. Furniersperrholz aus Ahorn ist in Stärken ab 5 mm, Birkenfurniersperrholz in Stärken ab 0,4 mm erhältlich.

#### 5. Untersuchung der Reflexionseigenschaften unterschiedlicher Holz- und Aluminiumoberflächen

Wie bereits im vorhergehenden Abschnitt dargestellt, hat das Reflexions- und Absorptionsverhalten unterschiedlicher Materialien Einfluß auf das wärmetechnische Verhalten von Fassadensystemen. Da neben der Holzfarbe die Oberflächenbehandlung und Beschichtung in strahlungs- und funktionstechnischer Hinsicht eine wichtige Rolle spielt, wurden Ahorn- und Birken-sperrholzmuster mit verschiedenen Lacken beschichtet, um Aussagen zu den Reflexionseigenschaften der unterschiedlichen Oberflächen zu gewinnen. [20]

Die Auswahl der Beschichtungsart wurde von folgenden Anforderungen bestimmt:

- dauerhafter Schutz vor UV-Einstrahlung
- Schutz vor Verschmutzung durch Luftverunreinigungen
- Schutz der Holzoberfläche vor Feuchtigkeit
- Herstellung einer möglichst einfach zu reinigenden Holzoberfläche
- Maximale Reflexion der Solarstrahlung auf der Lamellenoberfläche
- Erhalt der gestalterischen Eigenschaften der Holzoberfläche (Farbe, Struktur etc.)

Die unterschiedlichen Beschichtungsvarianten der gewählten Holzarten Ahorn (Probe Nr. 0 sowie 1 - 6) und Birke (Probe Nr. 00 sowie 7-12) wurden hierzu in folgende Gruppen eingeteilt:

- A unbehandelt, Schliff mit Körnung 150
- B DD-Klarlack, Seidenglanz, ohne UV-Schutzmittel
- C DD-Klarlack, Seidenglanz, mit UV-Schutzmittel
- D DD-Klarlack, glänzend, ohne UV-Schutzmittel
- E DD-Klarlack, glänzend, mit UV-Schutzmittel
- F DD-Lack, glänzend, mit weißer Beize als Untergrund, ohne UV-Schutzmittel
- G DD-Lack, glänzend, mit weißer Beize als Untergrund ohne UV-Schutzmittel

Zum Vergleich wurden verschiedene Beschichtungsvarianten eines herkömmlichen Aluminiumraffstores mit

folgenden Farbtönen untersucht:

- Hüppe ARS, Farbe 46, reinweiß (RAL 9010)
- Hüppe ARS, Farbe 18, grauweiß (RAL 9002)
- Hüppe ARS, Farbe 12, mattsilber (ohne RAL Nr.)

Als weitere Alternative wurde das strahlungstechnische Verhalten von Papier am Beispiel von Japanpapier untersucht. Dies ermöglicht den Vergleich mit den Werten für Holz und Metall.

Außerdem sollte die Bedeutung der Richtung des Faserverlaufs für das Reflexionsverhalten ermittelt werden, weshalb Holzproben mit parallel zur Lichtrichtung verlaufender Maserung die Beiziffer X/1, Proben mit senkrecht zur Lichtrichtung verlaufender Maserung die Beiziffer X/5 erhielten.

#### 5.1 Meßverfahren

Zugrunde gelegt wurden Holzmuster im Format 40 x 80 mm. Dieses Format wurde bestimmt durch das vorhandene Meßfeld und die Haltevorrichtung für unterschiedliche Meßproben mit einer Breite von 40 mm. Nach der Untersuchung der Licht- und Strahlungsreflexionseigenschaften der unbewitterten Holzproben wurde eine künstliche Bewitterung vorgenommen, um Aussagen hinsichtlich des Witterungseinflusses auf das Reflexions- und Absorptionsverhalten der unterschiedlichen Holzoberflächen treffen zu können. [21] (Fig. 13, 15)



Die Messungen erfolgten unter einem Einfallswinkel von  $8^\circ$ , das verwendete Meßgerät war ein Spektrometer mit Ulbricht-Kugel-Einsatz. (Fig. 14) Der relevante Wellenlängenbereich zur Messung der Lichtreflexion lag im Bereich von 380 bis 750 nm. Der relevante Wellenlängenbereich zur Messung der solaren Strahlungsreflexion lag im Bereich von 300 bis 2500 nm. Für die Meßtoleranz der Meßeinrichtung wurden  $\pm 1\%$  angenommen.

## 5.2 Darstellung der Ergebnisse

### 5.2.1 Lichtreflexion (380-750 nm)

#### - Ahornfurnierholz

Hier ergab sich als niedrigster Wert für die Lichtreflexion 57,3% bei Probe 1/1 mit Beschichtung aus Klarlack Seidenglanz ohne UV-Schutzmittel. (Tab. 5, 6, 7)

Der höchste Lichtreflexionsgrad wurde bei Probe 5/1 festgestellt (71,5%), die mit Lackbeize weiß vorbehandelt und anschließend mit Klarlack glänzend beschichtet worden war.

Die Untersuchung der Auswirkung des Faserverlaufs in Relation zur Einstrahlrichtung ergab, daß der Lichtreflexionsgrad bei senkrecht zum Faserverlauf einfallendem Licht tendenziell etwas höher lag als bei parallel einfallendem Licht. Bei Ahornholz beträgt die Differenz ca. 3 bis 7%, bei Birkenholz ca. 2 bis 5%.

Diese Beobachtung gilt nur für farblos beschichtetes Material. Bei den Proben mit weißer Lackbeize sind



Fig. 13: UV-Bestrahlungslampen der Bewitterungskammer [21]

die Unterschiede so gering, daß hierzu keine Aussagen getroffen werden können.

Ein weiteres Ergebnis ist, daß die unbehandelten Holzoberflächen, sowohl bei Ahornholz als auch bei Birkenholz, generell einen höheren Reflexionsgrad aufweisen als mit seidenglanzendem DD-Lack beschichtete Holzoberflächen.

Die Werte für die Strahlungsreflexion bei unbehandelten Holzoberflächen lediglich von den Holzmustern übertroffen, die mit Lackbeize weiß grundiert worden waren, bevor DD-Lack glänzend aufgetragen wurde.

Im Bereich des Tageslichtspektrums wirkt sich die Verwendung des UV-Schutzmittels ohne vorherige Bewitterung nur geringfügig auf den Tageslichtreflexionsgrad aus. Tendenzuell wird der Reflexionsgrad um bis zu 3% verbessert, lediglich beim Einsatz von Lackbeize weiß wird die

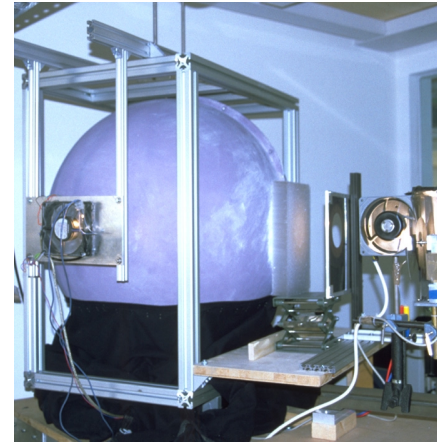


Fig. 14: Spektrometer mit Ulbricht Kugel [21]

Lichtreflexion um ca. 2% verschlechtert.

Die künstliche Bewitterung bewirkte eine deutliche Braunfärbung der exponierten Holzoberflächen, wie in Fig. 15 zu erkennen ist.

Zudem zeigt sich ein klarer Rückgang des Tageslichtreflexionsanteils von 66% auf 41% bei unbehandeltem Ahornholz (Probe 0/1). (Tab. 5, 7)

Dieser Unterschied fällt bei den Proben deutlich geringer aus, die mit UV-Schutzmittel beschichtet worden waren. So ist bei Probe 4/1 ein Rückgang der Tageslichtreflexion von 71,5% auf 57,2% festzustellen.

#### - Birkenfurnierholz

Hier sind ähnliche Werte für die Strahlungsreflexionseigenschaften gemessen worden, wie dies bei Ahornfurnierholz der Falls war. (Tab. 8, 10, 11) Der niedrigste Wert für die

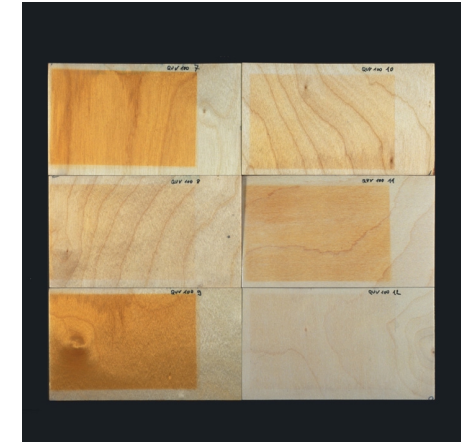


Fig. 15: Verfärbung der Holzproben aufgrund der Schnellbewitterung.

Lichtreflexion findet sich bei Probe 7/1 mit 54,6%, als höchster Wert 66,6% bei Probe 12/5. Damit ist der Tageslichtreflexionsgrad, abhängig von der Beschichtungsart, etwa 2 - 8% niedriger als bei Ahorn.

Nach erfolgter Bewitterung zeigte sich, daß die Verwendung eines UV-Schutzmittels einen deutlich geringeren Rückgang des Tageslichtreflexionsgrades mit sich bringt. Während dieser Reflexionsgrad bei Probe 1/1 mit Klarlackbeschichtung von ca. 57% auf ca. 33% verringert wurde, fällt dieser Wert bei Probe 2/1 mit Klarlackbeschichtung und UV-Schutz von ca. 61% auf lediglich 46%.

Eine Gegenüberstellung der Meßwerte für die Strahlungsreflexion der unbewitterten Holzmuster mit weißem, transluzentem Japanpapier (Lichtreflexionsgrad 55,9%) oder mattsilber beschichtetem Aluminium

(Lichtreflexionsgrad 50,4%) zeigt, daß die Holzoberflächen mit Lichtreflexionsgraden von 54,6% bis 71,5% vergleichbar gute bis sehr gute Eigenschaften besitzen.

Nach der Bewitterung wurden für den Tageslichtreflexionsgrad Werte von ca. 52% bei Birke (Probe 10/1, Klarlack glänzend mit UV-Schutz) bzw. 47% bei Ahorn (Probe 4/1 Klarlack glänzend mit UV-Schutz) gemessen.

Dies bedeutet, daß für Birkensperholz nach erfolgter Bewitterung noch Reflexionswerte für das Tageslicht-

spektrum gemessen wurden, die in tageslichttechnischer Hinsicht mit einem Standard-Alu-Jalousettensystem mit grau-weißer Farbbeschichtung (RAL 9002) verglichen werden können (Tageslichtreflexionsgrad 50,4%).

Wie in Tab. 9 ersichtlich, ist die Meßprobe mit dem höchsten Lichtreflexionsgrad die Aluminiumlamelle mit reinweißer Farbbeschichtung (RAL 9010), bei welcher ein Lichtreflexionsgrad von 84,4% gemessen wurde.

## 5.2.2 Strahlungsreflexion (300-2500 nm)

Ahornfurnierholz

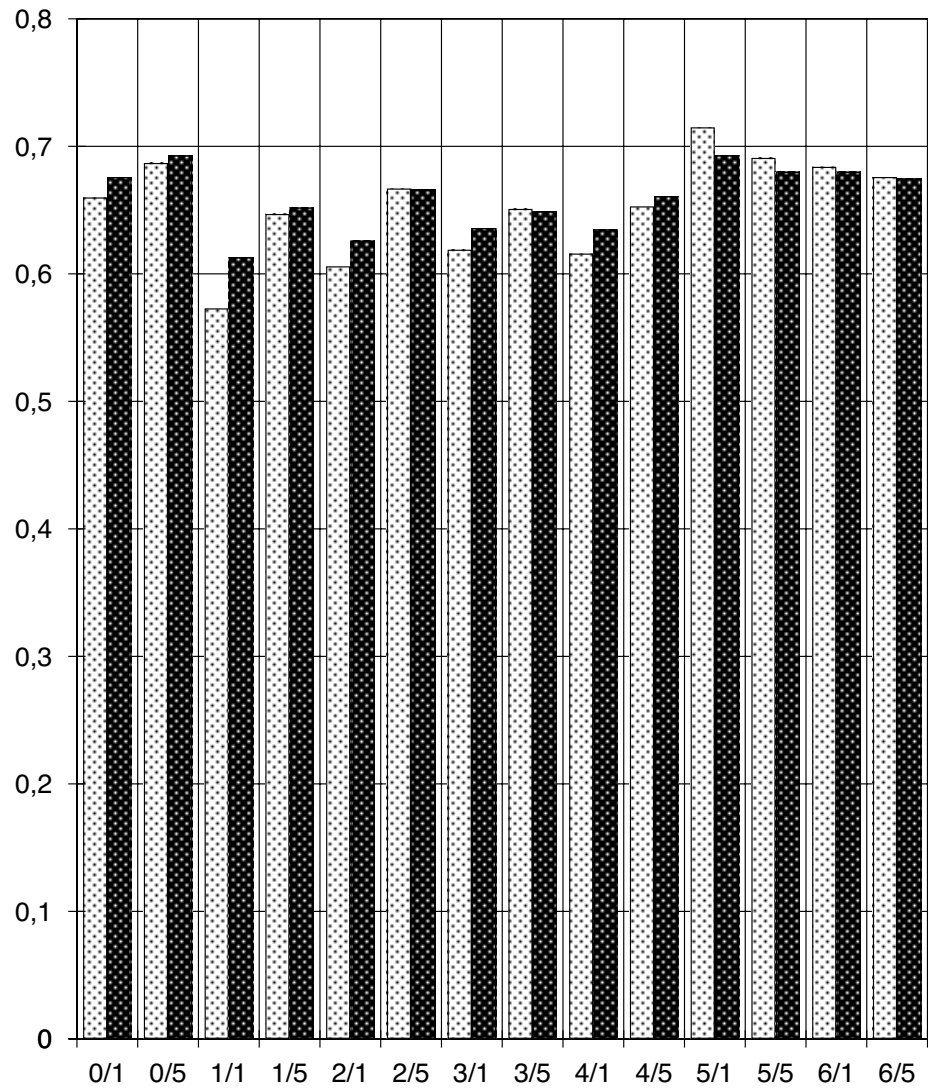
Als niedrigster Wert für die Strahlungreflexion ergab sich 61,3% für Probe 1/1, als höchster Wert 69,3% für Proben 5/1 und 0/5. (Tab. 7, 8, 9) Diese Tendenz deckt sich weitgehend mit den Werten des Tageslichtreflexionsgrades. Auch hier wurde der niedrigste Wert bei Probe Nr. 1/1, der höchste Wert bei Probe Nr. 5/1 gemessen.



Der Strahlungsreflexionsgrad von Ahorn, abhängig von der Beschichtungsart, ist generell etwa 2 - 5 % höher als bei Birke.

Die Untersuchung der Auswirkung des Faserverlaufs in Relation zur Einstrahlrichtung ergab, daß der Strahlungsreflexionsgrad bei senkrecht zum Faserverlauf einfallender Strahlung tendenziell für beide Holzarten etwas höher ist. Bei Ahorn ergibt sich eine Bandbreite von ca. 2 - 4%, bei Birke von etwa 3 - 4%.

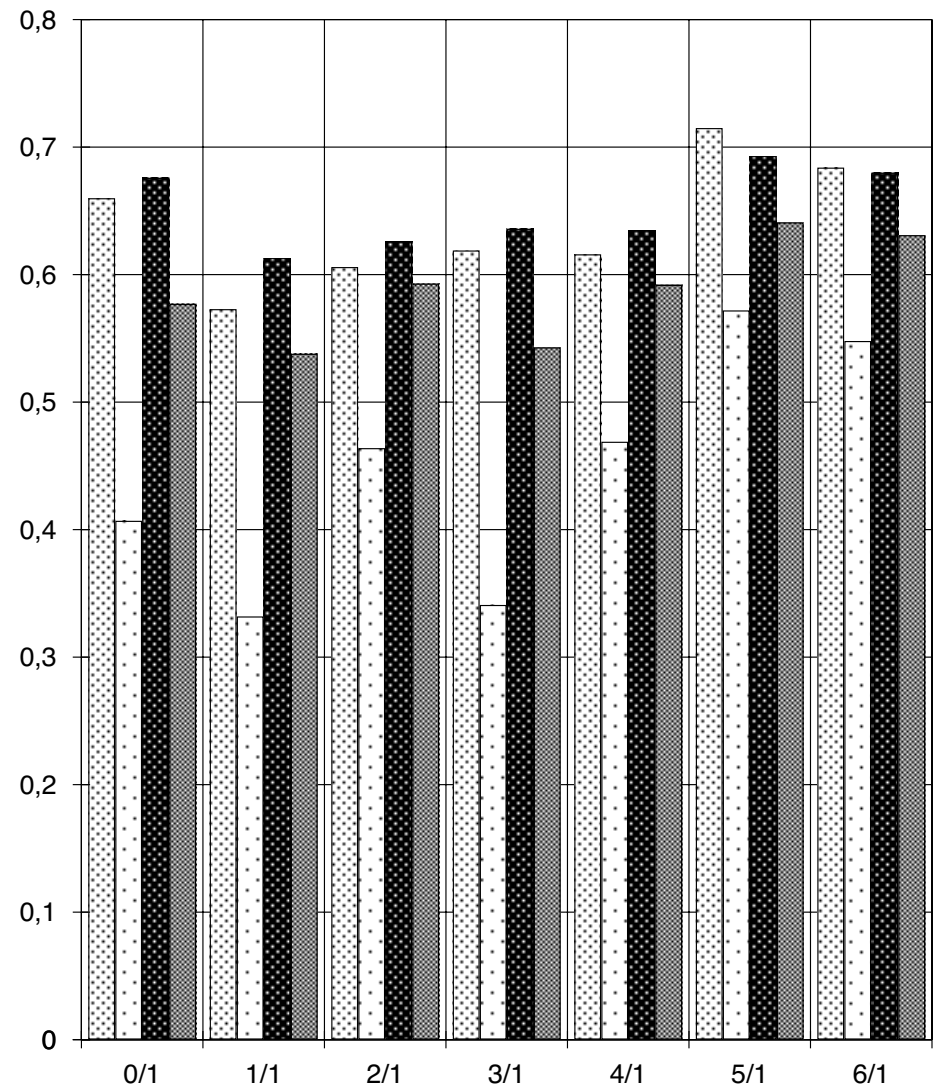
Probe Nr. Ahorn	Behandlung	Gruppe	Faserrichtung	Lichtreflexion (Probe unbewittert)	Strahlungsreflexion (Probe unbewittert)	Lichtreflexion (Probe bewittert)	Strahlungsreflexion (Probe bewittert)
0/1	Schliff mit Körnung 150	A	parallel	66,0%	67,6%	40,7%	57,7%
0/5	Schliff mit Körnung 150	A	senkrecht	68,7%	69,3%		
1/1	Beschichtung mit Klarlack Seidenglanz ohne UV-Schutz	B	parallel	57,3%	61,3%	33,2%	53,8%
1/5	Beschichtung mit Klarlack Seidenglanz ohne UV-Schutz	B	senkrecht	64,7%	65,2%		
2/1	Beschichtung mit Klarlack Seidenglanz mit UV-Schutz, 5%	C	parallel	60,6%	62,6%	46,4%	59,3%
2/5	Beschichtung mit Klarlack Seidenglanz mit UV-Schutz, 5%	C	senkrecht	66,7%	66,6%		
3/1	Beschichtung mit Klarlack glänzend ohne UV-Schutz	D	parallel	61,9%	63,6%	34,1%	54,3%
3/5	Beschichtung mit Klarlack glänzend ohne UV-Schutz	D	senkrecht	65,1%	64,9%		
4/1	Beschichtung mit Klarlack glänzend mit UV-Schutz, 5%	E	parallel	61,6%	63,5%	46,9%	59,2%
4/5	Beschichtung mit Klarlack glänzend mit UV-Schutz, 5%	E	senkrecht	65,3%	66,1%		
5/1	Besch. m. Klarlack gl. o. UV-Schutz (m. Lackbeize weiß)	F	parallel	71,5%	69,3%	57,2%	64,1%
5/5	Besch. m. Klarlack gl. o. UV-Schutz (m. Lackbeize weiß)	F	senkrecht	69,1%	68,0%		
6/1	Besch. m. Klarlack gl. m. UV-Schutz (m. Lackbeize weiß)	G	parallel	68,4%	68,0%	54,8%	63,1%
6/5	Besch. m. Klarlack gl. m. UV-Schutz (m. Lackbeize weiß)	G	senkrecht	67,6%	67,5%		





Tab. 5: Ergebnisse der strahlungstechnischen Untersuchung von Ahornfurnierholz, 5 mm



 Lichtreflexion, Probe unbewittert, Lichteinfall parallel zur Maserung  
 Strahlungreflexion, Probe unbewittert, Lichteinfall senkrecht zur Maserung

Tab. 6: Ahornfurnierholz: Vergleich von Licht- und Strahlungsreflexion in Prozent in Abhängigkeit von der Strahlungsrichtung



 Lichtreflexion, Probe unbewittert, Lichteinfall parallel zur Maserung  
 Lichtreflexion, Probe bewittert, Lichteinfall parallel zur Maserung  
 Strahlungreflexion, Probe unbewittert, Lichteinfall senkrecht zur Maserung  
 Strahlungreflexion, Probe bewittert, Lichteinfall senkrecht zur Maserung

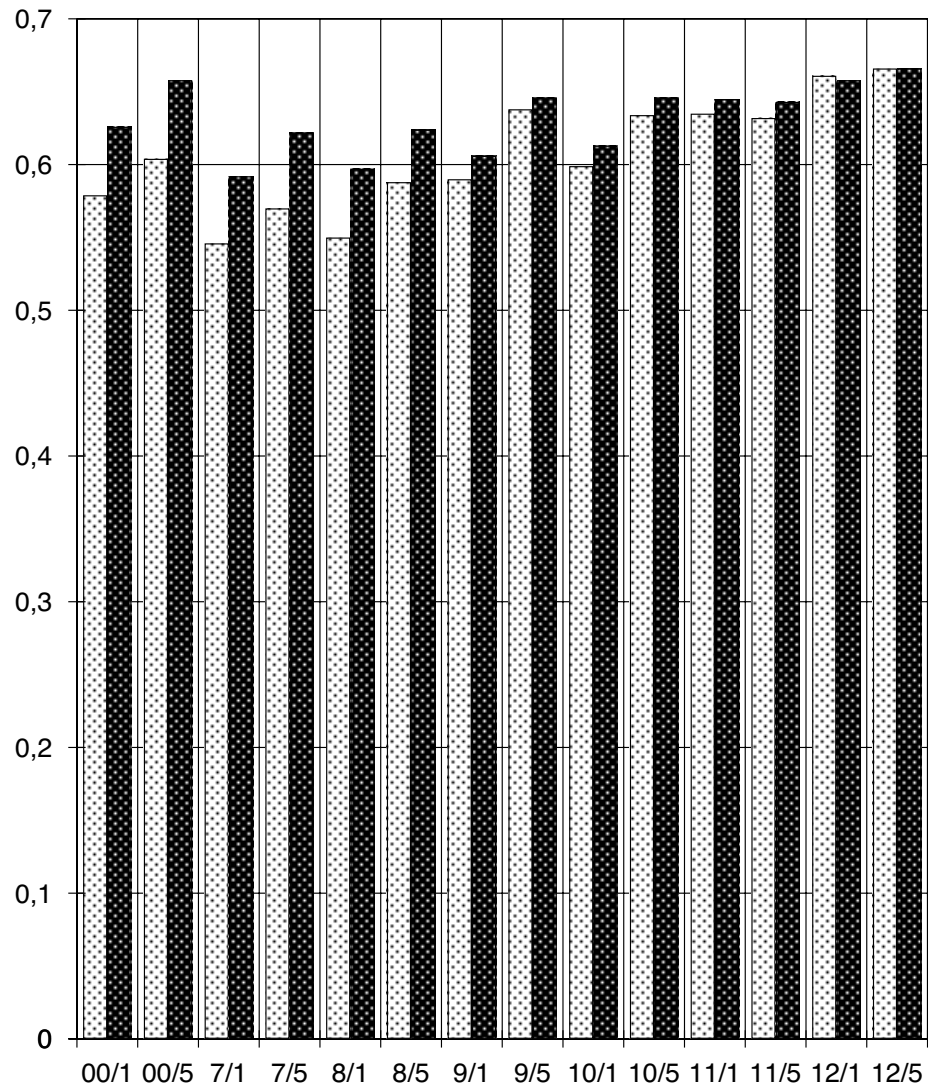
Tab. 7: Ahornfurnierholz: Vergleich von Licht- und Strahlungsreflexion in Prozent in unbewittertem und bewittertem Zustand



Probe Nr. Birke	Behandlung	Gruppe	Faserrichtung	Licht- reflexion (Probe unbewittert)	Strahlungs- reflexion (Probe unbewittert)	Licht- reflexion (Probe bewittert)	Strahlungs- reflexion (Probe bewittert)
00/1	Schliff mit Körnung 150	A	parallel	57,9%	62,6%	43,4%	57,6%
00/5	Schliff mit Körnung 150	A	senkrecht	60,4%	65,8%		
7/1	Beschichtung mit Klarlack Seidenglanz ohne UV-Schutz	B	parallel	54,6%	59,2%	36,4%	53,7%
7/5	Beschichtung mit Klarlack Seidenglanz ohne UV-Schutz	B	senkrecht	57,0%	62,2%		
8/1	Beschichtung mit Klarlack Seidenglanz mit UV-Schutz, 5%	C	parallel	55,0%	59,7%	48,5%	58,7%
8/5	Beschichtung mit Klarlack Seidenglanz mit UV-Schutz, 5%	C	senkrecht	58,8%	62,4%		
9/1	Beschichtung mit Klarlack glänzend ohne UV-Schutz	D	parallel	59,0%	60,6%	38,6%	53,8%
9/5	Beschichtung mit Klarlack glänzend ohne UV-Schutz	D	senkrecht	63,8%	64,6%		
10/1	Beschichtung mit Klarlack glänzend mit UV-Schutz, 5%	E	parallel	59,9%	61,3%	51,8%	60,2%
10/5	Beschichtung mit Klarlack glänzend mit UV-Schutz, 5%	E	senkrecht	63,4%	64,6%		
11/1	Besch. m. Klarlack gl. o. UV-Schutz (m. Lackbeize weiß)	F	parallel	63,5%	64,5%	48,0%	57,8%
11/5	Besch. m. Klarlack gl. o. UV-Schutz (m. Lackbeize weiß)	F	senkrecht	63,2%	64,3%		
12/1	Besch. m. Klarlack gl. m. UV-Schutz (m. Lackbeize weiß)	G	parallel	66,1%	65,8%	62,7%	64,8%
12/5	Besch. m. Klarlack gl. m. UV-Schutz (m. Lackbeize weiß)	G	senkrecht	66,6%	66,6%		

Tab. 8: Ergebnisse der strahlungstechnischen Untersuchung von Birkenfurnierholz, 2 mm

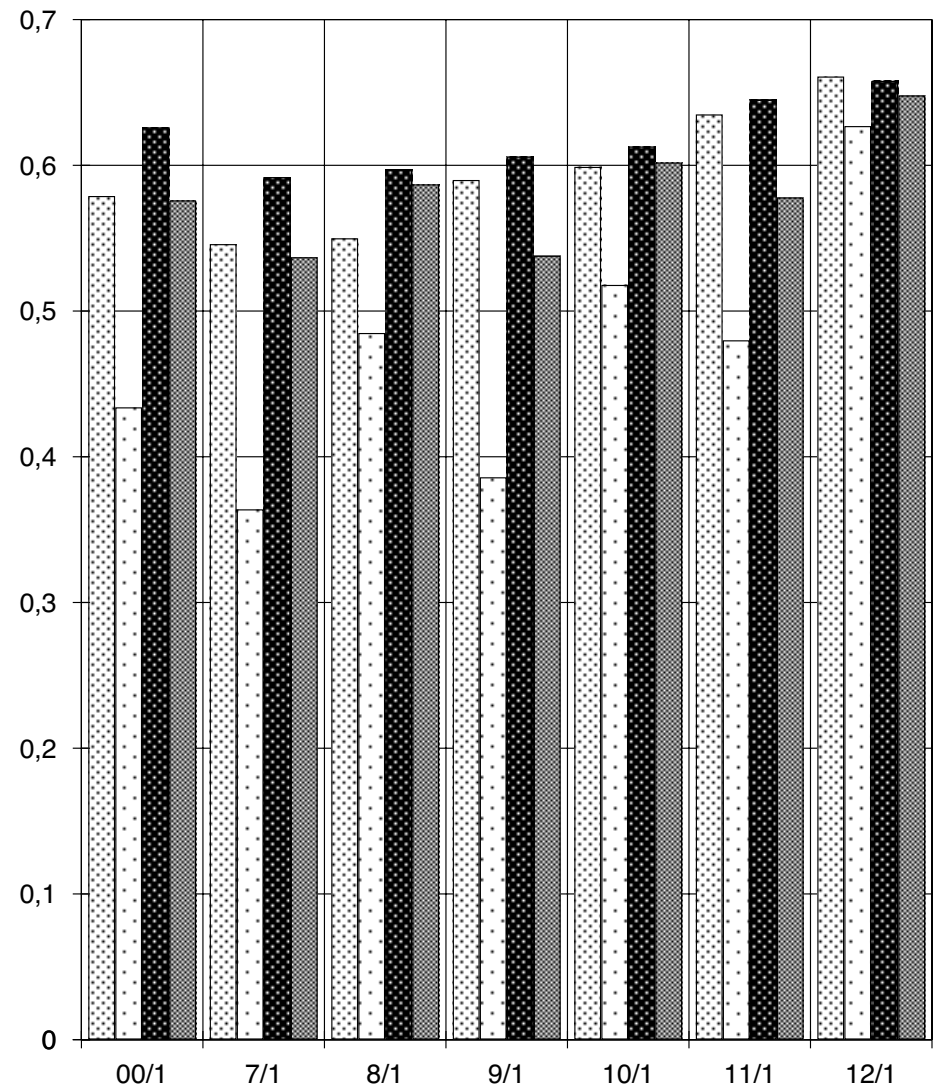
Probe Nr.	Material	Behandlung	Lichtreflexion	Strahlungsreflexion
FB 12	Aluminium, FB 12	lackiert, Farbton mattsilber (ohne RAL Nr.)	50,4%	49,3%
FB 18	Aluminium, FB 18	lackiert, Farbton grauweiß (RAL 9002)	69,5%	59,4%
FB 46	Aluminium, FB 46	lackiert, Farbton reinweiß (RAL 9010)	84,4%	74,0%
---	Papier	gewässert, Spannlack dreilagig	55,9%	53,5%





Tab. 9: Ergebnisse der strahlungstechnischen Untersuchung von verschiedenen Aluminiumbeschichtungen sowie Papier



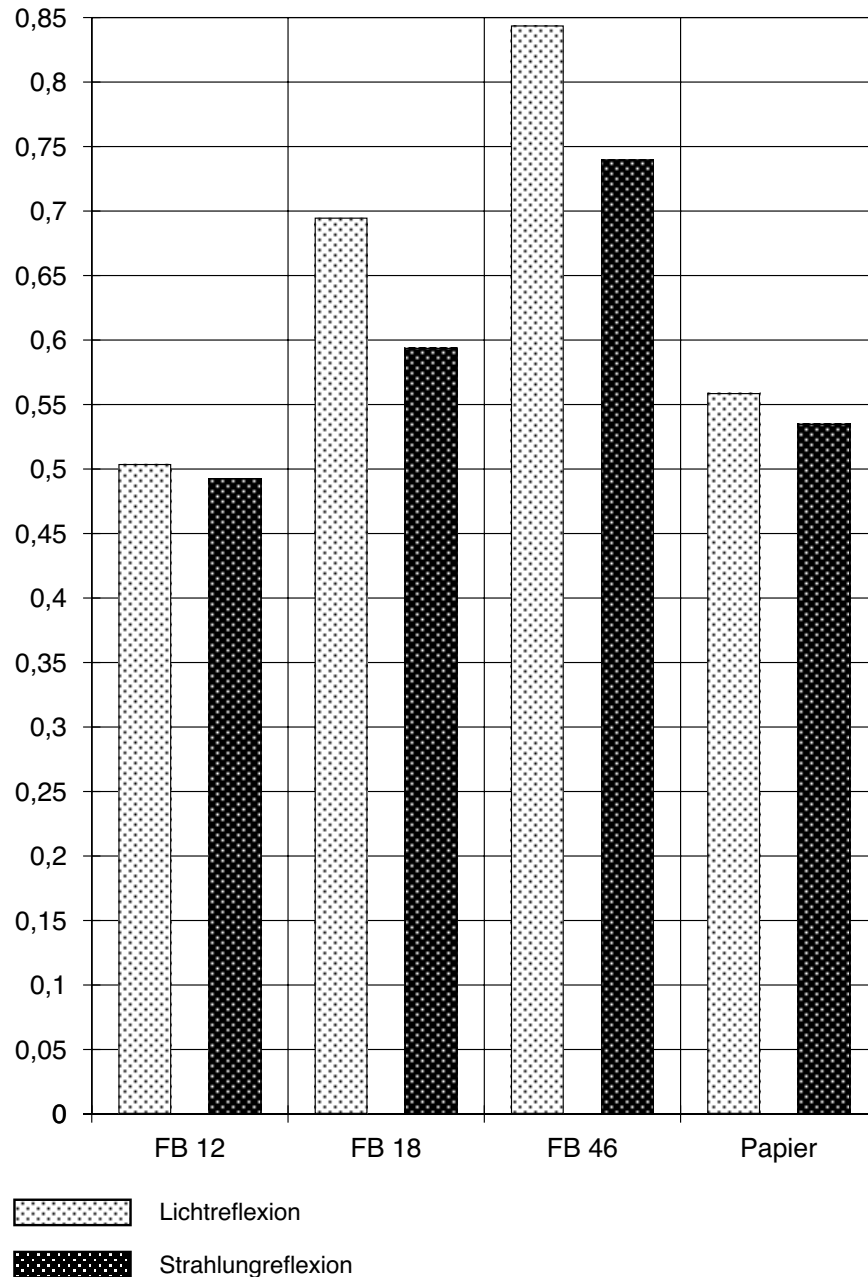
 Lichtreflexion, Probe unbewittert, Lichteinfall parallel zur Maserung  
 Strahlungreflexion, Probe unbewittert, Lichteinfall senkrecht zur Maserung

Tab. 10: Birkenfurnierholz: Vergleich von Licht- und Strahlungsreflexion in Prozent in Abhängigkeit von der Strahlungsrichtung



 Lichtreflexion, Probe unbewittert, Lichteinfall parallel zur Maserung  
 Lichtreflexion, Probe bewittert, Lichteinfall parallel zur Maserung  
 Strahlungreflexion, Probe unbewittert, Lichteinfall senkrecht zur Maserung  
 Strahlungreflexion, Probe bewittert, Lichteinfall senkrecht zur Maserung

Tab. 11: Birkenfurnierholz: Vergleich von Licht- und Strahlungsreflexion in Prozent in unbewittertem und bewittertem Zustand



Tab. 12: Lichtreflexion und Strahlungsreflexion von Aluminium (FB 12, 18, 46) und Papier in Prozent

Damit sind die Unterschiede im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichts etwas ausgeprägter als für das Strahlungsspektrum im gesamten Wellenlängenbereich von 300 bis 2500 nm. Auch hier gilt für die Proben mit weißer Lackbeize, daß die Unterschiede der Meßwerte bezüglich des Verlaufs der Maserung zu gering sind, als daß taugliche Aussagen getroffen werden könnten.

Die Werte nach erfolgter künstlicher Bewitterung zeigten, daß im Wellenlängenbereich von 300-2500 nm der Rückgang des Strahlungsreflexionsgrades deutlich geringer ist als im sichtbaren Tageslichtspektrum. (Tab. 5, 6, 7)

So ist bei Probe 2/1 lediglich ein Rückgang von ca. 63% auf 59% festzustellen, während dieser Rückgang im Tageslichtbereich von ca. 61% auf ca. 46% betragen hatte.

#### Birkensperrholz

Im Vergleich zu Ahornholz gelten ähnliche Werte, da als niedrigster Wert für die Strahlungsreflexion 59,2% bei Probe 7/1 und als höchster Wert 66,6% für Probe 12/5 gemessen wurden. (Tab. 8,10,11)

Die Untersuchung des Reflexionsgrades im gesamten Strahlungsspektrum zeigte, daß sich die Verwendung des UV-Schutzmittels vor der künstlichen Bewitterung noch geringer auswirkt, als dies bei der Lichtreflexion der Fall war. Tendenziell wird dabei der Reflexionsgrad bei Ahorn und Birke geringfügig um

bis zu 2% verbessert.

Verglichen mit weißem Papier (Strahlungsreflexionsgrad 53,5%) oder mattsilber beschichtetem Aluminium (Strahlungsreflexionsgrad 49,3%), liegen alle Werte jedoch in einem sehr günstigen Bereich, und können durchaus mit dem Strahlungsreflexionsgrad eines Standard-Alu-Jalousettensystems mit grauweißer Farbbeschichtung (RAL 9002), welches einen Strahlungsreflexionsgrad von ca 59,4% besitzt, verglichen werden.

Nach der Bewitterung werden Werte für den Strahlungsreflexionsgrad von ca. 60% für Birkenholz (Probe 10/1, Klarlack glänzend mit UV-Schutz) bzw. 59% für Ahornholz (Probe 4/1 Klarlack glänzend mit UV-Schutz) gemessen. Dies bedeutet, daß Birkensperrholz auch nach der Bewitterung noch Reflexionseigenschaften im Strahlungsbereich von 300-2500 nm aufweist, die mit einem Standard-Alu-Jalousettensystem mit mattsilberner oder grauweißer Farbbeschichtung verglichen werden können. (Tab. 9)

Das Material mit dem höchsten Strahlungsreflexionsgrad im Vergleich ist die Aluminiumlamelle mit reinweißer Farbbeschichtung (RAL 9010), bei welcher ein Reflexionsgrad von 74,0% gemessen wurde.

## 6.6 Zusammenfassung

Eine Bewertung der drei Alternativen zeigt, daß in gestalterischer Hinsicht die papierbespannte Lamelle sehr große Vorzüge besitzt, die aber erst nach der Lösung der funktionalen Mängel, wie geringe mechanische Festigkeit und Probleme hinsichtlich des Brandschutzes, zum Tragen kommen können.

Die verbleibenden beiden Systeme aus Ahorn- bzw. Birkenperrholz haben in funktionaler Hinsicht große Vorteile gegenüber der papierbespannten Lamelle, unterscheiden sich jedoch im Erscheinungsbild deutlich. Hierbei wird die Birkenperrholzlamelle für die weitere Untersuchung ausgewählt, da diese in lichttechnischer und gestalterischer Hinsicht Vorzüge besitzt, und zugleich aufgrund des geringeren Eigengewichts einen geringeren

Materialverbrauch und konstruktiven Aufwand für Antriebssystem und Unterkonstruktion erwarten läßt.

## 7. Potentialabschätzung zum Einsatz von Holzlamellensystemen zur Verbesserung des Wärmeschutzes von Zweite-Haut-Fassaden

In dem folgenden Arbeitsschritt wurde mittels einer rechnerischen Potentialeinschätzung bestimmt, inwiefern die gewählten Systeme tatsächlich in der Lage sind, den Energieverbrauch von Gebäuden mit Zweite-Haut-Fassaden zu reduzieren.

Wie bereits dargelegt wurde, macht bei durchschnittlichen Verwaltungsgebäuden der Heiz- und Kühlenergieverbrauch etwa 75-80% des Gesamtenergieverbrauchs aus; nur etwa 20 - 25% entfallen auf den Energiebedarf für Kunstlicht und andere Verbrauchsarten, wie Kommunikationstechnik, Fahrstühle etc. [25]

Aufgrund des hohen Anteils des Heizenergiebedarfs am Gesamtenergieverbrauch wurde untersucht, welche Auswirkung der Einsatz unterschiedlicher Lamellensysteme auf den Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Wert) einer Zweite-Haut-Fassade hat. Bei der Berechnung wurde davon ausgegangen, daß mittels der Lamellenkonstruktion eine nahezu luftdicht abschließende Wand erzeugt werden kann. [26]

### 7.1 Beschreibung der untersuchten Fassadenvarianten

Grundlage der Untersuchung war eine Zweite-Haut-Fassade mit einer Größe von  $B = 3,6 \text{ m}$ ,  $H = 2,7 \text{ m}$  und einem Fassadenzwischenraum von 60 cm. (Fig. 31) Diese Dimensionen orientieren sich einerseits an den im Verwaltungsbau üblichen Größen, andererseits an der am Lehrstuhl vorhandenen Testeinrichtung zur Durchführung von thermischen Versuchen in realer Größe.

In bezug auf die innere Fassadenfläche wurden zwei Alternativen betrachtet, die sich im Bereich der Brüstung unterscheiden:

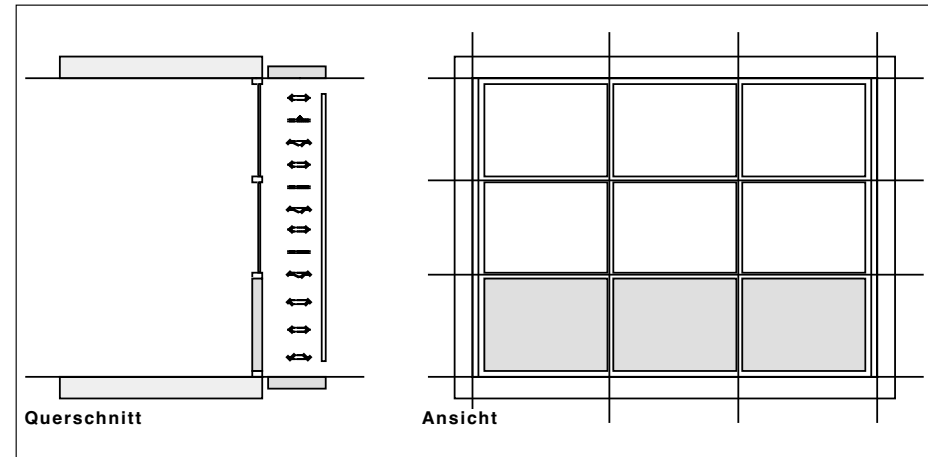


Fig. 31: Zweite-Haut-Fassade mit Wärme- und Sonnenschutzlamellen

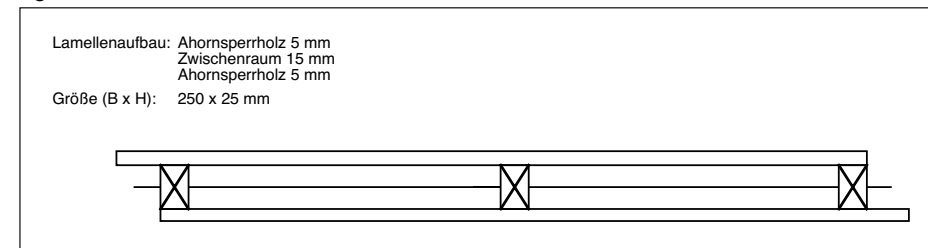


Fig. 32: Querschnitt Ahornperrholzlamelle (o. Maßstab)

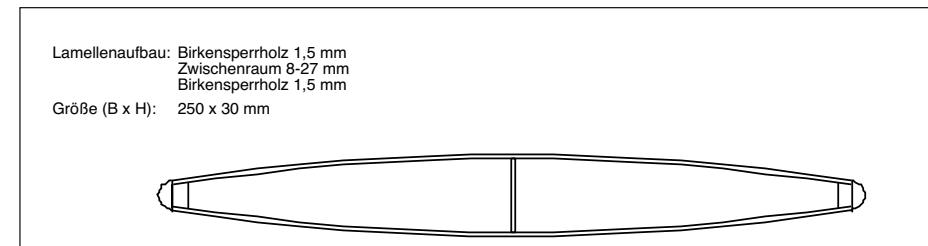


Fig. 33: Querschnitt Birkenperrholzlamelle (o. Maßstab)

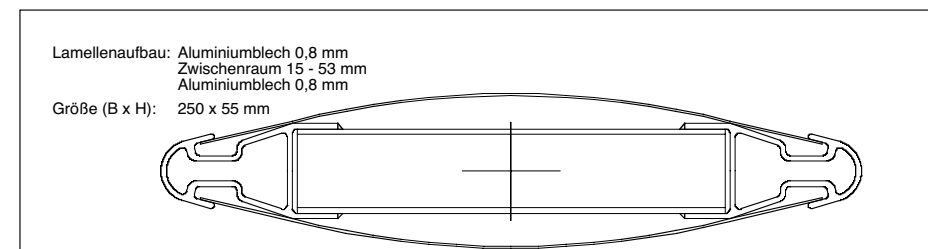


Fig. 34: Querschnitt handelsübliche Aluminiumlamelle (o. Maßstab) [27]

A: Zweite-Haut-Fassade mit vollverglaster, innerer Fassadenebene

B: Zweite-Haut-Fassade mit Brüstung (1/3 der Fläche) und Teilverglasung (2/3) der inneren Fassadenebene

Dies dient der Vergleichsmöglichkeit der Auswirkung verschiedener Verglasungsanteile auf den Energieverbrauch allgemein, läßt aber zugleich Rückschlüsse auf die Wirkung von Wärme- und Sonnenschutzsystemen auf Fassaden mit unterschiedlichem Verglasungsanteil zu.

In bezug auf das Wärme- und Sonnenschutzsystem wurde ein handelsübliches Produkt (Fig. 34) zwei Alternativen gegenübergestellt, welche aus den vorhergehenden Überlegungen heraus entwickelt wurden.

Bei der ersten Alternative handelt es sich um Ahornsperrholzlammellen mit einem kastenförmigen Querschnitt (Fig. 32), deren Längskanten so profiliert sind, daß sich die Stöße in geschlossenem Zustand überlappen.

Bei der zweiten Alternative handelt es sich um Birkenperrholzlammellen mit einem ellipsenförmigen Querschnitt, die zur Ausbildung einer geschlossenen Fassadenebene jeweils um ca. 1 cm überlappen, wodurch ein relativ dichter Stoß hergestellt wird. (Fig. 33)

Bei allen drei Alternativen wird von derselben Lamellenbreite von 25 cm ausgegangen.

Typ	Material	Konstruktiver Aufbau / Schichtenfolge
1	Aluminium	Jalousette (Raffstore), handelsüblich
2	Ahorn	Sperrholz (5 mm) - Luft (15 mm) - Sperrholz (5 mm)
3	Ahorn	Sperrholz (5 mm) - WD (15 mm, $\lambda=0,04$ W/mK) - Sperrholz (5 mm)
4	Birke	Sperrholz (1,5 mm) - Luft (durchschnittlich 20 mm) - Sperrholz (1,5 mm)
5	Birke	Sperrholz (1,5 mm) - WD (durchschnittlich 20 mm, $\lambda=0,04$ W/mK) - Sperrholz (1,5 mm)
6	Aluminium	Aluminium (0,8 mm) - Luft (durchschnittlich 48 mm) - Aluminium (0,8 mm)
7	Aluminium	Aluminium (0,8 mm) - WD (durchschn. 48 mm, $\lambda=0,04$ W/mK) - Aluminium (0,8 mm)

Tab. 15: Konstruktiver Aufbau der alternativen Lamellensysteme

Typ	Material	k-Wert der Fassade (W/m <sup>2</sup> K)	Verbesserung gegenüber Typ A-1	Typ	Material	k-Wert der Fassade (W/m <sup>2</sup> K)	Verbesserung gegenüber Typ B-1
A - 1	ohne Wärmeschutz	1,33	-	B - 1	ohne Wärmeschutz	0,97	-
A - 2	Ahorn (WD)	0,76	ca. 43%	B - 2	Ahorn (WD)	0,58	ca. 40%
A - 3	Ahorn	0,88	ca. 34%	B - 3	Ahorn	0,66	ca. 32%
A - 4	Birke (WD)	0,72	ca. 46%	B - 4	Birke (WD)	0,55	ca.43%
A - 5	Birke	0,93	ca. 30%	B - 5	Birke	0,70	ca. 28%
A - 6	Aluminium (WD)	0,65	ca. 51%	B - 6	Aluminium (WD)	0,50	ca. 48%
A - 7	Aluminium	0,95	ca. 29%	B - 7	Aluminium	0,71	ca 27%

Tab. 16: Ergebnisse der k-Wert-Berechnung Alternative A: Vollverglasung der inneren Fassadenebene

Tab. 17: Ergebnisse der k-Wert-Berechnung Alternative B: Innenfassade mit Brüstung (1/3 der Fläche) und Teilverglasung (2/3)



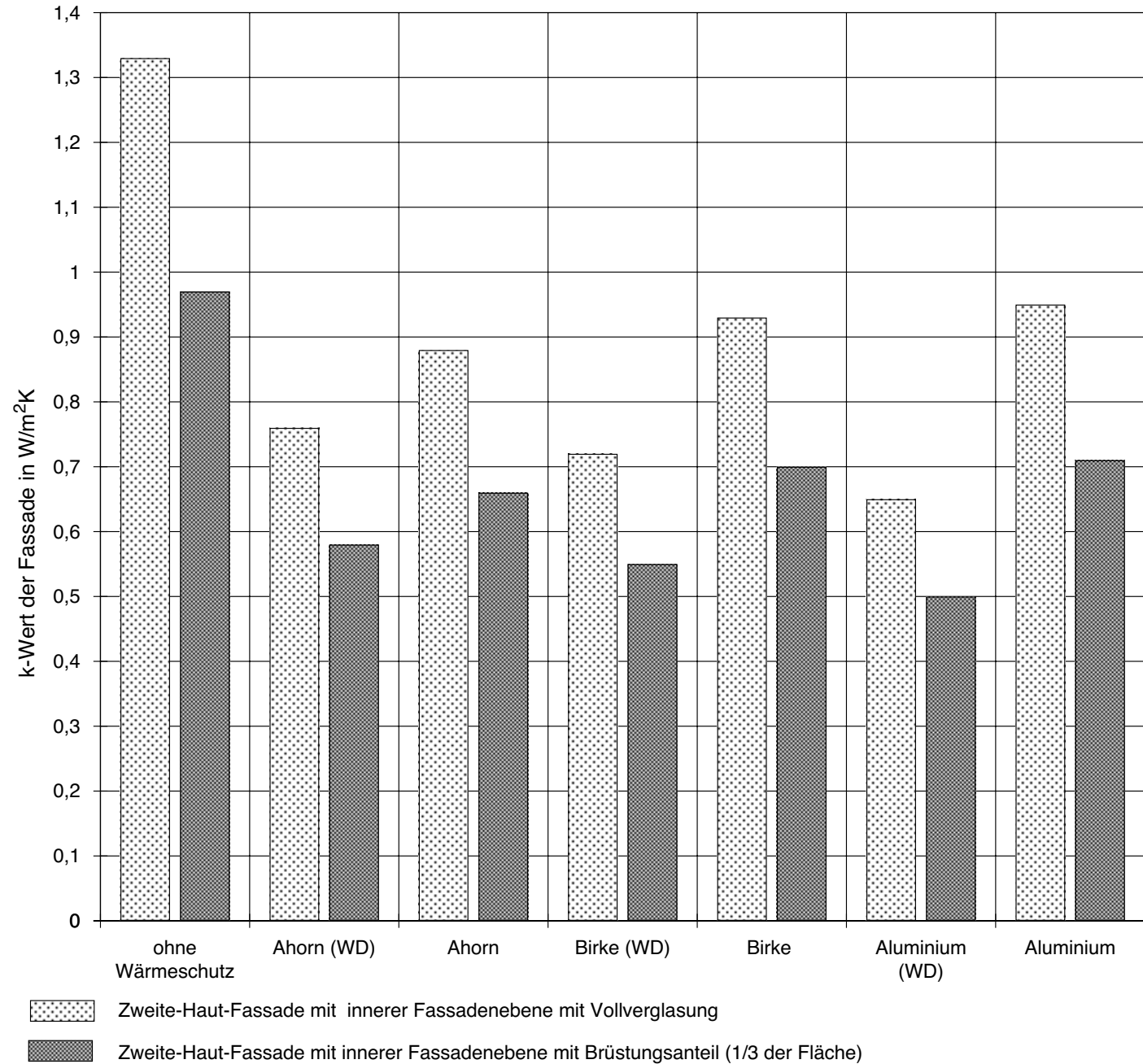
Wie in Tab. 15 dargestellt ist, werden die Lamellen jeweils alternativ ohne und mit Wärmedämmung im Lamellenhohlraum berücksichtigt, um eine Abschätzung der Wirkung der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum zu erhalten.

Die Fassade von Alternative A ist folgendermaßen aufgebaut (von innen nach außen):

- innere Fassadenebene:  
Verglasung,  $h = 2,7$  m,  
Holzrahmen-Glaskonstruktion,  
 $k = 1,4$   $W/m^2K$
- Luftschicht,  $d = 45$  cm [28]
- Lamellenquerschnitt gemäß  
Fig. 32, 33, 34
- Luftschicht,  $d = 12$  cm
- Festverglasung mit Lüftungs-  
öffnung oben und unten von  
jeweils 15 cm

Die Fassade von Alternative B ist folgendermaßen aufgebaut (von innen nach außen):

- innere Fassadenebene:
  - Brüstung,  $h = 0,9$  m,  
wärmegeämmte Panel-  
konstruktion,  $k = 0,25$   $W/m^2K$
  - Verglasung,  $h = 1,8$  m,  
Holzrahmen-Glaskonstruk-  
tion,  $k = 1,4$   $W/m^2K$
- Luftschicht,  $d = 45$  cm
- Lamellenquerschnitt gemäß  
Fig. 32, 33, 34
- Luftschicht,  $d = 12$  cm
- Festverglasung mit Lüftungs-  
öffnung oben und unten von  
jeweils 15 cm



Tab. 18: Vergleichende Darstellung des Wärmedurchgangskoeffizienten der alternativen Fassadensysteme in Abhängigkeit von der Lamellenausführung

## 7.2 k-Wert Berechnung der verschiedenen Fassadenvarianten

Die k-Wert Berechnungen der alternativen Fassadensysteme basieren auf den in der DIN 4108 angegebenen Rechenwerten für die Wärmeleitfähigkeitszahlen bzw. Wärmedurchlaßwiderstände der einzelnen Schichten. Als Referenzsystem zur Ermittlung des k-Wertes des gesamten Fassadensystems dient Typ 1, bei dem eine handelsübliche Aluminiumjalousette angenommen wurde. Bei diesem System wurde davon ausgegangen, daß aufgrund der Luftdurchlässigkeit des Jalousettesystems kein geschlossener Luftraum zwischen innerer Fassadenebene und Sonnenschutzebene gebildet werden kann, weshalb die Wärmeschutzfunktion im Rahmen der Vergleichsrechnungen vernachlässigt wurde.

Die Berechnungen [29] ergaben die in Tab. 16 (Alternative A) und Tab. 17 (Alternative B) dargestellten Ergebnisse, die in grafischer Form in Tab. 18 gegenübergestellt sind.

## 7.3 Interpretation der Ergebnisse

- Unabhängig vom Verglasungsanteil der inneren Fassadenebene weisen alle untersuchten Varianten des Sonnen-/Wärmeschutzsystems eine signifikante Verbesserung des Wärmeschutzes auf.
- Der k-Wert konnte beim Einsatz der Birkenperrholzlamellen mit einer Gesamthöhe von 30 mm

bei der Verwendung einer Kerndämmung (Typ A - 4) um 46% gegenüber dem k-Wert einer Fassade mit nicht verschleißbaren Lamellen reduziert werden.

- Bei der Verwendung einer handelsüblichen Aluminiumlamelle mit einer Gesamthöhe von 55 mm wird bei der Verwendung von Wärmedämmung (Typ A - 6) ein k-Wert von 0,65 W/m<sup>2</sup>K erreicht, was einer Verbesserung um 51% des ursprünglichen Wertes entspricht.

Hierbei ist jedoch zu bemerken, daß die signifikante Verbesserung im Vergleich zur Holz-Lamelle eindeutig auf die höhere Schichtstärke der Wärmedämmung zurückzuführen ist, da bei gleichem Querschnitt die Holzlamelle aufgrund der geringeren Wärmeleitfähigkeit des Materials Vorteile hinsichtlich der Wärmedämmwirkung hat.

Dies zeigt sich bei der Betrachtung der ungedämmten Lamellenalternativen, wobei die Birkenperrholzlamelle trotz geringerer Bauhöhe einen besseren k-Wert erzielt, als die Aluminiumlamelle (Varianten A-5, A-7, B-5, B-7).

- Wie zu erwarten, liegt der k-Wert einer Fassade mit geringerem Verglasungsanteil der inneren Fassadenebene niedriger als bei einer Fassade mit Vollverglasung. Dennoch lassen sich auch hier signifikante k-Wert-Verbesserungen erzielen.

Diese Verbesserungen liegen im Vergleich zur Variante mit Vollverglasung (Typ A) ähnlich gut. Auch hier stellt die Birkenholzlamelle mit integrierter Wärmedämmung (B - 4) die in wärmedämmtechnischer Hinsicht effizienteste Lösung dar.

- Die Wirksamkeit von Wärmedämmung als Füllmaterial im Lamellenhohlraum konnte in allen drei Fällen nachgewiesen werden. Sowohl bei der Fassade mit einer Vollverglasung der inneren Fassadenebene als auch bei einem Verglasungsanteil von 2/3 für die innere Fassadenebene, bewirkt der Einsatz von Wärmedämmung eine deutliche Verbesserung des Wärmedurchgangswiderstands des Gesamtsystems.

Bei der sehr flachen Ahornlamelle (A - 2, A - 3) beträgt der Unterschied zwischen der Lamelle mit gefülltem gegenüber ungefülltem Hohlraum etwa 10%, bei der Birkenperrholzlamelle (A - 4, A - 5) beträgt die Verbesserung durch einen mit Wärmedämmung ausgefüllten Lamellenhohlraum etwa 15%. Die Aluminiumlamelle mit der höchsten Schichtstärke zeigt eine Verbesserung des k-Wertes von etwa 22%.

## 8. Potentialabschätzung zu dem Einsatz von Holz-Lamellensystemen für den sommerlichen Wärmeschutz von Zweite-Haut-Fassaden

### 8.1 Klimatische Rahmenbedingungen

Der Kühlenergiebedarf von Verwaltungsgebäuden wird neben internen Kühllasten vor allem durch die im Jahresverlauf wechselnden Witterungsbedingungen wie Außenlufttemperatur und Strahlungsintensität bestimmt.

Die durchschnittliche Außenlufttemperatur steigt im Jahresverlauf kontinuierlich von Januar bis Juli an, und fällt danach kontinuierlich bis Dezember wieder ab. (Fig. 35)

Das Maximum für den monatlichen Mittelwert der Globalstrahlung auf südorientierte, vertikale Flächen liegt im Gegensatz zum Wert der mittlere Außenlufttemperatur nicht im Juli, sondern mit ca. 3,2 kWh/m<sup>2</sup>d im September. (Fig. 36) Für die anderen Monate des Sommerhalbjahres von März bis einschließlich Oktober liegen die Werte für die mittlere, monatliche Globalstrahlung mit etwa 2,7 kWh/m<sup>2</sup>d deutlich niedriger.

Aufgrund der hohen mittleren Außenlufttemperaturen von Juni bis September und einer relativ hohen Solarstrahlung von Juli bis September muß vor allem während dieser Zeit auf eine optimale Funktion der Sonnenschutzeinrichtung geachtet werden.

Die Wirksamkeit eines Sonnenschutzsystems wird hierbei vorrangig bestimmt durch den Transmissionsgrad für solare Strahlung, der angibt, welcher Anteil der Globalstrahlung in den Raum gelangt. Ein weiterer Faktor ist der Absorptionsgrad für die Solarstrahlung, der ein Indiz dafür ist, wie stark sich ein Sonnenschutzsystem unter Strahlungseinwirkung aufwärmt, und diese Wärme an den umgebenden Raum abgibt.

## 8.2 Untersuchung der Strahlungstransmission durch das Holz-Lamellensystem in Abhängigkeit vom Sonnenstand

Der Transmissionsgrad von Sonnenschutzsystemen läßt sich mittels eines Strahlverfolgungsprogramms unter Berücksichtigung der Lamellengeometrie und der Oberflächeneigenschaften berechnen. [32] Neben der Strahlungstransmission wird hierbei auch der Anteil der absorbierten sowie der nach außen reflektierten Solarstrahlung berechnet.

Ein wichtiger Teilaspekt hinsichtlich der Wirksamkeit von nachführbaren, also winkelselektiven Sonnenschutzsystemen, ist die Regelungsstrategie des Lamellensystems.

Es ist das Ziel, einerseits vor direkter Solarstrahlung zu schützen, andererseits die Durchsicht und die Nutzung des Tageslichtes möglichst wenig zu beeinträchtigen.

### 8.2.1 Regelungsstrategie des Lamellensystems

Das Lamellensystem wird dem jeweiligen Sonnenstand axial in der Form nachgeführt, so daß die dahinterliegende Fassade bei maximaler Durchsicht gerade noch verschattet wird.

Der Neigungswinkel zur Verschattung einer Fassade bei gleichzeitig maximaler Durchsicht wird häufig auch als 'cut-off-Winkel' bezeichnet. Dieser Winkel bestimmt sich bei Fassaden mit einer feststehenden Ausrichtung jedoch nicht direkt aus dem jeweiligen absoluten Höhenwinkel, sondern aus dem 'projizierten Höhenwinkel' der Sonne. Diesen Winkel erhält man durch die Projektion des absoluten Höhenwinkels der Sonne auf eine senkrecht zur Längsachse der Lamellen stehenden Ebene.

So ist beispielsweise bei einer südorientierten Fassade, niedrigem Sonnenstand und seitlicher Einstrahlung von Osten oder Westen der projizierte Höhenwinkel sehr steil, weshalb die Lamellen zum Erreichen von Vollverschattung horizontal stehen können.

Dagegen müssen die Lamellen bei nahezu senkrecht auf die Fassade wirkender Strahlung, wie dies z.B. im Winter bei südorientierten Fassaden um die Mittagszeit der Fall ist, sehr stark geneigt werden, um eine Vollverschattung der Fassade zu erreichen. [33]

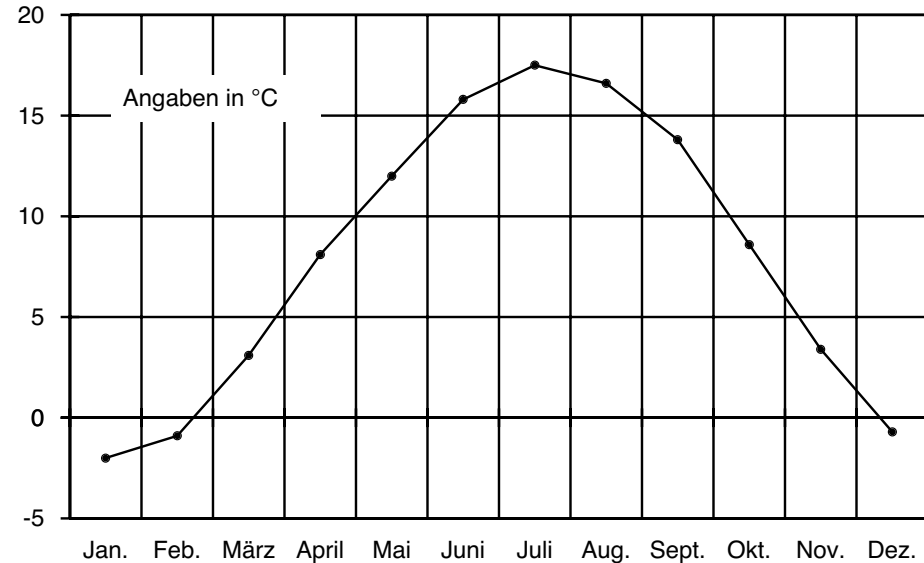


Fig. 35: Mittlere Monats- und Jahresmittel der mittl. und max. Außenlufttemperatur von 1951 - 1970 in München-Riem [30]

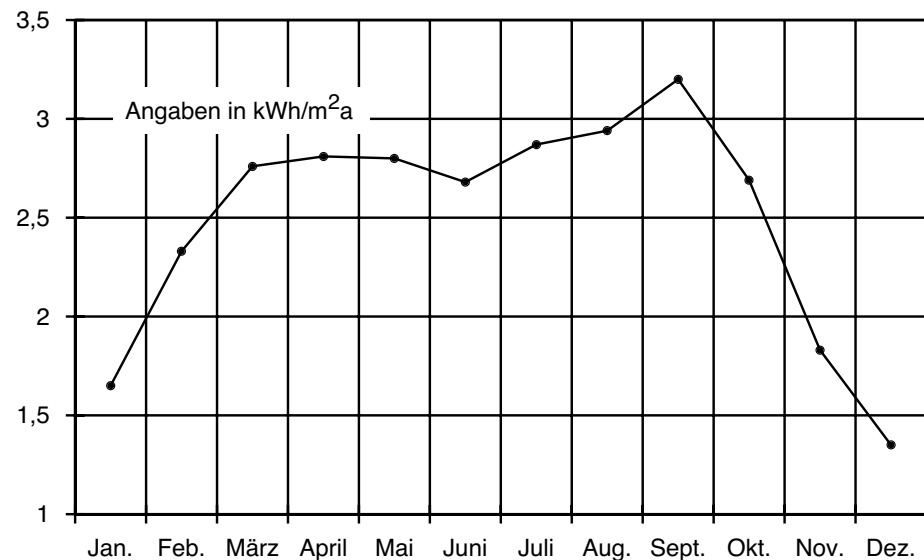


Fig. 36: Monatliche Mittelwerte (1966-75) der Globalstrahlung auf vertikale, südorientierte Flächen, Standort Weihenstephan in kWh/m²d [31]

Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß im Winter die Werte für die durchschnittliche Globalstrahlung und Außenlufttemperatur deutlich geringer sind als im Sommer, weshalb in diesem Zeitraum die Sonnenschutzfunktion gegenüber dem Blendschutz eine untergeordnete Bedeutung hat.

### 8.2.2 Strahlungsverteilung

Wie in den grafischen Darstellungen der Strahlungsverteilung in Fig. 37-39 zu erkennen ist, variiert der Anteil der über Strahlungsreflexion in den Raum gelangende Solarstrahlung in Abhängigkeit vom Sonnenstand und der Lamellenneigung sehr stark.

So gelangt ein relativ großer Anteil der Strahlung über Reflexion an der Lamellenoberfläche in den Raum, wenn die Lamellen bei einem projizierten Höhenwinkel der Sonne von  $45^\circ$  horizontal stehen, wie dies in den Mittagsstunden bei einer südorientierten Fassade bei  $50^\circ$  nördlicher Breite im April und August der Fall ist. (Fig. 38)

Bei einem steileren projizierten Höhenwinkel der Sonne ist dieser Anteil weitaus geringer, was auf die gegenseitige Verschattung der Lamellen zurückzuführen ist. (Fig. 39)

Bei stark geneigten Lamellen, die senkrecht zur flach stehenden Sonne ausgerichtet sind, wird hingegen ein sehr großer Anteil der Solarstrahlung unmittelbar an der Lamellenoberfläche nach außen reflektiert. (Fig. 37)

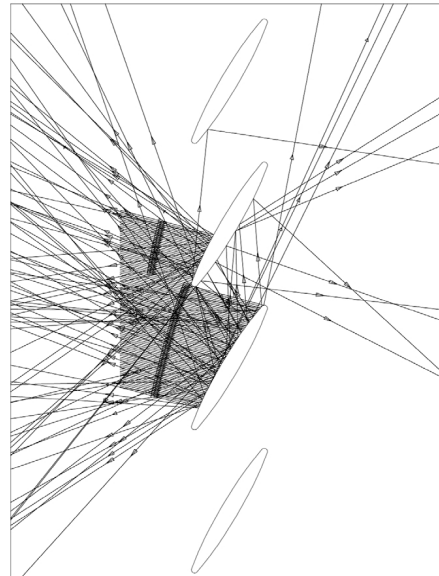


Fig. 37: Strahlungsreflexion Lamelle, proj. Höhenwinkel der Sonne  $15^\circ$

### 8.2.3 Berechnung von Strahlungsabsorption, -reflexion und -transmission

Über die qualitative Betrachtung der Strahlungsverteilung hinaus wurden sowohl Strahlungsabsorption als auch -reflexion und -transmission für das Holz-Lamellensystem unter Berücksichtigung unterschiedlicher Reflexionseigenschaften der Lamellenoberflächen berechnet.

Die Untersuchung der Strahlungsreflexion verschiedener Holzarten in Abhängigkeit von unterschiedlichen Beschichtungsarten und dem Einfluß der Witterung hatte gezeigt, daß bei Birkensperholz der Reflexionsgrad für Solarstrahlung zwischen 53% und 65% liegt.

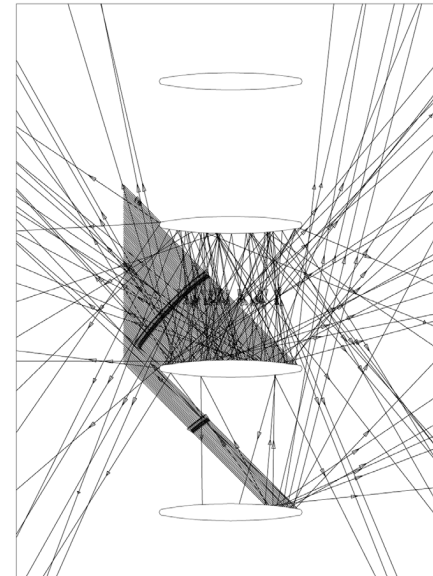


Fig. 38: Strahlungsreflexion Lamelle, proj. Höhenwinkel der Sonne  $45^\circ$

Der Berechnung wurden daher Reflexionsgrade von 50% und 60% zugrunde gelegt. Als Vergleichswert wurde ein Reflexionsgrad von 40% mit herangezogen, um Aussagen zu Materialien mit geringerem Reflexionsvermögen zu erhalten.

In Fig. 40 - 42 ist das Ergebnis der Berechnung der Strahlungstransmission für das Holz-Lamellensystem grafisch aufbereitet. Der projizierte Höhenwinkel ist auf der Abszisse, der Wert für die Strahlungsabsorption, -reflexion und -transmission ist jeweils auf der Ordinate aufgetragen.

Ein Vergleich der Grafiken zeigt, daß das Reflexionsverhalten der Holzoberfläche einen unmittelbaren Einfluß auf den Strahlungstransmis-

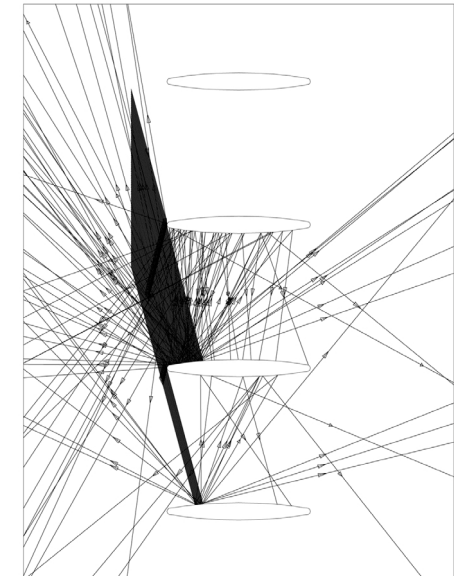


Fig. 39: Strahlungsreflexion Lamelle, proj. Höhenwinkel der Sonne  $75^\circ$

sionsgrad des Gesamtsystems hat. Je höher der Reflexionsgrad der Holzoberfläche ist, desto höher ist auch der Anteil der Solarstrahlung, der über Reflexion an der Lamellenoberfläche in den Raum gelangt. Allerdings steigt zugleich der Anteil der an der Lamellenoberfläche nach außen reflektierten Solarstrahlung.

Horizontal angeordnete Lamellen mit einem Reflexionsgrad für die Oberfläche von 60% absorbieren bei einem projizierten Höhenwinkel der Sonne von  $45^\circ$  57% der auftreffenden Solarstrahlung, 24% werden nach außen reflektiert und 19% transmittiert.

Bei steilerem projizierten Höhenwinkel, beispielsweise im Juni in den Mittagsstunden, nimmt der Grad der

Lamellenneigung in °	Ansichtshöhe in mm	Durchsichtshöhe in mm	Durchsicht in %
90	30	210	84,0%
95	35	205	82,0%
100	52	188	75,2%
105	73	167	66,8%
110	92	148	59,2%
115	111	129	51,6%
120	131	109	43,6%
125	148	92	36,8%
130	164	76	30,4%
135	180	60	24,0%
140	194	46	18,4%
145	208	32	12,8%
150	218	22	8,8%
155	228	12	4,8%
160	236	4	1,6%
163	240	0	0,0%

Tab. 19: An- und Durchsichtshöhen des Sonnenschutz/Wärmeschutzsystems bei unterschiedlichen Lamellenneigungen [35]

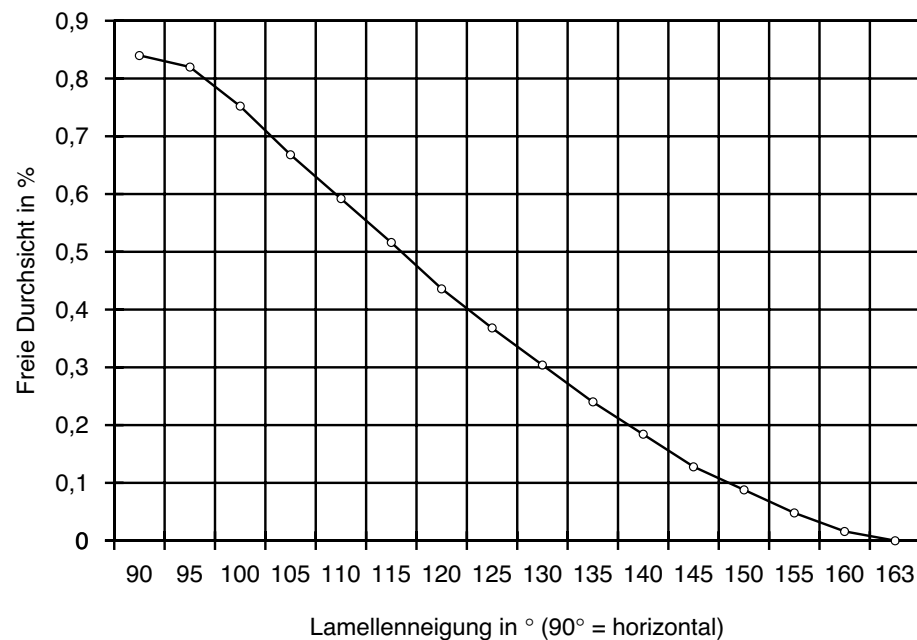


Fig. 44: Freie Durchsicht in Abhängigkeit von der Lamellenneigung

35 mm nicht wesentlich über der Bauhöhe von 30 mm. (Fig. 46) Es wird also auch während dieser Jahreszeiten die Durchsicht nur minimal eingeschränkt.

Blickt man senkrecht auf die Fassade, so beträgt die Einschränkung der Durchsicht mit horizontal ausgerichteten Lamellen aufgrund der geringen Bauhöhe ca. 16 %, das bedeutet, daß für diesen Fall 84% der Fassadenfläche transparent sind. (Tab. 19, Fig. 45) Bei einer Ansichtshöhe von 3,5 cm, wie dies für leicht geneigte Lamellen gilt, beträgt die Einschränkung der Durchsicht ca. 18%. (Tab. 19, Fig. 46)

Im Zeitraum von Ende Oktober bis Anfang März verändert sich diese Relation sehr stark, da aufgrund der flachstehenden Sonne eine stärkere Lamellenneigung notwendig ist, um eine Vollverschattung der Fassade zu erreichen. So beträgt dieser Winkel am 21. Dezember um 12.00 Uhr ca. 142°, wodurch die freie Durchsicht aufgrund der größeren Ansichtshöhe nur noch etwa 16% der Fassadenfläche beträgt. (Tab. 19) Bei einer Lamellenneigung ab ca. 163° wird aufgrund der Überlappung der Lamellen von 1 cm die Fassade vollständig abgedeckt, so daß keinerlei Durchsicht mehr möglich ist. (Fig. 47)

Hierbei ist jedoch zu beachten, daß in diesem Zeitraum einerseits die Globalstrahlung auf vertikale, südorientierte Fassadenflächen sehr gering ist (Fig. 36) und die Sonnenscheindauer ebenfalls geringe

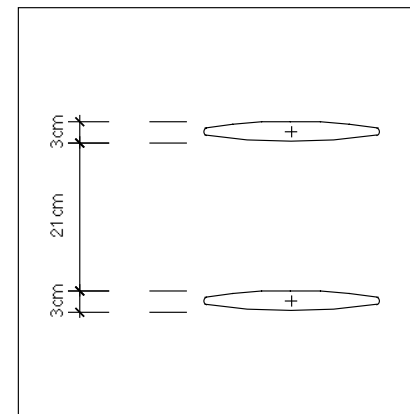


Fig. 45: Lamellen horizontal (90°)

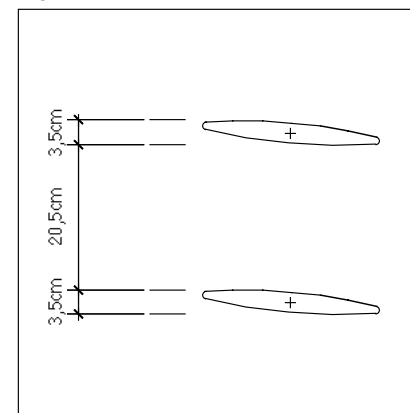


Fig. 46: Lamellen leicht geneigt (95°)

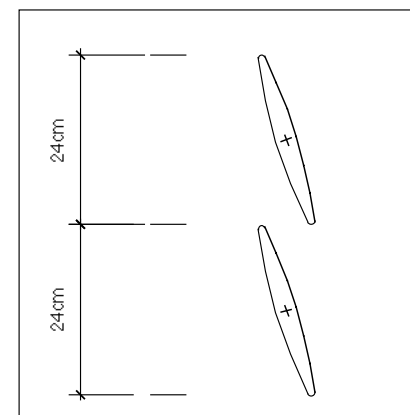


Fig. 47: Lamellen stark geneigt (163°)

transmittierten Strahlung stark ab. Bei einem projizierten Höhenwinkel von 60° werden nur noch 14% der Solarstrahlung transmittiert.

Dies ist deshalb bemerkenswert, da während den Mittags- und frühen Nachmittagsstunden bei südorientierten Fassaden ein deutlicher Anstieg der durchschnittlichen Strahlungsintensität und Außenlufttemperatur zu beobachten ist, und gerade hier ein verringerter Transmissionsgrad von Vorteil ist.

Während der Sommermonate ist bei südost- bis südwestorientierten Fassaden davon auszugehen, daß der projizierte Höhenwinkel der Sonne in den Morgen- und Nachmittagsstunden deutlich über 45° liegt, weshalb hier die Strahlungstransmission relativ geringe Werte erreicht.

Bei einem Vergleich der absoluten Größen für die Strahlungstransmission muß jedoch beachtet werden, daß nicht nur der an das Rauminnere transmittierte Anteil der Solarstrahlung in thermischer Hinsicht relevant ist. Wie bereits erwähnt, führt der an der Lamellenoberfläche absorbierte Anteil der Solarstrahlung bei unzureichender Hinterlüftung zu einer starken Erwärmung des Fassadenzwischenraumes. Bei geöffnetem Fenster kann erwärmte Luft in den Innenraum gelangen, was gerade im Sommer zu einer starken Beeinträchtigung des Komforts führen kann.

Bei Sonnenschutzsystemen mit hohen Strahlungsabsorptionseigenschaften ist daher auf eine intensive Durchlüftung des Fassadenzwischenraumes zur Abfuhr der Strahlungswärmegevinne zu achten.

### 8.3 Untersuchung der erforderlichen Lamellenneigung in Abhängigkeit vom Sonnenstand und der Orientierung der Fassade

Lamellenneigung und Durchsicht sind voneinander abhängige Größen, die im wesentlichen von Azimut- und Höhenwinkel der Sonne sowie der Orientierung der Fassade bestimmt werden.

Neben den funktionalen Kriterien, wie der Verschattung der Fassade zur Verringerung von Blendung und Aufheizung des dahinter liegenden Raumes ist ein wesentlicher Teilaspekt die Frage des visuellen Komforts. Abhängig von der Ausführung des Sonnenschutzes ergibt sich eine mehr oder weniger starke Einschränkung der Durchsicht, wodurch der visuelle Kontakt mit der Außenwelt beeinträchtigt werden kann.

Es wurde daher im folgenden untersucht, welcher 'cut-off-Winkel' (Neigungswinkel zum Erreichen von Vollverschattung bei maximaler Durchsicht) in Abhängigkeit von Jahres- und Tageszeit eingestellt werden muß.

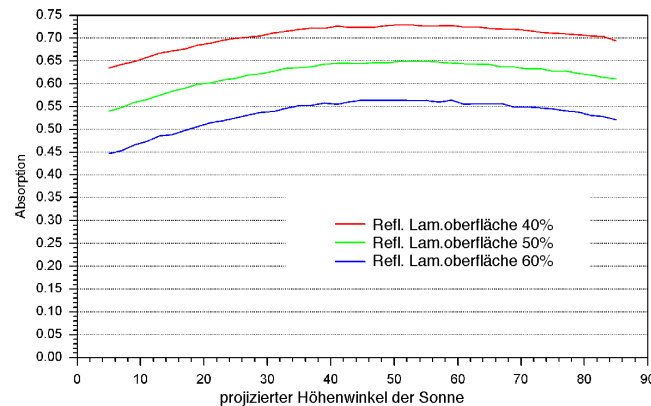


Fig. 40: Absorption der Solarstrahlung durch das Lamellensystem

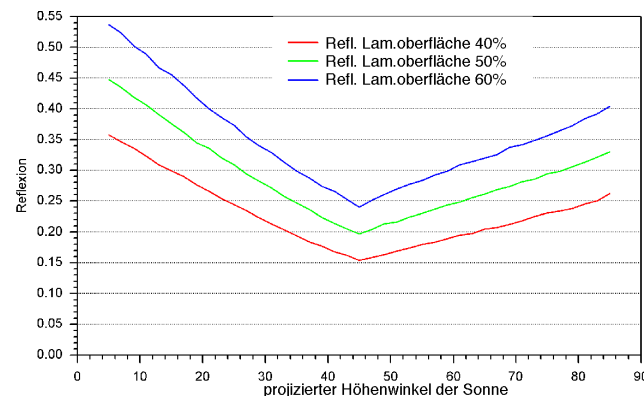


Fig. 41: Reflexion der Solarstrahlung an dem Lamellensystem nach außen

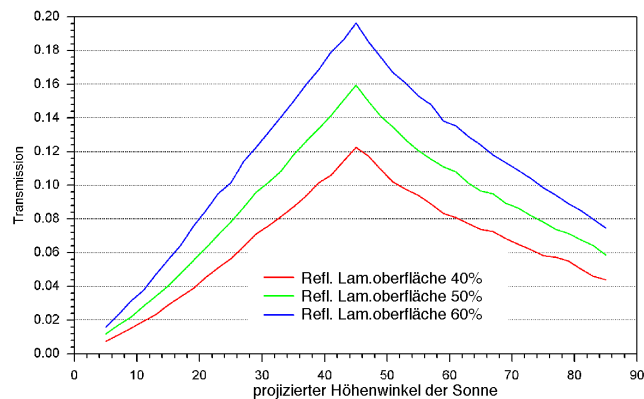


Fig. 42: Transmission der Solarstrahlung durch das Lamellensystem

### 8.3.1 Ermittlung des Neigungswinkels zum Erreichen von Vollverschattung der Fassade ('cut-off-Winkel')

Um Anhaltswerte für die Beeinträchtigung der Durchsicht zu erhalten wurde mittels Berechnungen [34] bestimmt, welche Neigung bei liegend angeordneten Lamellen nötig ist, um in Abhängigkeit von

- Tageszeit
- Jahreszeit
- Orientierung der Fassade

gerade noch eine vollständige Verschattung der Fassade zu erreichen. Hierbei wurde zunächst die Variante einer südorientierten Fassade untersucht.

Diese Ergebnisse wurden anschließend auf die Ausrichtung der Versuchsfassade übertragen, da diese eine Süd-West-Orientierung von 23° aufwies. Bei den vorliegenden theoretischen Untersuchungen wurde vereinfachend davon ausgegangen, daß sich die Lamellenkanten in geschlossener Stellung gerade noch berühren, während sich die Lamellen im experimentellen Versuch zum Erreichen einer dichten Ebene um 1 cm überlappten.

- **Südorientierte Fassade**  
(Fig. 43)

Die Untersuchungen zeigten für eine südorientierte Fassade, daß die Lamellen von März bis Oktober zum Erreichen des cut-off-Winkels nahezu ganztägig in annähernd horizontaler Stellung bleiben können, und

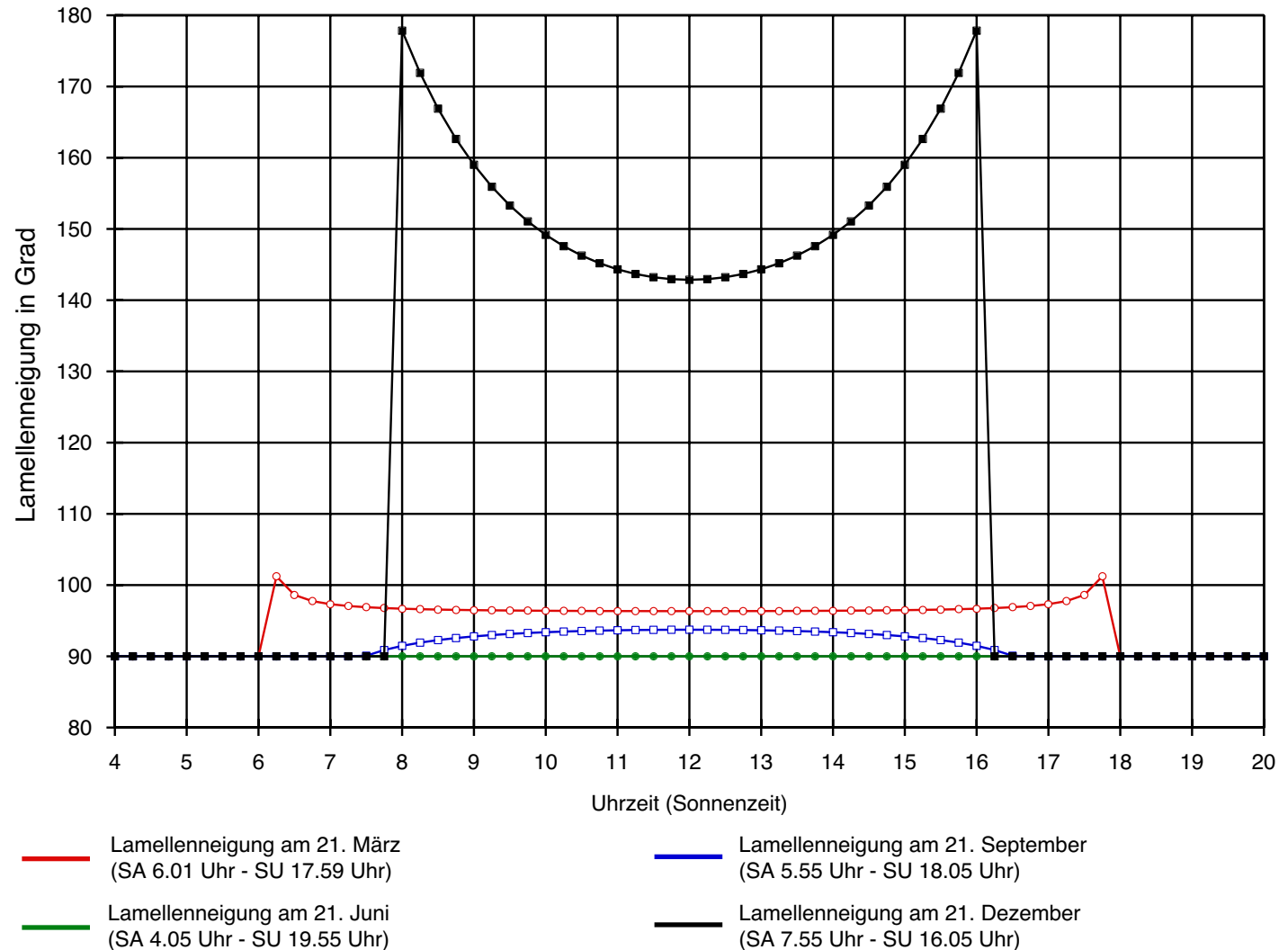


Fig. 43: Neigungswinkel der Lamellen zum Erreichen von Vollverschattung in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit bei einer Azimutabweichung von 0° (Süden)

trotzdem eine Vollverschattung der Fassade erreicht wird.

Dies bedeutet, daß in der Jahreszeit mit den höchsten Werten für die mittlere Globalstrahlung auf vertikale

Flächen und für die mittlere Außenlufttemperatur bei vollständiger Abschattung der Fensterfläche eine maximale Durchsicht erhalten bleibt.

Selbst bei einer geringen Lamellenneigung von ca. 95°, wie sie zum Frühjahrs- und Herbstbeginn zum Erreichen von Vollverschattung nötig ist, liegt die Ansichtshöhe der Lamellen bei frontaler Ansicht mit

Durchschnittswerte von 1,7 - 3,5 h/d erreicht [31], weshalb eine Vollverschattung der Fassade aus Gründen des Sonnenschutzes nicht zwingend erforderlich ist. Zudem kann bei niedrigen Außenlufttemperaturen ein solarer Energieeintrag zum Ausgleich erhöhter Lüftungswärmeverluste durchaus erwünscht sein.

Dies gilt besonders für Anwendungsfälle, bei welchen der Blendschutz, der im Winter aufgrund der flachstehenden Sonne besonders wichtig ist, über ein separates Blendschutzsystem sichergestellt wird.

**- Süd-westorientierte Fassade (Azimutwinkel 23°)**

Für die süd-west-orientierte Fassade (Fig. 50) der Versuchseinrichtung ist eine Verschiebung der erforderlichen Lamellenneigungswinkel zum Erreichen von Vollverschattung zu beobachten. (Fig. 48)

Während in den Sommermonaten der cut-off-Winkel auch bei leichter Süd-West-Orientierung der Fassade 90° beträgt, ist in der Übergangszeit in den Nachmittagsstunden eine stärkere Neigung der Lamellen erforderlich, um die Fassade vollständig zu verschatten.

Bei einem Lamellenwinkel von etwa 115°, wie er zu Frühjahrs- und Herbstbeginn gegen 15 Uhr erforderlich ist, beträgt die freie Durchsicht, senkrecht zur Fassade, nur noch ca. 50% der Fassadenfläche. (Fig. 46, 47) Ab etwa 17.30 Uhr bis Sonnenuntergang gegen 18.00 Uhr

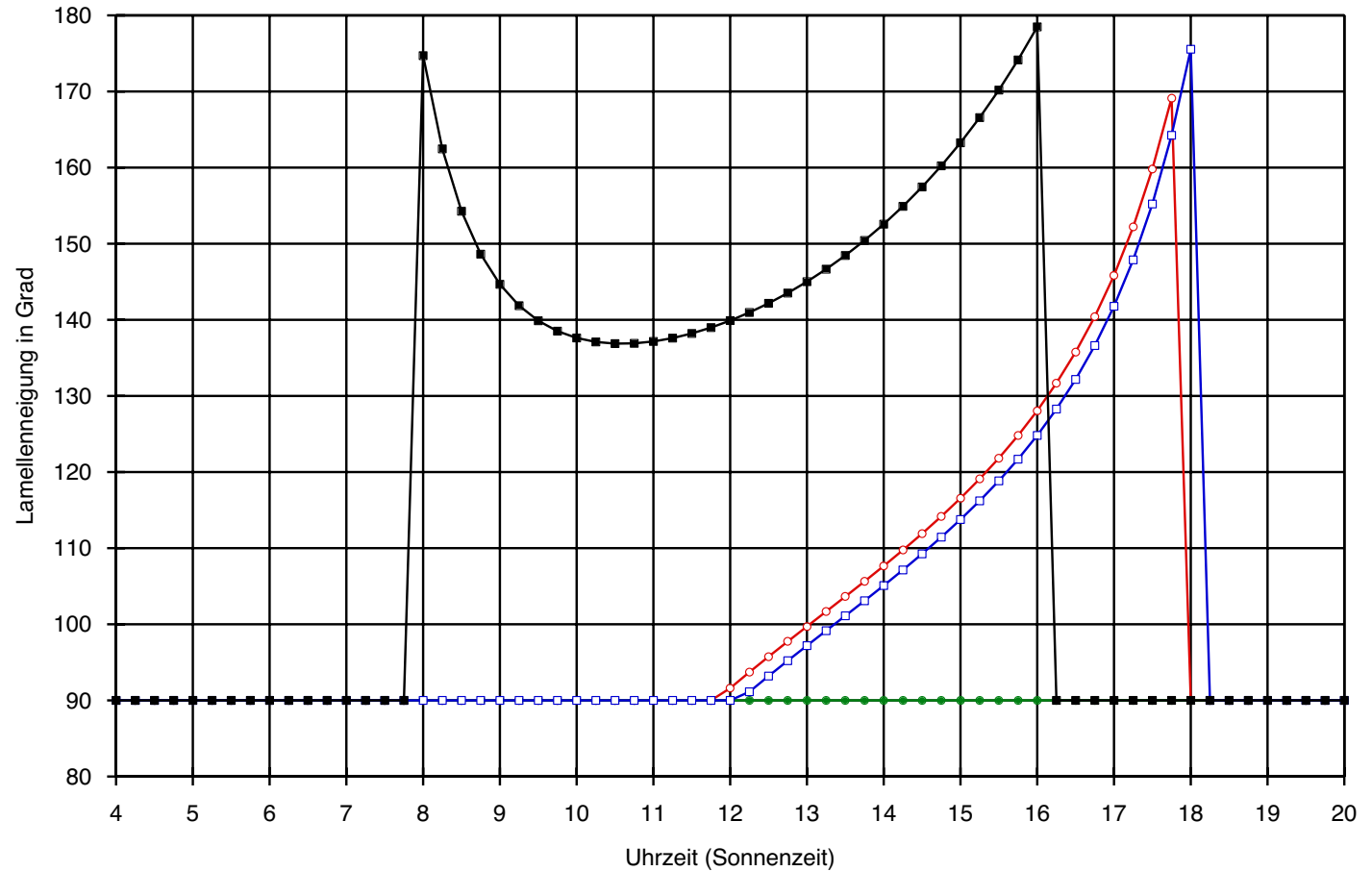


Fig. 48: Neigungswinkel der Lamellen zum Erreichen von Vollverschattung in Abhängigkeit von Tages- und Jahreszeit bei einer Azimutabweichung von 23° (Süd-Westen)

wäre ein vollständiges Schließen der Lamellen erforderlich, wollte man eine Vollverschattung der Fassade erreichen. Dies ist jedoch nicht unbedingt anzustreben, weil das

Sonnenlicht bei einem Azimutwinkel der Fassade von 23° in den späteren Nachmittagsstunden unter einem sehr flachen Winkel in den Raum fällt. [36]

Die Teilung des Antriebs- und Steuerungssystems für die Lamellen in zwei separate Segmente wirkt sich hinsichtlich des Blendschutzes besonders positiv aus, da die untere



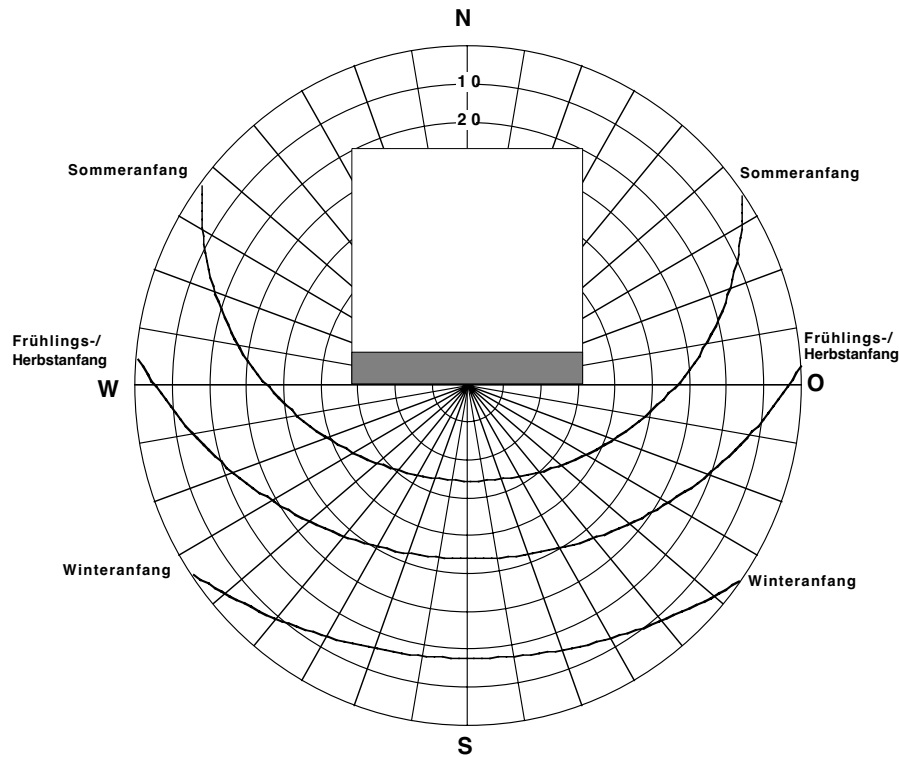


Fig. 49: Sonnenbahndiagramm mit Grundriß Meßbox bei Fassadenorientierung nach Süden (0°)

Hälfte entsprechend den Anforderungen des Nutzers beliebig geschlossen werden kann, während die obere Hälfte in horizontaler Position verbleiben kann, um Tageslicht in die Raumtiefe gelangen zu lassen. Damit wird dem Problem der Blendung bei flachstehender Sonne, unabhängig von der Fassadenorientierung, sehr stark entgegengewirkt.

#### 8.4 Zusammenfassung

Das winkelselektive Sonnenschutzsystem der Holz-Lamellen ist gut dafür geeignet, direkte Sonneneinstrahlung auszublenden, ohne die Nutzung von Tageslicht auszuschließen.

Bei horizontaler Stellung der Holz-Lamellen wird die Durchsicht in den Sommermonaten bei einer Südorientierung der Fassade nur sehr geringfügig eingeschränkt. In der Übergangszeit im Frühjahr und Herbst beträgt die freie Durchsicht

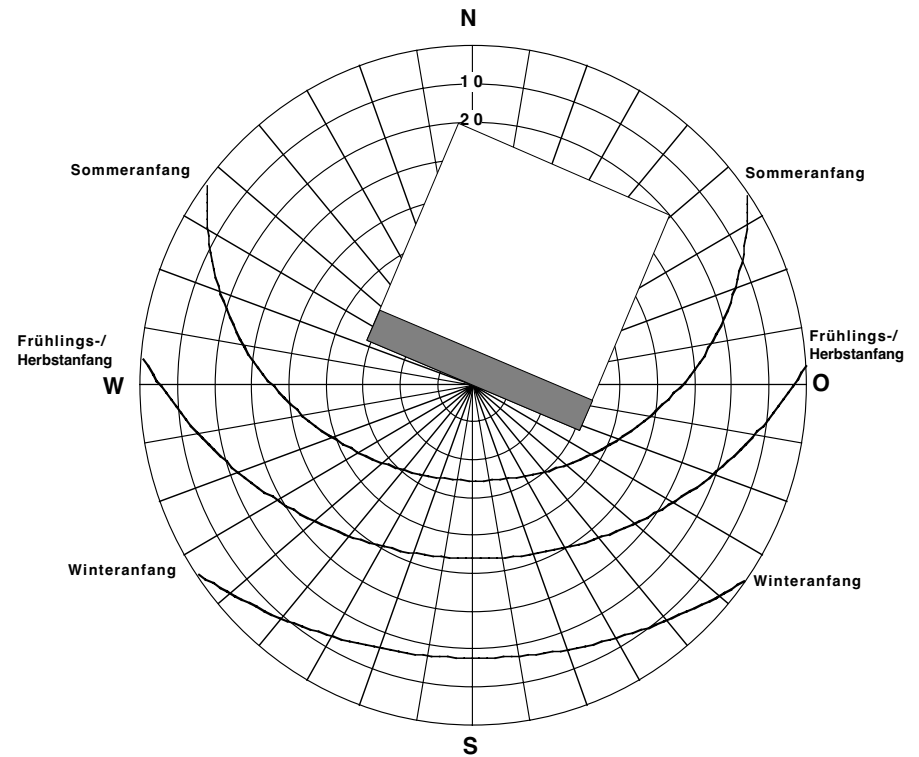


Fig. 50: Sonnenbahndiagramm mit Grundriß Meßbox bei Fassadenorientierung nach Süd-West (23°)

bei Vollverschattung der Fassade noch 82% der Fassadenfläche.

Der Anteil der transmittierten Strahlung beträgt bei einem Reflexionsgrad der Holzoberfläche von 60% im ungünstigsten Fall (projizierter Höhenwinkel der Sonne 45°, Holz-Lamellen in horizontaler Stellung) ca. 19%.

Mit einem steileren projizierten Höhenwinkel, wie dies während der Mittags- und frühen Nachmittagsstunden im Hochsommer der Fall ist, werden Werte für die Transmis-

sion der Solarstrahlung von unter 14% erreicht, ohne daß die freie Durchsicht und die Nutzung des diffusen Tageslichts eingeschränkt werden.

In den Wintermonaten werden in den Mittagsstunden bei flachstehender Sonne ca. 6% - 7% der Solarstrahlung transmittiert.

Bei nahezu senkrecht auf die Fassade einwirkende Solarstrahlung werden bei steilem cut-off-Winkel der Lamellen nur noch 2% der Solarstrahlung transmittiert.

## Anmerkungen

[1] Eine ausführliche Darstellung der theoretischen Grundlagen und praktischen Umsetzung verschiedenster Sonnenschutzsysteme findet sich in:

Olgay & Olgay. Solar Control and Shading Devices. Princeton (NJ): Princeton University Press, 1957.

[2] Marmé, Wolfgang. Der Primärenergiegehalt von Baustoffen. Diplomarbeit am Institut für Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe, 1980. S. 183-186.

[3] Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Hg. Handbuch Passive Nutzung der Sonnenenergie, Bonn: Selbstverlag, 1984. S. 77.

[4] Vergleichende Untersuchungen haben gezeigt, daß die Oberflächentemperaturen von Fassaden um den Faktor 2 abweichen können. Eine weiß glänzende Fassadenoberfläche erwärmte sich bei konstanter Strahlung auf 14,4°C während dieser Wert bei einer dunklen Oberfläche bei 27,3°C lag.

Siehe: Bäckmann, Reinhard. Sonnenschutz: Systeme, Technik und Anwendung, Automation. Bochum: Kleffmann, 1998. S. 27.

[5] Absorptionsgrade von verschiedenen Oberflächen:

- frischer Schnee: 7-26%
- weißes Mauerwerk: 44%
- neues Zinkblech: 64%

ebd., S. 26.

[6] Natterer, Julius, und Herzog, Thomas, und Volz, Michael. Holzbau Atlas Zwei, München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, 1991. S. 58.

[7] Hinweise zu konstruktiven Bezügen der verschiedenen Subsysteme von Gebäuden sowie Modulordnungen im Hochbau finden sich in:

- Belz, Walter. Zusammenhänge, Bemerkungen zur Baukonstruktion und dergleichen. Köln: Rudolf Müller, 1993.

- Bussat, Pierre. Die Modulordnung im Hochbau. La coordination modulaire dans le bâtiment. Stuttgart, 1963.

- Ackermann, Kurt. Grundlagen für das Entwerfen und Konstruieren. Stuttgart; Zürich: Karl Krämer Verlag, 1983.

- Kerschkamp, François, und Portmann, Dieter. Allgemeine Grundsätze zur Maßkoordinierung im Bauwesen. Erläuterungen zu DIN 18000. Berlin, und Köln, 1988.

- Wachsmann, Konrad. Wendepunkt im Bauen. Stuttgart: Deutsche Verlagsanstalt, 1989.

[8] Daneben sind von den Nadelhölzern Douglasie und Lärche, von den Laubhölzern Afzelia, Eiche und Esche besonders hervorzuheben.

Siehe: Sell, Jürgen. Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. 4. Auflage. Zürich: Baufachverlag AG, 1997. S. 66-80.

[9] Als Richtwert für die anzustrebende Lebensdauer von Sonnenschutzsystemen kann die Nutzungsdauer für die Abschreibung angesehen werden, die bei 15 Jahren liegt.

Siehe: Zimmermann, Klaus. "Licht- und Wärmestrahlung, Sonnenschutz". Technik am Bau (TAB) 7 (1976): S. 668.

[10] Natterer, Julius, und Herzog, Thomas, und Volz, Michael. Holzbau Atlas Zwei. München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, 1991. S. 58.

[11] Grandjean, Etienne. Wohnpsychologie. Grundlagen des gesunden Wohnens. Zürich: Artemis, 1974. S. 264-266. Weitere Ausführungen zur Wirkung von Farbe auf den Menschen findet sich in: Gottschalk, Ottomar. Verwaltungsbauten, flexibel - kommunikativ - nutzerorientiert. 4. Aufl., Wiesbaden, Berlin: Baurverlag GmbH, 1994. S. 182-186

[12] Marmé, Wolfgang. Der Primärenergiegehalt von Baustoffen. Diplomarbeit am Institut für Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe, 1980. S. 183-186.

Eine ökologische Bewertung von Hochbaukonstruktionen findet sich in: Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein (SIA), Hg. Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, SIA-Dokumentation D 0123, Zürich: SIA, 1995.

[13] Ein Überblick zur Erstellung von Ökobilanzen zu Holz und Holzwerkstoffen findet sich in: Wegener, G. [u.a.]. Ökobilanzen Holz. Fakten lesen, verstehen und handeln. Düsseldorf: Informationsdienst Holz, 1997. 24 Seiten.

[14] Klingsch, Wolfram. "Brand-schutztechnische Beurteilung von Doppelfassaden". Tagungsband der Jahrestagung der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdB), 11.-15. Juni 1995, Frankfurt. S. 187-217.

Eine Zusammenfassung des oben genannten Beitrags findet sich in:

Czech, Kl. J. Brandschutztechnische Sicherheitsmaßnahmen bei Doppelfassaden im Stadtgebiet Frankfurt. Internes Arbeitspapier der Branddirektion Frankfurt, Januar 1996, 20 Seiten.

[15] Löbber, Anke [u.a.]. Brandschutzplanung für Architekten und Ingenieure mit beispielhaften Konzepten für alle Bundesländer. Köln: R. Müller, 1997. S. 35.

[16] Auf Anfrage bei Herrn von Schickfus, Leiter der Brandschutzdirektion der Landeshauptstadt München sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfram Klingsch, Baustofftechnologie und Brandschutz, Bergische Universität Wuppertal im Juli 1998 wurde der Einsatz von Holz im Fassadenzwischenraum bei Kastenfenstern oder Korridorfassaden als unkritisch eingestuft. Als weitaus risikoreicher wird der Einsatz in unsegmentierten Zweite-Haut-Fassaden angesehen.

[17] Natterer, Julius, und Herzog, Thomas, und Volz, Michael. Holzbau Atlas Zwei, München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, 1991. S. 55.

[18] Sell, Jürgen. Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. 4. Auflage. Zürich: Baufachverlag AG, 1997. S. 8-44.

[19] Natterer, Julius, und Herzog, Thomas, und Volz, Michael. Holzbau Atlas Zwei, München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, 1991. S. 35 und 57.

[20] Die Beschichtung der Holzproben wurde durch Herrn Dipl. Forstwirt Fritz Tröger am Institut für Holzforschung, Prof. Dr. Dr. habil. Gerd Wegener, TU München, durchgeführt.

Bei den verwendeten Lacken handelt es sich um Produkte der Fa. L. Rosner KG, Geretsried. Folgende Lacke kamen zum Einsatz:

- PU-Super, Polyurethanlack, Glanzgrad Nr. 1, glänzend
- PU-Super, Polyurethanlack, Glanzgrad Nr. 4, halbmatt
- Spezial-Härter 225
- DD-Verdünnung Nr. 20
- Rustikal-Lack-Beize, weiß, Farbton 1434
- Rustikal-Lack-Beize, farblos, zur Verdünnung
- UV-Schutzmittel 'Rolikon', wurde 5%-ig dem Lack zugesetzt

[21] Die Untersuchung der Reflexionseigenschaften der verschiedenen Materialien wurden von Herrn Dr. Andreas Beck und Herrn Dipl.-Phys. Werner Körner am Bayerischen Zentrum für Angewandte Energieforschung, Abteilung Wärmedämmung und Wärmetransport, in Würzburg durchgeführt.

Die künstliche Bewitterung wurde am Institut für Fenstertechnik Rosenheim (i.f.t.), Theodor-Gietl-Str. 7-9, 83026 Rosenheim, vorgenommen. Die Holzproben wurden während einer Gesamtdauer von 100 Stunden alternierend in einem Rhythmus von 20 Minuten einer Bestrahlung mit UV-Licht, Befeuchtung und Trocknung unterzogen.

[22] Die Innenraumsimulation wurde von Frau Dipl.-Phys. Caroline Winkelmann, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Professor Dr./Univ. Rom Thomas Herzog, TU München, durchgeführt.

[23] Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein (SIA), Hg. Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, SIA-Dokumentation D 0123, Zürich: SIA, 1995.

[24] Die Ermittlung des Primärenergieinhaltes erfolgte durch Herrn Dipl.-Ing. Thomas Rühle, Mitarbeiter bei INTEP, München. INTEP war maßgeblich an der Methode D 0123 zur Erstellung von Ökobilanzen, wie sie im vorhergehend erwähnten Buch 'Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten' aufgezeigt wird, beteiligt.

[25] Erhorn, Hans, und Kluttig, Heike. "Energiesparpotentiale im Verwaltungsbau zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission". gi - Gesundheits-Ingenieur 5 (1996): S. 270 - 274 und Heft 6 (1996): S. 309 - 321.

[26] Nach Informationen von Frau Dipl.-Ing. Ziller ist aufgrund der Trägheit von Luft und den geringen Antriebskräften ein Spalt im Lamellenstoß bzw. seitlichen Anschluß im Bereich 1 - 5 mm als unkritisch anzusehen. Erst bei Fugenmaßen über diesen Werten setzt ein Luftaustausch ein. Dies setzt allerdings eine dichtschießende Innenfassade voraus, was bei heutigen Fenstersystemen gewährleistet ist. (Telefonat vom 28.9.1998). Frau Dipl.-Ing. Claudia Ziller war zu diesem Zeitpunkt Doktorandin zum Thema 'Modellversuche und Berechnungen zur Optimierung der natürlichen Lüftung durch Doppelfassaden' am Lehrstuhl für Stahlbau, Prof. Dr. H. Ruscheweyh, RWTH Aachen.

[27] Es sich um eine Aluminiumlamelle mit 250 mm Breite und 55 mm Höhe. Hersteller: Fa. Solonia Sonnenschutzsysteme, Birkenweiher Straße 4, 63505 Langenselbold.

[28] Nach DIN 4108, Teil 4 ist bei Luftschichten zwischen 50 und 500 mm ein Wärmedurchlaßwiderstand von 0,17 m<sup>2</sup>K/W anzunehmen.

[29] Die Berechnung erfolgte unter Mitwirkung von Frau Dipl.-Phys. Kaja Kippenberg, die zum damaligen Zeitpunkt wiss. Mitarbeiterin am Fachgebiet Technische Gebäudeausrüstung, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen, Gesamthochschule Universität Kassel, war.

[30] Schäfer, Peter Jochen. Das Klima ausgewählter Orte der Bundesrepublik Deutschland München, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 159, Offenbach/Main: Deutscher Wetterdienstes, 1982. S. 70

[31] Palz, Wolfgang, und Greif, Jürgen. European Solar Radiation Atlas. Solar Radiation on Horizontal and Inclined Surfaces. 3. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer, 1996. S. 254.

[32] Die Untersuchungen wurden unter Einsatz des Simulationsprogramms 'ASAP' von Herrn Dipl.-Phys. Thomas Kuckelkorn, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Professor Dr./Univ. Rom Thomas Herzog, TU München, durchgeführt.

[33] Hinweise hierzu und zu der Ermittlung des effektiven g-Wertes einer Fassade aus dem winkelabhängigen g-Wertes eines Sonnenschutzsystems finden sich in: Wirth, Harry, und Wittwer, Volker. "Konzepte für den transparenten Sonnenschutz". Tagungsband des Vierten Symposiums 'Innovative Lichttechnik in Gebäuden' im Kloster Banz, Staffelstein, 29.-30. Januar 1998, Regensburg: Ostbayerisches Technologie Transfer Institut, 1998. S. 141-145

[34] Der Algorithmus zur Berechnung der Lamellenneigung wurde von Herrn Dipl.-Phys. Philipp Schramek, Doktorand am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Professor Dr./Univ. Rom Thomas Herzog, TU München, erstellt.

[35] Diese Werte ergeben sich bei einer Lamellenhöhe von 30 mm und einem vertikalen Achsabstand der Lamellen von 240 mm.

[36] Angaben zu dem Tagesverlauf der solaren Einstrahlung auf unterschiedlich orientierte Wandflächen in Abhängigkeit von den Jahreszeiten findet sich in: Bundesarchitektenkammer, Hg. Energiegerechtes Bauen und Modernisieren: Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner. Basel [u.a.] Birkhäuser, 1996. S. 61.

## Teil 5

### Experimentelle Untersuchung der Lamellen

#### Vorbemerkung

Um Aussagen zu den funktionalen Eigenschaften der verschiedenen Alternativen treffen zu können, wurden die Lamellen unter realen Witterungsbedingungen in einem Versuchsaufbau im Maßstab 1 : 1 getestet.

Der Aufbau der Zweite-Haut-Fassade entsprach den Annahmen, die im Rahmen der Potentialabschätzung (Teil 4) getroffen worden waren.

Die Ziele der experimentellen Untersuchung waren folgende:

- Gewinnung von Aussagen zu den funktionalen Eigenschaften:
  - Wärmeschutzfunktion der Lamellen
  - Wirksamkeit der Kerndämmung der Lamellen
  - Sonnenschutzfunktion der Lamellen
- Klärung der konstruktiven Eigenschaften der Lamellen:
  - Tragwirkung des Lamellenquerschnitts
  - Dimensions- und Formstabilität
  - Klärung der Einbausituation und Montage

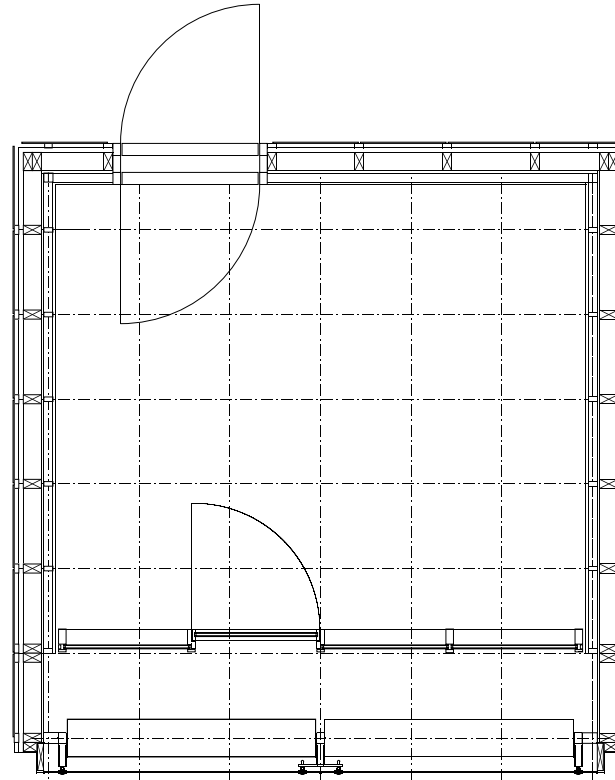


Fig. 1: Grundriß der Meßeinrichtung (ohne Maßstab)

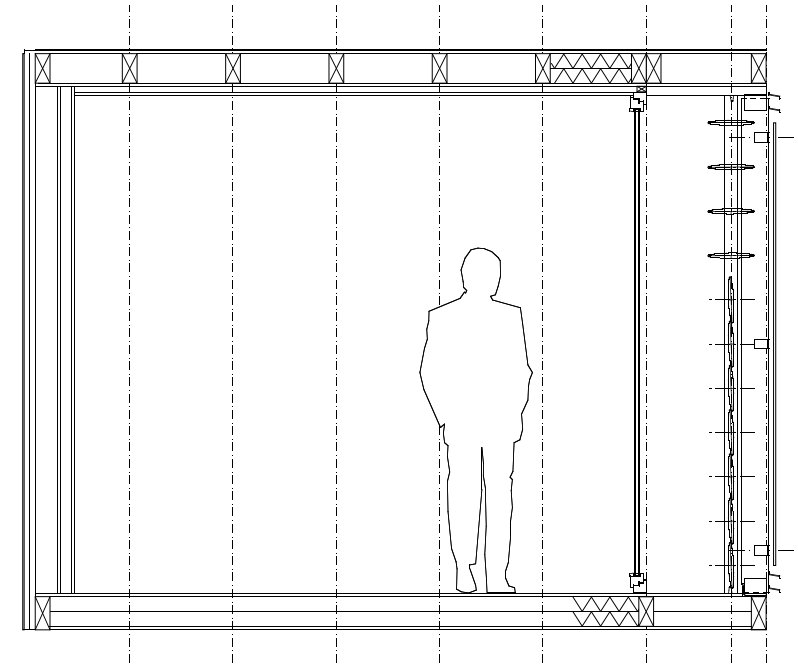


Fig. 2: Längsschnitt der Meßeinrichtung (ohne Maßstab)

#### Wandaufbau - Schichtenfolge von außen nach innen, d = 280 mm:

Eternittafel	8 mm
Luftschicht	30 mm
Holzplatten 30/60 mm, a = 600 mm	
Folie	
Wärmedämmung	30 mm
Wärmedämmung	120 mm
Holzständer 60/120 mm, a = 600 mm	
Folie	
Holzwerkstoffplatten	16 mm
Luftschicht	60 mm
Holzwerkstoffplatten	16 mm

#### Dachaufbau - Schichtenfolge von außen nach innen, d = 244 mm:

Dichtungsbahn	
Holzschalung	19 mm
Folie	
Wärmedämmung	160 mm
Sparren NH G.kl. II, 80/160 mm, a = 600 mm	
Folie	
Holzschalung	19 mm
Luftschicht	30 mm
Lattung 30/50 mm	
Holzwerkstoffplatten	16 mm

#### Bodenaufbau - Schichtenfolge von außen nach innen, d = 199 mm:

Folie	
Holzschalung	19 mm
Sparren NH G.kl. II, 80/160 mm, a = 600 mm	
Wärmedämmung	130 mm
Folie	
Holzschalung	19 mm
Teppich	5 mm

- Untersuchung der gestalterischen Eigenschaften der Lamellen:
  - Farbwirkung und Oberflächenbeschaffenheit
  - Lichtqualität im Innenraum
- Gewinnung von Meßdaten zur Validierung eines Simulationsmodells zur Bestimmung des Jahresheizwärmebedarfs und Kühlenergiebedarfs der verschiedenen Alternativen

## 1. Beschreibung des Versuchsaufbaus

### 1.1 Testraum

Die Raumdimensionen der Versuchseinrichtung orientieren sich mit ihrer lichten Höhe und Breite an den im Verwaltungsbau üblichen Dimensionen. Die lichte Raumtiefe der Versuchseinrichtung liegt aufgrund der örtlichen Gegebenheiten etwas unterhalb der üblichen Raumtiefe für Einzelbüros, was bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt werden mußte. (Fig. 3) Die Innenraummaße der Versuchseinrichtung betragen:

lichte Raumbreite:	350,0 cm
lichte Raumhöhe:	270,0 cm
lichte Raumtiefe:	304,5 cm

### 1.2 Aufbau der Zweite-Haut-Fassade

Der Aufbau der südorientierten Versuchsfassade basiert auf den Ergebnissen der Parameterstudie (Teil 3) zu energetisch optimierten Zwei-

te-Haut-Fassaden, wobei besonderes Augenmerk auf die beiden Verglasungsebenen sowie das Sonnen- und Wärmeschutzsystem gelegt wurde. Die rechnerische Potentialabschätzung verschiedener Wärmeschutzsysteme (Teil 4) basierte auf zwei Varianten mit unterschiedlichem Verglasungsanteil für die innere Verglasungsebene. Obwohl die Variante mit einem Brüstungsanteil von 1/3 für die innere Fassadenebene in energetischer Hinsicht geringfügige Vorteile besitzt, wurde bei den experimentellen Untersuchungen eine Vollverglasung der inneren Fassadenebene gewählt. (Fig. 4)

Dies ermöglichte einerseits eine bessere Beurteilung des gestalterischen Potentials der verschiedenen Lamellensysteme, andererseits wurden durch den hohen Verglasungsanteil klare Aussagen hinsichtlich der Wirksamkeit der verschiedenen Wärme- und Sonnenschutzsysteme erwartet.

Die äußere Fassadenebene wurde aus tageslichttechnischen und gestalterischen Gründen geschoßhoch verglast.

In Abstimmung auf den dahinterliegenden Testraum hatte die Zweite-Haut-Fassade folgende Dimensionen:

lichte Tiefe	
Fassadenzwischenraum:	80,5 cm
lichte Höhe	
Fassadenzwischenraum:	270,0 cm



Fig. 3: Testfassade von außen, Holz-Lamellen mit Deckschicht aus Birkensperrrholz



Fig. 4: Testfassade von innen, Holz-Lamellen mit Deckschicht aus Birkensperrrholz

Abstand Isolierverglasung-Lamellenachse:	57,5 cm
Abstand Lamellenvorderkante - Innenseite ESG-Verglasung: [1]	10,0 cm
Lamellenbreite:	25,0 cm
vertikaler Achsabstand der Lamellen:	24,0 cm

Die innere Fassadenebene bestand aus einer Holzrahmenkonstruktion mit Isolierverglasung (Warmglas i-plus neutral R, SZR 16 mm, innere und äußere Glasscheibe 4 mm bzw. 6 mm). Die äußere Fassadenebene bestand aus einer Holzständerkonstruktion mit punktgehaltener Einfachverglasung aus ESG, 10 mm, eisenarm.

Die Durchlüftung des Fassadenzwischenraums erfolgte mittels zwei horizontaler, über die ganze Fassadenbreite verlaufende Lüftungsöffnungen im oberen und unteren Bereich der äußeren Fassadenebene, die jeweils eine Höhe von 150 mm hatten.

### 1.3 Lamellensysteme

Die untersuchten Lamellen haben einheitlich eine Breite von 250 mm und eine Länge von 1626 mm.

#### 1.3.1 Holzlamelle mit Decklage aus Birkenperrholz ('Holz-Lamelle')

Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchung der ersten Muster (Teil 4) wurde für die Birkenperrholzlamelle eine Höhe von 30 mm gewählt. Die Dicke der Deckschicht

aus Birkenperrholz beträgt 2 mm. (Fig. 5) Der konstruktive Aufbau der Lamelle besteht aus einem Mittelsteg und Querrippen aus 4 mm starken Birkenperrholzleisten, die in einem Abstand von 160 mm in die Randleisten aus Birkenholz eingelassen wurden. (Fig. 8)

Für die experimentellen Untersuchungen wurden Lamellen ohne Wärmedämmung verwendet, um Ergebnisse zur Wärmeschutzwirkung der Lamelle mit luftgefülltem Hohlraum zu erhalten. Dieser Ansatz wurde gewählt, da Primärenergieinhalt, Fertigungsaufwand und Kosten der Lamelle möglichst gering gehalten werden sollen.

Allerdings wurde von den 22 Lamellen des Wärme- und Sonnenschutzsystems eine Lamelle mit Kerndämmung ausgeführt, um Aussagen zu den entstehenden Oberflächentemperaturen und zum Wärmedurchgang im Vergleich zur ungedämmten Lamelle zu erhalten. [2]

Diese Variante wird in den folgenden Ausführungen mit 'Holz-Lamelle' bezeichnet.

#### 1.3.2 Holzlamelle mit Unterkonstruktion aus Aluminium ('Holz-Alu-Lamelle')

Diese Alternative besteht aus einer rahmenförmigen Aluminiumunterkonstruktion mit einer Deckschicht aus Birkenperrholz, ( $D = 2$  mm), und hat eine Höhe von 55 mm. (Fig. 6)

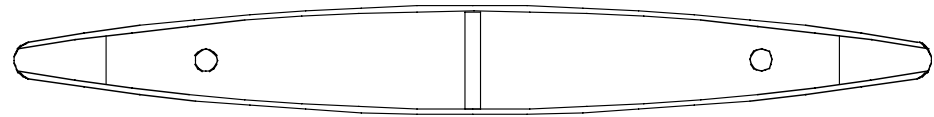


Fig. 5: Querschnitt Holz-Lamelle mit Deckschicht aus Birkenperrholz (ohne Maßstab)

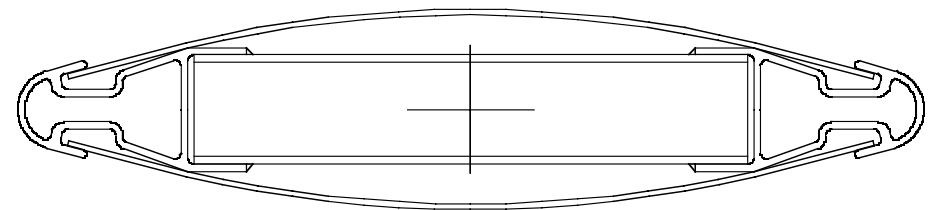


Fig. 6: Querschnitt Holz-Alu-Lamelle mit Deckschicht aus Birkenperrholz (ohne Maßstab)

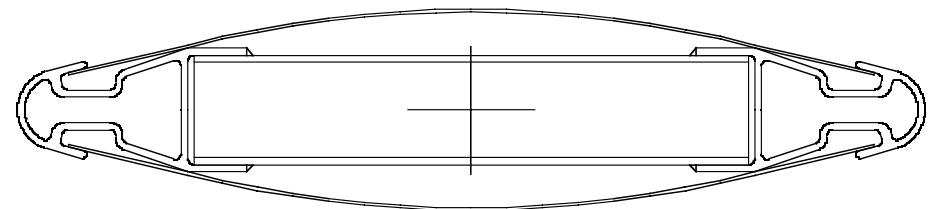


Fig. 7: Querschnitt Alu-Lamelle mit Deckschicht aus Aluminiumblech (ohne Maßstab)

In konstruktiver Hinsicht liegt der Hauptunterschied zur dann folgenden Aluminiumlamelle in der Deckschicht aus Birkenperrholz, die lediglich in die Nut der Randprofile eingeschoben wird. Diese Alternative ist in konstruktiver und gestalterischer Hinsicht als eine Kombination von Holz- und Aluminiumlamelle anzusehen. Wie bei den Holz-Lamellen wurde auch bei den Aluminium/Holz-Lamellen nur eine Lamelle zu Vergleichszwecken mit Wärmedämmmaterial ausgefüllt, die restlichen 21 Lamellen wurden hohl belassen.

Diese Variante wird in den folgenden Ausführungen mit 'Holz-Alu-Lamelle' bezeichnet.

### 1.3.3 Aluminiumlamelle mit einer Deckschicht aus Alublech ('Alu-Lamelle')

Diese Alternative ähnelt in konstruktiver Hinsicht der vorher beschriebenen Holz-Alu-Lamelle, wobei anstatt Birkenperrholz ein Aluminiumblech,  $D = 1,5 \text{ mm}$ , für die Deckschicht verwendet wurde. (Fig. 7)

Die experimentelle Untersuchung dieser Alternative diente der Ermittlung von Vergleichswerten gegenüber der entwickelten Variante aus Holz sowie der Holz-Alu-Lamelle. Wie vorhergehend beschrieben, wurde auch bei den Aluminiumlamellen nur eine Lamelle zu Vergleichszwecken mit Wärmedämmmaterial ausgefüllt, der Hohlraum der restlichen 21 Lamellen war lediglich mit Luft gefüllt.

Diese Variante wird in den folgenden Ausführungen mit 'Alu-Lamelle' bezeichnet.

## 2. Meßdatenerfassung

Die Ermittlung von Meßdaten erfolgte primär mit dem Ziel, Aussagen zu in thermischer Hinsicht relevanten Fragen wie Heiz- und Kühlenergiebedarf zu erhalten. Die Datenerfassung bezog sich dabei auf drei wesentliche Bereiche:

- Erfassung der klimatischen Rahmenbedingungen
- Erfassung der Temperaturverhältnisse im Fassadenzwischenraum
- Erfassung der Temperaturverhältnisse im Rauminneren

Die Meßwerte wurden mit Hilfe eines Meßdatenerfassungsprogramms (Labview) kontinuierlich in einem Intervall von 5 Minuten aufgezeichnet und zur besseren Übersicht und Kontrolle grafisch aufbereitet (Fig. 9), um Unstimmigkeiten innerhalb der Messung unmittelbar erkennen zu können.

Teilaspekte, wie die Möglichkeiten der Tageslichtumlenkung mittels der Lamellen und die resultierende Tageslichtverteilung im Innenraum waren aufgrund der Themenstellung von untergeordneter Bedeutung. Dennoch wurden einfache Untersuchungen in diesem Bereich durchgeführt, wobei die Einzelmessungen jeweils von Hand erfolgten, wie in einem späteren Abschnitt beschrieben werden wird.

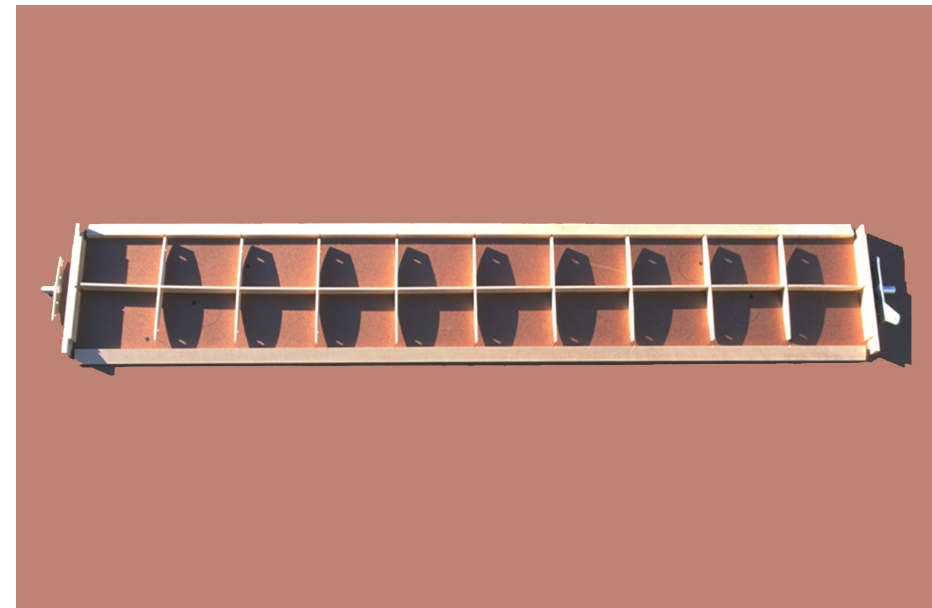


Fig. 8: Innere Struktur der Holzlamelle

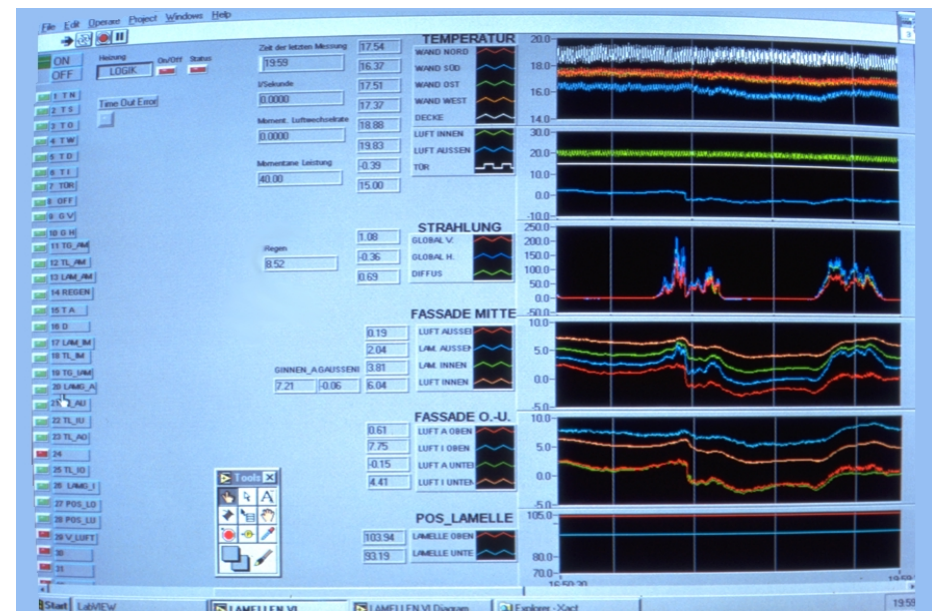


Fig. 9: Meßdatenerfassung und -darstellung mittels 'Labview'

## 2.1 Erfassung der klimatischen Rahmenbedingungen

Die äußeren klimatischen Rahmenbedingungen wurden in folgender Weise aufgezeichnet:

- Globalstrahlung in  $W/m^2$ , jeweils auf vertikale und horizontale Flächen (Pyranometer, Fig. 10)
- Diffusstrahlung in  $W/m^2$ , (Pyranometer mit Abdeckring)
- Außentemperatur in  $^{\circ}C$  (Thermometer, luftdurchströmt)
- Windgeschwindigkeit in m/sec

Zudem wurde das Auftreten von Niederschlag mittels Regenmelder aufgezeichnet, um bei Unregelmäßigkeiten von Meßwerten ggf. Rückschlüsse auf regenbedingte Abweichungen ziehen zu können.

## 2.2 Erfassung der Temperaturen im Fassadenzwischenraum

Da neben der vertikalen Temperaturschichtung vor allem auch das horizontale Temperaturprofil zur Ermittlung der thermischen Eigenschaften der Fassade und des jeweiligen Lamellensystems von Bedeutung war, wurden die folgenden Meßwerte ermittelt. Eine schematische Darstellung der Lage der Meßpunkte findet sich in Fig. 12.

- A Oberflächentemperatur Einfachverglasung innen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35m ü.FFB)

- B Raumlufttemperatur zwischen ESG und Lamellenebene, gemessen im unteren Bereich der Fassade (H= +0,15m ü. FFB)

- C Raumlufttemperatur zwischen ESG und Lamellenebene, gemessen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35m ü.FFB)

- D Raumlufttemperatur zwischen ESG und Lamellenebene, gemessen im oberen Bereich der Fassade (H= +2,30m ü. FFB)

- E Oberflächentemperatur Lamellenaußenseite, gemessen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35m ü.FFB)

- F Oberflächentemperatur Lamelleninnenseite, gemessen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35m Ü.FFB)

- G Raumlufttemperatur Fassadenzwischenraum, gemessen im unteren Bereich der Fassade (H= +0,15m ü.FFB)

- H Raumlufttemperatur zwischen Lamellenebene und Isolierverglasung, gemessen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35m ü.FFB)

- I Raumlufttemperatur zwischen Lamellenebene und Isolierverglasung, gemessen im oberen Bereich der Fassade (H= +2,30m ü.FFB)

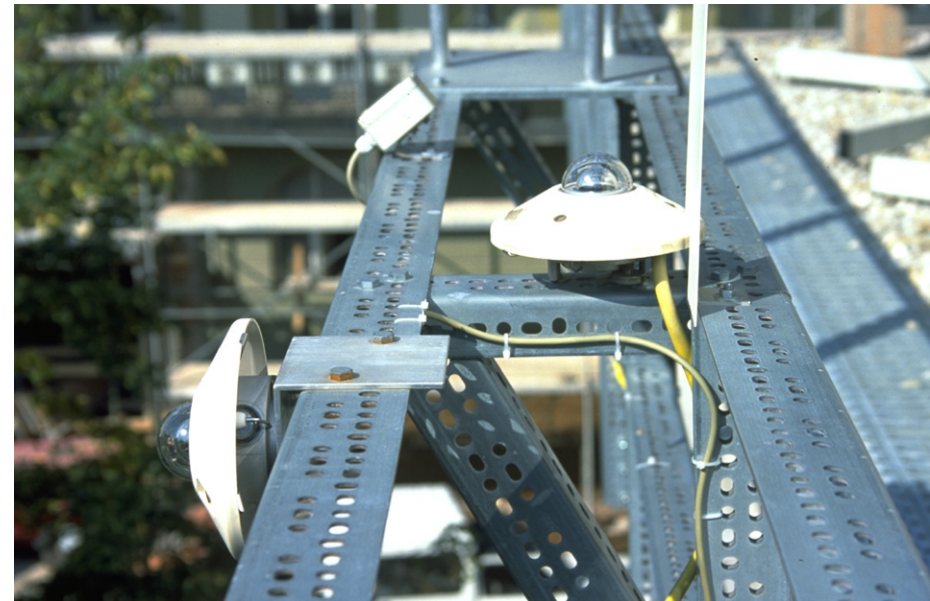


Fig. 10: Pyranometer (jeweils getrennt für Strahlung auf vertikale bzw. horizontale Flächen) und Regenmelder



Fig. 11: Frontansicht der Testfassade mit hinterlüfteten Temperaturfühlern



J Oberflächentemperatur Isolierverglasung, gemessen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35 ü.FFB)

### 2.3 Erfassung der Temperaturen im Rauminnen

K Oberflächentemperatur Isolierverglasung innen, gemessen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35m ü. FFB)

L Oberflächentemperatur Wand Ostseite innen, gemessen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35m ü. FFB)

M Oberflächentemperatur Wand Nordseite innen, gemessen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35m ü. FFB)

N Oberflächentemperatur Wand Westseite innen, gemessen auf halber Fassadenhöhe (H= +1,35m ü. FFB)

O Oberflächentemperatur Decke innen, gemessen in Raummitte

P Raumlufttemperatur, gemessen auf halber Raumhöhe (H= +1,20m ü. FFB)

Neben den angegebenen Meßwerten wurden zudem die jeweiligen Lamellenwinkel für das obere und untere Lamellensegment getrennt aufgezeichnet, um die jeweilige Lamellenstellung in Relation zum Sonnenstand nachvollziehen zu können.

Um eine unkontrollierte Verfälschung der Meßwerte für die Innenraumtemperaturen und Heizwärmebedarf infolge offener Türen

auszuschließen, wurde die Position der Eingangstüre der Versuchseinrichtung ebenfalls aufgezeichnet.

### 2.4 Diskussion möglicher Fehlerquellen

Um Fehlerquellen innerhalb der Meßreihen möglichst gering zu halten, wurde vor allem bei der Messung der Oberflächentemperaturen der Glasscheiben darauf beachtet, daß die Temperaturfühler keine direkte Solarstrahlung erhalten, sondern jeweils mit einer hochreflektierenden Aluminiumfolie abgedeckt wurden. Bei der Erfassung der Oberflächentemperatur der Lamellen war eine Verschattung der Meßfühler jedoch nicht möglich, weshalb Aussagen zu den Wärmeschutzigenschaften der Lamellen auf Meßergebnissen basieren müssen, die nachts, also ohne solaren Energieeintrag, ermittelt wurden.

Die Meßungenauigkeit der Temperaturfühler lag lt. Hersteller bei +/- 0,1°C bei 0°C [3]. Zu Beginn der Messungen vorhergehender experimenteller Untersuchungen mit ähnlicher Ausrichtung wurde zur Kontrolle eine 'Eichung' der Meßfühler in Eiswasser vorgenommen.

Die Erfassung der Solarstrahlung wurde mittels Pyranometern durchgeführt. Hier lag die Meßungenauigkeit lt. Hersteller bei +/- 10 W. [4]

Aufgrund der Lage der Experimentiereinrichtung in einem städtischen Umfeld mit umgebender Bebauung war ein störender Einfluß durch Strahlungsreflexion spiegelnder

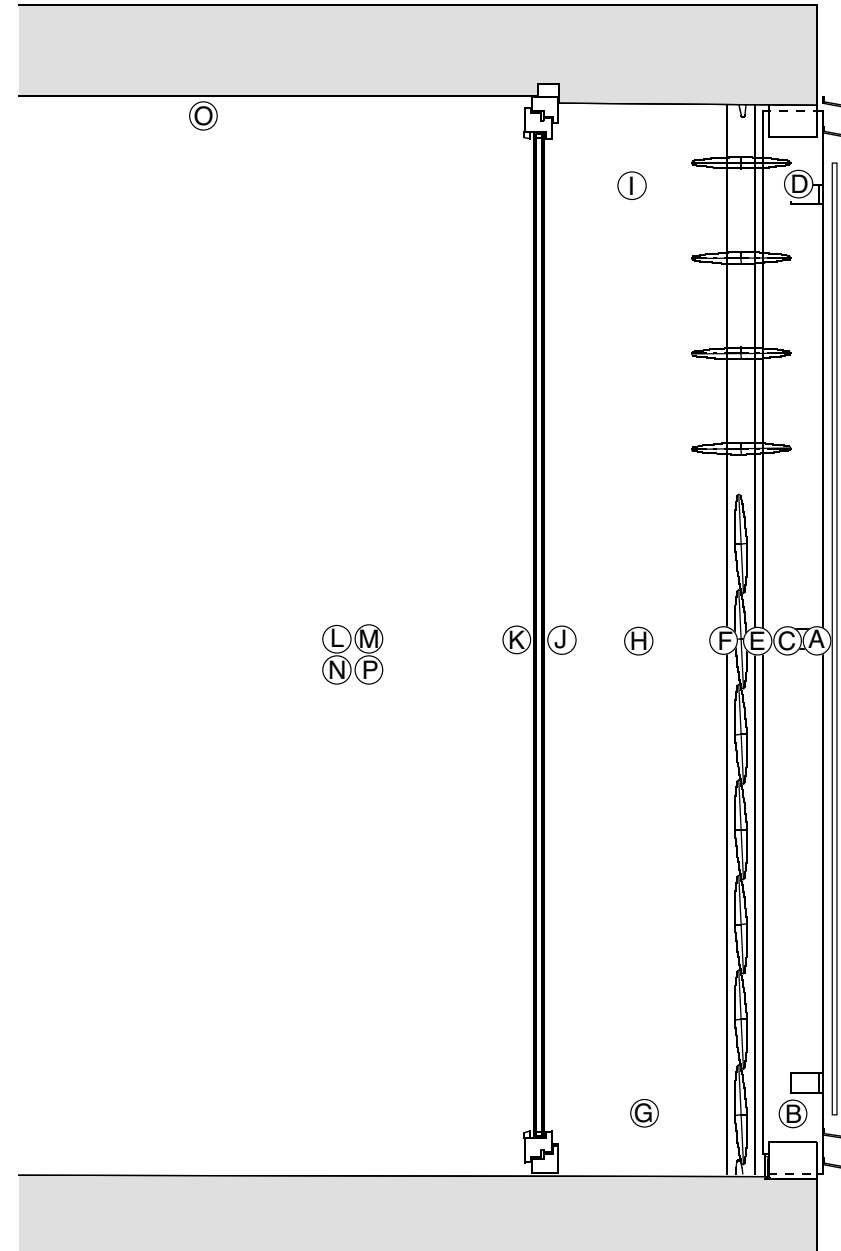


Fig. 12: Querschnitt Testfassade der Versuchseinrichtung mit Angabe der Position der Meßpunkte (ohne Maßstab)

Monat	Januar			Februar				März					April					Mai					Juni					Juli 1999				
Kalenderwoche	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.				
Einbau Testfassade	■	■																														
Messung 1 (ohne Lamellen)		■	■	■	■																											
Messung 2 (Holz-Lamellen geschlossen)						■	■																									
Messung 3 (Holz-Lamellen Wechselmodus)							■	■	■	■																						
Messung 4 (Holz-Alu-Lamellen geschlossen)										■	■	■	■																			
Messung 5 (Holz-Alu-Lamellen Wechselmodus)													■	■	■	■																
Messung 6 (Holz-Alu-Lamellen offen)															■																	
Messung 7 (Holz-Alu-Lamellen geschlossen)																■																
Messung 8 (Holz-Alu-Lamellen offen)																	■															
Messung 9 (Alu-Lamellen offen)																		■														
Messung 10 (Alu-Lamellen geschlossen)																			■	■												
Messung 11 (Alu-Lamellen Wechselmodus)																				■	■	■										
Messung 12 (Alu-Lamellen offen)																					■	■	■									
Messung 13 (ohne Lamellen)																						■										
Messung 14 (Holz-Lamellen offen)																												■				

Tab. 1: Übersicht über die Reihenfolge der Messungen von 22. Januar bis 23. Juli 1999

Fassaden nicht völlig auszuschließen, was bei der Interpretation der Meßergebnisse berücksichtigt werden mußte.

### 3. Aufbau der Versuchsreihen

Die vergleichenden experimentellen Untersuchungen erstreckten sich von Januar bis Juli 1999 und wurden für die folgenden Zweite-Haut-Fassaden-Systeme durchgeführt:

- ohne Sonnen- und Wärmeschutzsystem
- mit Sonnen- und Wärmeschutzsystem aus Holz-Lamellen
- mit Sonnen und Wärmeschutzsystem aus Holz-Alu-Lamellen)
- mit Sonnen- und Wärmeschutzsystem aus Alu-Lamellen

Während der Messungen 1 - 8 und 11 - 14 wurde die Innenraumtemperatur mittels Elektroheizung thermostatgesteuert auf mind. +20°C gehalten.

Während der Messungen 9 und 10 (Ende April - Mitte Mai) wurde die Innenraumtemperatur thermostatgesteuert auf mind. +30°C angehoben, um ein vergleichbares Temperaturgefälle von Innenraum- und Außenlufttemperatur herzustellen, wie während der Messungen von Ende Januar bis Mitte April.

Um Rückschlüsse auf den jeweiligen Heizenergieverbrauch ziehen zu können, wurde der gesamte Stromverbrauch kontinuierlich aufgezeichnet.

Die Messungen wurden in folgender Weise und Reihenfolge durchgeführt (Tab. 1)

**Messung 1 (22.1. - 31.1.99):**

Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen

Diese Meßreihe diente im wesentlichen zur Erfassung von Daten, die einen Vergleich der funktionalen Eigenschaften der Zweite-Haut-Fassade ohne bzw. mit Wärme-/Sonnenschutzsystem unter winterlichen Witterungsbedingungen erlauben sollten.

**Messung 2 (11.2. - 21.2.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit geschlossenen Holz-Lamellen

Diese Meßreihe diente der Ermittlung von Meßdaten zur Bestimmung der Wärmeschutzwirkung der Holz-Lamellen im Vergleich zur Zweite-Haut-Fassade ohne temporären Wärmeschutz.

**Messung 3 (22.2. - 9.3.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen im Wechselmodus, Lamellen von 8.00 - 18.00 Uhr dem Sonnenstand nachgeführt, von 18.00 - 8.00 Uhr geschlossen

Diese Meßreihe sollte der Ermittlung von Meßdaten unter realen Nutzungsbedingungen dienen, da der temporäre Wärmeschutz nur in der Tageszeit zum Einsatz kommen soll, wenn keine Wärmegewinne über die Fassade zu erwarten sind.

**Messung 4 (13.3. - 28.3.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit geschlossenen Holz-Alu-Lamellen

Analog zur Messung 2 diente diese Meßreihe der Bestimmung der Wärmeschutzwirkung der Alu-Holz-Lamellen.

**Messung 5 (30.3. - 13.4.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen im Wechselmodus, Lamellen von 8.00 - 18.00 Uhr dem Sonnenstand nachgeführt, von 18.00 - 8.00 Uhr geschlossen

Analog zur Messung 3 diente diese Meßreihe der Ermittlung von Meßdaten unter realen Nutzungsbedingungen, d.h., während der normalen Arbeitszeiten sollen die Lamellen geöffnet bleiben, und nachts geschlossen gehalten werden.

**Messung 6 (14.4. - 18.4.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit offenen Holz-Alu-Lamellen

Diese Messung sollte einen Vergleich der Temperaturunterschiede zu der Fassade mit geschlossenen Lamellen in den Nachtstunden zulassen.

**Messung 7 (19.4. - 22.4.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit geschlossenen Holz-Alu-Lamellen

Analog zur Messung 4 sollte diese Messung Aussagen zu der Wärmeschutzwirkung der Lamellen zulassen, und ist damit als Fortsetzung der Messung 4 unter geänderten

Witterungsbedingungen anzusehen.

**Messung 8 (23.4. - 25.4.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit offenen Holz-Alu-Lamellen

Diese Messung sollte einen Vergleich der Temperaturunterschiede von geschlossenen bzw. geöffneten Lamellen in den Nachtstunden, d.h. ohne solare Wärmegewinne ermöglichen.

**Messung 9 (29.4. - 6.5.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit offenen Alu-Lamellen

In unmittelbarer Fortsetzung zur vorhergehenden Meßreihe erlaubte diese Messung den Vergleich der Alu-Lamelle mit der Holz-Alu-Lamelle hinsichtlich der Sonnenschutzwirkung.

**Messung 10 (7.5. - 16.5.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit geschlossenen Alu-Lamellen

Analog zu Messung 2 und 4 diente diese Messung der Bestimmung der Wärmeschutzwirkung der Alu-Lamellen.

**Messung 11 (18.5. - 31.5.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen im Wechselmodus, Lamellen von 8.00 - 18.00 Uhr dem Sonnenstand nachgeführt, von 18.00 - 8.00 Uhr geschlossen

Analog zu den Messungen 3 und 5 sollten Meßdaten zur Sonnen- und Wärmeschutzwirkung der Lamellen unter realen Nutzungsbedingungen

gewonnen werden, da der Einsatz des temporären Wärmeschutzes ebenfalls nur in der Tageszeit zum Einsatz kommen soll, wenn keine Wärmegewinne über die Fassade zu erwarten sind.

**Messung 12 (1.6. - 13.6.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit geöffneten Alu-Lamellen, d.h. permanent in horizontaler Stellung

Diese Meßreihe diente der Ermittlung der Sonnenschutzwirkung der Alu-Lamellen und sollte einen unmittelbaren Vergleich der Meßwerte der Holz-Alu-Lamellen (Messung 6) und der Holz-Lamellen (Messung 14) erlauben.

**Messung 13 (15. - 16.6.99):**

Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen

Diese Vergleichsmessung sollte der Ermittlung von Meßwerten für die Zweite-Haut-Fassade ohne temporäre Wärme- oder Sonnenschutzmaßnahmen unter sommerlichen Witterungsbedingungen dienen.

**Messung 14 (19.6. - 23.7.99):**

Zweite-Haut-Fassade mit offenen Holz-Lamellen

Diese Messung sollte vor allem der Bestimmung der Sonnenschutzwirkung der Lamellen unter hoher Sonneneinstrahlung und steilem Sonnenwinkel dienen. Zudem wurden in diesem Zeitraum Messungen zum Einfluß der Lamellenneigung auf die Tageslichtverteilung im Innenraum durchgeführt.

## Anmerkungen

[1] Zur Festlegung des Abstands zwischen dem Sonnenschutzsystem und der Innenseite der äußeren Verglasung ist auf eine ausreichende Hinterlüftung des äußeren Fassadenzwischenraums zu achten, um vor allem im Sommer die entstehende Wärme konvektiv abführen zu können. Experimentelle Untersuchungen haben gezeigt, daß hierfür ein Mindestabstand von ca. 10 cm erforderlich ist.

Dieser Hinweis stammt von Frau Dipl.-Ing. Claudia Ziller, zum damaligen Zeitpunkt Doktorandin mit dem Thema 'Modellversuche und Berechnungen zur Optimierung der natürlichen Lüftung durch Doppelfassaden' am Lehrstuhl für Stahlbau, Prof. Dr. H. Ruscheweyh, RWTH Aachen.

[2] Bei dem Material handelt es sich um das Produkt 'Heraflax-SF 040', Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040, (Wärmeleitfähigkeit 0,04 W/(mK), Baustoffklasse B2, normalentflammbar.

Deutsche Heraklith GmbH, Heraklithstraße 8, 84359 Simbach am Inn.

[3] Es wurden Präzisions-Temperatur-sensoren der Fa. Heraeus, Baureihe M-FK 422, Typ PT 100 verwendet.

[4] Es wurden Pyranometer der Fa. Kipp & Zonen, Solingen, Typ CM 11, verwendet.

## Teil 6

### Auswertung der Ergebnisse der experimentellen Untersuchung der Lamellen

#### Vorbemerkung

Das Ziel der experimentellen Untersuchung und Interpretation der Meßergebnisse war es, Aussagen zu den Wärme- und Sonnenschutz-eigenschaften der folgenden Fassadenvarianten zu erhalten:

- Zweite-Haut-Fassade ohne Sonnen- /Wärmeschutzsystem
- Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen
- Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen
- Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen

Aufgrund des hohen Außenwandanteils, der Konstruktion in Leichtbauweise und der geringen Innenraumgröße der Meßeinrichtung hatte die Versuchsanordnung allerdings Modellcharakter, was bei der Interpretation der Meßergebnisse beachtet werden muß. Zudem wurde die innere Fassadenebene aus meßtechnischen Gründen geschlossen gehalten, was bei realer Nutzung nicht der Fall gewesen wäre. Den Meßergebnissen liegt deshalb ein deutlich geringerer Lüftungswärmebedarf zugrunde, als dies im Verwaltungsbau bei Fensterlüftung zu erwarten gewesen wäre.

Hier würde die Arbeit mit einem validierten Simulationsmodell den großen Vorzug bieten, die gewonnenen Meßergebnisse auf alternative Einbausituationen, wie z.B. auf Verwaltungsbauten mit unterschiedlicher Konstruktionsart oder Verglasungsanteil der Fassade übertragen zu können.

### 1. Ergebnisse der Meßkampagne zu den thermischen Eigenschaften und Interpretation

#### 1.1 Aufbereitung und Darstellung der Meßdaten

Die ursprünglichen Meßwerte waren in einem Intervall von 5 Minuten aufgezeichnet worden. Für eine einfachere Interpretation der Meßwerte und die geplante Simulation des Heiz- und Kühlenergiebedarfs wurden Mittelwerte für eine Zeitspanne von 30 Minuten gebildet.

Eine exemplarische Darstellung der grafischen Aufbereitung der verschiedenen Meßwerte zeigen Fig. 1 - 6:

Fig. 1: Solarstrahlung

- Globalstrahlung auf vertikale Flächen
- Globalstrahlung auf horizontale Flächen
- Diffusstrahlung

Aufgrund der starken Unterschiede der Strahlungsintensität an Tagen mit bedecktem bzw. mit klarem Himmel wurden die Globalstrahlung auf horizontale Flächen sowie die Diffusstrahlung separat aufgezeichnet.

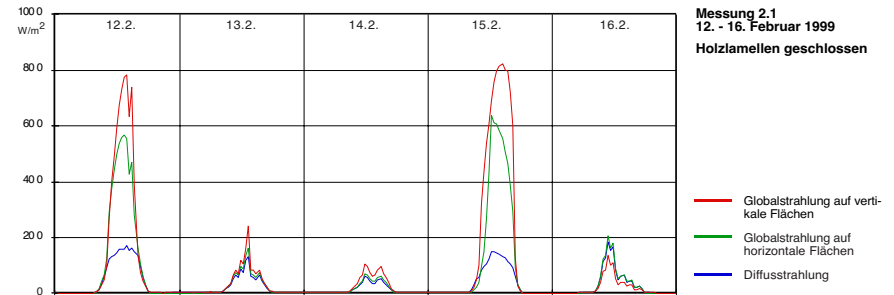


Fig. 1: Solarstrahlung (Holzlamellen geschlossen) 12. - 16. Februar 1999, Angaben in  $W/m^2$

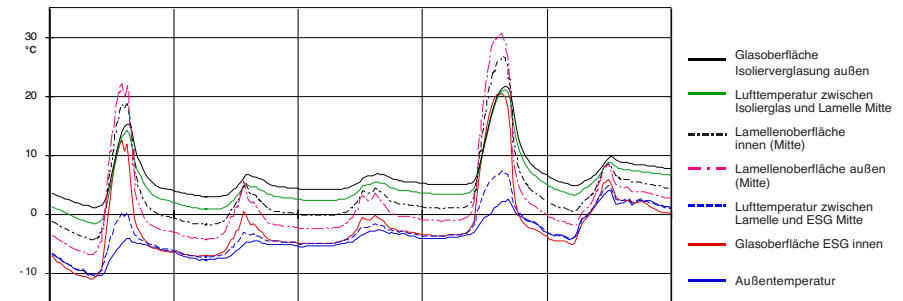


Fig. 2: Temperaturverhältnisse im Fassadenzwischenraum, 12. - 16. Februar 1999, Angaben in  $^{\circ}C$

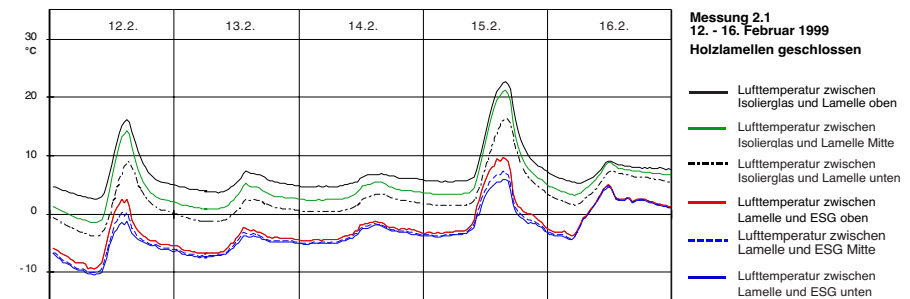


Fig. 3: Lufttemperaturen im Fassadenzwischenraum 12. - 16. Februar 1999, Angaben in  $^{\circ}C$

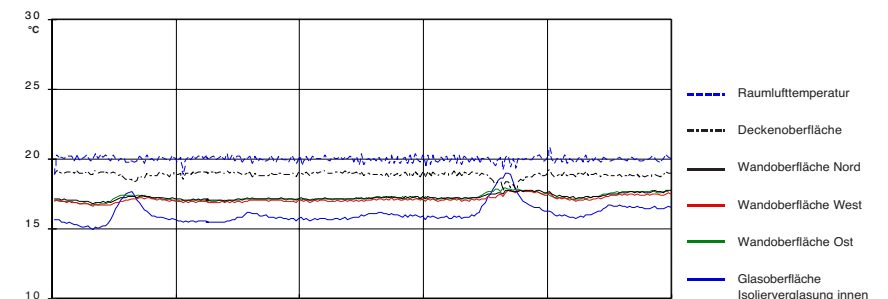


Fig. 4: Temperaturverhältnisse im Rauminnen 12. - 16. Februar 1999, Angaben in  $^{\circ}C$

Die für die Fassade relevante Größe stellt die Globalstrahlung auf vertikale Flächen dar, die ebenfalls als eigener Meßwert erfaßt wurde.

Fig. 2: Horizontales Temperaturprofil der Fassade

- Außenlufttemperatur
- Glasoberfläche (ESG) innen
- Lufttemperatur zwischen ESG und Lamelle
- Lamellenoberfläche außen
- Lamellenoberfläche innen
- Lufttemperatur zwischen Lamelle und Isolierverglasung
- Glasoberfläche (Isolierverglasung) außen

Diese Gegenüberstellung stellt das horizontale Temperaturprofil der Zweite-Haut-Fassade dar, wodurch Aussagen zu den thermischen Eigenschaften der jeweiligen Schicht gemacht werden können.

Fig. 3: Vertikales Temperaturprofil der Fassade

- Lufttemperatur zwischen ESG und Lamelle unten
- Lufttemperatur zwischen ESG und Lamelle Mitte
- Lufttemperatur zwischen ESG und Lamelle oben
- Lufttemperatur zwischen Lamelle und Isolierverglasung unten
- Lufttemperatur zwischen Lamelle und Isolierverglasung Mitte

- Lufttemperatur zwischen Lamelle und Isolierverglasung oben

Diese Gegenüberstellung entspricht dem vertikalen Temperaturprofil innerhalb der Zweite-Haut-Fassade, wodurch vereinfachte Aussagen zu der Lufttemperaturschichtung sowie Luftströmung in der jeweiligen Ebene des Fassadenzwischenraumes gemacht werden können.

Fig. 4: Temperaturen im Rauminneren

- Glasoberfläche Isolierverglasung innen
- Wandoberfläche Ost
- Wandoberfläche West
- Wandoberfläche Nord
- Deckenoberfläche
- Raumlufttemperatur

Die Temperaturen der Innenseite der Raumumschließungsflächen sowie der Raumluft lassen Rückschlüsse auf den Wärmedurchgangswiderstand der jeweiligen Außenwandkonstruktion zu.

Fig. 5: Temperaturen der Lamellenoberflächen

- Lamellenoberfläche außen (Lamelle ungedämmt)
- Lamellenoberfläche innen (Lamelle ungedämmt)
- Lamellenoberfläche außen (Lamelle gedämmt)
- Lamellenoberfläche innen (Lamelle gedämmt)

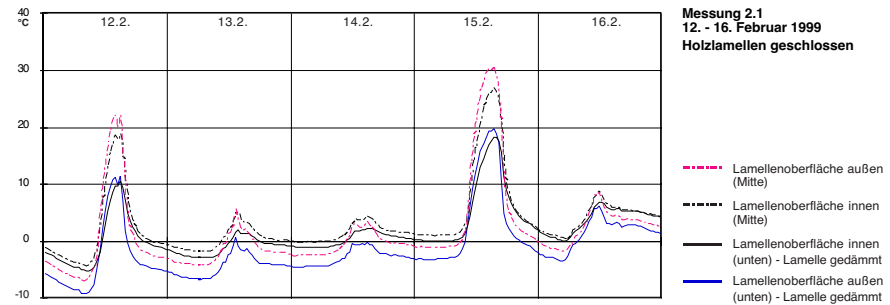


Fig. 5: Temperatur der Lamellenoberflächen 12. - 16. Februar 1999, Angaben in°C

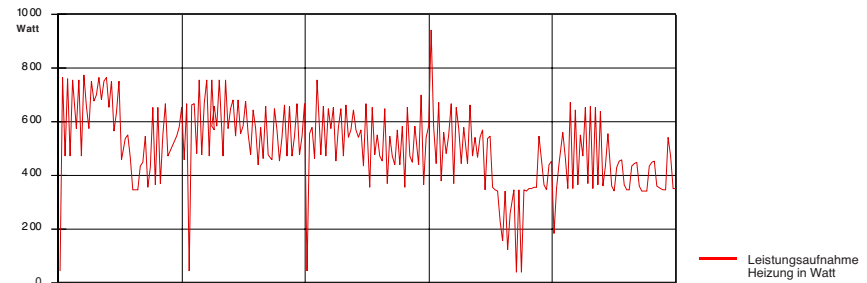


Fig. 6: Heizenergiebedarf 12. - 16. Februar 1999, Angaben in Watt

Der Temperaturunterschied zwischen innerer und äußerer Lamellenoberfläche ist ein Indikator für den Wärmedurchgangswiderstand der Lamellen und erlaubt zudem Aussagen zur Wirkung der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum.

Fig. 6: Heizenergiebedarf

- Leistungsaufnahme Heizung

Die Leistungsaufnahme der Heizung ist ein Indiz für den Heizenergiebedarf der jeweiligen Versuchsanordnung. Wie bereits erwähnt, lassen sich daraus jedoch keine allgemein gültigen Rückschlüsse auf den Heizwärmebedarf normaler Verwaltungsbauten ziehen, da die Versuchsanordnung im Gegensatz zu üblichen Verwaltungsgebäuden einen sehr

hohen Außenwandanteil und einen sehr geringen Speichermassenanteil besitzt. Zudem wurde die innere Fassadenebene versuchsbedingt geschlossen gehalten, wodurch in vorliegendem Fall die normalerweise vorhandenen Lüftungswärmeverluste unverhältnismäßig gering waren.

### 1.2 Vorgehensweise hinsichtlich der Interpretation

Das Ziel der Analyse der thermischen Meßergebnisse war es, die Eigenschaften der verschiedenen Lamellenalternativen hinsichtlich des Wärme- und Sonnenschutzes, sowohl unter winterlichen als auch sommerlichen Witterungsbedingungen, kennenzulernen.

Hierzu wurde zunächst eine Auswertung der einzelnen Meßreihen durchgeführt, die Aussagen zum thermischen Verhalten der jeweiligen Lamellentypen, bezogen die spezifischen Witterungsbedingungen, erlauben sollte. (siehe Anhang)

Wie nachfolgend dargestellt, wurden die Ergebnisse der unterschiedlichen Meßreihen miteinander verglichen, um Aussagen zum thermischen Verhalten der einzelnen Lamellentypen hinsichtlich der Wärme- und Sonnenschutzigenschaften unter verschiedenen Witterungsbedingungen zu erhalten.

In einem nächsten Arbeitsschritt wurden die Erkenntnisse zu den funktionalen Eigenschaften der jeweiligen Lamellentypen einander gegenübergestellt, um eine Bewertung der Alternativen vornehmen zu können.

### 1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Meßreihen 1 - 14 vom 22.1. bis 23.7.99

#### 1.3.1 Temperaturen im Fassadenzwischenraum und Rauminnen

In Tabelle 1 sind die unteren und oberen Grenzwerte für gemessenen Strahlungswerte sowie Temperaturen angegeben.

Während des gesamten Meßzeitraum war zu beobachten, daß die Lamellenebene einen entscheidenden Einfluß auf das horizontale Temperaturprofil der Zweite-Haut-Fassade hatte.

Die niedrigste Temperatur wurde während der Meßreihen mit  $-11,2^{\circ}\text{C}$  an der Innenseite der ESG Scheibe gemessen. Die höchste Temperatur wurde mit  $+54,5^{\circ}\text{C}$  an der Außenseite der Holz-Lamelle während der Meßreihe 14 an einem Sommertag mit hoher Solarstrahlung und Außenlufttemperatur gemessen.

Die Schwankungsbreite der Lamellenoberflächentemperatur lag bei  $64,5\text{ K}$ .

Der Maximalwert für die Raumlufttemperatur lag bei  $+39,3^{\circ}\text{C}$ , der während der Meßreihe 1 (ZHF ohne Lamellen) bei einer Außenlufttemperatur von  $+10^{\circ}\text{C}$  während der Wintermonate aufgezeichnet worden war. Trotz wesentlich höherer Außenlufttemperaturen von bis zu  $+39,0^{\circ}\text{C}$  und intensiver Solarstrahlung im Juli wurden während der Meßreihen mit Sonnenschutzlamellen durchwegs niedrigere Raumlufttemperaturen gemessen.

Dies zeigt sehr deutlich die Notwendigkeit, auch bei niedrigen Außenlufttemperaturen im Winterhalbjahr die Fassade vor intensiver Sonneneinstrahlung zu schützen, um eine Überhitzung des Innenraumes zu vermeiden.

	Minimum	Maximum	Differenz
$G_{\text{vertikal}}$	$21\text{ W/m}^2$	$845\text{ W/m}^2$	$824\text{ W/m}^2$
$G_{\text{horizontal}}$	$41\text{ W/m}^2$	$1225\text{ W/m}^2$	$1184\text{ W/m}^2$
$T_{\text{L außen}}$	$-10,5^{\circ}\text{C}$	$+35,0^{\circ}\text{C}$	$45,5\text{ K}$
$T_{\text{O ESG innen}}$	$-11,1^{\circ}\text{C}$	$+44,0^{\circ}\text{C}$	$56,1\text{ K}$
$T_{\text{L FZR Mitte außen}}$	$-10,3^{\circ}\text{C}$	$+41,5^{\circ}\text{C}$	$51,8\text{ K}$
$T_{\text{O Lamelle außen}}$	$-10,0^{\circ}\text{C}$	$+54,5^{\circ}\text{C}$	$64,5\text{ K}$
$T_{\text{O Lamelle innen}}$	$-4,4^{\circ}\text{C}$	$+51,3^{\circ}\text{C}$	$55,7\text{ K}$
$T_{\text{L FZR Mitte innen}}$	$-7,3^{\circ}\text{C}$	$+39,5^{\circ}\text{C}$	$46,8\text{ K}$
$T_{\text{O Isolierverglasung außen}}$	$-2,6^{\circ}\text{C}$	$+43,5^{\circ}\text{C}$	$46,1\text{ K}$
$T_{\text{O Isolierverglasung innen}}$	$+14,5^{\circ}\text{C}$	$+45,3^{\circ}\text{C}$	$30,8\text{ K}$
$T_{\text{L Raum}}$	$+19,2^{\circ}\text{C}$	$+39,3^{\circ}\text{C}$	$20,1\text{ K}$

Tab. 1: Maxima und Minima der Solarstrahlung sowie Luft- und Oberflächentemperaturen im Fassadenzwischenraum und Rauminnen, gemessen auf halber Fassadenhöhe, für den gesamten Meßzeitraum von 22.1. - 23.7.99

### 1.3.2 Wärmeschutzigenschaften der verschiedenen Lamellensysteme

#### 1.3.2.1 Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen

Bei Außenlufttemperaturen zwischen  $-8^{\circ}\text{C}$  und  $+12^{\circ}\text{C}$  wurde die Luft im Fassadenzwischenraum am Tag aufgrund der Sonneneinstrahlung um jeweils  $2 - 5\text{ K}$  erwärmt.

Aufgrund dieser Beobachtung kann davon ausgegangen werden, daß diese Erwärmung der Luft im Fassadenzwischenraum zu einer Reduktion der Lüftungswärmeverluste aufgrund der Vorwärmung der Außenluft führt, zugleich aufgrund der Pufferwirkung des erwärmten Fassadenzwischenraumes die Transmissionswärmeverluste reduziert werden.

Nachts lagen die Lufttemperaturen im Fassadenzwischenraum aufgrund der permanenten Durchlüftung der Fassade nur unwesentlich über den Außenlufttemperaturen. So wurde beispielsweise bei einer Außenlufttemperatur von  $-6^{\circ}\text{C}$  ein Temperaturunterschied zur Luft im Fassadenzwischenraum von nur  $0,8\text{ K}$  festgestellt.

#### 1.3.2.2 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen

Nachts lag bei Außenlufttemperaturen von  $-5^{\circ}\text{C}$  mit geschlossenen Holz-Lamellen die Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum um  $7,5\text{ K}$  über der Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum. Bei  $+7^{\circ}\text{C}$  Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum lag diese Differenz bei  $4\text{ K}$ .

In beiden Fällen ist die höhere Lufttemperatur auf die gute Wärmeschutzwirkung der Holz-Lamellen und der Luftschicht im inneren Fassadenzwischenraum zurückzuführen.

Eine Auswertung der Meßergebnisse bezüglich der entstandenen Temperaturdifferenz zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum in Relation zur jeweiligen Außenlufttemperatur ist in Fig. 7 grafisch dargestellt.

Es zeigt sich nicht nur die gute Wärmeschutzwirkung des Fassadensystems mit geschlossenen Holzlamellen, sondern auch die Relation von Temperaturgefälle zwischen innen und Außenlufttemperatur zu der Wärmeschutzwirkung. Je höher das Temperaturgefälle zwischen Raum- und Außenluft ist, desto höher ist auch das Temperaturgefälle zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum.

Hinsichtlich der vertikalen Temperaturschichtung im inneren Fassadenzwischenraum wurde bei  $-10^{\circ}\text{C}$  Außenlufttemperatur und geschlossenen Lamellen eine Temperaturdifferenz zwischen dem oberen und unteren Fassadenbereich von 6,4 K, bei der Fassade ohne Lamellen hingegen von nur 1 K festgestellt.

Dies ist einerseits ein Beleg für die relativ geringe Konvektion im inneren Fassadenzwischenraum, andererseits ist dies zugleich als ein Indiz für die geringe Bedeutung der vorhandenen Fugenundichtigkeiten der

Lamellenstöße von 1 - 3 mm zu werten.

Die Wirksamkeit der Innendämmung der Lamellen konnte nachgewiesen werden. Bei einer Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum von  $-10^{\circ}\text{C}$  wurde bei der gedämmten Lamelle eine Differenz zwischen äußerer und innerer Oberflächentemperatur von 4,7 K, bei der ungedämmten Lamelle hingegen von nur 2,7 K festgestellt. Die höhere Temperaturdifferenz ist auf den verbesserten Wärmedurchgangswiderstand aufgrund der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum zurückzuführen.

### 1.3.2.3 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen

Bei Lufttemperaturen im äußeren Fassadenzwischenraum von  $-2,6^{\circ}\text{C}$  lag nachts die Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum um etwa 6,4 K darüber.

Bei Außenlufttemperaturen von  $+5^{\circ}\text{C}$  lag die Temperaturdifferenz zwischen äußerem und innerem Fassadenzwischenraum bei 4-5 K.

Diese Temperaturdifferenzen waren bei der Fassade mit Holz-Lamellen vergleichbar groß gewesen, woraus gefolgert werden kann, daß im Hinblick auf den Wärmeschutz die Holz- bzw. die Holz-Alu-Lamellen vergleichbar gute Eigenschaften besitzen. Dies bestätigt sich bei der Betrachtung der entstehenden Temperaturunterschiede zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum in Relation zum Temperaturgefälle zwischen

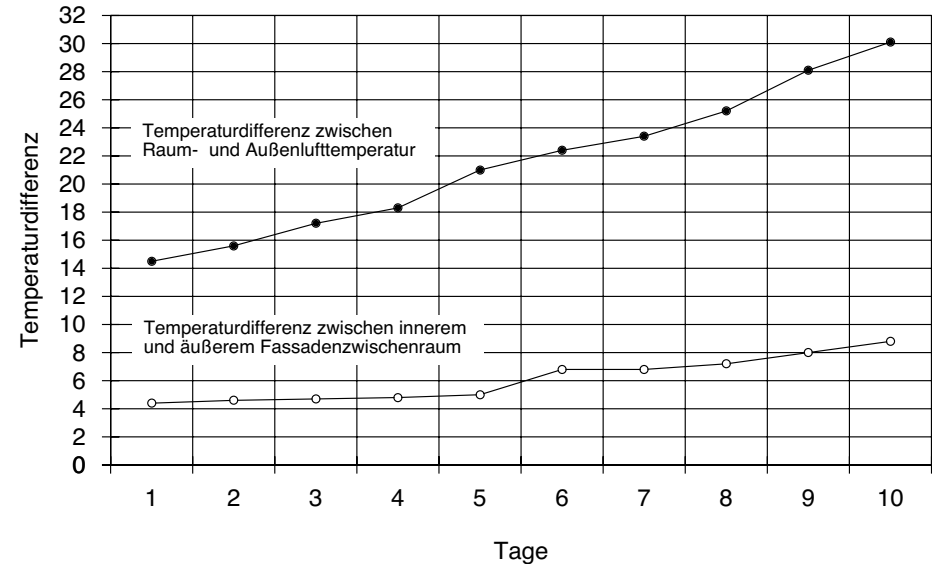


Fig. 7: Wärmeschutzwirkung der Holz-Lamellen (geschlossen), Meßzeitraum 12. - 21.2.1999, jeweils 7.00 Uhr morgens

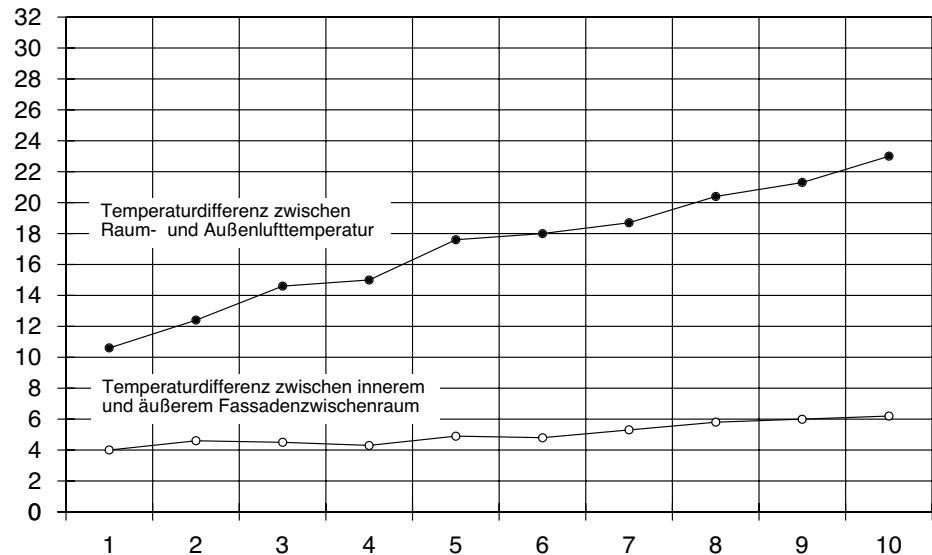


Fig. 8: Wärmeschutzwirkung der Holz-Alu-Lamellen (geschlossen), Meßzeitraum 23.2. - 9.3.1999, jeweils 7.00 Uhr morgens



Raumluft- und Außenlufttemperatur, (Fig. 8) da hier ähnliche Werte abgeleitet werden können wie für die Holz-Lamelle (Fig. 7).

In bezug auf die vertikale Temperaturschichtung im inneren Fassadenzwischenraum hatte die Differenz von oberen und unterem Meßwert bei einer Außenlufttemperatur von  $-2,6^{\circ}\text{C}$  bei den Holz-Lamellen 3,3 K, bei den Holz-Alu-Lamellen 3,4 K betragen. Auch hier zeigen die Holz- und die Holz-Alu-Lamellen sehr ähnliche Eigenschaften hinsichtlich einer geringen Konvektion im inneren Fassadenzwischenraum und einer geringen Durchlüftung aufgrund der hohen Fugendichtigkeit der Lamellenstöße.

Bei Außenlufttemperaturen unter dem Gefrierpunkt lag die Oberflächentemperatur der opaken Wände 1,5 K über dem Wert der Innenseite der Isolierglasscheibe. Dieser Temperaturunterschied wurde auch bei dem Einsatz der Holz-Lamellen beobachtet.

Die Zweite-Haut-Fassade stellt somit trotz des Einsatzes der Wärmeschutzlamellen in thermischer Hinsicht im Vergleich zu der opaken, gut gedämmten Außenwandkonstruktion bezüglich des Wärmedurchgangs eine Schwachstelle dar, was jedoch angesichts der Möglichkeit der direkten Nutzung der Solarenergie während des Tages relativiert werden muß.

Auch bei den Holz-Alu-Lamellen konnte die Wirksamkeit der Wärme-

dämmung im Lamellenhohlraum nachgewiesen werden. Bei einer Außenlufttemperatur von  $-2,6^{\circ}\text{C}$  und geschlossenen Lamellen hatte die Temperaturdifferenz zwischen äußerer und innerer Oberfläche bei der ungedämmten Lamelle 2 K, bei der gedämmten Lamelle hingegen 4,6 K betragen.

Die Vergleichswerte für die Holz-Lamelle lagen bei identischen Witterungsbedingungen bei der ungedämmten Lamelle bei 2 K, bei der gedämmten Lamelle bei 3,1 K.

Damit ist der Wärmedurchgangswiderstand der gedämmten Holz-Alu-Lamelle höher als bei der gedämmten Holz-Lamelle, was an der größeren Querschnittshöhe und Wärmedämmstoffdicke der Holz-Alu-Lamelle liegt.

### 1.3.2.4 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen

Während den Nachtstunden wurde bei einer Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Raumluft von 22K ein Temperaturunterschied zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum von 5,9 K festgestellt. (Fig. 9)

Diese Temperaturdifferenz hatte während vergleichbarer Versuchsbedingungen bei Einsatz der Holz-Lamellen 6,8 K, bei den Holz-Alu-Lamellen 6,4 K betragen.

Der Vergleich dieser Werte zeigt, daß der Wärmedurchgangswiderstand der Holz-Lamellen am höchsten war.

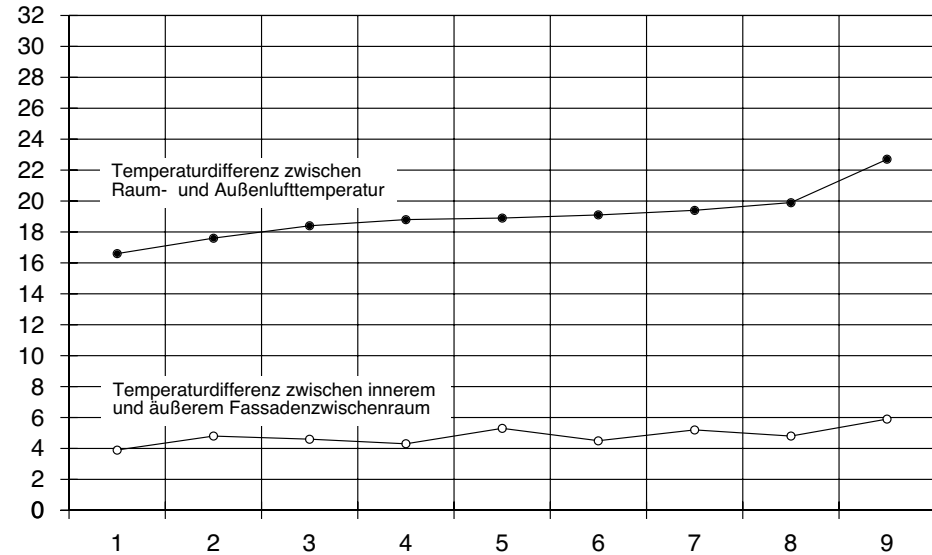


Fig. 9: Wärmeschutzwirkung der Alu-Lamellen (geschlossen), Meßzeitraum 8. - 16.5.1999, jeweils 6.00 Uhr morgens

Hinsichtlich der Wirkung der Innendämmung im Lamellenhohlraum konnte festgestellt werden, daß bei allen drei Lamellenvarianten eine Verbesserung des Wärmedurchgangswiderstands erreicht wurde. Allerdings war diese Verbesserung bei der Alu-Lamelle nur minimal, während bei der Holz-Alu-Lamelle die größte Verbesserung erreicht wurde.

Das gute Ergebnis der Holz-Alu-Lamelle ist auf die größere Wärmedämmstoffdicke gegenüber der dünneren Holz-Lamelle zurückzuführen.

Der relativ schlechte Wert für die Alu-Lamelle liegt an dem geringen Wärmedurchgangswiderstand von Aluminiumblech im Vergleich zu Birkenperrholz.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Wärmeschutzeigenschaften der drei Lamellensysteme vergleichbar gut sind, wenn auch das Holz-Lamellensystem eine höhere Effizienz hinsichtlich den Wärmeschutzeigenschaften im Verhältnis zur Lamellenhöhe besitzt.

### 1.3.3 Sonnenschutz-eigenschaften der verschiedenen Lamellensysteme

#### 1.3.3.1 Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen

Bei intensiver Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen von +10°C wurden Raumlufttemperaturen über +39°C gemessen. Die max. Oberflächentemperatur lag an der Innenseite der Nordwand bei +41°C, an der inneren Oberfläche der Isolierverglasung bei +44°C.

An der starken Überhitzung des Innenraumes zeigt sich die dringende Notwendigkeit, auch bei niedrigen Außenlufttemperaturen während der Wintermonate auf einen ausreichenden Sonnenschutz zu achten.

#### 1.3.3.2 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen

Im Gegensatz zu der Zweite-Haut-Fassade ohne Sonnenschutzlamellen fand bei hoher Sonneneinstrahlung und +10°C bei Einsatz der Holzlamellen keine Überhitzung des Innenraumes über +20°C statt.

Bei hohen Außenlufttemperaturen von +35°C wurde die Luft im äußeren Fassadenzwischenraum auf +41,3 °C, die Luft im inneren Fassadenzwischenraum auf +39,3°C und die Isolierglasaußenseite auf +42,9°C erwärmt. Dennoch lag die Raumlufttemperatur nur 0,2 K über der Außenlufttemperatur, was als Hinweis auf die guten Sonnenschutz-eigenschaften der Holz-Lamellen zu werten ist.

Hinsichtlich der vertikalen Temperaturschichtung im inneren und äußeren Fassadenzwischenraum zeigte sich nachts bei Außenlufttemperaturen von +20°C ein vergleichbar großes Temperaturgefälle von 1 K, was auf eine gleichmäßige Durchlüftung beider Fassadenzwischenräume hindeutet.

Die vertikale Temperaturschichtung im äußeren und inneren Fassadenzwischenraum war am Tag während hoher Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen von +35°C mit 2,8 K bzw 2,7 K nahezu gleich groß. Dies deutet ebenfalls auf eine gleichmäßig intensive Durchströmung des äußeren und inneren Fassadenzwischenraumes hin.

Weder nachts noch zu Zeiten mit intensiver Sonneneinstrahlung und hohen Außenlufttemperaturen war ein negativer Einfluß der geöffneten Lamellen auf die Durchlüftung der beiden Fassadenzwischenräume festzustellen.

#### 1.3.3.3 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen

Unter Einsatz von Holz-Alu-Lamellen wurde an einem sonnigen Tag mit einer Außenlufttemperatur von +17°C eine maximale Raumlufttemperatur von +21,5°C gemessen, was die gute Sonnenschutz-wirkung der Holz-Alu-Lamellen belegt.

Im Hinblick auf die vertikale Temperaturschichtung im inneren und äußeren Fassadenzwischenraum sowie auf die Lamellenoberflächentemperaturen wurden Werte er-

reicht, die mit denen der Holz-Lamellen vergleichbar sind.

#### 1.3.3.4 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen

Bei einer Gegenüberstellung der sich einstellenden Lamellenoberflächentemperaturen, Lufttemperaturen bzw. -unterschiede zwischen dem äußeren und dem inneren Fassadenzwischenraum unter vergleichbaren Bedingungen zeigt sich, daß alle Lamellensysteme etwa gleiche Eigenschaften im Hinblick auf die Strahlungsabsorption besitzen.

Trotz hoher Einstrahlung auf die Fassade und Außenlufttemperatur von +31°C wird die Luft im Raumin-nen nur um 2 K gegenüber der Außenluft erwärmt, was auf die gute Sonnenschutz-wirkung der Lamellen zurückzuführen ist. Bei Vergleichsmessungen ohne Lamellen wurde die Luft im Innenraum unter ähnlichen Witterungsbedingungen bei steil einfallender Sonne um mindestens 5,5 K, bei flacherem Sonnenstand, um bis zu 26 K gegenüber der Außenlufttemperatur erwärmt.

Doch auch bei Einsatz der Sonnenschutzlamellen muß aufgrund der erhöhten Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum beachtet werden, daß es bei einer herkömmlichen Fensterlüftung zu einer unerwünschten Erwärmung der Raumluft kommen würde.

Im Hinblick auf die Durchlüftung der beiden Fassadenzwischenräume wurde festgestellt, daß bei geöffneten Alu-Lamellen und einem Tempe-

raturunterschied von Raumluft zu Außenluft von 10 K die vertikale Temperaturschichtung in dem äußeren und inneren Fassadenzwischenraum vergleichbar groß ist. Eine negative Auswirkung der geöffneten Lamellenebene auf die Durchlüftung des gesamten Fassadenzwischenraumes war nicht festzustellen.

### 1.4 Bewertung der verschiedenen Lamellensysteme

Alle drei Systeme eignen sich in funktionaler Hinsicht sehr gut als Sonnen- und Wärmeschutzsystem in Zweite-Haut-Fassaden.

Eine Überhitzung des Innenraumes gegenüber der Außenlufttemperatur wird auch bei intensiver Solarstrahlung weitgehend vermieden.

In bezug auf die Strahlungsabsorption und Erwärmung der Lamellenoberfläche wurden nahezu identische Werte gemessen.

Trotz der guten Sonnenschutz-eigenschaften ist in jedem Fall zu beachten, daß bei intensiver Sonneneinstrahlung die Luft im Fassadenzwischenraum um bis zu 4 K gegenüber der Außenluft erwärmt wird, was den Komfort im Raumin-nen bei Fensterlüftung stark beeinträchtigen kann.

Hinsichtlich des Wärmeschutzes zeigen die drei Lamellenvarianten ebenfalls vergleichbar gute Werte, wobei gerade bei sehr niedrigen Außenlufttemperaturen eine Temperaturerhöhung im inneren Fassadenzwischenraum aufgrund der

geschlossenen Lamellenwand von bis zu 8 K erreicht wird.

Bemerkenswert ist hierbei das vergleichbar gute Abschneiden der Holz-Lamellen gegenüber den Holz-Alu- bzw. Alu-Lamellen. Trotz der wesentlich geringeren Höhe der Holz-Lamellen, und damit Dicke der wärmedämmenden Luftschicht, war die Wärmeschutzwirkung vergleichbar groß gewesen.

Hinsichtlich der Temperaturdifferenz zwischen innerer und äußerer Lamellenoberfläche wurde bei der ungedämmten Holz-Lamelle eine größere Temperaturdifferenz gemessen, was auf einen höheren Wärmedurchgangswiderstand gegenüber den Holz-Alu bzw. Alu-Lamellen hinweist. Lediglich bei den gedämmten Lamellenvarianten wurde bei der Holz-Alu-Lamelle ein besserer Wert gemessen als bei der Holz-Lamelle. Die Alu-Lamelle schnitt auch hier am schlechtesten ab, da die Temperaturdifferenz zwischen innerer und äußerer Lamellenoberfläche in beiden Fällen am geringsten gewesen war.

## 2. Untersuchung der konstruktiven Eigenschaften der Lamellen

### Vorbemerkung

Um Aussagen zu der Formstabilität der experimentell untersuchten Birkenperrholzlammellen (Typ 1, Fig. 10, 11) machen zu können, wurden diese sowohl vor dem Einbau in die Testfassade als auch nach dem Ausbau vermessen.

Von Interesse war hierbei die Durchbiegung und die Verwindung (Torsion) der Lamellen aufgrund der Witterungseinflüsse und der Eigenlast im eingebauten Zustand.

Im Anschluß an die Vermessung von Typ 1 wurde zudem eine Lamelle mit einer alternativen Konstruktionsart untersucht (Typ 2, Fig. 12 - 14). Diese Alternative war ursprünglich als mögliche Variante diskutiert worden [1], konnte aber aus fertigungstechnischen Gründen im Rahmen der experimentellen Untersuchungen nicht weiter verfolgt werden. Es wurde dennoch eine einzelne Lamelle angefertigt, um vergleichende Untersuchungen hinsichtlich des Tragverhaltens und der Formstabilität durchführen zu können.

### 2.1 Untersuchte Lamellenvarianten

Der wesentliche Unterschied der beiden Lamellenvarianten besteht in der Querschnittswahl und Anordnung des Mittelstegs bei Typ 1 bzw. der oberen und unteren Torsionsleisten bei Typ 2.

Der Querschnitt von Typ 1 (Fig. 11) zeigt in konstruktiver Hinsicht einen symmetrischen Aufbau; der Mittelsteg erstreckt sich über die gesamte Lamellenhöhe von insgesamt 30 mm und ist über die Leimfuge mit der oberen und unteren Beplankung kraftschlüssig verbunden, um eine möglichst steife Konstruktion zu erhalten.

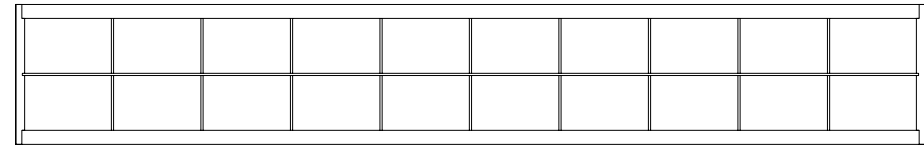


Fig. 10: Lamelle Typ 1- Grundriß  
Länge / Breite: 1.626 / 250 mm, Gewicht: 1.740 g

Innenrippen, 9 Stck à 4 mm, Achsabstand 160 mm  
Randrippen, 2 Stck à 16 mm  
Mittelsteg 4 mm/26 mm  
Randleisten 25 mm  
Beplankung Birkenperrholz 1,5 mm

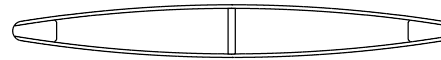


Fig. 11: Lamelle Typ 1 - Querschnitt  
Breite / Höhe: 250 / 30 mm

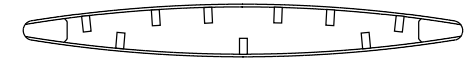


Fig. 12: Lamelle Typ 2 - Querschnitt  
Breite / Höhe: 250 / 30 mm

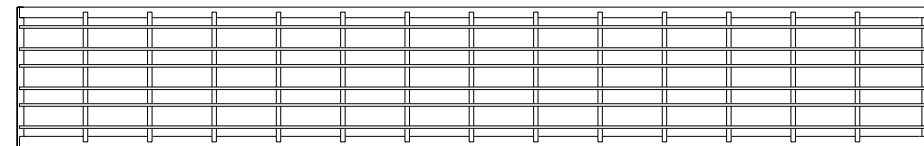


Fig. 13: Lamelle Typ 2 - obere Leistenlage  
Länge / Breite: 1.626 / 250 mm, Gewicht: 1.460 g

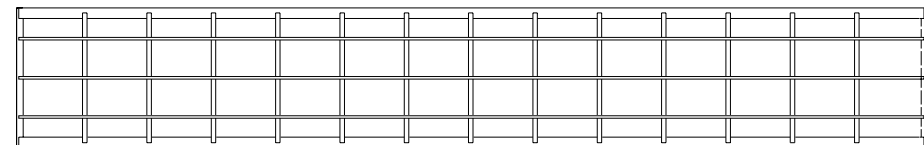


Fig. 14: Lamelle Typ 2 - untere Leistenlage  
Innenrippen, 13 Stck à 8 mm, Achsabstand 115 mm  
Randrippen, 2 Stck à 12 mm  
Torsionsleisten oben, 6 Stck. 4,5/9 mm  
Torsionsleisten unten, 3 Stck. 4,5/9 mm  
Randleisten 19 mm  
Beplankung Birkenperrholz 1,5 mm

Typ 2 besitzt hingegen einen asymmetrischen Querschnitt, um konstruktiv auf die in horizontaler Stellung der Lamelle entstehende Biegebelastung zu reagieren. (Fig. 12) Bei Durchbiegung der Lamelle nach unten entsteht an der Oberseite eine Druckspannung; an der Unterseite hingegen eine Zugspannung. Da bei den verwendeten Holzarten Kiefer und Birke die zulässigen Druck- und Zugspannungen unterschiedlich hoch sind, wurden an der Oberseite im Druckbereich sechs Torsionsleisten, an der zugbeanspruchten Unterseite drei Torsionsleisten mit jeweils gleichem Querschnitt angeordnet. [2]

Bei Typ 2 besteht allerdings keine unmittelbare Verbindung von Ober- und Unterseite der Lamellen in Längsrichtung, wodurch ein elastischeres Verformungsverhalten der Lamelle erwartet werden konnte.

## 2.2 Meßmethode

Zur Datenerfassung wurde eine Meßbank angefertigt, die aus folgenden Bauteilen zusammengesetzt war:

- Montagetisch aus mehrfach verleimter Sperrholzplatte,  $d = 68 \text{ mm}$ , mit zweifacher Absperrung aus Aluminiumblech.
- Anschlagprofile zur Arretierung der Meßproben in jeweils identischer Position
- zwei Meßsonden zur Erfassung der Abstände der jeweiligen Meßpunkte von der Basisebene

Jede Lamelle wurde zur Messung so eingebaut, daß ein Ende fest eingespannt war, während das gegenüberliegende Lamellenende beweglich gelagert wurde. Die Lage in der Meßbank entsprach der Einbausituation in der Zweite-Haut-Fassade. (Fig. 15)

Gemessen wurde jeweils der Abstand der unteren Lamellenoberfläche zur Oberseite des Montagetisches, um aus der Differenz der Meßwerte der beiden Meßreihen Rückschlüsse zur Verformung der Lamellen ziehen zu können. Der erste Meßpunkt lag im Scheitel der Lamellenmitte und diente der Bestimmung des Durchhangs. Der zweite Meßpunkt lag gegenüber der festen Einspannung an dem frei auskragenden Eckpunkt der Lamelle, und diente der Ermittlung der Torsion. (Fig. 16)

### 2.2.1 Meßungenaugigkeiten

Um den Meßfehler durch unterschiedliches Einlegen der Lamelle in die Meßbank zu ermitteln, wurden mehrere Lamellen vier Mal hintereinander gemessen, wobei die Lamelle nach jedem Meßvorgang herausgenommen wurde.

Hierbei hat sich gezeigt, daß bei der Messung des Durchhangs in Lamellenmitte die maximale Abweichung der Meßwerte untereinander  $0,13 \text{ mm}$ , bei der Messung der Torsion (Messung in der Ecke) die maximale Abweichung der Meßwerte untereinander  $0,24 \text{ mm}$  betrug.

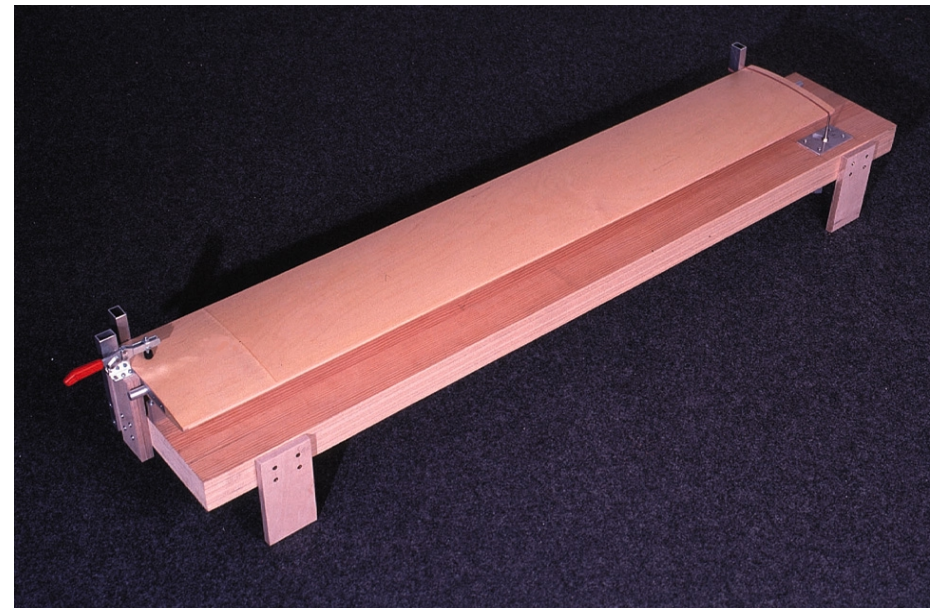


Fig. 15: Meßbank mit eingelegter Lamelle

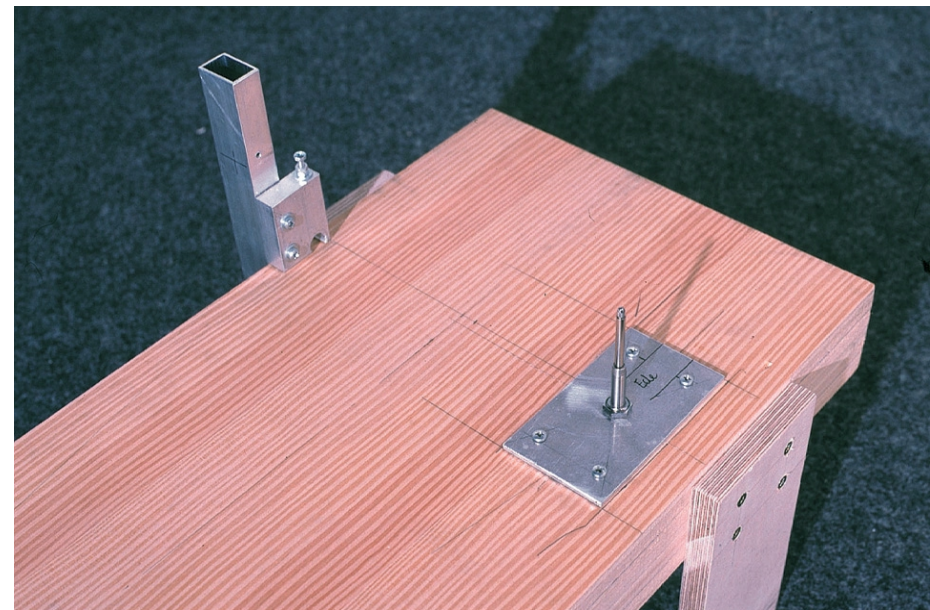


Fig. 16: Meßbank mit Meßfühler an der Ecke

Dies ergab zu berücksichtigende Meßgenauigkeiten von

± 0,13 mm in Lamellenmitte  
± 0,24 mm an der Lamellenecke

### 2.3 Fertigungstoleranzen der Lamellen

Die Untersuchung der 22 Lamellen vor dem Einbau in die Testfassade zeigte, daß die maximale Abweichung vom Durchsschnittswert in der Lamellenmitte ± 1,9 mm, an der Ecke ± 2,8 mm betrug.

Berücksichtigt man etwaige Meßfehler durch ungleiches Einlegen der Lamelle in die Meßbank, so beträgt die Fertigungstoleranz in Lamellenmitte max. ± 2 mm, an der Lamellenecke max. ± 3 mm. Eine Übersicht zu den gemessenen Werten findet sich in Tabelle 2.

Die Vergleichsmessung nach 20 Wochen zeigte, daß die Abweichung der jeweiligen Meßwerte vom Durchschnittswert in einem nahezu identischen Bereich lagen.

In Lamellenmitte lag der Meßwert bei max. ± 2 mm, an der Lamellenecke max. ± 3,1 mm über bzw. unter dem Durchschnittswert.

Dies bedeutet, daß das visuelle Erscheinungsbild des Lamellensystems zu keinem Zeitpunkt durch Fertigungstoleranzen beeinträchtigt wurde. In funktionaler Hinsicht ist jedoch im Randbereich mit gewissen Fugenundichtigkeiten bei vertikaler Stellung der Lamellen zu rechnen.

Die genannten Fertigungstoleranzen dürften sich jedoch bei maschineller Serienproduktion gegenüber der vorliegenden handwerklichen Fertigung deutlich verringern lassen.

### 2.4 Verformung der Lamellen während des Meßzeitraumes vom 18.6. - 4.11.99

Die Verformung der Lamellen unter Einbaubedingungen während der Versuchsdauer von 20 Wochen erlaubt Aussagen zu der Standfestigkeit der Lamellen innerhalb der Zweite-Haut-Fassade unter normalen Witterungsbedingungen.

Während des angegebenen Zeitraumes wurden die Lamellen durchgehend in horizontaler Position gehalten, um die Beanspruchung durch Eigengewicht in Relation zum Lamellenquerschnitt möglichst hoch zu halten. Bei einer Länge von 162,4 cm beträgt in horizontaler Stellung die statisch relevante Lamellenhöhe 30 mm (l/55), in vertikaler Stellung hingegen 250 mm (l/6,5).

Die Zusammenstellung der Meßergebnisse zeigt, daß die Lamellen sich durchschnittlich um etwa 0,3 mm in Lamellenmitte und 1 mm am Rand gegenüber dem vor dem Einbau gemessenen Wert verändert haben. (Tab. 3) Der maximale Wert für die Abweichung gegenüber dem Wert, der vor dem Einbau gemessen wurde, liegt in Lamellenmitte bei 1,2 mm, der maximale Wert für die Lamellenecke liegt bei 1,8 mm.

	17.6.		15.11.		17.6.		15.11.	
Lamelle	Meßwert Mitte	Abweichung vom ø	Meßwert Mitte	Abweichung vom ø	Meßwert Ecke	Abweichung vom ø	Meßwert Ecke	Abweichung vom ø
1	0,15	-0,88	0,38	-0,89	0,22	-1,66	-0,73	-1,74
2	0,47	-1,2	0,70	-1,21	-0,57	-0,87	-1,02	-1,45
3	0,56	-1,29	0,61	-1,12	-1,96	0,52	-2,65	0,18
4	0,99	-1,72	1,34	-1,85	-2,51	1,07	-3,14	0,67
5	-1,50	0,77	-1,57	1,06	-1,90	0,46	-2,86	0,39
6	-1,45	0,72	-0,94	0,43	-2,12	0,68	-2,28	-0,19
7	1,04	-1,77	2,13	-2,64	-1,87	0,43	-2,11	-0,36
8	-1,77	1,04	-1,46	0,95	-2,88	1,44	-3,38	0,91
9	-1,22	0,49	-1,22	0,71	-3,40	1,96	-4,76	2,29
10	-1,66	0,93	-1,07	0,56	-1,06	-0,38	-2,43	-0,04
11	1,08	-1,81	0,98	-1,49	-0,69	-0,75	-2,23	-0,24
12	-2,00	1,27	-2,32	1,81	-1,18	-0,26	-2,73	0,26
13	-0,20	-0,53	-0,38	-0,13	-0,15	-1,29	-1,84	-0,63
14	-0,34	-0,39	0,02	-0,53	-2,61	1,17	-3,58	1,11
15	-1,14	0,41	-1,13	0,62	-0,19	-1,25	-1,67	-0,80
16	-0,98	0,25	-1,01	0,50	-1,75	0,31	-2,38	-0,09
17	-1,31	0,58	-1,24	0,73	-1,03	-0,41	-2,06	-0,41
18	0,11	-0,84	0,24	-0,75	-0,37	-1,07	-2,12	-0,35
19	-1,06	0,33	-1,15	0,64	-0,75	-0,69	-1,87	-0,60
20	-1,46	0,73	-1,28	0,77	0,40	-1,84	-0,64	-1,83
21	-1,77	1,04	-1,52	1,01	-1,08	-0,36	-2,46	-0,01
22	-2,61	1,82	-1,40	0,89	-4,20	2,65	-5,46	2,99
ø	-0,73		-0,51		-1,44		-2,47	
Max. (o)		-1,81				-1,84		
Max. (u)		1,88				2,76		
Typ 2	-1,32		-0,62		-2,05		-0,80	

Tab. 2: Bestimmung der Fertigungstoleranzen bei Typ 1, gemessen vor dem Einbau (17.6.99) und nach dem Ausbau (15.11.99) aus der Zweite-Haut-Fassade. Alle Maßangaben in mm.

- ø: Durchschnittswert aus der Messung der Durchbiegung bzw. der Torsion
- Max. (o): maximale Abweichung vom Durchschnittswert nach oben
- Max. (u): maximale Abweichung vom Durchschnittswert nach unten
- Typ 2: Lamelle mit alternativer Unterkonstruktion

Parallel zu der in der Fassade eingebauten Lamelle wurde eine weitere Lamellentyp mit alternativer Unterkonstruktion untersucht (Typ 2).

Diese Lamelle wurde im angegebenen Meßzeitraum im Innenraum der Meßeinrichtung stehend gelagert. Hier ergaben sich trotz gemäßigter Witterungseinflüsse wie Sonneneinstrahlung und Temperaturschwankungen sowie geringer statischer Belastung durch Eigengewicht Abweichungen von der ursprünglichen Form.

Bemerkenswert ist hierbei, daß diese Formveränderung in vergleichbarem Ausmaß zu den in die Zweite-Haut-Fassade eingebauten Lamellen liegt. (Tab. 3)

Dies deutet darauf hin, daß der Einfluß von Temperaturschwankungen und Veränderungen der Luftfeuchtigkeit auf die Formstabilität ebenso stark beachtet werden muß, wie die Belastung durch das Eigengewicht.

### 2.5 Verformung der Lamellen durch Vertikallasten

Um Aussagen zur Tragwirkung der beiden alternativen Lamellenkonstruktionen treffen zu können, wurde die Verformung unter einer Belastung von 20 N untersucht.

Hierzu wurde eine der bereits in der Zweite-Haut-Fassade eingebauten Lamellen (Typ 1) der alternativen Lamellenkonstruktion (Typ 2) gegenübergestellt.

Die Untersuchung wurde so durchgeführt, daß ein Gewicht mit einer Masse von 2 kg in Lamellenmitte plazierte wurde, welches 24 Stunden lang auf die Lamelle einwirken konnte. Der Meßwert der Verformung in Lamellenmitte und am Rand wurde jeweils unmittelbar nach Aufbringen der Last und nach 24 Stunden des Einwirkens der Last aufgezeichnet. (Tab. 4)

Anschließend wurde die Last entfernt und der Meßwert notiert. Nach weiteren 24 Stunden ohne zusätzliche Vertikallast wurden die Meßwerte abermals aufgezeichnet.

Die Übersicht der Ergebnisse dieser Messung zeigt, daß sich die beiden Lamellen unterschiedlich stark verformen.

Während bei Typ 1 eine maximale Durchbiegung in Lamellenmitte von 2,6 mm festzustellen ist, liegt dieser Wert bei Typ 2 bei 3,5 mm.

Die Messung der Verformung im Eckbereich zeigt bei Typ 1 eine Verformung um 3 mm, Typ 2 zeigt eine Verformung um 5,9 mm.

Daraus folgt, daß Typ 2 eine etwas größere Verformung unter der angegebenen Vertikallast aufweist als Typ 1.

Nach Entfernen der Last zeigen die beiden Typen ebenfalls ein unterschiedliches Verhalten hinsichtlich der Rückbildung der Verformung.

	17.6.99	15.11.99		17.6.99	15.11.99	
Lamelle	Meßwert Mitte	Meßwert Mitte	Differenz in mm	Meßwert Ecke	Meßwert Ecke	Differenz in mm
1	0,15	0,38	+ 0,23	0,22	-0,73	- 0,95
2	0,47	0,70	+ 0,23	-0,57	-1,02	- 0,45
3	0,56	0,61	+ 0,05	-1,96	-2,65	- 0,69
4	0,99	1,34	+ 0,35	-2,51	-3,14	- 0,63
5	-1,50	-1,57	- 0,07	-1,90	-2,86	- 0,96
6	-1,45	-0,94	+ 0,51	-2,12	-2,28	- 0,16
7	1,04	2,13	+ 1,09	-1,87	-2,11	- 0,24
8	-1,77	-1,46	+ 0,31	-2,88	-3,38	- 0,50
9	-1,22	-1,22	+ 0,00	-3,40	-4,76	- 1,36
10	-1,66	-1,07	+ 0,59	-1,06	-2,43	- 1,37
11	1,08	0,98	- 0,10	-0,69	-2,23	- 1,54
12	-2,00	-2,32	- 0,32	-1,18	-2,73	- 1,55
13	-0,20	-0,38	- 0,18	-0,15	-1,84	- 1,69
14	-0,34	0,02	+ 0,36	-2,61	-3,58	- 0,97
15	-1,14	-1,13	+ 0,01	-0,19	-1,67	- 1,48
16	-0,98	-1,01	- 0,03	-1,75	-2,38	- 0,63
17	-1,31	-1,24	+ 0,07	-1,03	-2,06	- 1,03
18	0,11	0,24	+ 0,13	-0,37	-2,12	- 1,75
19	-1,06	-1,15	- 0,09	-0,75	-1,87	- 1,12
20	-1,46	-1,28	+ 0,18	0,40	-0,64	- 1,04
21	-1,77	-1,52	+ 0,25	-1,08	-2,46	- 1,38
22	-2,61	-1,40	+ 1,21	-4,20	-5,46	- 1,26
∅			0,29			1,03
Max.			1,21			- 1,75
Min.			0,00			- 0,16
Typ 2	-1,32	-0,62	0,70	-2,05	-0,80	1,25

Tab. 3: Lamellenvermessung vor dem Einbau (17.6.99) und nach dem Ausbau (15.11.99) aus der Zweite-Haut-Fassade. Alle Angaben in mm.

	Typ 1 Mitte	Typ 2 Mitte	Differenz	Typ 1 Ecke	Typ 2 Ecke	Differenz
Verformung n. 1 Min. Belastung	1,97	2,68	0,71	1,95	4,51	2,56
Verformung n. 24 h Belastung	2,63	3,49	0,86	3,02	5,86	2,84
Verformung n. 1 Min Entlastung	0,43	1,09	0,66	0,45	2,19	1,74
Verformung n. 24 h Entlastung	0,40	0,84	0,44	0,28	1,56	1,28

Tab. 4: Verformung der Lamellen unter Vertikallast nach 24 Stunden Belastung. Alle Angaben in mm.

Die Abweichung von der ursprünglichen Form vor der Belastung beträgt bei Typ 1 in Lamellenmitte 0,4 mm und am Rand ca 0,3 mm. Die Werte liegen bei Typ 2 bei 0,8 mm in Lamellenmitte und 1,6 mm am Lamellenrand.

Daraus folgt, daß Typ 2 sich tendenziell unter Last eher dauerhaft verformt, als Typ 1.

## 2.6 Zusammenfassung

Die während der experimentellen Untersuchungen eingebauten Birkenperrholzlamellen weisen sehr geringe Fertigungstoleranzen auf, die vor dem Einbau in die Testfassade in Lamellenmitte bei  $\pm 2$  mm, an der Lamellenecke bei  $\pm 3$  mm lagen.

Diese Formabweichung ist in Anbetracht der Fertigung von Hand als sehr gering anzusehen und beeinflusste das Erscheinungsbild sowie die Funktion der Lamellen nicht.

Diese Anweichungen lagen nach dem Abschluß der experimentellen Untersuchungen in einem identischen Bereich, was auf eine hohe Formbeständigkeit der Lamellen hinweist.

Bei der Untersuchung der einzelnen Lamellen zeigte sich, daß die maximalen Abweichungen durch den Einfluß der Witterung und Eigenlast bei 1,2 mm in Lamellenmitte bzw. 1,8 mm an der Lamellenecke lagen. Auch dies ist ein Hinweis auf die hohe Formstabilität der Holz-Lamellen (Typ 1) zu werten.

Aufgrund der Messungen läßt sich feststellen, daß hinsichtlich der Verformung der Lamellen der Einfluß der wechselnden Außenbedingungen, wie Solarstrahlung, Luftfeuchtigkeit und -temperatur höher einzuschätzen ist, als die Belastung durch das Eigengewicht.

Im Hinblick auf die Konstruktion der Lamelle zeigte sich, daß die Anordnung eines Mittelstegs einen sehr günstigen Einfluß auf die Formstabilität der Konstruktion hat.

Eine Alternativkonstruktion (Typ 2) mit Torsionsleisten im oberen und unteren Randbereich der Lamelle (Fig. 12 - 14) zeigte ein wesentlich elastischeres Verformungsverhalten als Typ 1 mit Mittelsteg.

## 3. Vergleichende Untersuchung der gestalterischen Eigenschaften der alternativen Lamellensysteme

### Vorbemerkung

Die Berücksichtigung der Zusammenhänge von

- funktionalen
- konstruktiven
- ökologischen und
- gestalterischen

Teilaspekten ist bei der Entwicklung von leistungsfähigen und in jeder Hinsicht überzeugenden Fassadenkomponenten von ausschlaggebender Bedeutung.

Im Rahmen dieser Arbeit sind daher die genannten Aspekte im Vorfeld sowohl im Rahmen der Grundlagenermittlung als auch der Entwicklung des Anforderungskataloges untersucht und dargestellt worden.

Hierzu gehörten auch Fragestellungen hinsichtlich der Gestaltung von Fassadenkomponenten zum Wärme- und Sonnenschutz.

Teilaspekte, wie das Erscheinungsbild von außen sowie die Licht- und Raumwirkung im Gebäudeinneren wurden bereits im Rahmen der Bewertung der drei Prototypen und der Innenraumsimulation in Teil 4 diskutiert. [3]

Im Zusammenhang mit der Bewertung der gestalterischen Eigenschaften der Lamellen soll daher der Schwerpunkt auf die Diskussion der experimentell untersuchten Holz-,

Holz-Alu- sowie der Alu-Lamelle gelegt werden.

Zu den wesentlichen, gestaltbestimmenden Eigenschaften gehören:

- Querschnittsform und Proportionen
- Farbgebung
- Oberflächenstruktur

### 3.1 Querschnittsform und Proportion

In gestalterischer und funktionaler Hinsicht wesentliche Teilaspekte, die durch die Querschnittsform sowie die Proportion von Länge, Breite und Bauhöhe bestimmt werden, sind die

- freie Durchsicht durch die horizontal ausgerichteten Lamellen  
sowie die
- Lichtverteilung auf der Lamelle

#### 3.1.1 Freie Durchsicht

Um die freie Durchsicht möglichst wenig einzuschränken, sind eine geringe Bauhöhe und ein großer vertikaler Abstand der Lamellen anzustreben. Wie bereits erwähnt wurde, ergab sich der vertikale Abstand der Lamellen zwangsläufig aus der Lamellenbreite, da die Lamellen in vertikaler Stellung eine geschlossene Lamellenwand ausbilden sollten. Im Rahmen der experimentellen Untersuchung waren die jeweilige Lamellenbreite und -spannweite für alle drei Alternativen versuchsbedingt identisch.

Die Bauhöhe unterschied sich aufgrund der unterschiedlichen Konstruktionsweisen, wobei die Holz-Lamelle eine Bauhöhe von 30 mm, die Holz-Alu-Lamelle sowie die Alu-Lamelle jeweils eine Bauhöhe von 55 mm aufwiesen. (Fig. 17 - 19)

Aus diesen Bauhöhen ergibt sich bei einem Achsabstand der Lamellen-aufhängung von 240 mm und einer Lamellenhöhe von 30 mm eine freie Durchsicht von 210 mm für die Holz-Lamelle. Bei einer Lamellenhöhe von 55 mm ergibt sich eine freie Durchsicht von 185 mm für die Holz-Alu-Lamelle bzw. Alu-Lamelle.

Bemerkenswert ist hierbei die Relation von Lamellenhöhe zu freier Durchsicht in horizontaler Stellung der Lamellen. Dieses Verhältnis beträgt bei der Holz-Lamelle 1 : 7, bei der Alu-Lamelle bzw. Holz-Alu-Lamelle hingegen lediglich 1 : 3,4.

In Fig. 20 und 21 ist die Innenraumwirkung beider Lamellensysteme in geöffnetem Zustand dargestellt.

Vor allem bei senkrecht zur Fassade gerichtetem Blick ist die geringere Beeinträchtigung der freien Durchsicht durch die Holz-Lamellen in Relation zu den Alu-Lamellen klar erkennbar.

### 3.1.2 Lichtverteilung auf der Lamelle

Neben der absoluten Bauhöhe ist ein gestaltbestimmender Faktor für die Wahrnehmung der Ansichtshöhe der Lamelle die Lichtverteilung auf der Lamellenoberfläche.

Dies trifft sowohl auf die Innenansicht bei Gegenlicht als auch auf die Außenansicht zu.

Wie in Fig. 20 - 23 zu erkennen ist, zeichnet sich die verschattete Vorderkante der Lamelle im Gegenlicht lediglich als dünne Linie ab, während die gekrümmte Oberfläche aufgrund der direkten Bestrahlung und Reflexion von Tageslicht hell erscheint.

Dies trifft aufgrund sehr ähnlicher Reflexionswerte für Birkenesperrholz und Aluminium auf alle drei Lamellenalternativen gleichermaßen zu.

Hinsichtlich der Wirkung der Lamellenvorderkante der Alu- bzw. Holz-Alu-Lamelle ergibt sich allerdings aufgrund der Lamellenkonstruktion und -geometrie eine deutlich höhere Ansichtsbreite gegenüber der Holz-Lamelle.

Durch den konstruktionsbedingten Höhenversatz im Bereich der Vorderkante der Holz-Alu- sowie der Alu-Lamelle (Fig. 18, 19) ergibt sich zudem eine deutlich zu erkennende Gliederung der Lamellenoberfläche, welche in Abhängigkeit vom Tageslichteinfall deutlich hervortritt. (Fig. 26, 27)

Die Holz-Lamelle besitzt diesen Versatz nicht und hat dadurch ein ruhiges Erscheinungsbild. (Fig. 28)

### 3.2 Farbe

Die Oberflächen der Werkstoffe wurden so behandelt, daß der ursprüngliche Charakter des jeweiligen Materials möglichst wenig verändert wur-

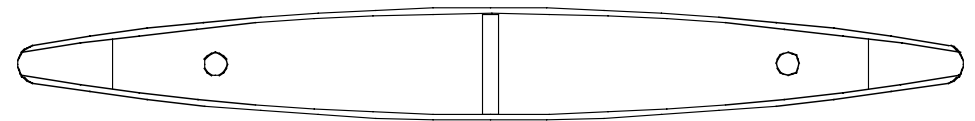


Fig. 17: Querschnitt Holz-Lamelle mit Deckschicht aus Birkenesperrholz  
Lamellenhöhe: 30 mm, Lamellenbreite 250 mm, Lamellenlänge 1624 mm

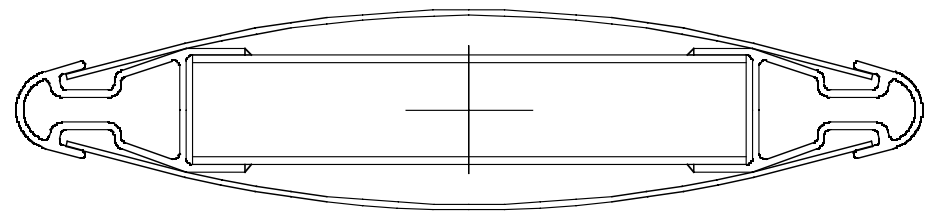


Fig. 18: Querschnitt Holz-Alu-Lamelle mit Deckschicht aus Birkenesperrholz 2 mm  
Lamellenhöhe: 55 mm, Lamellenbreite 250 mm, Lamellenlänge 1624 mm

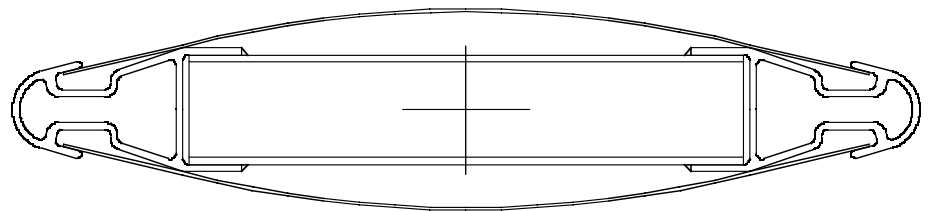


Fig. 19: Querschnitt Alu-Lamelle mit Deckschicht aus Aluminiumblech 1,5 mm  
Lamellenhöhe: 55 mm, Lamellenbreite 250 mm, Lamellenlänge 1624 mm

de. Die Aluminiumoberfläche wurde im Naturton eloxiert, die Holzoberflächen wurden nach einem Feinschliff mit Klarlack (Seidenmatt) beschichtet. Die Holz-Alu-Lamelle stellt in gestalterischer Hinsicht eine Kombination beider Alternativen dar, da die Rahmenkonstruktion identisch mit der Alu-Lamelle war, während die Deckung analog zur Holz-Lamelle aus Birkenesperrholz bestand.

(Fig. 17 - 19)

Konstruktionsbedingt konnte die Alu-Lamelle sehr einfach auf die Holz-Alu-Lamelle umgerüstet werden, da ein einfaches Auswechseln der Beplankung aus Aluminiumblech gegen Birkenesperrholz möglich war.





Fig. 20: Alu-Lamelle horizontal, Innenansicht



Fig. 21: Holz-Lamelle horizontal, Innenansicht

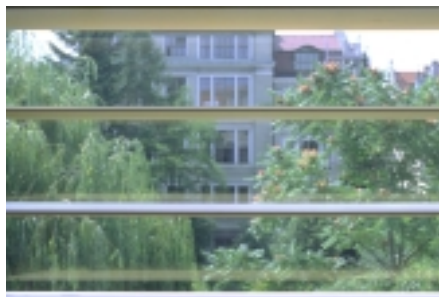


Fig. 22: Holz-Lamelle horizontal



Fig. 23: Holz-Lamelle, 15° geneigt

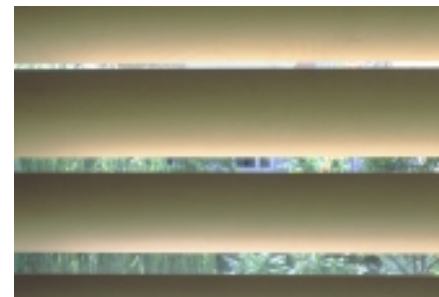


Fig. 24: Holz-Lamelle, 30° geneigt

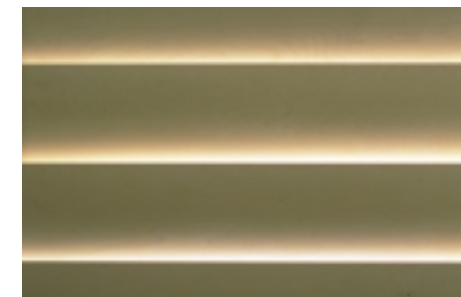


Fig. 25: Holz-Lamelle, 75° geneigt

Wie in den Fig. 26 - 31 zu erkennen ist, wird das Erscheinungsbild sehr stark von der Lamellenfarbe geprägt. Während die Alu-Lamelle aufgrund des matten Silber-Grautons eher kühl bis neutral wirkt, besitzt die Birkenesperrholzoberfläche in Abhängigkeit von Lichteinfall und Tageszeit eine gelblich-weiße Fär-

bung, was als sehr angenehm empfunden wird.

Die leichte Maserung des Birkenesperrholzes strukturiert und belebt das Erscheinungsbild der Oberfläche und trägt positiv zu dem Erscheinungsbild der Holz-Lamelle bei.

Der Einfluß des Materials auf die Lichtwirkung und die Farbwiedergabe wird im Vergleich der Fig. 32 und 33 deutlich.

Es zeigt sich, daß die Eigenfarbe der Lamellen gerade bei steiler Lamellenneigung die Lichtfarbe im Raum stark beeinflusst, was vor al-

lem durch die Mehrfachreflexion des Tageslichts auf den Lamellenoberflächen bedingt wird. Der sehr warme, gelblich-weiße Farbton des Lichts bei den Birkenesperrholzlammellen wird allgemein sehr positiv beurteilt. [3] Dennoch muß diese Wirkung bei farbsensiblen Arbeiten im Raum berücksichtigt werden.

### 3.3 Oberflächenbeschaffenheit

Bei allen drei Lamellenvarianten wurde eine möglichst glatte Oberfläche gewählt, wobei neben gestalterischen Fragen auch funktionale Gründe wie Reinigungs- und Pflegeaufwand im Vordergrund standen.

Ein weiterer Teilaspekt der Oberflächenbeschaffenheit ist die Reflexion von Solarstrahlung bzw. Tageslicht auf der Lamellenoberfläche. Neben sonenschutztechnischen Fragen wird auch die Möglichkeit der Steuerung des Tageslichteinfalls durch die Beschaffenheit der Lamellenoberfläche beeinflusst.

Um möglichst gute Reflexionseigenschaften zur Vermeidung von Überhitzung zu erzielen, wurden glatte und helle Oberflächen gewählt. Grundlage für diese Auswahl waren die Ergebnisse der Untersuchung der Reflexionseigenschaften von Ahorn- und Birkenperrholz sowie von Aluminium unter Berücksichtigung verschiedener Beschichtungsarten gewesen. (Teil 4)

Hier hatte sich gezeigt, daß von folgenden Reflexionswerten ausgegangen werden kann:

Aluminium

R (Tageslicht):	ca. 50%
R (gesamt)	ca. 50%

Birkenperrholz unbewittert:

R (Tageslicht)	ca. 55%
R (gesamt)	ca. 60%

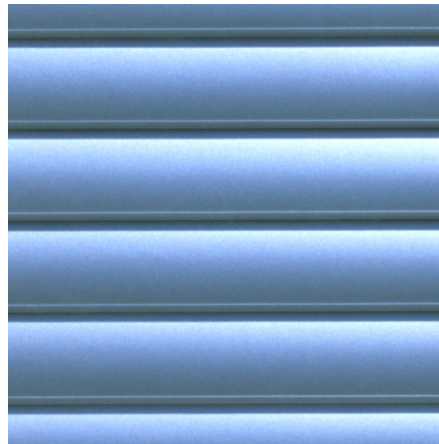


Fig. 26: Alu-Lamellen geschlossen, Außenansicht



Fig. 27: Holz-Alu-Lamelle geschlossen, Außenansicht

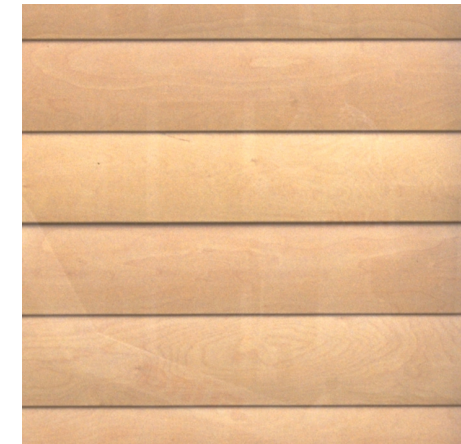


Fig. 28: Holz-Lamelle geschlossen, Außenansicht



Fig. 29: Alu-Lamellen geneigt, Außenansicht



Fig. 30: Holz-Alu-Lamelle geneigt, Außenansicht



Fig. 31: Holz-Lamelle geneigt, Außenansicht

Birkensperrholz stark bewittert:

R (Tageslicht)	ca. 34%
R (gesamt)	ca. 54%

### 3.4 Lichtverteilung im Innenraum

In Fig. 34 - 37 ist die Tageslichtverteilung im Innenraum bei unterschiedlichen Lamellenstellungen im Hochsommer mit steil stehender Sonne gezeigt. Bemerkenswert ist hierbei die intensive, diffuse Reflexion des Tageslichts an die Deckenunterseite. Die Intensität der Reflexion wird sehr stark von der Lamellenneigung bestimmt. Hier zeigt sich die große Flexibilität des Lamellensystems hinsichtlich der Möglichkeiten der Anpassung des Lichtmilieus an die nutzerbedingten Anforderungen im Vergleich zu starren Sonnenschutzsystemen, Markisen oder Folienrollos.

Auf die große Bedeutung des Lichtmilieus für den Nutzerkomfort und die entsprechenden Faktoren wie den Leuchtdichtekontrast im Innenraum, Beleuchtungsstärke und Lichtfarbe kann im Rahmen dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden. [4]

Es wurde aber im Vorfeld der Planung der Versuchsfassade darauf geachtet, daß Fragen der Tageslichtnutzung und die Erfordernisse von Bildschirmarbeitsplätzen ausreichend berücksichtigt werden können.

Neben der sehr einfachen Regelbarkeit des Tageslichtniveaus wurde das Lamellensystem in zwei getrennt steuerbare Lamellensegmente unterteilt. (Fig. 38 - 41) Hierdurch ergibt sich eine zusätzliche Variationsmöglichkeit, um beispielsweise in unmittelbarer Fensternähe bei intensiver Sonneneinstrahlung das Lichtniveau an die Erfordernisse von Bildschirmarbeitsplätzen anpassen zu können und gleichzeitig über das obere Segment Tageslicht in die Tiefe des Raumes fallen zu lassen. (Fig. 39)

Es zeigt sich, daß die Frage der Nutzung der Lamellen zur Tageslichtlenkung einen sehr interessanten Teilaspekt darstellt, der im Rahmen künftiger Untersuchungen weiter vertieft werden könnte. Hierbei könnte eines der Themen die quantitative Untersuchung der Lichtverteilung im Raum bei verschiedenen Lamellenstellungen sein.

Eine andere interessante Themenstellung wäre die Untersuchung der Auswirkung der Alterung von Holzoberflächen in Abhängigkeit von verschiedenen Oberflächenbeschichtungen auf die Lichtverteilung im Raum unter realen Einbaubedingungen.



Fig. 32: Alu-Lamelle geneigt, Innenansicht



Fig. 33: Holz-Lamelle geneigt, Innenansicht



Fig. 34: Holz-Lamellen horizontal, Innenansicht



Fig. 35: Holz-Lamellen leicht geneigt, Innenansicht



Fig. 36: Holz-Lamellen stark geneigt, Innenansicht



Fig. 37: Holz-Lamellen geschlossen, Innenansicht



Fig. 38: Holz-Lamellen horizontal, Außenansicht



Fig. 39: Holz-Lamellen: oberes Segment geöffnet, unteres Segment geneigt



Fig. 40: Holz-Lamellen: beide Segmente geneigt, Außenansicht



Fig. 41: Holz-Lamellen: beide Segmente geschlossen

### 3.5 Zusammenfassung

Hinsichtlich der freien Durchsicht besitzt die Holzlamelle aufgrund der sehr geringen Bauhöhe große Vorzüge gegenüber den beiden anderen Alternativen.

In Horizontalstellung liegt das Verhältnis von Lamellenhöhe zu lichtem Abstand bei der Holz-Lamelle bei 1 : 7, bei den genannten Alternativen bei 1 : 3,4.

Die Lichtverteilung auf der gekrümmten Oberfläche der drei Lamellensysteme ist in etwa vergleichbar. Allerdings wirkt die Holz-Lamelle aufgrund des schlanken Querschnitts und der geringen Höhe der Lamellenaußenkante wesentlich filigraner als die beiden Lamellen mit Alu-Unterkonstruktion.

Die geschlossene, glatte Außenform der Holz-Lamelle bewirkt eine sehr gleichmäßig verlaufende Lichtverteilung auf der Lamellenoberfläche, wodurch das schlanke Erscheinungsbild betont wird. (Fig. 22 - 25) Die konstruktionsbedingte Unterbrechung der Lamellenoberfläche an der Vorderkante der Alu-Rahmenkonstruktion (Fig. 18, 19 und 26, 27) zeichnet sich deutlich ab, und läßt die Holz-Alu- bzw. Alu-Lamelle stärker gegliedert erscheinen.

Die gelblich-weiße Eigenfarbe von Birkenperrholz bestimmt das Erscheinungsbild und den Charakter der Holz- und Holz-Alu-Lamelle.

Das auf der Lamellenoberfläche reflektierte Tageslicht wird in Abhängigkeit vom Sonnenstand und dem Lamellenneigungswinkel mehr oder weniger stark durch den Farbton des Holzes eingefärbt, wodurch ein sehr warm und angenehm empfundenes Lichtmilieu im Raum entsteht.

Hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit weisen alle drei Varianten sehr ähnliche Eigenschaften auf, da sich sowohl mit Aluminium als auch mit Birkenperrholz sehr glatte und helle Oberflächen erzeugen lassen, die das Licht gut reflektieren.

## Anmerkungen

[1] Die Anfertigung der Birkenperrholzlamelle erfolgte durch Herrn Mathias Haferkorn, zum damaligen Zeitpunkt Mitarbeiter der Fa. Scheibe Segelflugzeugbau, August-Pfalz-Str. 23, 85221 Dachau.

[2] Hierbei ist beachtenswert, daß die Bruchfestigkeit bei Kiefer und Birke unter Zugbelastung etwa doppelt so hoch ist wie unter Druckbelastung. Siehe: Sell, Jürgen. Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. Zürich-Dietikon: Baufachverlag Lignum, 1987.

[3] Eine Zusammenfassung wichtiger Teilaspekte wie Lichtfarbe und Farbwiedergabe finden sich im Kapitel "Licht: Eigenschaften und Merkmale" in folgender Publikation: Ganslandt, Rüdiger, und Hofmann, Harald. Handbuch der Lichtplanung. Braunschweig [u.a.]: Vieweg & Sohn, 1992. S. 74-84.

[4] In diesem Zusammenhang wird vor allem auf die Arbeit von Professor Christian Bartenbach, Aldrans/Innsbruck, hingewiesen. Folgende Aufsätze stehen exemplarisch für die zahlreichen Veröffentlichung seiner Arbeiten:  
Bartenbach, Christian, und Klingler, Martin. "Tageslicht". Tagungsband 3. Symposium 'Innovative Lichttechnik in Gebäuden', Kloster Banz, Staffelstein. Januar 1997. Regensburg: Ostbayerisches Technologie Transfer Institut e.V., 1997. S. 51-79.

Bartenbach, Christian, und Witting, Walter. "Licht und Raummilieu". Jahrbuch Licht und Architektur. Berlin: Ernst und Sohn, 1995. S. 13 - 23.

Bartenbach, Christian, und Witting, Walter. "Bildschirmarbeit in unterschiedlichem Licht". Jahrbuch Licht und Architektur. Berlin: Ernst und Sohn, 1995. S. 156-172.

## Teil 7

### Zusammenfassung und Ausblick

Das Ziel dieser Arbeit war die Optimierung mehrschaliger Glasfassadensysteme bei hohen Häusern unter besonderer Berücksichtigung des Energiehaushaltes und der Möglichkeiten zur Nutzung von Umweltenergien.

#### 1. Typologie mehrschaliger Glasfassaden

Die Erarbeitung einer Typologie von mehrschaligen Glasfassadensystemen diente dazu, die funktionalen, konstruktiven und gestalterischen Merkmale der verschiedenen Varianten darzustellen und das Zusammenwirken der unterschiedlichen Teilaspekte im Hinblick auf den Energiehaushalt und den Komfort im Gebäudeinneren zu verdeutlichen. [1]

Die Untersuchung der funktionalen Eigenschaften der verschiedenen Doppelfassadensysteme hat gezeigt, daß bei hohen Gebäuden oder Standorten mit hohen Schallemissionen Zweite-Haut-Fassaden ein sehr hohes Potential aufweisen, um zu einer Optimierung des Komforts und Verringerung des Energieverbrauchs beizutragen.

#### 2. Energiehaushalt von Verwaltungsgebäuden

Die Analyse der Einflußgrößen hinsichtlich des Energieverbrauchs von Verwaltungsbauten diente dazu, die allgemeinen Anforderungen an Fas-

sadenkomponenten zur Minimierung des Heiz- und Kühlenergie- sowie des Kunstlichtbedarfs darzustellen. Hierzu gehörte die Gegenüberstellung der nutzerbedingten Anforderungen sowie der witterungsbedingten Einflüsse, die den Energieverbrauch von Gebäuden bestimmen.

Auch bei neueren Verwaltungsgebäuden, die nach der Wärmeschutzverordnung 1995 gebaut wurden, besteht ein sehr großes Optimierungspotential, welches vor allem im Bereich der Reduktion des Heiz- und Kühlenergiebedarfs liegt.

#### 3. Bauliche Parameter von Zweite-Haut-Fassaden und deren Einfluß auf den Energiehaushalt

Um die Möglichkeiten der energetischen Optimierung von Gebäuden mit Zweite-Haut-Fassaden darstellen zu können, wurden die baulichen Rahmenbedingungen dieses Fassadentypus untersucht. Der Zusammenhang von konstruktiven und funktionalen Teilaspekten hinsichtlich des Energieverbrauchs sowie des Komforts im Gebäudeinneren standen hierbei im Mittelpunkt der Betrachtung.

Aufgrund des großen Anteils des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs am Gesamtenergiebedarf von Verwaltungsgebäuden bergen flexibel anzupassende Fassadenkomponenten zum Wärme- und Sonnenschutz ein sehr hohes Potential, den Energieverbrauch in den genannten Bereichen zu minimieren. Zudem kann

die Fassade mittels Manipulatoren variabel auf die Anforderungen des Nutzers und die sich wandelnden Witterungsbedingungen reagieren, wodurch neben der Minimierung des Energieverbrauchs ein Instrument zur Optimierung des Komforts bereitgestellt wird.

Bei einer gesamtheitlichen Betrachtung des Energieverbrauchs von Gebäuden ist die Untersuchung des Herstellungsenergieaufwandes unerlässlich. Deshalb war ein wesentlicher Teilaspekt die Reduktion des Primärenergieinhalts der Fassade, wobei der Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen zur Herstellung der Fassade bzw. einzelner Fassadenkomponenten einen bedeutenden Beitrag leisten kann.

#### 4. Komponenten zum Wärme- und Sonnenschutz von Zweite-Haut-Fassaden

##### 4.1 Lamellensysteme

In Teil 4 wurden die funktionalen Eigenschaften geeigneter Komponenten zum Einsatz in Zweite-Haut-Fassaden untersucht und einander gegenübergestellt. Hier zeigte sich, daß vor allem Lamellensysteme dazu eingesetzt werden können, den Komfort im Gebäudeinneren sicherzustellen und gleichzeitig den Heiz- und Kühlenergiebedarf gering zu halten.

##### 4.2 Werkstoff Holz

Zur Reduktion des Herstellungsenergieaufwandes derartiger Komponenten wurden verschiedene

Werkstoffe hinsichtlich ihres Primärenergieinhaltes unter Berücksichtigung ihrer funktionalen Eigenschaften untersucht. Hier zeigen sich für Holz klare Vorteile gegenüber anderen Werkstoffen, wie z.B. Kunststoffen oder Aluminium. So besitzt Holz gewichtsbezogen nur etwa 1% des Primärenergieinhaltes von Aluminium, was zur Auswahl von diesem Werkstoff für die weiteren Untersuchungen geführt hat.

Hier zeigte sich, daß sowohl Ahorn- als auch Birkenperrholz in funktionaler, gestalterischer und auch in energetischer Hinsicht sehr gut für die Herstellung von Lamellensystemen geeignet sind.

#### 4.3 Reflexionseigenschaften von Ahorn- und Birkenperrholz

In Abhängigkeit von der Beschichtung werden Reflexionswerte für Ahorn- und Birkenperrholz sowohl für das Gesamt- als auch das Tageslichtspektrum erreicht, welche auch nach einer künstlicher Bewitterung der Proben über 50% liegen.

Diese Werte sind mit den Reflexionseigenschaften von Aluminium (Naturton eloxiert) vergleichbar. Im Bereich der Strahlungsreflexion für das Gesamtspektrum liegen die Werte für Ahorn- und Birkenperrholz sogar noch darüber.



#### 4.4 Entwicklung und Untersuchung von Wärme- und Sonnenschutzlamellen aus Holz

Basierend auf den theoretischen Untersuchungen wurden drei Modelle im Maßstab 1 : 1 angefertigt, um die konstruktiven und gestalterischen Eigenschaften verschiedener Varianten kennenzulernen.

Hierbei wurde jeweils eine Lamelle aus Ahorn- und Birken-sperrholz sowie eine papierbespannte Lamelle untersucht. Bei der Birken-sperrholzlamele zeigten sich sehr günstige Eigenschaften hinsichtlich des Tragverhaltens und des Verformungswiderstandes. Aufgrund des schlanken, ellipsenförmigen Querschnitts wirkt die Lamelle in horizontaler Stellung sehr filigran und beeinträchtigt die Durchsicht weniger als der kastenförmige Querschnitt der Ahornsperrholzlamele.

Wegen der konstruktiven und gestalterischen Vorzüge der Birken-sperrholzlamele wurde diese zur weiteren Optimierung herangezogen.

Die papierbespannte Lamelle hat in gestalterischer und lichttechnischer Hinsicht sehr große Vorzüge, da diese auch in geschlossener Stellung tageslichtdurchlässig ist. Gleichzeitig wird Licht aufgrund der weißen Papierfärbung gut in den Raum reflektiert. Wegen konstruktiver und brandschutztechnischer Probleme wurde jedoch auf eine weitere Untersuchung der thermi-

schen Eigenschaften der papierbespannten Lamelle verzichtet.

Hinsichtlich des Primärenergieinhalts wurden verschiedene Werkstoffe anhand konkreter Lamellenkonstruktionen miteinander verglichen, wobei sich hier der Vorteil der Verwendung von Sperrholz gegenüber Aluminium klar abzeichnet.

Im Vergleich zu einer Aluminiumlamelle analoger Querschnittsform besitzt die Holzlamele nur ein Viertel des Primärenergieinhaltes.

#### 4.5 Rechnerische Ermittlung der Wärmeschutzeigenschaften

Eine rechnerische Potentialabschätzung zur Verbesserung des Wärmeschutzes von Zweite-Haut-Fassaden mit Lamellensystemen ergab sehr gute Werte. Gegenüber einer Zweite-Haut-Fassade ohne temporären Wärmeschutz wurden beim Einsatz von Lamellen Werte erreicht, die einer k-Wert-Verbesserung um 30% - 50% entsprechen.

#### 4.6 Rechnerische Ermittlung der Strahlungsdurchlässigkeit hinsichtlich der Sonnenschutzeigenschaften

Der Strahlungsdurchgang durch das Lamellensystem hängt sehr stark von der Regelungsstrategie ab. Zur Optimierung der Durchsicht ist es von Vorteil, daß die Lamellen dem Sonnenstand nachgeführt und jeweils nur so stark geneigt werden, daß gerade noch eine Vollverschattung der inneren Fassadenebenen erreicht wird ('cut-off-Winkel'). Unter

dieser Annahme werden in Abhängigkeit vom Reflexionsgrad Werte für die Strahlungsdurchlässigkeit erreicht, die zwischen 2% und max. 20% liegen. Unter Annahme eines Reflexionsgrades der Lamellenoberfläche von 50% werden bei einem projizierten Höhenwinkel der Sonne von 45° max. 16% der Strahlung durchgelassen.

### 5. Auswertung der Ergebnisse der experimentellen Untersuchung der verschiedenen Lamellensysteme

#### 5.1 Temperaturen im Fassadenzwischenraum und im Rauminnen

Im Meßzeitraum von 22. Januar bis 23. Juli 1999 wurden Außenlufttemperaturen zwischen -11°C und +35°C gemessen. Die maximale Globalstrahlung auf die Fassadenfläche lag bei 850 W/m<sup>2</sup>.

Im äußeren Fassadenzwischenraum der südorientierten Versuchsfassade wurden maximale Lufttemperaturen auf halber Fassadenhöhe bis +42°C, im inneren Fassadenzwischenraum bis +40°C gemessen. Das Maximum der Raumlufttemperatur lag bei +39°C, gemessen an einem sonnigen Januartag, ohne Einsatz von Sonnenschutzlamellen.

Die höchsten Temperaturen wurden mit +55°C an den Lamellenoberflächen gemessen. In Anbetracht der Minimalwerte von -10°C waren die Lamellen einer Temperaturspanne von 65K ausgesetzt.

### 5.2 Wärmeschutzeigenschaften

#### 5.2.1 Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen

Bei Außenlufttemperaturen zwischen -8°C und +12°C wurde aufgrund der Sonneneinstrahlung die Luft im Fassadenzwischenraum auch bei permanenter Durchlüftung der um 2 - 5 K erwärmt.

Dieser Effekt kann zur Vorwärmung der Zuluft während der Heizperiode genutzt werden, zugleich werden aufgrund der Pufferwirkung des erwärmten Fassadenzwischenraums die Transmissionswärmeverluste reduziert.

Nachts konnte aufgrund der permanenten Durchlüftung keine nennenswerte Erhöhung der Lufttemperatur im Fassadenzwischenraum festgestellt werden.

#### 5.2.2 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen

Mit geschlossenen Holz-Lamellen lag die Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum um 7,5K über der Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum von -5°C. Bei +7°C Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum lag diese Differenz bei 4 K.

Die Holz-Lamellen erzielten gegenüber den beiden Alternativen bei einem Temperaturunterschied von 20 K zwischen Raumluft- und Außenlufttemperatur die höchste Verbesserung des Wärmeschutzes der Fassade.

Hinsichtlich der vertikalen Temperaturschichtung im inneren Fassadenzwischenraum wurde bei  $-10^{\circ}\text{C}$  Außenlufttemperatur und geschlossenen Lamellen eine Temperaturdifferenz zwischen dem oberen und unteren Fassadenbereich von 6,4 K gemessen. Bei der Fassade ohne Lamellen hatte diese Differenz 1 K betragen.

Sowohl die hohe Temperaturdifferenz zwischen dem äußeren und dem inneren Fassadenzwischenraum als auch die klar ausgeprägte vertikale Temperaturschichtung im inneren Fassadenzwischenraum sind auf die Wärmedämmwirkung und die relativ dicht schließende Lamellenwand zurückzuführen.

Die Wirksamkeit der Innendämmung der Lamellen konnte nachgewiesen werden. Bei einer Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum von  $-10^{\circ}\text{C}$  wurde bei der gedämmten Lamelle eine um 2 K höhere Differenz zwischen äußerer und innerer Oberflächentemperatur festgestellt als bei der ungedämmten Lamelle.

### **5.2.3 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen**

Die Temperaturdifferenzen zwischen der Luft im äußeren und inneren Fassadenzwischenraum bei geschlossenen Lamellen waren vergleichbar mit den Ergebnissen der Holz-Lamellen.

Auch hinsichtlich der vertikalen Temperaturschichtung im inneren Fassadenzwischenraum zeigten die

Holz- und die Holz-Alu-Lamellen sehr ähnliche Eigenschaften, was auf eine vergleichbare Dichtigkeit der Lamellenwand schließen läßt.

Auch bei den Holz-Alu-Lamellen konnte die Wirksamkeit der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum nachgewiesen werden. Die Temperaturdifferenz zwischen äußerer und innerer Lamellenoberfläche bei der gedämmten gegenüber der ungedämmten Lamelle war allerdings geringfügig höher als bei der Holz-Lamelle.

Die gedämmte Holz-Alu-Lamelle besitzt einen höheren Wärmedurchgangswiderstand als die gedämmte Holz-Lamelle, was an der größeren Querschnittshöhe und Wärmedämmstoffdicke liegt. Die Holz-Lamelle hat eine Höhe von 30 mm, die Holz-Alu-Lamelle von 55 mm.

### **5.2.4 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen**

Auch der Einsatz von Alu-Lamellen ist dafür geeignet, den Wärmedurchgangswiderstand der Zweite-Haut-Fassade zu verbessern.

Der gemessene Unterschied zwischen der Lufttemperatur in dem äußeren und dem inneren Fassadenzwischenraum hatte mit geschlossenen Alu-Lamellen 5,9K, mit geschlossenen Holz-Alu-Lamellen 6,4K und mit geschlossenen Holz-Lamellen 6,8K betragen.

Hinsichtlich der Wirkung der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum zeigt sich, daß alle drei Lamellenva-

rianten durch den Einsatz von Wärmedämmmaterial im Lamellenhohlraum eine Verbesserung des Wärmedurchgangswiderstands erreichen. Allerdings ist diese Verbesserung mit der Alu-Lamelle nur minimal, während mit der Holz-Alu-Lamelle die größte Verbesserung erzielt wird.

## **5.3 Sonnenschutzzeigenschaften**

### **5.3.1 Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen**

Bei intensiver Sonneneinstrahlung und Außenlufttemperaturen von  $+10^{\circ}\text{C}$  wurden bei geschlossener, innerer Fassadenebene Raumlufttemperaturen von über  $+39^{\circ}\text{C}$  gemessen. Die starke Überhitzung des Innenraumes zeigt die dringende Notwendigkeit, selbst bei niedrigen Außenlufttemperaturen während der Wintermonate auf einen ausreichenden Sonnenschutz der Fassade zu achten.

### **5.3.2 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen**

Selbst bei hohen Außenlufttemperaturen von  $+35^{\circ}\text{C}$  und intensiver Sonneneinstrahlung wurde bei geschlossener innerer Fassadenebene die Raumlufttemperatur nur um 0,2K gegenüber der Außenlufttemperatur erwärmt, was als Hinweis auf die guten Sonnenschutzzeigenschaften der Holz-Lamellen zu werten ist.

Allerdings wurde die Luft im äußeren Fassadenzwischenraum auf über  $+41^{\circ}\text{C}$  und im inneren Fassa-

denzwischenraum auf über  $+39^{\circ}\text{C}$  erwärmt. Dies muß bei freier Fensterlüftung im Hinblick auf den Komfort und Kühlenergieverbrauch im Rauminnen unbedingt beachtet werden.

Hinsichtlich der vertikalen Temperaturschichtung im inneren und äußeren Fassadenzwischenraum zeigte sich sowohl nachts bei  $+20^{\circ}\text{C}$  als auch am Tag bei  $+35^{\circ}\text{C}$  Außenlufttemperatur ein vergleichbar großes vertikales Temperaturgefälle. Dies deutet auf eine gleichmäßige Durchlüftung beider Fassadenzwischenräume hin.

Ein negativer Einfluß der geöffneten Lamellen auf die Durchlüftung der beiden Fassadenzwischenräume war nicht festzustellen.

### **5.3.3 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen**

Sowohl hinsichtlich der Sonnenschutzwirkung als auch der vertikalen Temperaturschichtung im inneren und äußeren Fassadenzwischenraum wurden Werte erreicht, die mit denen der Holz-Lamellen vergleichbar sind.

### **5.3.4 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen**

Die Untersuchung der Sonnenschutzwirkung der Alu-Lamellen erbrachte einen geringfügig höheren Energieeintrag in das Rauminnere als dies bei Einsatz der Holz-Lamellen der Fall war.

Bei +31°C Außenlufttemperatur wurde unter Verwendung der Alu-Lamellen die Lufttemperatur im Raum inneren um 2 K gegenüber der Außenluft erwärmt. Im Vergleich dazu hatte bei Verwendung der Holz-Lamellen die Temperaturerhöhung bei +35°C Außenlufttemperatur nur 0,2 K betragen, was auf einen geringeren g-Wert der Fassade mit Holz-Lamellen schließen läßt.

#### 5.4 Bewertung der verschiedenen Lamellensysteme

Generell eignen sich alle drei Lamellensysteme in funktionaler Hinsicht sehr gut als Sonnen- und Wärmeschutzsystem für südorientierte Zweite-Haut-Fassaden.

Eine Überhitzung des Innenraumes gegenüber der Außenlufttemperatur wird auch bei intensiver Solarstrahlung weitgehend vermieden, wobei die Holz- sowie die Holz-Alu- gegenüber den Alu-Lamellen geringfügig bessere Werte erzielen.

Auch bei guten Sonnenschutzleistungen ist in jedem Fall zu beachten, daß bei intensiver Sonneneinstrahlung die Luft im Fassadenzwischenraum um bis zu 4 K gegenüber der Außenluft erwärmt wird, was den Komfort im Rauminneren bei Fensterlüftung stark beeinträchtigen kann.

Hinsichtlich des Wärmeschutzes weisen die drei Lamellenvarianten ebenfalls vergleichbar gute Werte auf. Bei niedrigen Außenlufttemperaturen wurde eine Temperaturdifferenz zwischen dem inneren und

äußeren Fassadenzwischenraum von bis zu 8 K gemessen.

Die Wärmeschutzwirkung der ungedämmten Holz-Lamellen ist im Vergleich zu den ungedämmten Holz-Alu- bzw. Alu-Lamellen trotz des schlankeren Querschnitts geringfügig höher.

#### 6. Fertigungstechnische Toleranzen und Formstabilität der Lamellen

Die Birkenperrholzlammellen weisen sehr geringe Fertigungstoleranzen auf. Diese liegen bei  $\pm 2$  mm in Lamellenmitte und bei  $\pm 3$  mm an der Lamellenecke.

Fertigungstoleranzen in dieser Größenordnung beeinflussen das Erscheinungsbild sowie die Funktion der Lamellen nicht.

Nach Abschluß der experimentellen Untersuchungen lagen die maximalen Abweichungen durch den Einfluß der variierenden Sonneneinstrahlung, Luftfeuchtigkeit und -temperatur sowie Eigenlast bei 1,2 mm in Lamellenmitte bzw. 1,8 mm an der Lamellenecke.

Dies ist ein Hinweis auf die hohe Formstabilität der Birkenperrholzlammellen. Der Einfluß der Witterung auf die Verformung der Lamellen ist höher einzuschätzen als die Belastung durch das Eigengewicht in eingebautem Zustand.

Die Anordnung eines Mittelstegs hat einen sehr günstigen Einfluß auf die Formstabilität der Konstruktion.

Vergleiche mit einer Alternativkonstruktion mit Torsionsleisten im oberen und unteren Randbereich der Lamelle zeigten ein wesentlich elastischeres Verformungsverhalten als eine Lamelle mit Mittelsteg.

#### 7. Gestalterische Eigenschaften der alternativen Lamellensysteme

Hinsichtlich der freien Durchsicht besitzen die Holzlamellen aufgrund der sehr geringen Bauhöhe große Vorzüge gegenüber den Holz-Alu- und Alu-Lamellen. In Horizontalstellung ist das Verhältnis von Lamellenhöhe zu lichtem Abstand bei der Holz-Lamelle bei 1 : 7, bei den genannten Alternativen bei 1 : 3,4.

Die Lichtverteilung auf der gekrümmten Oberfläche der drei Alternativen ist in etwa vergleichbar.

Allerdings wirkt die Holz-Lamelle aufgrund des schlanken Querschnitts und der geringen Höhe der Lamellenaußenkante wesentlich filigraner als die beiden höheren Lamellen mit Alu-Unterkonstruktion.

Die geschlossene, glatte Außenform der Holz-Lamelle bewirkt eine sehr gleichmäßig verlaufende Lichtverteilung auf der Lamellenoberfläche, wodurch das schlanke Erscheinungsbild betont wird.

Die konstruktionsbedingte Unterbrechung der Lamellenoberfläche an der Vorderkante der Alu-Rahmenkonstruktion zeichnet sich deutlich ab und läßt diese Alternativen stärker gegliedert erscheinen.

Die gelblich-weiße Eigenfarbe von Birkenperrholz bestimmt das Erscheinungsbild der Lamelle. Das an der Lamelle reflektierte Tageslicht wird in Abhängigkeit vom Sonnenstand und dem Lamellenneigungswinkel mehr oder weniger stark durch den Farbton des Holzes eingefärbt, wodurch ein sehr warmes und angenehmes Lichtmilieu im Innenraum entsteht.

Hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit weisen alle drei Varianten sehr ähnliche Eigenschaften auf, da sich sowohl mit Aluminium als auch Birkenperrholz sehr glatte und helle Oberflächen erzeugen lassen, die das Licht gut reflektieren.

## 8. Ausblick

### 8.1 Weiterentwicklung des Holz-Lamellensystems

Aufgrund der positiven Ergebnisse der Untersuchung der Holz-Lamelle erscheinen Überlegungen angebracht, die einerseits die Weiterentwicklung dieser Komponente zu einem marktreifen Produkt beinhalten, andererseits die Anwendungsbreite und das gestalterische Potential der Holz-Lamellen betreffen.

Hinsichtlich der Weiterentwicklung zu einem marktreifen Produkt und zur Vergrößerung der Anwendungsbreite sollten vor allem folgende Teilaspekte berücksichtigt werden:

- Fertigungstechnik
- Variation von Spannweite und Breite der Lamelle
- Untersuchung und Entwicklung alternativer Montage- und Antriebssysteme (z.B. vertikal verfahrbare Lamellen mit drehbarem Lager)
- Untersuchung des Potentials der Holz-Lamellen zur gezielten Tageslichtreflexion bei tiefen Räumen
- Langzeitversuche mit unterschiedlichen Beschichtungen unter realen Witterungsbedingungen innerhalb von Zweite-Haut-Fassaden
- Langzeitversuche mit unterschiedlichen Beschichtungen unter realen Witterungsbedingungen außerhalb von Zweite-Haut-Fassaden

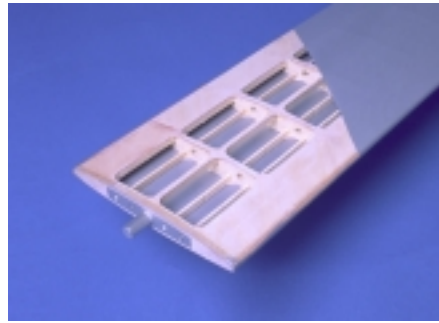


Fig. 1: Holz-Lamelle mit Folienbespannung

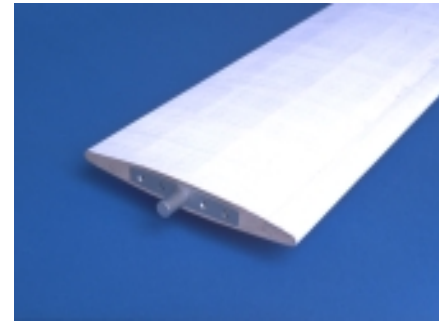


Fig. 2: Holz-Lamelle mit weißer Kunststoffolie

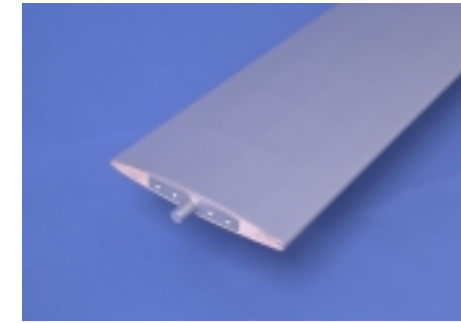


Fig. 3: Holz-Lamelle mit metallischer Folienbespannung

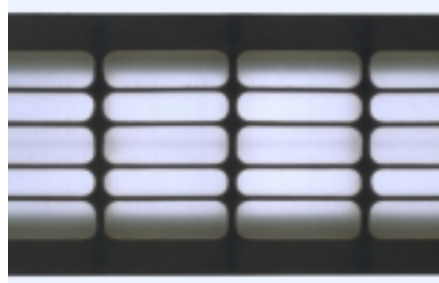


Fig. 4: Holz-Lamelle mit transluzenter Folie - Licht von hinten

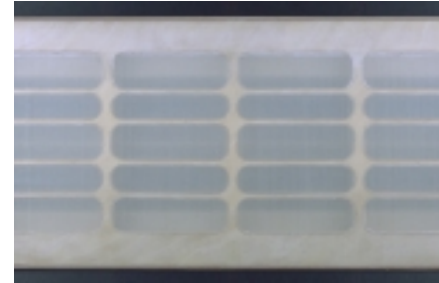


Fig. 5: Holz-Lamelle mit transluzenter Folie - Licht von vorne

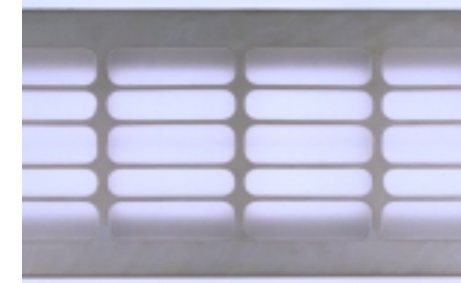


Fig. 6: Holz-Lamelle mit transluzenter Folie - Licht von beiden Seiten

### 8.2 Entwicklung folienbespannter Holz-Lamellensysteme

Angeregt durch das Erscheinungsbild der papierbespannten Holz-Lamelle wurde parallel zu den beschriebenen Untersuchungen eine weitere Variante entwickelt, die in konstruktiver Hinsicht der Birken-sperrholzlamelle entspricht.

Die Lamelle hat eine Länge von 1626 mm, Breite von 250 mm und Höhe von 30 mm.

Das wesentliche Merkmal dieser Lamelle ist - ähnlich zu der papierbespannten Lamelle - die Lichtdurch-

lässigkeit der mit Aussparungen versehenen Birken-sperrholzoberfläche, die mit einer tageslichtdurchlässigen, recyclingfähigen Kunststoffolie bespannt wurde. [2, 3]

In Abhängigkeit von der Lamellenstellung und der Strahlungsintensität durchdringt das Tageslicht zu einem gewissen Anteil die folienbespannte Lamelle. (Fig. 4 - 6) Je nach Folienmaterial wird dabei das Licht unterschiedlich stark gestreut, wodurch der Raum sehr gleichmäßig ausgeleuchtet wird.

Im Gegensatz zu den opaken Lamellenvarianten, die in geschlossenem Zustand den Raum verdunkeln, lassen diese Lamellen auch in 'Wärmeschutzposition' das Tageslicht zu einem gewissen Anteil in den Raum dringen, wobei neben den funktionalen Vorteilen ein gewisser Bezug zur Außenwelt möglich bleibt.

In gestalterischer Hinsicht ist diese Variante ebenfalls sehr interessant, da auf der Basis der Holzunterkonstruktion ein großes Spektrum an Materialien mit den unterschiedlichsten Eigenschaften eingesetzt werden kann.

Neben diesem Teilaspekt bietet die Variationsmöglichkeit der Bespannung den Vorteil, daß Materialien hinsichtlich ihrer strahlungstechnischen Eigenschaften individuell an die unterschiedlichsten Erfordernisse angepaßt werden können.

Dies bezieht sich sowohl auf wärme-schutztechnische als auch auf ta-geslichttechnische Anforderungen, wie z.B. Tageslichtspiegelung mittels hoch reflektierender Materialien.

Neben der Untersuchung denkbarer Materialien und Materialkombinationen, beispielweise mit unterschiedlicher Bespannung der Ober- und Unterseite, besteht ebenfalls ein Entwicklungsbedarf hinsichtlich der Fertigungstechnik der Unterkonstruktion, vor allem im Hinblick auf eine industrielle Serienfertigung der Lamelle. [4]

Die Art der Befestigung verschiedenster Foliensysteme auf der Holzunterkonstruktion stellt ebenfalls eine interessante Fragestellung dar, da die Lösbarkeit von diesen Verbindungen hinsichtlich des Recyclings einen wichtigen Teilaspekt darstellt.

Im Rahmen dieser Arbeit können nur Anregungen zur Weiterentwicklung, basierend auf den Erfahrungen mit den untersuchten Birkenperrholzlamellen, gegeben werden.

Der Vergleich der folienbespannten Birkenperrholzlamelle bei unterschiedlichen Lichtsituationen (Fig. 7 - 10) mit den experimentell untersuchten Lamellensystemen zeigt

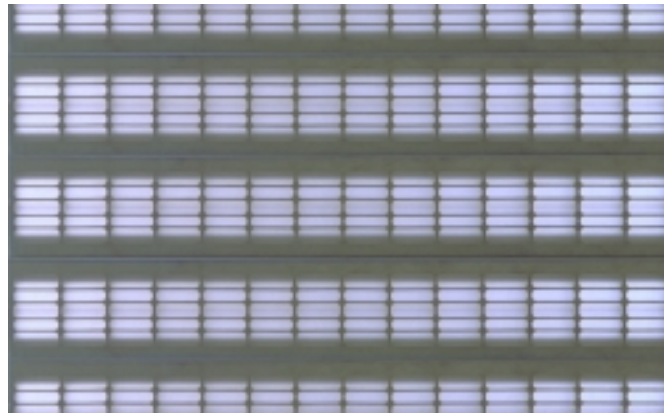


Fig. 7: Außenansicht der Holz-Lamelle mit transluzenter Folie - Licht von innen



Fig. 9: Außenansicht der Holz-Lamelle mit transluzenter Folie - Licht von außen

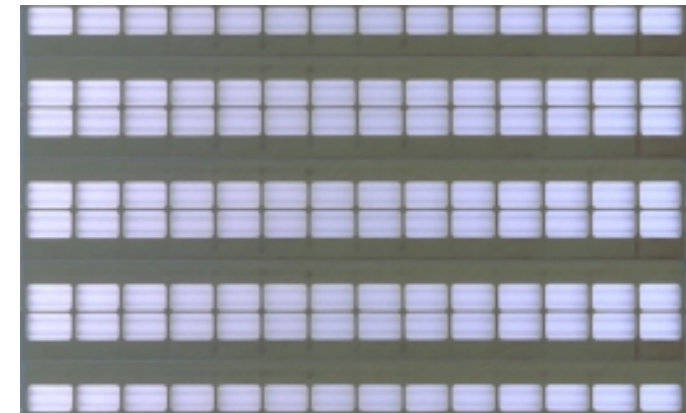


Fig. 8: Innenansicht der Holz-Lamelle mit transluzenter Folie - Licht von außen

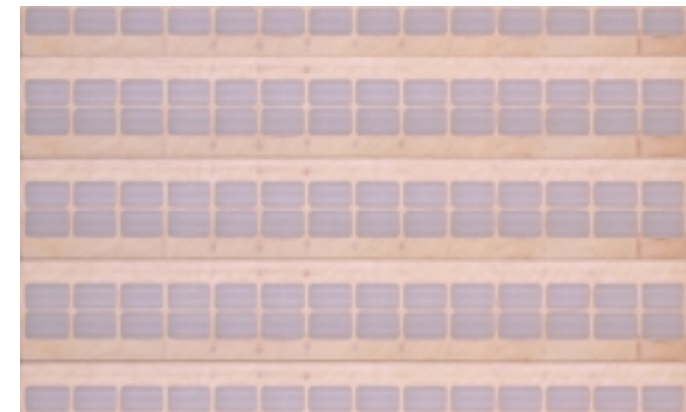


Fig. 10: Innenansicht der Holz-Lamelle mit transluzenter Folie - Licht von innen

jedoch sehr deutlich, wie groß das Potential des Einsatzes von Holz zur Konstruktion und Gestaltung von Elementen zum temporären Wärme- und Sonnenschutz von Zweite-Haut- und anderen Fassadensystemen ist.

## Anmerkungen

[1] Eine Zusammenfassung dieser Typologie findet sich in:

Lang, Werner. "Zur Typologie mehrschaliger Gebäudehüllen aus Glas". Detail: 7 (1998): S. 1225-1232.

sowie unter demselben Titel in: Arch<sup>+</sup> 143 (1998): S. 90-94.

[2] Die Folie aus transluzentem Kunststoffmaterial ist schmutzabweisend, schwer entflammbar und sehr gut recyclingfähig. Die Lieferung dieser Folie erfolgte durch die Fa. Koch Membranen GmbH & Co KG, Rimsting/Chiemsee.

[3] Für die dargestellte Lamelle ist ein Geschmacksmusterschutz erteilt worden.

[4] Die Unterkonstruktion der Holz-Lamelle wurde von Herrn Mathias Haferkorn, Jetzendorf/Priel, angefertigt

## Teil 8

### Literaturverzeichnis

- Bäckmann, Reinhard. Sonnenschutz: Systeme, Technik und Anwendung. Automation. Bochum: Kleffmann, 1998.
- Bartenbach, Christian, und Klingler, Martin. "Tageslicht". Tagungsband des Dritten Symposiums 'Innovative Lichttechnik in Gebäuden', Kloster Banz, Staffelstein. Januar 1997. Regensburg: Ostbayerisches Technologie Transfer Institut e.V., 1997. S. 51-79.
- Bartenbach, Christian, und Witting, Walter. "Licht- und Raummilieu". Jahrbuch für Licht und Architektur. Berlin: Ernst & Sohn, 1995.
- Belz, Walter. Zusammenhänge. Bemerkungen zur Baukonstruktion und dergleichen. Köln: Rudolf Müller, 1993.
- Bregulla, Ute. Fenster- und Fenstersysteme: ein Informationspaket. Köln: TÜV Rheinland, 1993.
- Bundesarchitektenkammer, Hg. Energiegerechtes Bauen und Modernisieren: Grundlagen und Beispiele für Architekten, Bauherren und Bewohner. Basel [u.a.] Birkhäuser, 1996.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Hg. Klimaschutz in Deutschland, Nationalbericht der Bundesregierung für die BRD im Vorgriff auf Artikel 12 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen. Bonn: Selbstverlag, o.J.
- Czech, Kl. J. Brandschutztechnische Sicherheitsmaßnahmen bei Doppelfassaden im Stadtgebiet Frankfurt. Internes Arbeitspapier der Branddirektion Frankfurt, Januar 1996.
- Daniels, Klaus. Skin Technology. Schlagwort oder Lösungsansatz. Lösen polyvalente Wände technische Probleme? Werkbericht 10. München: HL Technik, 1992.
- Daniels, Klaus. Hochhäuser - natürlich belüftet? Neue Wege ökologischen Bauens bei hohen Gebäuden. Werkbericht 11. München: HL Technik, 1992.
- Daniels, Klaus. Gebäudetechnik für die Zukunft - "weniger ist mehr". Werkbericht 12. München: HL Technik, 1994.
- Daniels, Klaus. Technologie des Ökologischen Bauens. Basel [u.a.]: Birkhäuser, 1995.
- Daniels, Klaus. Gebäudetechnik. Ein Leitfaden für Architekten und Ingenieure. 2. Aufl. München: R. Oldenbourg, 1996.
- Danner, Dietmar, [u.a], Hg. Die klima-aktive Fassade. Leinfelden-Echterdingen: Verlagsanstalt Alexander Koch, 1999.
- DIN 4108, Teil 2 und 4, Wärmeschutz im Hochbau. Berlin: Beuth Verlag, 1981.
- Eicke-Hennig, Werner, und Jäkel, Michael. "Mehr Gebäudequalität mit weniger Energie. Ein Vergleich zweier Bürogebäude". Bundesbaublatt 11 (1997): S. 788.
- Erhorn, Hans, und Kluttig, Heike. "Energiesparpotentiale im Verwaltungsbau zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission". gi - Gesundheits-Ingenieur 5 (1996): S. 270-274 und Heft 6 (1996): S. 309-321.
- Faist, André. Facade double-peau. Incidence de la typologie des facades double-peau sur leurs performances énergétiques et en physique du bâtiment. Partie 1: Typologie. Lausanne: École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1995.
- Feist, Wolfgang, und Eicke-Hennig, Werner. "Wie groß ist das Energiesparpotential im Gebäudebereich?". Tagungsband zur Fachtagung 'NiedrigEnergieHaus '93, 2./3.9. 1993 in Hannover. Hg. Forum für Zukunftsenergien. Bonn: Selbstverlag, 1993.
- Ganslandt, Rüdiger, und Hofmann, Harald. Handbuch der Lichtplanung. Braunschweig [u.a.]: Vieweg & Sohn, 1992.
- Gottschalk, Ottomar. Verwaltungsbauten, flexibel - kommunikativ - nutzerorientiert. 4. Aufl., Wiesbaden, [u.a.]: Bauverlag GmbH, 1994.
- Gräf, Werner. "on the sunny side. Reinigung und Wartung von Sonnenschutzanlagen". Facility Management 6 (1998): S. 50-51.

Grandjean, Etienne. Wohnpsychologie. Grundlagen des gesunden Wohnens. Zürich: Artemis, 1974.

Gülec, T., Kolmetz, S., und Rouvel, L. "Energieeinsparungspotential im Gebäudebestand durch Maßnahmen an der Gebäudehülle". Bericht des Entwicklungsvorhabens IKARUS Nr. 5-22., Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH, 1994.

Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Hg. Handbuch Passive Nutzung der Sonnenenergie. Bonn: Selbstverlag, 1984.

Hausladen, Gerhard. "Doppelfassaden - Energetische und Raumklimatische Auswirkungen". Tagungsband 'Doppelfassaden und Technische Gebäudeausrüstung' Hg. Fachinstitut Gebäude-Klima e.V. Bonn: Selbstverlag, 1997.

Herzog, Thomas, und Natterer, Julius, Hg. Gebäudehüllen aus Glas und Holz. Maßnahmen zur energiebewußten Erweiterung von Wohnhäusern. Lausanne: Presses Polytechniques Romandes, 1986.

Heusler, Winfried. "Energie- und komfortoptimierte Fassaden". Fassade - Facade 4 (1996): S. 48.

Heusler, Winfried. "Zweite-Haut-Fassaden". VfA Profil. 12 (1997): S. 38-44.

Heusler, Winfried, und Compagno, Andrea. "Mehrschalige Fassaden. Eine Gegenüberstellung verschiedener zweischaliger Fassadensysteme". Fassade - Facade 1 (1998): S. 15-21.

Klingsch, Wolfram. "Brandschutztechnische Beurteilung von Doppelfassaden". Tagungsband der Jahresfachtagung der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), 11.-15. Juni 1995, Frankfurt: vfdb, 1995. S. 187-217.

Kommission der Europäischen Gemeinschaften, Hg. Atlas über die Sonnenstrahlung Europas. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH, 1984.

Kornadt, Oliver, und Güttler, Gerhard. "Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Bürogebäudes und Untersuchung der Wirtschaftlichkeit bei Einsatz von Solarenergie". Bauphysik 3 (1997): S. 74-75.

Kraus, Roland [u.a.]. "Energietransport durch transparente und nichttransparente Außenwandkonstruktionen". Bauphysik 6 (1991): S. 239-245.

Kröling, Peter. "Das Sick-Building-Syndrom in klimatisierten Gebäuden: Symptome, Ursachen und Prophylaxe". Innenraum Belastungen: erkennen, bewerten, sanieren. Wiesbaden [u.a.]: Bauverlag, 1993. S. 22-37.

Lang, Werner. "Zur Typologie mehrschaliger Gebäudehüllen aus Glas". Detail: 7 (1998): S. 1225-1232.

Lietz, Sabine. Das Fenster des Barock. München, [u.a.]: Deutscher Kunstverlag, 1982.

Löbbert, Anke [u.a.]. Brandschutzplanung für Architekten und Ingenieure mit beispielhaften Konzepten für alle Bundesländer. Köln: R. Müller, 1997.

Lödel, Thomas. "Geprüft. Erfahrungsbericht über das Sol-Skin-Gebäude der Götz GmbH in Würzburg". AIT Spezial. Intelligente Architektur 11 (1997): S. 76-79.

Marmé, Wolfgang. Der Primärenergiegehalt von Baustoffen. Diplomarbeit am Institut für Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe, 1980.

Müller, Helmut F.O. "Einsatz und Erprobung holografisch-optischer Elemente für die Tageslichtlenkung". Innovative Fassadentechnologie. Tagungsband des Workshop 'Lichtlenkende Bauteile' und 'Internationales Forum Innovative Fassadentechnologie'. Hg. Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln. Köln: Selbstverlag, 1995.

Natterer, Julius, und Herzog, Thomas, und Volz, Michael. Holzbau Atlas Zwei. München: Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, 1991.

Nüßle, Fritz. "Heizen und Kühlen mit abgehängten Decken". Deutsche Bauzeitschrift (DBZ) 8 (1997): S. 105.

Oesterle, Eberhard. "Doppelschalige Fassaden, ein Konzept der Zukunft?". Deutsches Architektenblatt (DAB) 9 (1994): S. 1397-1404.

Oesterle, Eberhard [u.a.]. "Die doppelte Haut unter der Lupe". Clima Commerce International (CCI) 3 (1997): S. 45-51.



Oesterle, Eberhard [u.a.]. Doppelschalige Fassaden. München: Callwey, 1999.

Olgay & Olgay. Solar Control and Shading Devices. Princeton (NJ): Princeton University Press, 1957.

Palz, Wolfgang, und Greif, Jürgen. European Solar Radiation Atlas. Solar Radiation on Horizontal and Inclined Surfaces. 3. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer, 1996.

RWE Energie AG, Hg. RWE Energie Bau-Handbuch. 12. Aufl. Heidelberg: Energie Verlag GmbH, 1998.

Schäfer, Peter Jochen. Das Klima ausgewählter Orte der Bundesrepublik Deutschland München, Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 159, Offenbach/Main: Deutscher Wetterdienst, 1982.

Schuler, Mathias. "Energiegewinnung durch Glasfassaden?" Bauwelt 43/44 (1996): S. 2462 - 2473.

Schwab, Armin. Wärmeübertragung bei Mischkonvektion in luftdurchströmten Fassaden. Dissertation, TU München, 1993.

Schwab, Armin. "Neue Konzepte mehrschaliger Glasfassaden". Deutsches Architektenblatt (DAB) 3 (1996): S. 456.

Schwarz, Uwe. "Doppelfassaden: Architektonisches Stilelement oder technisch-wirtschaftlich vorteilhafte Lösung?" Fassade - Facade 4 (1995): S. 28.

Schweizerischer Ingenieur und Architekten-Verein (SIA), Hg. Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten, SIA-Dokumentation D 0123, Zürich: SIA, 1995.

Sell, Jürgen. Eigenschaften und Kenngrößen von Holzarten. 4. Aufl. Zürich: Baufachverlag AG, 1997.

Stenzel, Jürgen. "Energiesparende und tageslichtabhängige Regelung von Beleuchtungsanlagen". Innovative Fassadentechnologie. Tagungsband des Workshop 'Lichtlenkende Bauteile' und 'Internationales Forum Innovative Fassadentechnologie'. Hg. von dem Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln. Köln: Selbstverlag, 1995. S. 271-275.

Tepasse, Heinrich. "Ganzglasgebäude im Simulator - Eine Kritik der neuen Energiekonzepte". Bauwelt 43/44 (1996): S. 2488.

Thiel, Dieter. "Doppelfassaden - ein Bestandteil energetisch optimierter und emissionsarmer Bürogebäude". Innovative Fassadentechnologie. Tagungsband des 'Workshops Lichtlenkende Bauteile' und des 'Internationalen Forums Innovative Fassadentechnologie', Köln: Institut für Licht- und Bautechnik an der Fachhochschule Köln 1995. S. 13-37.

Wagner, Andreas. "Klimatische Parameter und ihre Bedeutung für die Planung". Thermische Solarenergienutzung an Gebäuden. Seminarbericht des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme. Freiburg: Selbstverlag, 1994.

Wegener, Gerd, [u.a.]. Ökobilanzen Holz. Fakten lesen, verstehen und handeln. Düsseldorf: Informationsdienst Holz, 1997.

Werner, H. "Berechnung des Jahresheizenergiebedarfs von Gebäuden." Berichte des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart. EB-29 (1991).

Wirth, Harry, und Wittwer, Volker. "Konzepte für den transparenten Sonnenschutz". Tagungsband des Vierten Symposiums 'Innovative Lichttechnik in Gebäuden' im Kloster Banz, Staffelstein, 29.-30. Januar 1998. Regensburg: Ostbayerisches Technologie Transfer Institut, 1998. S. 141-145.

Zimmermann, Klaus. "Licht- und Wärmestrahlung, Sonnenschutz". Technik am Bau (TAB) 7 (1976): S. 668.

Zimmermann, Markus. "Fenster im Fenster". Detail 4 (1996): S. 484-489.

Zürcher, Christoph, und Frank, Thomas. Bauphysik. Bau und Energie. Leitfaden für Planung und Praxis. Stuttgart: B.G. Teubner, 1998.

## Teil 9

### Verzeichnis der in Teil 6 und Anhang Teil 3 benutzten Abkürzungen

$G_{\text{vertikal}}$	Globalstrahlung, bezogen auf vertikale Flächen
$G_{\text{horizontal}}$	Globalstrahlung, bezogen auf horizontale Flächen
$T_L$	Lufttemperatur
$T_o$	Oberflächentemperatur
$\Delta T_L$	Differenz der Lufttemperatur
$\Delta T_o$	Differenz der Oberflächentemperatur
FZR	Fassadenzwischenraum

## Anhang - Teil 1

### Begriffsglossar zur Typologie

#### Mehrschalige, transparente Glasfassadensysteme

Hüllkonstruktionen von Gebäuden, bei denen vor oder hinter der eigentlichen Außenhaut eine zweite Glasschale angebracht ist, um funktionale Anforderungen und bauphysikalische Eigenschaften wie z.B. Wärme-, Sonnen- und Schallschutz zu verbessern.

#### Glasschale

Fenster- oder Fassadenbauteil, bestehend aus einer Einfach- oder Isolierverglasung, welches vor oder hinter der eigentlichen Fassadenkonstruktion angebracht ist. Im Zusammenhang mit Doppelfassaden sind die Begriffe 'Verglasungsebene', 'gläserne Haut' und 'gläserne Hülle' als Synonyme anzusehen.

#### Doppelfassaden

Allgemeine Bezeichnung für zwei- bzw. doppelschalige Glasfassaden, wobei sich der Begriff primär auf den konstruktiven Aufbau und weniger auf die funktionalen Eigenschaften bezieht. Zu diesem Fassadentyp gehören Puffer-, Abluft- und Zweite-Haut-Fassaden.

#### Vorfenster

Fenstersystem in einer Außenwandkonstruktion (Lochfassade), welchem während der kalten Jahreszeit ein zweiter Fensterrahmen

(Vorfenster) von außen vorgesetzt wird. (Fig. 1)

#### Kastenfenster

Fenstersystem mit zwei hintereinander angeordneten Fensterrahmen; in der Regel jeweils mit Einfachverglasung. (Fig. 2)

#### Abluftfenster

Fenstersystem, bei dem raumseitig eine zweite Verglasungsebene angebracht ist, wobei die Abluft des Raumes durch den Scheibenzwischenraum geführt wird. Die geschlossene, außenliegende Verglasung besteht zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste meist aus Isolierglas. (Fig. 3)

#### Verbundfenster

Fenstersystem mit zwei hintereinander, zu einem Gesamtquerschnitt angeordneten Fensterflügeln, die zu Reinigungszwecken voneinander getrennt werden können.

#### Anlehnghashaus

Glashaus, bei dem eine Außenseite unmittelbar von einem Gebäude gebildet wird. Wird das Glashaus von mehreren Seiten umschlossen, spricht man von 'Integriertem Glashaus'. (Fig. 4)

#### Erker

Verglaster Fassadenvorbau, meist als auskragende Konstruktion ausgeführt. (Fig. 5)

#### Verglaste Loggia

In das Gebäude integrierter oder vor der Außenwand vorgelagerter, verglaster Zwischentemperaturbereich.

#### Zweite-Haut-Fassade

Fassadensystem, bei welchem vor der eigentlichen Außenwandkonstruktion eine zweite Glasfassadenkonstruktion angebracht ist. Diese zweite Fassadenebene ist in der Regel mit Lüftungsöffnungen versehen, wodurch Fensterlüftung ermöglicht wird. (Fig. 6)

#### Ablufffassade

Fassadensystem, bei welchem raumseitig eine zweite Verglasungsebene vorgelagert ist. Die Abluft des Raumes wird durch den Scheibenzwischenraum geführt. Die geschlossene, außenliegende Verglasung besteht zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste meist aus Isolierglas. (Fig. 7)

#### Pufferfassade

Fassadensystem mit zwei hintereinander angeordneten Verglasungsebenen, dessen Fassadenzwischenraum weder mit der Außenluft noch mit der Raumluft in Verbindung steht. Der Luftaustausch erfolgt meist über in die Fassade integrierte, kastenförmige Fensterelemente. (Fig. 8)

#### Unsegmentierte

#### Zweite-Haut-Fassade

Sonderform der Zweite-Haut-Fassade, deren Fassadenzwischenraum weder durch vertikale noch

horizontale Trennelemente unterteilt ist. (Fig. 9)

#### Integriertes Glashaus

Glashaus, welches an mindestens zwei Seiten von Gebäudeflügeln umschlossen ist. Ist das Glashaus ganzseitig von Gebäudeteilen umgeben, spricht man meist von 'Glasatrium'. (Fig. 10)

#### Haus im Haus

Dieser Fassadentyp umschließt das Gebäude vollständig mit einer Glas- haut. (Fig. 11)

#### Korridorfassade

Sonderform der Zweite-Haut-Fassade, deren Fassadenzwischenraum geschoßweise unterteilt ist. (Fig. 12)

#### Schachtfassade

Sonderform der Zweite-Haut-Fassade, deren Fassadenzwischenraum derart unterteilt ist, daß sich schachtartige Fassadenelemente mit kastenfensterartigen Fassadenbereichen abwechseln. Die Zuluft strömt hierbei im unteren Bereich des Kastenfensters ein, die Abluft wird über den Fassadenschacht nach oben abgeführt. (Fig. 13)

#### Kastenfensterfassade

Sonderform der Zweite-Haut-Fassade, deren Fassadenzwischenraum sowohl geschoßweise als auch in den Fensterachsen so unterteilt wird, daß kastenfensterartige Fassadenelemente entstehen. (Fig. 14)



Fig. 1: Vorfenster  
Bauernhaus in Flims, CH  
Arch.: unbekannt



Fig. 2: Kastenfenster  
Wohnhaus in Budapest, H  
Arch.: unbekannt



Fig. 3: Abluftfenster  
Museum für Kunsthandwerk,  
Frankfurt, 1984 [1]  
Arch.: Richard Meier



Fig. 4: Anlehnglashaus  
Wohnhaus in Regensburg,  
1980 [2]  
Arch.: Thomas Herzog



Fig. 5: Erker  
Wohnhaus in Budapest, H  
Arch.: unbekannt

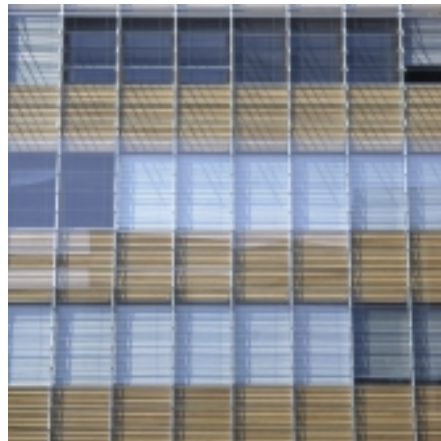


Fig. 6: Zweite-Haut-Fassade  
Bayerische Vereinsbank,  
Stuttgart, 1997  
Arch.: Günther Behnisch +  
Partner



Fig. 7: Abluftfassade  
Lloyds Versicherung, London  
1986 [3]  
Arch.: Lord Richard Rogers +  
Partner



Fig. 8: Pufferfassade  
Steiff Fabrik, Giengen/Brenz,  
1903  
Planung: Friedrich und  
Richard Steiff (?)



Fig. 9: Unsegmentierte  
Zweite-Haut-Fassade  
Verwaltungsgebäude,  
München, 1997  
Arch.: Otto Steidle + Partner



Fig. 10: Integriertes Glashaus  
Museum für Hamburgische  
Geschichte, Hamburg, 1989  
Arch.: Gerkan, Marg + Partner



Fig. 11: Haus-im-Haus  
Fortbildungsakademie in  
Herne, 1999  
Arch.: Jourda-Perraudin mit  
HHS Architekten

**Abbildungsverzeichnis:**

[1] Klotz, Heinrich, und Kruse, Waltraut. Neue Museumsbauten in der BRD. Frankfurt: Deutsches Architekturmuseum, 1985. S. 127.

[2] Richard Schenkirz, Leonberg.

[3] Sudjic, Deyan. New Architecture: Foster, Rogers, Stirling. London: Royal Academy of Arts, 1986. S. 187

Alle anderen Photos stammen vom Verfasser.

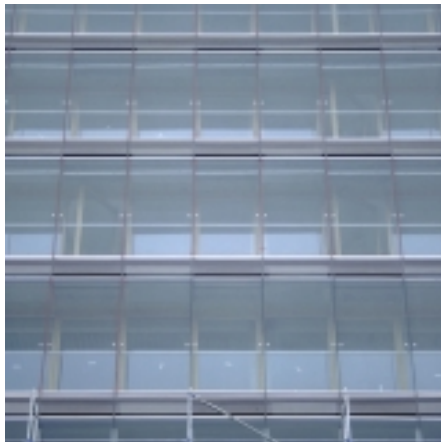


Fig. 12: Korridorfassade  
Stadttor Düsseldorf, 1997  
Arch.: Petzinka, Pink + Partner



Fig. 12: Schachtfassade  
Telekom Verwaltungsgebäude,  
Köln, 1993  
Arch.: Planungsgruppe der  
De Te Immobilien

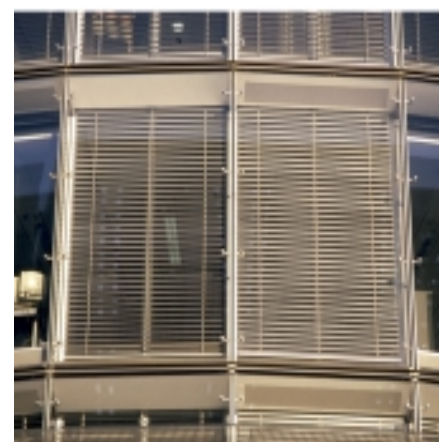


Fig. 12: Kastenfensterfassade  
RWE Verwaltungsgebäude,  
Essen, 1997  
Arch.: Ingenhoven, Overdieck +  
Partner

## Anhang - Teil 2

### Brandschutztechnische Aspekte von mehrschaligen Glasfassaden

Aufgrund der Brennbarkeit von Materialien auf der Basis nachwachsender Rohstoffe wie Holz, Holzwerkstoffe und Papier ist der Brandschutz in Doppelfassaden besonders zu beachten. [1]

Wichtige Faktoren bei der Bekämpfung von Feuer bei Doppelfassaden sind:

- Lokalisierung des Brandraumes
- Zugang der Feuerwehr von außen
- Verrauchung des Fassadenzwischenraumes
- Brandweiterleitung

Unter Berücksichtigung dieser Faktoren unterscheiden sich die einzelnen Fassadentypen sehr stark, wie im folgenden Abschnitt dargestellt wird.

#### 1. Fassadentypen

Eine Einteilung des brandschutztechnischen Risikos im Hinblick auf die unterschiedlichen Zweite-Haut-Fassadensysteme (Tab. 1) kann in folgender Weise erfolgen:

- Fassadentyp A1:

Hierzu gehören Kastenfensterfassaden mit umlaufenden Abschottungen des Fassadenzwischenraums. Wesentlich ist der unmittelbare Bezug des Fassadenzwischenraums auf den dahinter liegenden Raum. Das brandschutztechnische Risiko wird als gering eingestuft.

- Fassadentyp A2:

Schachtfassaden mit unmittelbarem Bezug zum dahinter liegenden Raum. Zuluftführung über das Kastenfenster; Abluftführung über den angrenzenden Schacht. Das brandschutztechnische Risiko wird wie bei Typ A1 als gering eingestuft.

- Fassadentyp B:

Auf das Einzelgeschoß bezogene Fassade mit horizontalen Abschottungen in jedem Geschoß (Korridorfassade). Anbindung mehrerer Räume an den Fassadenkorridor mit der Möglichkeit der Rauch- und Brandübertragung. Mittleres brandschutztechnisches Risiko.

- Fassadentyp C:

Unsegmentierte Zweite-Haut-Fassade ohne vertikale oder horizontale Abschottung des Fassadenzwischenraumes. Anbindung mehrerer neben- oder übereinander liegender Räume an den Fassadenzwischenraum. Hohes brandschutztechnisches Risiko.

#### 2. Gebäudeklasse

Neben dem Doppelfassadentyp spielt die Gebäudeklasse, eingeteilt nach der Gebäudehöhe, eine wichtige Rolle bei der Einschätzung des brandschutztechnischen Risikos. (Tab. 2) Dies steht vor allem im Zusammenhang mit den Einsatzmöglichkeiten der Rettungsgeräte der Feuerwehr.

Parameter	Typ/Klasse	Kennzeichnung	Risiko
Typ der Zweite-Haut-Fassade	A1	Kastenfensterfassade mit eigenen Zu- und Abluftöffnungen	gering
	A2	Schachtfassade mit Anbindung an einen gemeinsamen Lüftungsschacht	gering
	B	Korridorfassade	mittel
	C	Unsegmentierte Zweite-Haut-Fassade	hoch

Tab. 1: Risikozuordnung entsprechend dem Fassadentyp [1]

Parameter	Typ/Klasse	Kennzeichnung	Risiko
	I	Gebäude geringer Höhe	gering
Gebäudeklasse	II	Gebäude 'nicht geringer' Höhe	mittel
	III	Hochhäuser	hoch

Tab. 2: Risikozuordnung entsprechend der Gebäudeklasse [1]

Parameter	Typ/Klasse	Kennzeichnung	Risiko
	a	Büronutzung und vergleichbar	gering
Gebäudenutzung	b	Wohnnutzung	mittel
	c	Sondernutzungen wie z.B. Versammlungsstätten, Hotels, Schulen, Krankenhäuser etc.	hoch

Tab. 3: Risikozuordnung entsprechend der Gebäudenutzung [1]

Während die Musterbauordnung eine Einteilung in vier Gefahrenklassen vorsieht, kann eine vereinfachte Einteilung in drei Gebäudeklassen unter Beachtung der 7-m-Grenze vorgenommen werden. [2]

### 3. Gebäudenutzung

Eine wesentliche Rolle bei der Einschätzung des brandschutztechnischen Risikos und der geforderten Gegenmaßnahmen (Tab. 3) spielt die Gebäudenutzung im Zusammenhang mit der Früherkennung von Brandherden.

### 4. Brandschutzmaßnahmen

Das Spektrum möglicher Brandschutzmaßnahmen reicht von Einrichtungen zur automatischen Brandfrüherkennung im Fassadenzwischenraum bis zu dem Sprinklerschutz in Räumen. In Tab. 4 wird ein Überblick zu den erforderlichen Brandschutzmaßnahmen in Abhängigkeit von Gebäudehöhe, Gebäudenutzung und Fassadentyp gegeben.

### 5. Baustoffklassen

Eine Grobeinteilung von Baustoffen bezüglich ihrer Brennbarkeit erfolgt nach DIN 4102 in zwei Baustoffklassen A und B, wobei in Klasse A nicht brennbare, in Klasse B brennbare Baustoffe zusammengefaßt sind.

Holz als brennbarer Baustoff muß dabei genauer untersucht werden. Allerdings steht vorab die Frage, inwiefern Sonnen- und Wärmeschutzsysteme als nichttragende, unab-

hängig von der Primärkonstruktion zu betrachtende Komponenten in Zweite-Haut-Fassaden besondere Anforderungen erfüllen müssen. [2] Im Hinblick auf die im nachfolgenden untersuchten Hölzer wird Sperrholz mit einer Schichtdicke von 2 mm und einer Rohdichte  $\geq 400 \text{ kg/m}^3$  nach DIN 4102, Teil 4 der Baustoffklasse B2 (normal entflammbar) zugeordnet.

Dies gilt ebenfalls für Sperrholz mit einer Rohdichte  $\geq 200 \text{ kg/m}^3$ , allerdings erst ab einer Dicke von 5 mm.

Eine Zuordnung der Baustoffklasse B 1 (schwerentflammbar) ist prüfzeichenpflichtig, und kann unter Verwendung von Feuerschutzsalzen bei der Herstellung oder nachträglich durch Schutzanstriche erreicht werden. [3]

Birkensperrholz sollte daher bei einer anzunehmenden Rohdichte von  $400 - 800 \text{ kg/m}^3$  (Furniersperrholz) und einer Materialstärke von mind. 2 mm zum Einsatz kommen, um eine Zuordnung zur Baustoffklasse B2 (normal entflammbar) zu erreichen.

Gebäudehöhe	Fassadentyp	Gebäudenutzung		
		a	b	c
		Verwaltung	Wohnen	Sonder-nutzungen
	A1, A2	1	1	1
H ≤ 7 m	B	1	2	2
	C	2	2+4	2+4
	A1	1	1	1
H < 22 m	A2	1	2	2+4
	B	2	3	3
	C	3+4	3+4	3+4
	A1	3	3	3
H > 22 m	A2	3+4	3+4	3+4
	B	3+5	3+5	3+5
	C	3+4+5	3+4+5	3+4+5
Brandschutz- maßnahme				
1	keine zusätzlichen Maßnahmen erforderlich			
2	automatische Brandfrüherkennung im Fassaden- zwischenraum			
3	automatische Brandfrüherkennung in den Räumen zur Einleitung einer Evakuierung			
4	zusätzliche Maßnahmen zur Aktivierung der Zwischen- fassaden-Ventilation (Rauchabzug, Ventilation, Zuluft)			
5	Sprinklerschutz der Räume, in Sonderfällen auch im Fassadenzwischenraum			

Tab. 4: Systematik der Risikozuordnung und Brandschutzmaßnahmen [1]

## Anmerkungen

[1] Klingsch, Wolfram. "Brandschutz-technische Beurteilung von Doppelfassaden". Tagungsband der Jahresfachtagung der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. (vfdb), 11.-15. Juni 1995, Frankfurt: vfdb, 1995. S. 187-217.

Wesentliche Aussagen des oben genannten Beitrages wurden in gekürzter Form übernommen in:

Czech, Kl. J. Brandschutztechnische Sicherheitsmaßnahmen bei Doppelfassaden im Stadtgebiet Frankfurt. Internes Arbeitspapier der Branddirektion Frankfurt, Januar 1996. 20 Seiten.

[2] Auf Anfrage bei Herrn von Schickfus, Leiter der Brandschutzdirektion der Landeshauptstadt München, sowie Herrn Prof. Dr.-Ing. Wolfram Klingsch, Baustofftechnologie und Brandschutz, Bergische Universität Wuppertal, im Juli 1998 wurde der Einsatz von Holz im Fassadenzwischenraum bei Kastenfenstern oder Korridorfassaden als unkritisch eingestuft. Als weitaus risikoreicher wird der Einsatz in unsegmentierten Zweite-Haut-Fassaden angesehen.

[3] Natterer, Julius, und Herzog, Thomas, und Volz, Michael. Holzbau Atlas Zwei. München. Institut für Internationale Architektur-Dokumentation, 1991. S. 55.



## Anhang Teil 3

### Einzelauswertung der Ergebnisse der Meßreihen 1 - 14

#### Vorbemerkung

Es war das Ziel der Auswertung der einzelnen Messungen, jeweils Aussagen zu den Wärme- bzw. Sonnenschutzigenschaften der folgenden Fassadenvarianten zu erhalten:

- Zweite-Haut-Fassade ohne Wärme-/Sonnenschutzsystem
- Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen
- Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen
- Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen

Wie dem nachfolgenden Text zu entnehmen ist, wurden für jede Meßreihe getrennt die folgenden Teilaspekte untersucht, um eine Basis für den Vergleich der funktionalen Eigenschaften der verschiedenen Lamellensysteme zu erhalten:

- Wetterdaten (Solarstrahlung und Außenlufttemperatur)
- horizontales Temperaturprofil, gemessen auf der Hälfte der Fassadenhöhe sowie vertikales Temperaturprofil innerhalb des Fassadenzwischenraumes (FZR)
- Temperaturverteilung im Rauminnen

- Oberflächentemperaturen der Lamellen

Von besonderer Bedeutung waren hierbei die Differenzen der Lufttemperaturen sowie der Oberflächentemperaturen der verschiedenen Schichten der Zweite-Haut-Fassade, um die thermischen Eigenschaften der vier Fassadenvarianten bestimmen und vergleichen zu können.

Falls nicht anders angegeben, wurden die Luft- und Oberflächentemperaturen jeweils auf halber Fassadenhöhe, also 1,35 m über dem Fertigfußboden, gemessen. Die Beschreibung der Position der Meßfühler findet sich in Teil 5, S. 72.

Wie bereits im Hauptteil dieser Arbeit erwähnt, wurde bei jedem Versuchsaufbau eine der 22 Lamellen mit Innendämmung ausgeführt, um Aussagen zu der Wirksamkeit der Wärmedämmung machen zu können. Dazu wurden die Oberflächentemperaturen der inneren und äußeren Lamellenoberfläche von gedämmter und ungedämmter Lamelle miteinander verglichen.

Abschließend wurden die Ergebnisse der unterschiedlichen Meßreihen einander gegenübergestellt, um Aussagen zur Wirksamkeit des jeweiligen Sonnen- bzw. Wärmeschutzsystems zu erhalten. Die Zusammenfassung dieser vergleichenden Untersuchung der Meßergebnisse findet sich im Hauptteil.

Allerdings ist zu beachten, daß aufgrund des hohen Außenwandan-

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	110 W/m <sup>2</sup>	780 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	130 W/m <sup>2</sup>	450 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	-8,0°C	+11,7°C
T <sub>o</sub> ESG innen	-8,5°C	+22,6°C
T <sub>L</sub> FZR Mitte	-7,3°C	+15,0°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	-2,6°C	+37,9°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+14,5°C	+45,3°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,6°C	+39,3°C

Tab. 1: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte für die Solarstrahlung (G), Oberflächen- und Lufttemperaturen, während Meßreihe 1: 22. - 31. Januar 1999 [2]

teils, der Konstruktion in Leichtbauweise und der geringen Innenraumgröße die Versuchsanordnung Modellcharakter hatte. Ein Vergleich der verschiedenen Meßreihen und Lamellentypen untereinander ist hierbei sehr gut möglich. Es handelt sich bei den gemessenen Temperaturen dennoch um Relativwerte, die nicht unmittelbar auf die im Verwaltungsbau üblichen Bedingungen übertragen werden können. [1]

#### 1. Meßreihe 1: 22.- 31.1.99 Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen, Raumlufthtemperatur +20°C

##### 1.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur

Der mittlere Maximalwert [2] für die Globalstrahlung auf vertikale Flächen variierte in dem angegebenen Meßzeitraum zwischen 110 W/m<sup>2</sup> mit starker Bewölkung und 780W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 1)

Der mittlere Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 130 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 450 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. Die Außenlufttemperatur schwankte in dem angegebenen Zeitraum zwischen ca. -8°C und ca. +12°C, also um ca. 20 K. Im Tagesverlauf war die Schwankungsbreite der Außenlufttemperatur deutlich geringer, und betrug maximal 12 K.

##### 1.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum

Unter intensiver Einstrahlung mit Außenlufttemperaturen von ca. +5°C wurden an der äußeren Oberfläche der Isolierverglasung Temperaturen von ca. +31°C, an der Innenseite der Einfachverglasung von ca. +14°C und im Fassadenzwischenraum Lufttemperaturen von ca. +9°C gemessen. (Tab. 2, Fig.1)

Die Betrachtung dieser Meßwerte zeigt, daß sich die Luft im Fassadenzwischenraum tagsüber bei entsprechender Einstrahlung um bis zu 5 K gegenüber der Außenlufttemperatur aufgewärmt. Selbst bei bewölktem Himmel lag die Lufttemperatur im Fassadenzwischenraum etwa 2 K über der Außenlufttemperatur.

Dies bedeutet, daß trotz der permanenten Durchlüftung der Fassade selbst bei niedrigen Außenlufttemperaturen und bewölktem Himmel die Zweite-Haut-Fassade zur Vorwärmung der Außenluft und Verringerung der Lüftungswärmeverluste genutzt werden kann. Als weiterer Effekt der erhöhten Lufttemperaturen im Fassadenzwischenraum ist der verbesserte Wärmeschutz der Fassade anzusehen, da aufgrund der Pufferwirkung die Transmissionswärmeverluste reduziert werden können.

Nachts war dieser Effekt aufgrund der permanenten Durchlüftung des Fassadenzwischenraumes deutlich geringer. Bei einer Außenlufttemperatur von  $-7,4^{\circ}\text{C}$  war die Lufttemperatur im Fassadenzwischenraum mit  $-6,6^{\circ}\text{C}$  nur geringfügig höher. (Tab. 2)

Hinsichtlich der vertikalen Temperaturschichtung im Fassadenzwischenraum zeigte sich, daß bei einem vertikalen Abstand der Temperaturfühler von 2,15 m und einer lichten Geschoßhöhe von 2,70 m die Lufttemperatur im oberen

Fassadenbereich generell etwa 1 - 2 K über der Lufttemperatur im unteren Fassadenbereich liegt. Es ist hierbei ein klarer Einfluß der Strahlungsintensität auf die vertikale Temperaturschichtung im Fassadenzwischenraum festzustellen, da bei intensiver Einstrahlung die Temperaturdifferenz bis zu 3,7 K ausmachte, während nachts dieser Wert bei etwas unter 1 K lag.

Diese Temperaturdifferenz ist einerseits hinsichtlich der angesprochenen Aspekte, wie Vorwärmung der Zuluft und Wärmeschutz, relevant. Andererseits wird hierdurch der thermisch bedingte Auftrieb und damit die Durchströmung des Fassadenzwischenraumes bestimmt.

### 1.3 Temperaturverteilung im Rauminnen

Im angegebenen Meßzeitraum lag bei Außenlufttemperaturen von ca.  $-2^{\circ}\text{C}$  bis ca.  $-8^{\circ}\text{C}$  die Oberflächentemperatur der Innenseite der drei opaken Außenwandflächen während den Nachtstunden etwa 2,5 K, die der Decke etwa 1,5 K unter der Raumlufttemperatur von  $+20^{\circ}\text{C}$ . Die Oberflächentemperatur der Innenseite der Isolierverglasung lag etwa 5 K niedriger als die Raumlufttemperatur, verursacht durch den schlechteren Wärmedurchgangswiderstand im Vergleich zu der opaken Außenwandkonstruktion. [3]

Trotz des relativ guten k-Wertes der Isolierverglasung von  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  sind also zusätzliche Wärmeschutzmaßnahmen notwendig, um

	06.30 Uhr (31.1.)	15.30 Uhr (23.1.)
$G_{\text{vertikal}}$	-	$640 \text{ W/m}^2$
$T_{\text{L}} \text{ außen}$	$-7,4^{\circ}\text{C}$	$+5,0^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{O}} \text{ ESG innen}$	$-7,0^{\circ}\text{C}$	$+16,6^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{L}} \text{ FZR}$	$-6,6^{\circ}\text{C}$	$+9,0^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{O}} \text{ Isolierverglasung außen}$	$-1,8^{\circ}\text{C}$	$+31,0^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{O}} \text{ Isolierverglasung innen}$	$+14,7^{\circ}\text{C}$	$+36,6^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{L}} \text{ Raum}$	$+20,0^{\circ}\text{C}$	$+31,0^{\circ}\text{C}$
$T_{\text{O}} \text{ Wand Nord innen}$	$+17,4^{\circ}\text{C}$	$+27,0^{\circ}\text{C}$
$\Delta T_{\text{L}} \text{ außen / Raum}$	27,4 K	26 K
$\Delta T_{\text{L}} \text{ außen / FZR}$	0,8 K	4 K
$\Delta T_{\text{L}} \text{ außen / } T_{\text{O}} \text{ Isoliervergl. außen}$	5,6 K	26 K
$\Delta T_{\text{L}} \text{ FZR / } T_{\text{O}} \text{ Isoliervergl. außen}$	4,8 K	22 K
$\Delta T_{\text{O}} \text{ Isoliervergl. innen / } T_{\text{L}} \text{ Raum}$	5,3 K	5,6 K

Tab. 2: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum nachts (31.1.1999) bzw. tagsüber (23.1.1999) mit hohem Strahlungsangebot (Meßreihe 1, ohne Lamellen)

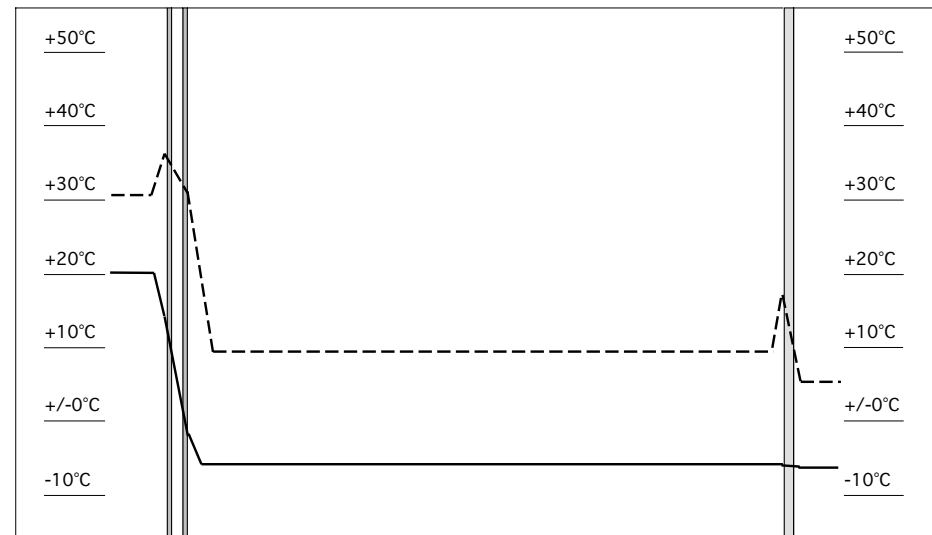


Fig. 1: Exemplarische Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum nachts bzw. tagsüber mit hohem Strahlungsangebot (siehe Tab. 2)  
 — 31. Jan, 6.30 Uhr (keine Solarstrahlung)  
 - - - - 21. Jan, 16.00 Uhr (hohes Strahlungsangebot)

ähnliche Komfortbedingungen in Scheibennähe bzw. einen, mit den opaken Wandflächen vergleichbaren, Wärmedurchgangswiderstand zu erreichen.

Unter intensiver Einstrahlung zeigte sich ein sehr deutlicher Anstieg der Temperaturen im Rauminnen, wobei die Maximalwerte für die Raumluft- und Oberflächentemperaturen etwa 1,5 - 2 Stunden nach dem Zeitpunkt der höchsten Strahlungsintensität erreicht wurden. Dies bedeutet, daß trotz der leichten Bauweise des Experimentierraumes eine gewisse Wärmeaufnahme- und Speicherkapazität der Raumschließungsflächen vorhanden war, die eine Phasenverschiebung um den genannten Zeitraum verursachte.

An einem Tag mit intensiver Sonneneinstrahlung wurden bei einer Außenlufttemperatur von etwa +10°C Raumlufttemperaturen von bis zu +39°C gemessen. Aufgrund der direkten Bestrahlung der Innenseite der Nordfassade lag die max. Oberflächentemperatur mit ca. +41°C sogar noch darüber. Die höchste Temperatur stellte sich zu diesem Zeitpunkt an der inneren Oberfläche der Isolierverglasung mit ca. +44°C ein.

Ein Überblick (Tab. 2, Fig. 1) zeigt exemplarisch die Temperaturverteilung nachts und am Tag, also ohne bzw. mit hohem Strahlungsangebot.

Im Normalfall ließen sich diese beachtenswerten solaren Wärmege-

winne bei niedrigen Außenlufttemperaturen durch einen erhöhten Luftwechsel zu einem Großteil wieder abführen. Dennoch zeigt sich die dringende Notwendigkeit, auch bei niedrigen Außenlufttemperaturen während der Wintermonate auf einen ausreichenden Sonnenschutz zu achten. Dies trifft vor allem auf Gebäude zu, bei welchen ein intensives Lüften aus funktionalen oder standortbedingten Gründen nur eingeschränkt möglich ist.

Wie bereits erwähnt wurde, ist nachts aufgrund der permanenten Durchlüftung des Fassadenzwischenraumes kaum mit Energiepareffekten durch Vorwärmung der Zuluft oder erhöhtem Wärmeschutz zu rechnen. Tagsüber hingegen liegt die Lufttemperatur im Fassadenzwischenraum, je nach Strahlungsintensität trotz permanenter Durchlüftung um bis zu 4 K über der Außenlufttemperatur - ein Effekt, der sich, vergleichbar mit der Wirkung eines Luftkollektors, zur Vorwärmung der Zuluft und zudem zur Verringerung der Transmissionswärmeverluste nutzen läßt.

## 2. Meßreihe 2: 12. - 21.2.99 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen geschlossen, Raumlufttemperatur +20°C

### 2.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur

In diesem Meßzeitraum variierte der Maximalwert für die Globalstrahlung auf vertikale Flächen zwischen 24 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 820 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 3)

Der Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 49 W/m<sup>2</sup> und 635 W/m<sup>2</sup>.

Die Außenlufttemperatur schwankte im Zeitraum der Meßreihe 2 zwischen ca. -11°C und ca. +6°C, also um 17 K. Bezogen auf den Tagesverlauf fiel diese Schwankungsbreite deutlich geringer aus und betrug maximal 8 K.

### 2.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum

In Tabelle 4 ist die jeweilige Temperaturdifferenz zwischen der Außenluft und der unmittelbar an die Isolierverglasung angrenzenden Luftschicht ohne bzw. mit Wärmeschutzlamellen angegeben. Unter vergleichbaren Außenbedingungen lag diese Temperaturdifferenz bei 0,8 K für die Fassade ohne Wärmeschutzlamellen, hingegen bei 8 K für die Fassade mit Wärmeschutzlamellen. (Fig. 2)

Diese starke Differenz ist ausschließlich auf die Wärmeschutzwirkung (k-Wert-Verbesserung) der geschlossenen Holz-Lamellen und der Luftschicht im inneren Fassadenzwischenraum zurückzuführen.

In bezug auf die vertikale Temperaturschichtung im nicht durchlüfteten Fassadenbereich zwischen der Holz-Lamellenwand und der Isolierverglasung ergaben sich beispielsweise bei einer Außenlufttemperatur von -10,5°C Lufttemperaturen von -3,9°C im unteren, -1,6°C im mittleren sowie +2,5°C im oberen Bereich. Dies entspricht einer Differenz von 6,4 K. Diese Temperaturdifferenz betrug nachts während der Meßreihe 1 aufgrund der permanenten Durchlüftung des Fassadenzwischenraumes lediglich max. 1 K.

Mit Außenlufttemperaturen von ca. -6°C stellte sich aufgrund der geschlossenen Lamellen eine deutliche vertikale Temperaturschichtung in dem inneren Fassadenzwischenraum ein. Dies ist einerseits ein Beleg für die relativ geringe Konvektion, andererseits für die geringe Bedeutung der vorhandenen Fugenundichtigkeiten von ca. 1 - 3 mm der Lamellenstöße zu werten.

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	24 W/m <sup>2</sup>	819 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	49 W/m <sup>2</sup>	635 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	-10,5°C	+5,7°C
T <sub>o</sub> ESG innen	-11,1°C	+20,4 °C
T <sub>L</sub> FZR Mitte außen	-10,3°C	+7,2 °C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	-10°C	+30,7 °C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	-4,4°C	+26,8 °C
T <sub>L</sub> FZR Mitte innen	-1,6°C	+21,1 °C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+1,1°C	+21,6 °C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+14,9°C	+18,9 °C
T <sub>L</sub> Raum	+19,6°C	+20,2 °C

Tab. 3: Mittlere Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung sowie Oberflächen- und Lufttemperaturen, während der Meßreihe 2: 12. - 21. Februar 1999

	31.1., 0.30 Uhr ohne Lamellen	14.2., 0.30 Uhr mit Lamellen
T <sub>L</sub> außen	-5,8°C	-5,6°C
T <sub>o</sub> ESG innen	-4,9°C	-5,1°C
T <sub>L</sub> FZR außen	-5,0°C	-5,1°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	-	-2,6°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	-	-0,2°C
T <sub>L</sub> FZR innen	-5,0°C	+2,4°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	-0,7°C	+4,2°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+14,9°C	+15,6°C
T <sub>L</sub> Raum	+20,3°C	+19,8°C
T <sub>o</sub> Wand Nord innen	+17,5°C	+17,1°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	26,1 K	25,4 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	-	7,5 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR innen	0,8 K	8,0 K
Δ T <sub>L</sub> FZR innen/T <sub>o</sub> Isoliervergl. außen	4,3 K	1,8 K
Δ T <sub>o</sub> Isoliervergl. innen / T <sub>L</sub> Raum	5,4 K	4,2 K

Tab. 4: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum ohne (31.1.1999), bzw. mit Wärmeschutzlamellen (14.2.1999), jeweils nachts, bei vergleichbaren Außenlufttemperaturen

## 2.3 Temperaturverteilung im Rauminneren

Aufgrund der geschlossenen Lamellen zeigte sich auch bei intensiver Sonneneinstrahlung im Vergleich zur Meßreihe 1 (ohne Lamellen) ein nur sehr geringer Einfluß auf den unmittelbaren Temperaturverlauf im Rauminneren. (Tab. 5, Fig. 3)

Während Zeiten mit niedrigen Außenlufttemperaturen von ca. +2°C wirkte sich der geringe Energieeintrag aus der Wärmeabgabe der auf ca. +26°C erwärmten Innenseite der Holz-Lamellen nur unmerklich auf die Raumlufttemperatur aus. Auch der innere Fassadenzwischenraum sowie die beiden Oberflächen der Isolierverglasung wurden nur geringfügig erwärmt.

Wie in Tabelle 5 bzw. Fig. 3 zu erkennen ist, wurden bei vergleichbaren Außenbedingungen während der Meßreihe 1 ohne Sonnenschutzlamellen deutlich höhere Raumlufttemperaturen bzw. Oberflächentemperaturen an der Isolierverglasung gemessen, als bei Meßreihe 2 mit Sonnenschutzlamellen.

Die während der Meßreihe 2 erfaßte maximale Oberflächentemperatur der Außenseite der Isolierverglasung hatte trotz sonniger Witterung +21,6°C, die der Innenseite nur +18,9°C betragen. Diese Werte lagen bei Meßreihe 1 mit +29,1°C bzw. +34,3°C deutlich darüber.

## 2.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Lamellen

In Abhängigkeit von den Strahlungsverhältnissen wärmten sich die Holz-Lamellen sehr schnell auf und erreichten maximale Oberflächentemperaturen von ca. +31°C auf der Außenseite und ca. +27°C auf der Innenseite.

Bei der ungedämmten Lamelle erfolgte der Temperaturanstieg auf der inneren Oberfläche nahezu zeitgleich mit der Temperaturerhöhung auf der Außenseite, während bei der gedämmten Lamelle eine Zeitverzögerung von ca. 30 Minuten festzustellen war. Es zeigt sich damit sehr deutlich der positive Einfluß der Wärmedämmung auf den Wärmedurchgangswiderstand der Lamelle.

Zu Zeiten mit geringer Solarstrahlung und nachts war bei vergleichbaren Lufttemperaturen im äußeren Fassadenzwischenraum an den Oberflächen der gedämmten Lamelle eine Temperaturdifferenz von 4,7 K festzustellen, während für die ungedämmte Lamelle dieser Wert bei 2,7 K lag. (Tabelle 6, Fig. 4) Hiermit ist die Größenordnung der Wirksamkeit der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum bei Temperaturdifferenzen der angrenzenden Luftschichten von ca. 7 - 8 K nachgewiesen.

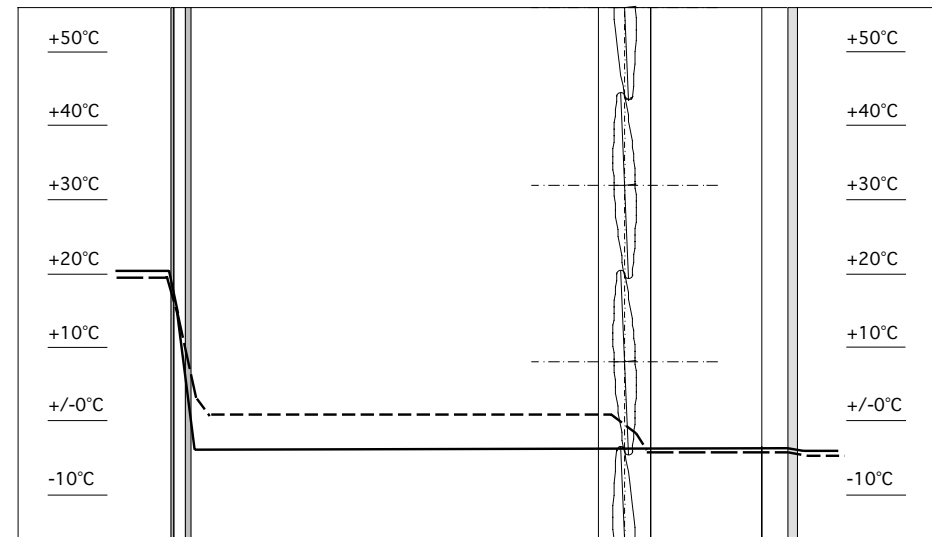


Fig. 2: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum nachts (siehe Tab. 4)  
— ohne Wärmeschutzlamellen (31.1.1999, 0.30 Uhr)  
- - - mit Wärmeschutzlamellen (14.2.1999, 0.30 Uhr)

Position	ohne Lamellen 22.1. 13.30 Uhr	mit Lamellen 15.2., 15.30 Uhr
$G_{\text{vertikal}}$	693 W/m <sup>2</sup>	722 W/m <sup>2</sup>
$T_L$ außen	+2,3°C	+2,2°C
$T_o$ ESG innen	+14,2°C	+19,7°C
$T_L$ FZR außen	+6,7°C	+6,9°C
$T_o$ Lamelle außen	-	+29,4°C
$T_o$ Lamelle innen	-	+26,4°C
$T_L$ FZR innen	+6,7°C	+21,1°C
$T_o$ Isolierverglasung außen	+29,1°C	+21,6°C
$T_o$ Isolierverglasung innen	+34,3°C	+18,9°C
$T_L$ Raum	+27,9°C	+20,1°C
$\Delta T_L$ außen / Raum	25,6 K	17,9 K
$\Delta T_L$ FZR außen / FZR innen	-	14,2 K
$\Delta T_L$ außen / FZR innen	4,4 K	18,9 K
$\Delta T_L$ FZR innen / $T_o$ Iso.vergl. außen	22,4 K	0,5 K

Tab. 5: Temperaturen im Fassadenzwischenraum bei hoher Solarstrahlung jeweils ohne (22.1.1999) bzw. mit geschlossenen Holz-Lamellen (15.2.1999)

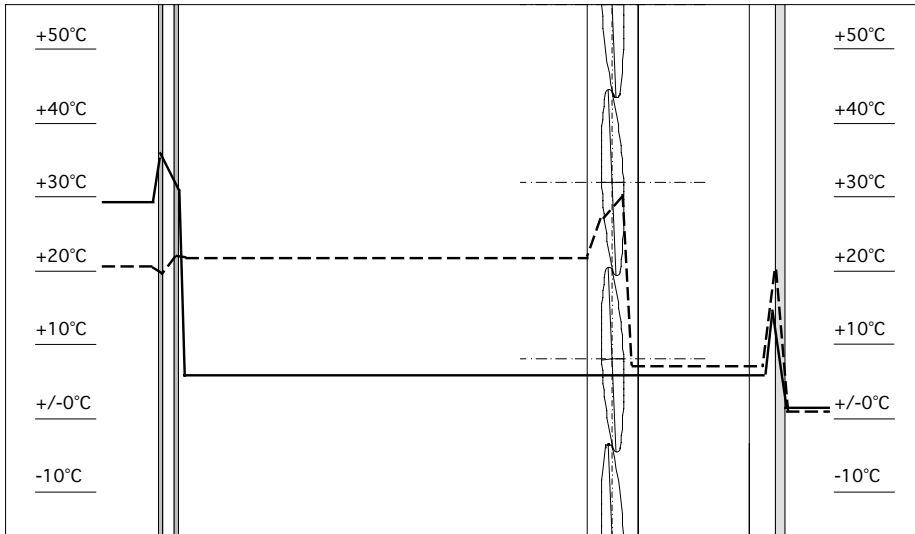


Fig. 3: Temperaturen im Fassadenzwischenraum bei hoher Solarstrahlung

—— ohne Holz-Lamellen (22.1.1999, 13.30 Uhr)  
 - - - - mit Holz-Lamellen (15.2.1999, 15.30 Uhr)

Position	Lamelle ungedämmt	Lamelle gedämmt
$T_o$ ESG innen	-10,9°C	
$T_L$ FZR außen Mitte	-10,2°C	
$T_L$ FZR außen unten		-10,4°C
$T_o$ Lamelle außen	-6,9°C	
$T_o$ Lamelle innen	-4,2°C	
$T_o$ Lamelle außen		-9,3°C
$T_o$ Lamelle innen		-5,1°C
$T_L$ FZR innen Mitte	-1,4°C	
$T_L$ FZR innen unten		-3,6°C
$T_o$ Isolierverglasung außen	+1,4°C	
$T_o$ Isolierverglasung innen	+15,0°C	
$T_L$ Raum	+19,8°C	
$\Delta T_o$ Lamellen	2,7 K	4,2 K
$\Delta T_L$ FZR außen / FZR innen	8,8 K	6,8 K

Tab. 6: Oberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Holzlamelle bei geringer Solarstrahlung (12. Feb., 7.00 Uhr, Außenlufttemp. -10,3°C)

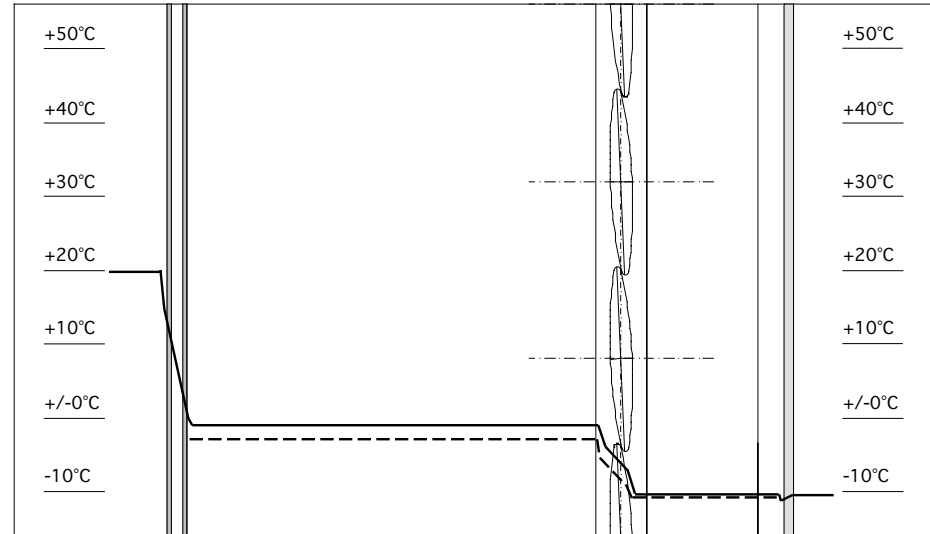


Fig. 4: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum am 12.2.1999, 7.00 Uhr

—— Lamelle ungedämmt  
 - - - - Lamelle gedämmt

### 3. Meßreihe 3: 23.2. - 9.3.99 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen, Wechsel- modus, Raumlufttemperatur +20°C

Während der Meßreihe 3 blieben die Lamellen während der Nachtstunden geschlossen und wurden zwischen 8.00 Uhr und 18.00 Uhr dem Sonnenstand nachgeführt. Das Ziel dieser Nachführung war es, eine optimale Verschattung der inneren Fassadenebene bei maximaler Durchsicht zu gewährleisten.

Die Auswertung dieser Meßreihe soll vor allem Aussagen über die Sonnenschutzwirkung der Holz-Lamellen erlauben.

#### 3.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur

In diesem Meßzeitraum variierte der Maximalwert für die Globalstrahlung auf vertikale Flächen zwischen  $33 \text{ W/m}^2$  an Tagen mit starker Bewölkung und  $845 \text{ W/m}^2$  an sonnigen Tagen. (Tab. 7)

Der Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen  $65 \text{ W/m}^2$  und  $757 \text{ W/m}^2$  an sonnigen Tagen.

Die Außenlufttemperatur schwankte im gesamten Meßzeitraum in einem Bereich zwischen  $-2,5^\circ\text{C}$  und  $+15^\circ\text{C}$ , also um  $17,5 \text{ K}$ . Bezogen auf den einzelnen Tagesverlauf fiel diese Schwankungsbreite deutlich geringer aus und betrug max.  $6 \text{ K}$ .

### 3.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum

Wärmeschutzwirkung

Bei niedrigen Außenlufttemperaturen in der Nähe des Gefrierpunktes wurden nachts im äußeren Fassadenzwischenraum Lufttemperaturen gemessen, die nur unwesentlich von den Außenlufttemperaturen abwichen. Im Gegensatz dazu lagen die Lufttemperaturen im inneren Fassadenzwischenraum um ca.  $4 - 7 \text{ K}$  höher als die jeweilige Außenlufttemperatur.

Bei etwas höheren Außenlufttemperaturen ( $+6,6^\circ\text{C}$ ) betrug die Differenz zwischen dem äußeren und inneren Fassadenzwischenraum ca.  $4 \text{ K}$ .

Es zeigte sich damit auch während einer nur temporären Schließung der Lamellen sehr deutlich eine Verbesserung des Wärmedurchgangswiderstandes des Fassadensystems.

Nach dem Öffnen der Lamellen glichen sich die Lufttemperaturen innerhalb des Fassadenzwischenraumes sehr schnell an. Dieser unmittelbare Temperaturengleich ist als Hinweis auf die gute Durchströmung des gesamten Fassadenzwischenraumes bei geöffneten Holz-Lamellen in horizontaler Stellung zu werten.

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
$G_{\text{vertikal}}$	$33 \text{ W/m}^2$	$845 \text{ W/m}^2$
$G_{\text{horizontal}}$	$65 \text{ W/m}^2$	$757 \text{ W/m}^2$
$T_{\text{L}}$ außen	$-2,5^\circ\text{C}$	$+15,0^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ ESG innen	$-3,0^\circ\text{C}$	$+31,8^\circ\text{C}$
$T_{\text{L}}$ FZR Mitte außen	$-2,3^\circ\text{C}$	$+24,4^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ Lamelle außen	$-0,1^\circ\text{C}$	$+46,8^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ Lamelle innen	$+0,4^\circ\text{C}$	$+40,4^\circ\text{C}$
$T_{\text{L}}$ FZR Mitte innen	$-0,3^\circ\text{C}$	$+20,6^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ Isolierverglasung außen	$+3,1^\circ\text{C}$	$+30,5^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ Isolierverglasung innen	$+15,7^\circ\text{C}$	$+26,3^\circ\text{C}$
$T_{\text{L}}$ Raum	$+19,7^\circ\text{C}$	$+24,9^\circ\text{C}$

Tab. 7: Mittlere Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung, Oberflächen- und Lufttemperatur, während Meßreihe 3: 23.2 - 9.3.1999

Position	24.1., 15.00 Uhr ohne Lamellen	26.2., 14.30 Uhr mit Lamellen
$G_{\text{vertikal}}$	$737 \text{ W/m}^2$	$814 \text{ W/m}^2$
$T_{\text{L}}$ außen	$+9,9^\circ\text{C}$	$+10,0^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ ESG innen	$+22,6^\circ\text{C}$	$+24,8^\circ\text{C}$
$T_{\text{L}}$ FZR außen	$+15,0^\circ\text{C}$	$+18,4^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ Lamelle außen	-	$+39,7^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ Lamelle innen	-	$+33,3^\circ\text{C}$
$T_{\text{L}}$ FZR innen	$+15,0^\circ\text{C}$	$+14,9^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ Isolierverglasung außen	$+37,9^\circ\text{C}$	$+22,5^\circ\text{C}$
$T_{\text{O}}$ Isolierverglasung innen	$+44,1^\circ\text{C}$	$+22,3^\circ\text{C}$
$T_{\text{L}}$ Raum	$+37,6^\circ\text{C}$	$+20,9^\circ\text{C}$
$\Delta T_{\text{L}}$ außen / Raum	$27,7 \text{ K}$	$10,9 \text{ K}$
$\Delta T_{\text{L}}$ FZR außen / FZR innen	-	$3,5 \text{ K}$
$\Delta T_{\text{L}}$ außen / FZR innen	$5,1 \text{ K}$	$4,9 \text{ K}$
$\Delta T_{\text{L}}$ FZR innen/ $T_{\text{O}}$ Isoliervergl. außen	$22,9 \text{ K}$	$7,6 \text{ K}$
$\Delta T_{\text{O}}$ Isoliervergl. außen / innen	$6,2 \text{ K}$	$0,2 \text{ K}$

Tab. 8: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum auf der Hälfte der Fassadenhöhe bei hohem Strahlungsangebot jeweils ohne Holz-Lamellen (24.1.1999) bzw. mit geöffneten Holz-Lamellen (26.2.1999)

## Sonnenschutzwirkung

Ein Vergleich der Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum unter intensiver Sonneneinstrahlung zwischen Meßreihe 1 (Zweite-Haut-Fassade ohne Holz-Lamellen) und Meßreihe 3 (Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen) ergibt die nachfolgend dargestellten Ergebnisse. (Tab. 8)

Bei nahezu identischen Witterungsbedingungen und einer Außenlufttemperatur von ca. +10°C wurde der unmittelbar an die Außenseite der Isolierverglasung angrenzende Luft Raum bei beiden Fassadenalternativen etwa gleich stark erwärmt. Eine Überhitzung der Luft im inneren Fassadenzwischenraum aufgrund stark erwärmter Lamellenoberflächen fand im Vergleich zu der Zweite-Haut-Fassade ohne Holz-Lamellen nicht statt. Die Durchlüftung der Zweite-Haut-Fassade reichte offensichtlich aus, um die solaren Wärmegevinne abzuführen.

Der Hauptunterschied der Ergebnisse beider Meßreihen besteht jedoch in der sehr starken Erwärmung der äußeren und inneren Oberfläche der Isolierverglasung der Zweite-Haut-Fassade ohne Holz-Lamellen, bei welchen Temperaturen bis zu +38°C bzw. +44°C gemessen wurden.

Unter Einsatz der Holz-Lamellen wurde die äußere Isolierglasoberfläche auf maximal +22,5°C erwärmt; die innere Isolierglasoberfläche auf maximal +22,3°C.

Dies entspricht einem Temperaturunterschied gegenüber der Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen für die innere Oberfläche der Isolierverglasung von ca. 22 K.

Diese große Differenz ist auf die gute Sonnenschutzwirkung der Holz-Lamellen zurückzuführen.

### 3.3 Temperaturverteilung im Rauminnen

Die Raumluft wurde bei der Zweite-Haut-Fassade ohne Sonnenschutzlamellen unter den angegebenen Bedingungen auf über +37°C erwärmt. Im Vergleich dazu fand bei der Zweite-Haut-Fassade mit Holzlamellen keine Überhitzung des Innenraums statt. Die Raumlufttemperatur hatte hier max. +20,9°C betragen. (Tab. 8)

Dies ist ebenfalls auf die sehr gute Sonnenschutzwirkung der Holz-Lamellen zurückzuführen.

### 3.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Lamellen

Wie bereits bei Meßreihe 2 mit geschlossenen Holz-Lamellen zu sehen war, wärmten sich diese unter intensiver Sonneneinstrahlung auch bei niedriger Außenlufttemperatur sehr schnell auf.

Während Meßreihe 3 wurde eine max. Oberflächentemperatur von ca. +47°C erreicht, die damit um ca. 16 K über dem Maximalwert von Meßreihe 2 mit geschlossenen Lamellen liegt.

Position	Lam. ungedämmt	Lam. gedämmt
T <sub>o</sub> ESG innen	+31,8°C	
T <sub>L</sub> FZR außen Mitte	+24,3°C	
T <sub>L</sub> FZR außen unten		+21,1°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+46,8°C	
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+40,4°C	
T <sub>o</sub> Lamelle außen		+35,7°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen		+24,1°C
T <sub>L</sub> FZR innen Mitte	+20,6°C	
T <sub>L</sub> FZR innen unten		+18,8°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+29,4°C	
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+24,7°C	
T <sub>L</sub> Raum	+22,2°C	
Δ T <sub>o</sub> Lamellen	6,4 K	11,6 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	3,7 K	2,3 K

Tab. 9: Lamellenoberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Holzlamelle (27. 2.1999, 14.00 Uhr, Außenlufttemperatur +15°C )

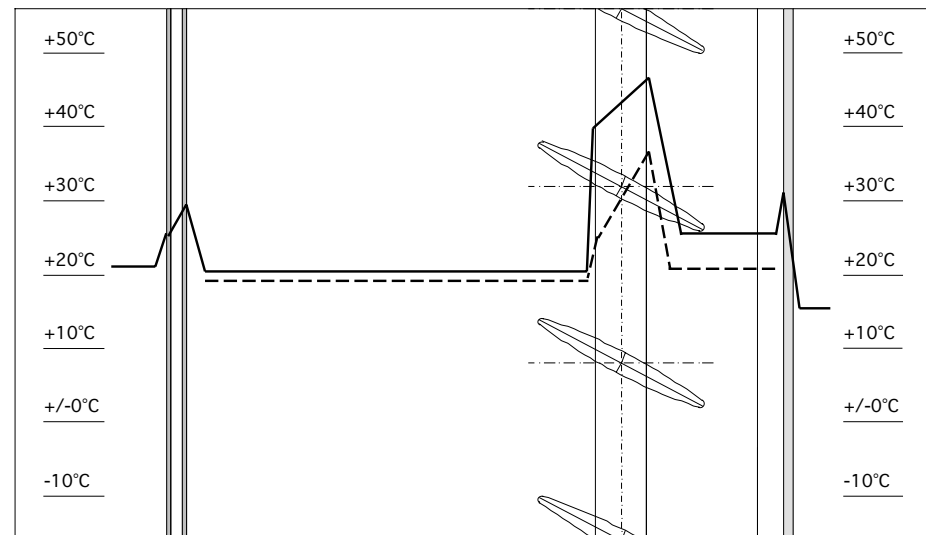


Fig. 5: Lamellenoberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Holzlamelle (27. 2.1999, 14.00 Uhr, Außenlufttemperatur +15°C )

— Lamelle ungedämmt  
 - - - - Lamelle gedämmt



Diese deutlich höhere Oberflächen-temperatur ist einerseits auf die et- was intensivere Sonneneinstrahlung zurückzuführen. Andererseits wur- den die Lamellen während der Meß- reihe 3 der Sonne nachgeführt, wo- durch die äußere Lamellenoberflä- che tagsüber jeweils senkrecht zur Sonne ausgerichtet gewesen war, und damit maximalen Energieein- trag erhielt. Auf der Innenseite der ungedämmten Lamellen hatte die maximale Oberflächentemperatur +40,4°C betragen, was einer Diffe- renz gegenüber der Außenseite von 6,4 K entspricht.

Die gedämmte Lamelle hingegen wies eine max. Oberflächentempe- ratur von +35,7°C an der Außenseite und von +24,1°C an der Innenseite auf. Dies lag einerseits an der um etwa 3,2 K niedrigeren Außenluft- temperatur, andererseits an der besseren Durchlüftung aufgrund der Nähe zu dem unteren Lüftungsspalt der äußeren Fassadenebene. (Tab. 9, Fig. 5)

Ein wesentliches Ergebnis dieses Temperaturvergleichs ist jedoch die deutlich höhere Temperaturdifferenz zwischen Lamellenaußen- und La- melleninnenseite von 11,6 K bei der gedämmten Lamelle gegenüber 6,4 K bei der ungedämmten Lamelle.

Dies stellt in Ergänzung zu den Er- gebnissen der Meßreihe 2 mit ge- schlossener Lamellenwand ein wei- teres Indiz für die hohe Wirksamkeit der Wärmedämmung im Innenbe- reich der Holz-Lamellen dar.

#### 4. Meßreihe 4: 13.3.-27.3.99 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Alu-Lamellen, permanent geschlossen, Raumlufttemperatur +20°C

##### 4.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur

In diesem Meßzeitraum variierte der Maximalwert für die Globalstrahlung auf vertikale Flächen zwischen 83 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Be- wölkung und 769 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 10)

Der Maximalwert für die Global- strahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 163 W/m<sup>2</sup> und 835 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen.

Während der Meßreihe 4 schwankte die Außenlufttemperatur in einem Bereich zwischen -3°C und +21°C, also um 24 K. Bezogen auf den Ta- gesverlauf der Außenlufttemperatur war die Schwankungsbreite deutlich geringer, und betrug maximal 16 K.

##### 4.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum

Die Betrachtung der sich einstellen- den Temperaturverteilung bei niedri- gen Außenlufttemperaturen ohne Strahlungsangebot zeigte, daß die Lufttemperatur des inneren Fassa- denzwischenraumes um etwa 6,4 K über dem Wert des äußeren Fassa- denzwischenraumes lag. (Tab. 11) Diese Temperaturdifferenz hatte während des Einsatzes der Holz-La- mellen bei vergleichbaren Außenbe- dingungen 6,8 K betragen und war damit ähnlich groß.

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	83 W/m <sup>2</sup>	769 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	163 W/m <sup>2</sup>	835 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	-2,7°C	+21°C
T <sub>O</sub> ESG innen	-3,4°C	+35,7 °C
T <sub>L</sub> FZR außen	-2,6°C	+27,5 °C
T <sub>O</sub> Lamelle außen	-0,8°C	+46,6 °C
T <sub>O</sub> Lamelle innen	+1,2°C	+39,5°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+3,8°C	+32,8 °C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung außen	+5,2°C	+32,4 °C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung innen	+15,9°C	+23,1 °C
T <sub>L</sub> Raum	+19,2°C	+23,0°C

Tab. 10: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung, Oberflächen- und Lufttemperatur, während Meßreihe 4: 13.3 - 27.3.1999,

	18.2., 7.00 Uhr Holz-Lamellen	18.3., 6.00 Uhr Holz-Alu-L.
T <sub>L</sub> außen	-2,6°C	-2,6°C
T <sub>O</sub> ESG innen	-3,2°C	-3,2°C
T <sub>L</sub> FZR außen	-2,6°C	-2,6°C
T <sub>O</sub> Lamelle außen	-0,3°C	-0,8°C
T <sub>O</sub> Lamelle innen	+1,7°C	+1,2°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+4,2°C	+3,8°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung außen	+5,6°C	+5,3°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung innen	+15,9°C	+16,0°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,8°C	+19,9°C
T <sub>O</sub> Wand Nord innen	+17,2°C	+17,4°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	22,4 K	22,5 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	6,8 K	6,4 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR innen	6,8 K	6,4 K
Δ T <sub>L</sub> FZR innen / T <sub>O</sub> Isoliervergl. außen	1,4 K	1,5 K
Δ T <sub>O</sub> Isoliervergl. innen / T <sub>L</sub> Raum	3,9 K	3,9 K

Tabelle 11: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum nachts, Außenluft- temperatur - 2,6°C, jeweils mit Holz-Lamellen geschlossen (18.2.1999) bzw. Holz-Alu-Lamellen geschlossen (18.3.1999)

In beiden Fällen ist die deutlich höhere Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum auf den Einsatz der Lamellen zurückzuführen.

Diese Wärmeschutzwirkung ist bei niedrigeren Außenlufttemperaturen von beispielsweise  $-2,6^{\circ}\text{C}$  (Tab. 11), klarer abzulesen als bei Außenlufttemperaturen von ca.  $+5^{\circ}\text{C}$ , bei welchen die Temperaturdifferenz zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum nur 4 - 5 K betrug.

Bei einer Außenlufttemperatur von  $-5,6^{\circ}\text{C}$  (Versuchsreihe 2, Holz-Lamellen geschlossen) betrug die Temperaturdifferenz zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum 8 K.

Verallgemeinernd läßt sich feststellen, daß die Ergebnisse der vorliegenden Versuchsreihe mit den geschlossenen Holz-Alu-Lamellen sehr ähnlich zu den Ergebnissen der Versuchsreihe 2 mit geschlossenen Holz-Lamellen sind, da sich auch hier bei der angegebenen Außenlufttemperatur von  $+5^{\circ}\text{C}$  nahezu identische Temperaturdifferenzen zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum feststellen lassen.

Aufgrund dieser Erkenntnisse läßt sich folgern, daß im Hinblick auf den Wärmeschutz die Holz- bzw. die Holz-Alu-Lamellen vergleichbar gute Eigenschaften besitzen.

In bezug auf die vertikale Temperaturschichtung im inneren Fassadenzwischenraum, welche Rückschlüs-

se auf die Konvektion und etwaige Fugenundichtigkeiten erlaubt, zeigten sich während Meßreihe 2 (Holz-Lamellen geschlossen) und Meßreihe 4 (Holz-Alu-Lamellen geschlossen) ebenfalls sehr ähnliche Werte. Für die Holz-Alu-Lamellen hatte bei einer Außenlufttemperatur von  $-2,6^{\circ}\text{C}$  die Differenz zwischen dem oberen und unteren Meßwert 3,4 K betragen.

Eine noch niedrigere Außenlufttemperatur von  $-10,5^{\circ}\text{C}$  hatte bei Meßreihe 2 (Holz-Lamellen geschlossen) eine Temperaturdifferenz im inneren Fassadenzwischenraum zwischen dem oberen und unteren Meßwert von 6,4 K zur Folge.

Aufgrund der sehr ähnlichen Werte im Hinblick auf die Temperaturschichtung im inneren Fassadenzwischenraum ist bei beiden Lamellenarten von einer relativ geringen Konvektion bzw. Durchlüftung aufgrund etwaiger Fugenundichtigkeiten auszugehen.

### 4.3 Temperaturverteilung im Rauminnen

An Tagen mit intensiver Solarstrahlung und hohen Außenlufttemperaturen zwischen ca.  $+15^{\circ}\text{C}$  und  $+20^{\circ}\text{C}$  stieg die Raumlufthtemperatur für jeweils einige Stunden auf über  $+20^{\circ}\text{C}$  an. Mit Außenlufttemperaturen unterhalb des Gefrierpunktes (Tab. 11) stellten sich nachts an der Deckenunterseite Oberflächentemperaturen ein, die ca. 1 K unter der Raumlufthtemperatur lagen.

Position	18.2., 7.00 Uhr Holz-Lamellen	18.3., 6.00 Uhr Holz-Alu-Lam.
$T_o$ ESG innen	$-3,2^{\circ}\text{C}$	$-3,2^{\circ}\text{C}$
$T_L$ FZR außen Mitte	$-2,6^{\circ}\text{C}$	$-2,6^{\circ}\text{C}$
$T_L$ FZR außen unten	$-2,7^{\circ}\text{C}$	$-2,6^{\circ}\text{C}$
$T_o$ Lamelle ungedämmt außen	$-0,3^{\circ}\text{C}$	$-0,8^{\circ}\text{C}$
$T_o$ Lamelle ungedämmt innen	$+1,7^{\circ}\text{C}$	$+1,2^{\circ}\text{C}$
$T_o$ Lamelle gedämmt außen	$-2,0^{\circ}\text{C}$	$-2,5^{\circ}\text{C}$
$T_o$ Lamelle gedämmt innen	$+1,1^{\circ}\text{C}$	$+2,1^{\circ}\text{C}$
$T_L$ FZR innen Mitte	$+4,2^{\circ}\text{C}$	$+3,8^{\circ}\text{C}$
$T_L$ FZR innen unten	$+2,4^{\circ}\text{C}$	$+2,2^{\circ}\text{C}$
$T_L$ Raum	$+19,8^{\circ}\text{C}$	$+19,9^{\circ}\text{C}$
$\Delta T_L$ FZR außen / innen (Mitte)	6,8 K	6,4 K
$\Delta T_L$ FZR außen / innen (unten)	5,1 K	4,8 K
$\Delta T_o$ Lam. außen / innen ungedämmt	2,0 K	2,0 K
$\Delta T_o$ Lam. außen / innen gedämmt	3,1 K	4,6 K

Tab. 12: Oberflächentemperaturen von ungedämmter bzw. gedämmter Holz-Lamelle bzw. Holz-Alu-Lamelle bei Außenlufttemperatur  $-2,6^{\circ}\text{C}$  ohne Solarstrahlung

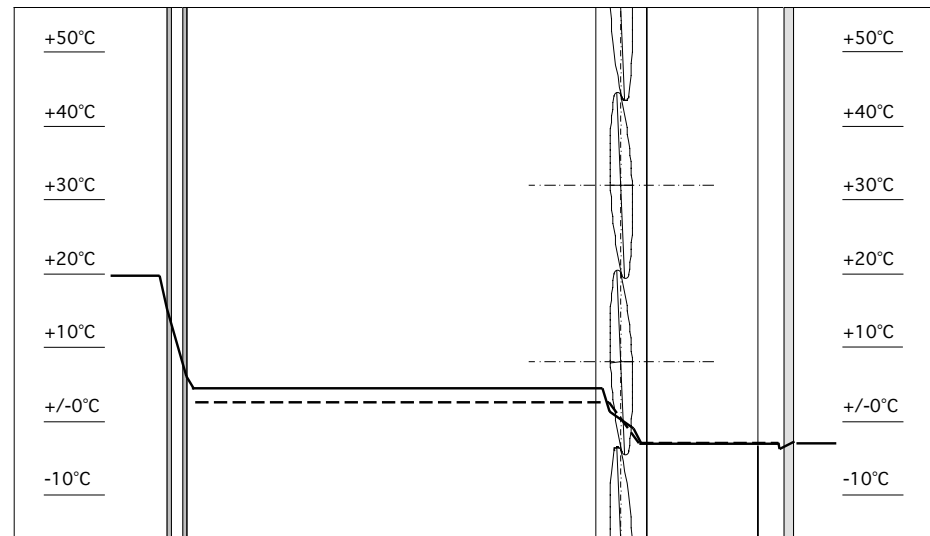


Fig. 6: Lamellenoberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Holz-Alu-Lamelle (18. März, 6.00 Uhr)  
 ————— Holz-Alu-Lamelle ungedämmt      - - - - - Holz-Alu-Lamelle gedämmt

Die Temperaturdifferenz zwischen der Raumlufttemperatur und den Oberflächen der opaken Wände lag bei 2,5 K. Die Temperaturdifferenz zwischen der Raumluft und der Innenseite der Isolierverglasung hatte ca. 3-4 K betragen. Diese Werte waren bei der Meßreihe mit den Holz-Lamellen vergleichbar groß gewesen.

Auch hier zeigte sich, daß die Fassade mit Vollverglasung trotz des Einsatzes von Wärmeschutzlamellen in wärmedämmtechnischer Hinsicht eine Schwachstelle darstellt, die im Vergleich zu opaken, gut gedämmten Außenwandkonstruktionen bei niedrigen Außenlufttemperaturen und geringem oder fehlendem Strahlungsangebot zu erhöhten Wärmeverlusten führt.

#### **4.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Alu-Lamellen**

Ähnlich zu Meßreihe 2 (Holz-Lamellen geschlossen), wärmten sich auch die Holz-Alu-Lamellen bei intensiver Sonneneinstrahlung sehr schnell auf. Es wurden Oberflächentemperaturen an der Außenseite der ungedämmten Lamelle von bis zu +46,6°C, an der Innenseite von bis zu +39,5°C gemessen. Dies entspricht einer Differenz von 6,1 K.

An der Außenseite der gedämmten Lamelle wurden max. +38,8°C, an der Innenseite max. +29,9°C gemessen; dies entspricht ca. 9 K.

Die generell tieferen Oberflächen-temperaturen der gedämmten Lamelle sind einerseits auf die um etwa 2,5 K niedrigere Temperatur der unmittelbar anstehenden Luft, andererseits auf die Lage im Bereich des unteren Lüftungsspalts zurückzuführen, da hier von einer erhöhten Ablüftung der Wärmegewinne der Lamelleausgangen werden muß.

In Tabelle 12 ist die Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum während der Nacht dargestellt. Zum angegebenen Zeitpunkt herrschten im äußeren Fassadenzwischenraum sowohl im unteren Bereich als auch auf der Hälfte der Fassadenhöhe die gleichen Lufttemperaturen, was einen unmittelbaren Vergleich der jeweiligen Oberflächentemperaturen erlaubt. Im inneren Fassadenzwischenraum war die Lufttemperatur auf der Hälfte der Fassadenhöhe aufgrund der Temperaturschichtung geringfügig höher, was bei der Interpretation der Temperaturdifferenz von äußerer und innerer Lamellenoberfläche berücksichtigt werden muß.

Wie in Tabelle 12 dargestellt, wurde bei der ungedämmten Lamelle eine Temperaturdifferenz zwischen äußerer und innerer Oberfläche von 2 K gemessen.

Trotz des geringeren Lufttemperaturunterschieds zwischen dem äußeren und inneren Fassadenzwischenraum wurde bei der gedämmten Lamelle hingegen eine Temperaturdifferenz von 4,6 K festgestellt.

Ähnlich den Ergebnissen der Untersuchung der Holz-Lamellen wurde damit auch für die Holz-Alu-Lamellen das Maß der Wirksamkeit der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum nachgewiesen.

Wie in Tabelle 12 zu erkennen ist, fällt der Temperaturunterschied von äußerer und innerer Lamellenoberfläche bei der gedämmten Holz-Alu-Lamelle allerdings günstiger als bei der gedämmten Holz-Lamelle aus.

Dies ist auf die größere Querschnittshöhe bzw. Wärmedämmstoffdicke der Holz-Alu-Lamelle zurückzuführen.

**5. Meßreihe 5: 30.3.-13.4.99  
Zweite-Haut-Fassade mit  
Holz-Alu-Lamellen,  
Wechselmodus, Raumluft-  
temperatur +20°**

Während der Meßreihe 5 wurden die Lamellen nachts geschlossen gehalten und tagsüber zwischen 8.00 Uhr und 18.00 Uhr dem Sonnenstand entsprechend nachgeführt.

Die Auswertung dieser Meßreihe sollte vor allem Aussagen zu der Sonnenschutzwirkung der Holz-Lamellen ermöglichen.

**5.1 Solarstrahlung,  
Außenlufttemperatur**

In diesem Meßzeitraum variierte der mittlere Maximalwert der Globalstrahlung auf vertikale Flächen zwischen 130 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 714 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 13)

Der mittlere Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 232 W/m<sup>2</sup> und 816 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen.

Die Außenlufttemperatur schwankte in einem Bereich zwischen ca. +3°C und +20,1°C, also um 17 K. Bezogen auf den einzelnen Tagesverlauf war die Schwankungsbreite der Außenlufttemperatur deutlich geringer und betrug maximal 13 K.

**5.2 Temperaturverteilung im  
Fassadenzwischenraum**

Wärmeschutzwirkung

Die Differenz zwischen der Lufttemperatur im äußeren bzw. inneren Fassadenzwischenraum betrug nachts mit Außenlufttemperaturen von etwa +6°C bei geschlossenen Holz-Alu-Lamellen 3,6 K. Unter vergleichbaren Witterungsbedingungen war bei Meßreihe 3 mit Holz-Lamellen diese Temperaturdifferenz mit 3,7 K ähnlich groß, was auf vergleichbare Wärmeschutzleistungen der beiden Lamellentypen schließen läßt. (Tab. 14)

Der Vergleich der verschiedenen Luft- und Oberflächentemperaturen bei differierenden Strahlungsbedingungen (Tab. 15) zeigt, daß nachts die Außenlufttemperatur und die Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum jeweils gleich waren, während an einem sonnigen Tag die Luft im äußeren Fassadenzwischenraum um über 11 K gegenüber der Außenlufttemperatur von +17,4°C erwärmt wurde.

Die Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum lag dabei nachts mit geschlossenen Lamellen 5 K über der Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum, womit die bereits bei Meßreihe 4 (Holz-Alu-Lamellen) gemachten Aussagen zum guten Wärmedämmverhalten dieses Lamellentyps bestätigt werden.

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	130 W/m <sup>2</sup>	714 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	232 W/m <sup>2</sup>	816 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+3,6°C	+20,1°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+2,9°C	+32,8°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+3,7°C	+26,8°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+5,0°C	+44,3°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+6,5°C	+39,8°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+8,6°C	+30,8°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+9,5°C	+30,8°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+16,7°C	+26,7°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,3°C	+25,4°C

Tab. 13: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung, Oberflächen- und Lufttemperatur während Meßreihe 5: 30.3 - 13.4.1999

Position	2.3., 6.00 Uhr Holz-Lamellen	8.4., 6.00 Uhr Holz-Alu-Lam.
T <sub>L</sub> außen	+6,6°C	+6,3°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+6,3°C	+6,5°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+6,8°C	+6,5°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+7,8°C	+7,6°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+9,0°C	+8,6°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+10,5°C	+10,1°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+11,2°C	+10,8°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+17,0°C	+17,0°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,8°C	+20,0°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	13,2 K	13,7 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	3,7 K	3,6 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR innen	2,4 K	3,8 K
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen	1,2 K	1,0 K

Tab. 14: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum nachts, mit Holz-Lamellen (2.3.1999) und Holz-Alu-Lamellen (8.4.1999)

Position	1.4., 7.30 Uhr	1.4., 14.30 Uhr
G <sub>vertikal</sub>	-	697 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+5,2°C	+17,4°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+4,3°C	+28,8°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+5,2°C	+25,2°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+6,7°C	+41,6°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+8,0°C	+35,3°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+10,1°C	+23,7°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+10,8°C	+26,8°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+17,0°C	+22,9°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,9°C	+21,5°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	14,7 K	4,1 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	4,9 K	1,5 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR innen	4,9 K	6,3 K
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen	1,3 K	6,3 K

Tab. 15: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei geringem und hohem Strahlungsangebot (1. 4.1999, 7.30 Uhr und 14.30 Uhr)

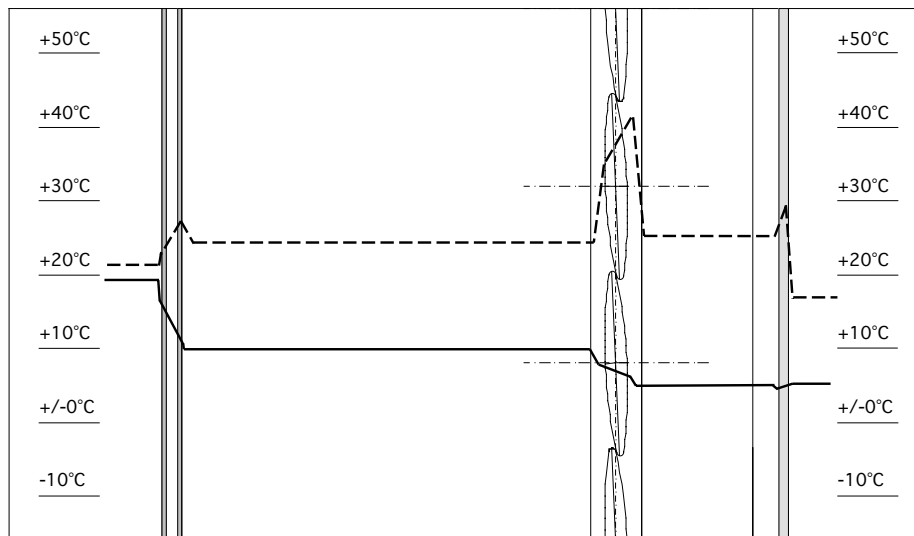


Fig. 7: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei geringem und hohem Strahlungsangebot (1. 4.1999, 7.30 Uhr und 14.30 Uhr)

— 1. April 1999, 7.30 Uhr  
 - - - - 1. April 1999, 14.30 Uhr

Position	Lam. ungedämmt	Lam. gedämmt
T <sub>o</sub> ESG innen	+29,4°C	
T <sub>L</sub> FZR außen Mitte	+26,2°C	
T <sub>L</sub> FZR außen unten		+23,2°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+44,2°C	
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+38,5°C	
T <sub>o</sub> Lamelle außen		+35,4°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen		+23,2°C
T <sub>L</sub> FZR innen Mitte	+23,9°C	
T <sub>L</sub> FZR innen unten		+21,6°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+28,3°C	
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+24,0°C	
T <sub>L</sub> Raum	+22,1°C	
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen	5,7 K	12,2 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	2,3 K	1,6 K

Tab. 16: Lamellenoberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Holz-Alu-Lamelle (1.4.1999, 15.00 Uhr, Außenlufttemperatur +17,8°C)

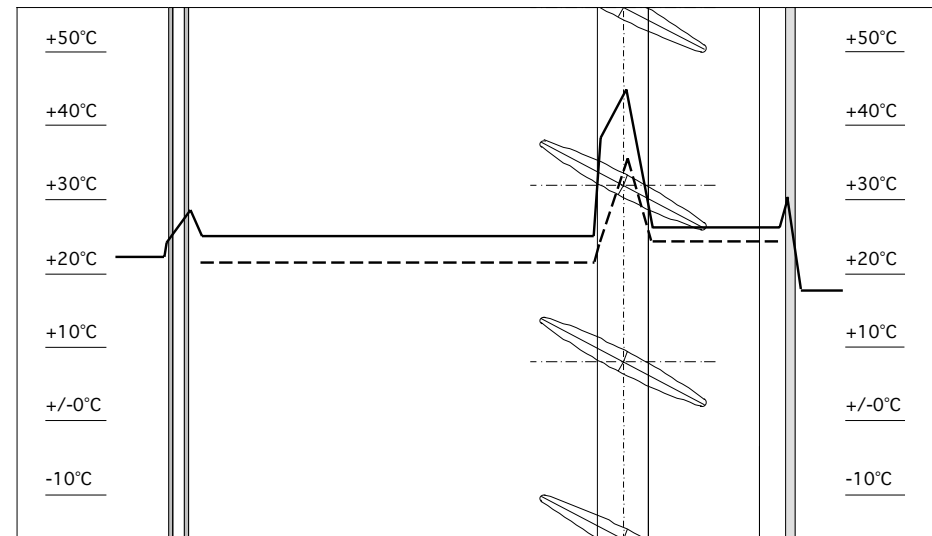


Fig. 8: Lamellenoberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Holz-Alu-Lamelle (1. 4.1999, 15.00 Uhr, Außenlufttemperatur 17,8°C)

— Lamelle ungedämmt  
 - - - - Lamelle gedämmt

In dem inneren Fassadenzwischenraum war bei geschlossenen Lamellen eine klare vertikale Temperaturschichtung festzustellen. So betrug die Temperatur im unteren Bereich bei geschlossenen Lamellen nahezu konstant 2 K weniger als die Temperatur im oberen Bereich, während der Unterschied im durchlüfteten Bereich zwischen Lamellenwand und ESG Verglasung nur etwa 0,5 K ausmachte. Dies weist auf eine relativ geringe Konvektion im inneren Fassadenzwischenraum und eine hohe Fugendichtigkeit der Lamellenwand hin.

Allerdings fand nach dem Öffnen der Lamellen um 8.00 Uhr morgens aufgrund der Durchlüftung sehr rasch ein Lufttemperaturausgleich zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum statt.

#### Sonnenschutzwirkung

Neben einem deutlichen Lufttemperaturunterschied zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum bei geschlossenen Lamellen nachts war während des Tages mit geöffneten Lamellen ebenfalls ein klarer Temperaturunterschied festzustellen.

Wie in Tab. 15, Fig. 7 zu erkennen ist, lag bei einer Außenlufttemperatur von +17°C und hoher Solarstrahlung die Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum bei +25°C, was bei normaler Fensterlüftung bereits zu einer unerwünschten Erwärmung der Zuluft führen würde.

Im inneren Fassadenzwischenraum lag die Lufttemperatur 2 K unter der Lufttemperatur des äußeren Fassadenzwischenraumes, was sich auf die Sonnenschutzwirkung der Holz-Alu-Lamellen zurückführen läßt.

Bemerkenswert ist, daß trotz hoher Lamellenoberflächentemperatur von nahezu +42°C an der Lamellenaußenseite die Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum lediglich 6,3 K über der Außenlufttemperatur lag. Dies ist als Beleg für die geringe Wärmeabgabe der Lamellen nach innen und die gute Wärmeabfuhr aufgrund der Durchlüftung des inneren Fassadenzwischenraumes zu werten.

#### 5.3 Temperaturverteilung im Rauminnen

An einem sonnigen Tag (1.4.99) wurde um 16.00 Uhr bei einer Außenlufttemperatur von +18,5°C eine Raumlufthtemperatur von +23,0°C und eine Oberflächentemperatur an der nördlichen Wandinnenseite von +21,6°C gemessen.

Bei Meßreihe 1 ohne Sonnenschutzlamellen lag am 24.1.99 um 16.00 Uhr bei einer Außenlufttemperatur von +9,7°C die Raumlufthtemperatur bei +39,3°C. Die Oberflächentemperatur der nördlichen inneren Wandoberfläche lag bei +41,3°C.

Bei Einsatz der Holz-Alu-Lamellen stieg die Raumlufthtemperatur um 5,5 K gegenüber der Außenlufttemperatur an. Ohne Sonnenschutzsystem (Meßreihe 1) hatte die Diffe-

renz bei geringerer Außenlufttemperatur über 16 K betragen. Es zeigt sich auch hier die gute Sonnenschutzwirkung der Holz-Alu-Lamellen.

#### 5.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Alu-Lamellen

Wie schon die vorhergehende Meßreihe 4 mit geschlossenen Holz-Alu-Lamellen zeigte, wärmten sich die ungedämmten Lamellen bei intensiver Sonneneinstrahlung sehr schnell auf. So wurde bei einer Außenlufttemperatur von ca. +18°C eine Oberflächentemperatur an der Außenseite der Lamelle von +44,2°C, an der Innenseite von +38,5°C gemessen, was einer Differenz gegenüber der Außenseite von 5,7 K entspricht. (Tab. 16, Fig. 8)

Die gedämmte Lamelle hingegen wies eine max. Oberflächentemperatur an der Außenseite von +35,4°C bzw. +23,2°C der Innenseite auf.

Die deutlich höhere Temperaturdifferenz von 12,2 K zwischen Außen- und Innenseite der gedämmten Lamelle liegt zum Teil an der besseren Durchlüftung und damit Auskühlung der Lamellenrückseite, da die gedämmte Holz-Alu-Lamelle unmittelbar am unteren Lüftungsspalt positioniert gewesen war.

Wie in Tab. 16 zu erkennen ist, hatte die jeweilige Temperaturdifferenz der Luft vor bzw. hinter der ungedämmten bzw. gedämmten Lamelle lediglich 2 -3 K betragen.

Somit ist die höhere Temperaturdifferenz von 12,2 K bei der gedämmten gegenüber 5,7 K bei der ungedämmten Lamelle auf den guten Wärmedurchgangswiderstand der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum zurückzuführen.

Dies stellt in Ergänzung zu den Ergebnissen der Meßreihe 4 mit geschlossener Lamellenwand einen weiteren Beleg für die Wirksamkeit der Wärmedämmung im Hohlraum der Holz-Alu-Lamellen dar.

**6. Meßreihen 6,7 und 8:  
14.-25.4.99, Zweite-Haut-  
Fassade mit Holz-Alu-  
Lamellen, permanent  
geöffnet (Meßreihen 6 und 8)  
sowie permanent  
geschlossen (Meßreihe 7),  
Raumlufthemperatur +20°C**

Die Meßreihen 6 bis 8 waren von jeweils kurzer Dauer, um hinsichtlich der Meßergebnisse von vergleichbaren Sonnenständen ausgehen zu können. Dies sollte es erlauben, die Auswirkung der Lamellenstellung auf das Innenraumklima unmittelbar ablesen zu können.

**6.1 Solarstrahlung,  
Außenlufttemperatur**

Der Maximalwert der Globalstrahlung auf vertikale Flächen variierte in dem angegebenen Meßzeitraum zwischen 105 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 709 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 17)

Der Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 206 W/m<sup>2</sup> und 1035 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen.

Während der Meßreihe 6,7 und 8 schwankte die Außenlufttemperatur in einem Bereich zwischen +0,7°C und +19,4°C, also um 18,7 K.

Bezogen auf den einzelnen Tagesverlauf fiel die Schwankungsbreite deutlich geringer aus und betrug maximal 14 K.

**6.2 Temperaturverteilung im  
Fassadenzwischenraum**

Bei einer relativ niedrigen Außenlufttemperatur von ca. +2°C wurde mit geschlossenen Lamellen nachts eine um 4,5 K höhere Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum gemessen als bei geöffneten Lamellen. (Tab. 18, Fig. 19)

Die gute Wärmedämmwirkung der Holz-Alu-Lamellen wird somit in Ergänzung zu den Beobachtungen der Meßreihen 4 und 5 bestätigt.

Während Zeiten mit hoher Solarstrahlung und Außenlufttemperaturen von ca. +10°C wurden an der Außenseite der Lamellen in geöffneter Stellung eine um 6 K Oberflächentemperatur gegenüber Lamellen in geschlossener Stellung gemessen. (Tab. 19, Fig. 10)

Die höhere Oberflächentemperatur der geöffneten Lamellen ist auf die senkrecht zur Sonne ausgerichtete Lamellenoberfläche und die damit verbundene höhere Einstrahlungsdichte zurückzuführen.

Außerdem läßt sich feststellen, daß die Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum mit geöffneten Lamellen um ca. 3 K über dem Wert bei geschlossenen Lamellen lag.

Dies lag einerseits an der Wärmeabgabe der Lamellen, andererseits war die Tiefe des äußeren Fassadenzwischenraumes mit geöffneten Lamellen etwas geringer als mit geschlossenen Lamellen.

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	105 W/m <sup>2</sup>	709 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	206 W/m <sup>2</sup>	1035 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+0,7°C	+19,4°C
T <sub>O</sub> ESG innen	+1,3°C	+30,4°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+1,4°C	+26,5°C
T <sub>O</sub> Lamelle außen	+1,9°C	+44,9°C
T <sub>O</sub> Lamelle innen	+1,9°C	+40,4°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+1,8°C	+24,4°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung außen	+3,8°C	+30,8°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung innen	+15,6°C	+27,3°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,7°C	+25,6°C

Tab. 17: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung, Oberflächen- und Lufttemperaturen, während Meßreihe 6,7 und 8: 14. - 25.4.1999

Mit geschlossenen Holz-Alu-Lamellen hatte der freie Lüftungsquerschnitt im äußeren Fassadenzwischenraum 19,5 cm, mit geöffneten Lamellen 9,5 cm betragen, was sich auf die Durchlüftung des äußeren Fassadenzwischenraumes ausgewirkt haben dürfte.

Im Hinblick auf die vertikale Temperaturschichtung im äußeren und inneren Fassadenzwischenraum wurden bei hoher Sonneneinstrahlung und mit geöffneten Lamellen Temperaturdifferenzen von 2,8 K in dem äußeren und 2,6 K in dem inneren Fassadenzwischenraum gemessen. (Tab. 19)

Der geringe Unterschied zwischen dem äußeren und dem inneren Fassadenzwischenraum läßt darauf schließen, daß beide Bereiche nahezu gleich stark durchlüftet wurden.

Mit geschlossenen Lamellen lag die vertikale Temperaturdifferenz in dem äußeren Fassadenzwischenraum bei 1,3 K, in dem inneren Fassadenzwischenraum bei 2,8 K.

Die weniger stark ausgeprägte Temperaturschichtung im äußeren Fassadenzwischenraum mit geschlossenen Lamellen läßt sich auf die höhere Oberflächentemperatur der geöffneten Lamellen zurückführen, da aufgrund des thermischen Auftriebs eine stärkere Durchlüftung der Fassade verursacht wurde.

Aus den sehr ähnlichen Werten für die vertikale Temperaturschichtung in dem äußeren und inneren Fassadenzwischenraum mit geöffneten Lamellen läßt sich schließen, daß beide Bereiche etwa gleich stark mit Außenluft durchströmt wurden.

Position	16.4., 1.00 Uhr Lamellen offen	20.4., 1.00 Uhr Lamellen geschl.
$T_L$ außen	+2,1°C	+2,8°C
$T_o$ ESG innen	+2,6°C	+2,7°C
$T_L$ FZR außen unten	+2,5°C	+2,9°C
$T_L$ FZR außen Mitte	+2,8°C	+3,1°C
$T_L$ FZR außen oben	+3,1°C	+3,4°C
$T_o$ Lamelle außen	+3,2°C	+4,4°C
$T_o$ Lamelle innen	+3,2°C	+5,7°C
$T_L$ FZR innen unten	+2,4°C	+6,7°C
$T_L$ FZR innen Mitte	+3,1°C	+7,6°C
$T_L$ FZR innen oben	+3,3°C	+9,1°C
$T_o$ Isolierverglasung außen	+5,1°C	+8,6°C
$T_o$ Isolierverglasung innen	+16,1°C	+16,7°C
$\Delta T_L$ vertikal FZR außen	0,6 K	0,5 K
$\Delta T_L$ vertikal FZR innen	0,9 K	2,4 K

Tab. 18: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum ohne Sonneneinstrahlung mit geöffneten (16.4.) bzw. geschlossenen Holz-Alu-Lamellen (20.4.)

Position	14.4., 13.00 Uhr Lamellen offen	20.4., 13.00 Uhr Lamellen geschl.
$G_{\text{vertikal}}$	594 W/m <sup>2</sup>	596 W/m <sup>2</sup>
$T_L$ außen	+10,8°C	+10,5°C
$T_o$ ESG innen	+20,5°C	+19,7°C
$T_L$ FZR außen unten	+15,6°C	+13,8°C
$T_L$ FZR außen Mitte	+17,6°C	+14,7°C
$T_L$ FZR außen oben	+18,4°C	+15,1°C
$T_o$ Lamelle außen	+34,3°C	+28,3°C
$T_o$ Lamelle innen	+28,5°C	+21,5°C
$T_L$ FZR innen unten	+13,6°C	+14,0°C
$T_L$ FZR innen Mitte	+15,9°C	+16,2°C
$T_L$ FZR innen oben	+16,2°C	+16,8°C
$T_o$ Isolierverglasung außen	+19,4°C	+16,0°C
$T_o$ Isolierverglasung innen	+20,0°C	+17,6°C
$\Delta T_L$ vertikal FZR außen	2,8 K	1,3 K
$\Delta T_L$ vertikal FZR innen	2,6 K	2,8 K

Tab. 19: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei hoher Strahlung mit geöffneten (14.4.) bzw. geschlossenen Wärmeschutzlamellen (20.4.)

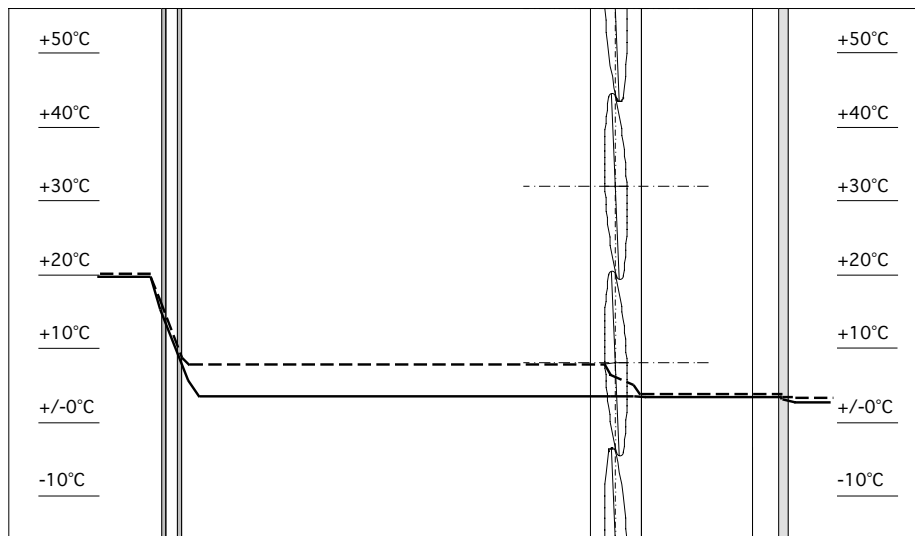


Fig. 9: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum nachts jeweils mit geöffneten (16.4.) bzw. geschlossenen Wärmeschutzlamellen (20.4.)

— Lamellen offen      - - - - - Lamellen geschlossen

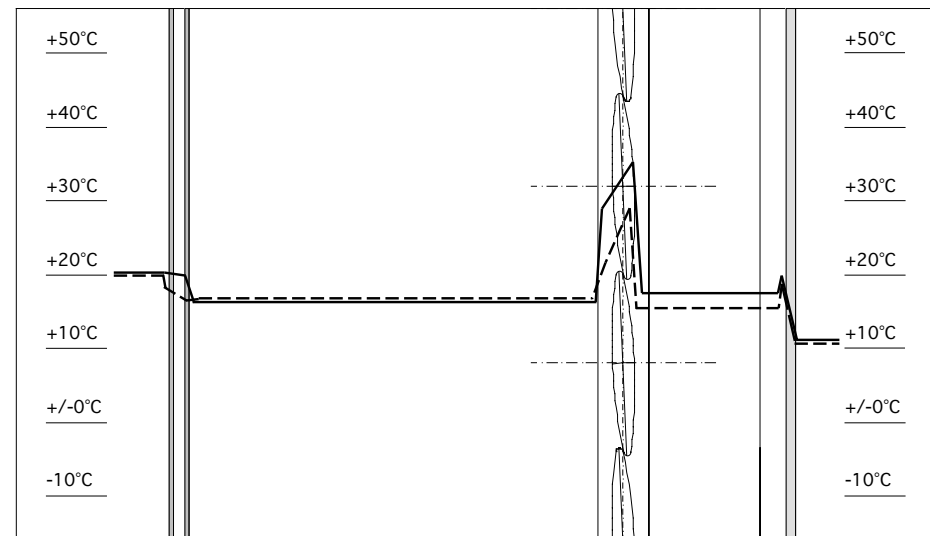


Fig. 10: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei hoher Strahlung jeweils mit geöffneten (14.4.) bzw. geschlossenen Lamellen (20.4.)

— Lamellen offen      - - - - - Lamellen geschlossen



Position	Lam. ungedämmt	Lam. gedämmt
T <sub>o</sub> ESG innen	+26,5°C	
T <sub>L</sub> FZR außen Mitte	+22,9°C	
T <sub>L</sub> FZR außen unten		+19,5°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+43,6°C	
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+37,9°C	
T <sub>o</sub> Lamelle außen		+38,8°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen		+20,6°C
T <sub>L</sub> FZR innen Mitte	+20,7°C	
T <sub>L</sub> FZR innen unten		+17,3°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+25,7°C	
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+22,7°C	
T <sub>L</sub> Raum	+20,7°C	
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen	5,7 K	18,2 K

Tab. 20: Lamellenoberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Alu-Holz-Lamelle unter hoher Sonneneinstrahlung (14. 4.1999, 15.00 Uhr, Außenlufttemperatur +14°C)

Position	Lam. ungedämmt	Lam. gedämmt
T <sub>o</sub> ESG innen	+2,7°C	
T <sub>L</sub> FZR außen Mitte	+3,1°C	
T <sub>L</sub> FZR außen unten		+2,9°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+4,4°C	
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+5,7°C	
T <sub>o</sub> Lamelle außen		+3,1°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen		+6,5°C
T <sub>L</sub> FZR innen Mitte	+7,6°C	
T <sub>L</sub> FZR innen unten		+6,7°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+8,6°C	
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+16,7°C	
T <sub>L</sub> Raum	+20,0°C	
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen	1,3 K	3,4 K

Tab. 21: Lamellenoberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Alu-Holz-Lamelle ohne Sonneneinstrahlung (20. 4.1999, 1.00 Uhr, Außenlufttemperatur +2,8°C)

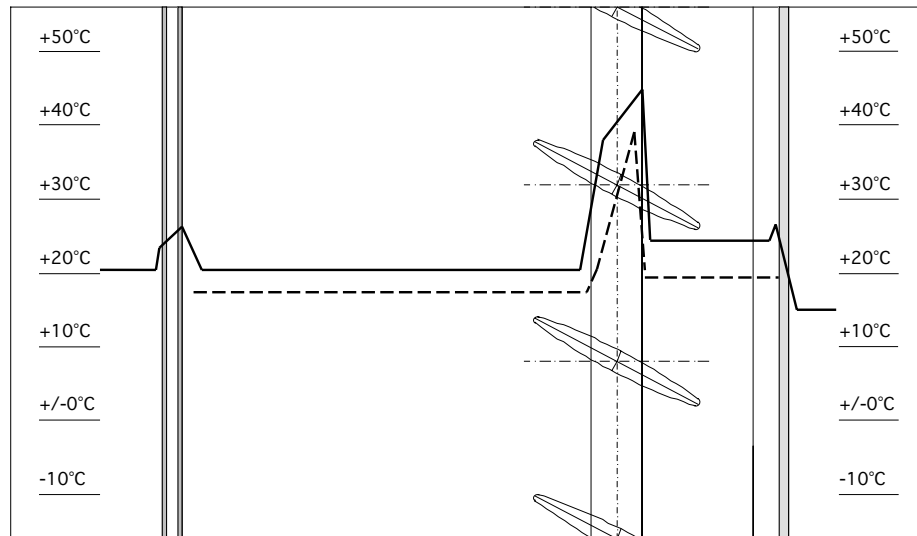


Fig. 11: Lamellenoberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Holzlamelle (14. 4.1999, 15.00 Uhr, Außenlufttemperatur +14°C)

— Lamelle ungedämmt    - - - - - Lamelle gedämmt

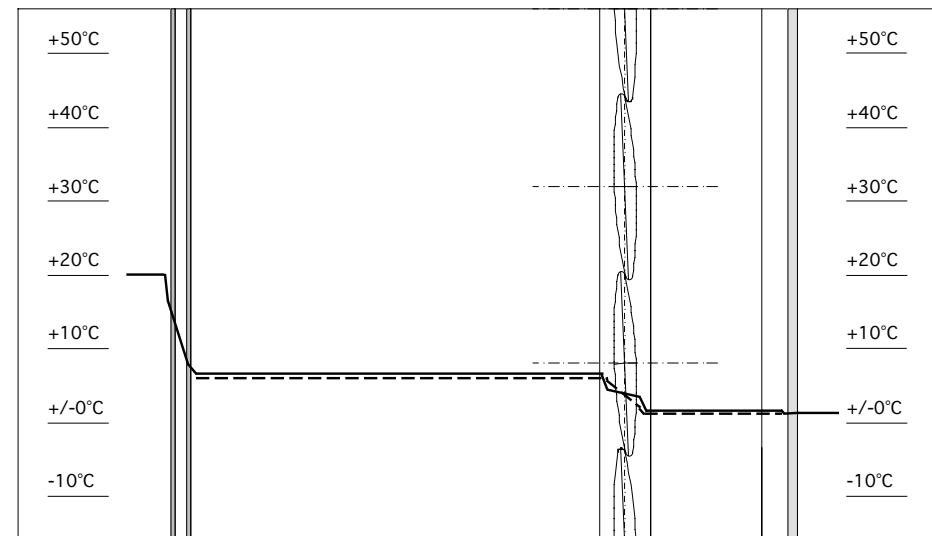


Fig. 12: Lamellenoberflächentemperatur von ungedämmter bzw. gedämmter Holzlamelle (20. 4.1999, 1.00 Uhr, Außenlufttemperatur +2,8°C)

— Lamelle ungedämmt    - - - - - Lamelle gedämmt

Während der Nachtstunden hatte bei Außenlufttemperaturen von ca. +10°C der Temperaturunterschied zwischen unterer und oberer Meßsonde mit geöffneten Lamellen im äußeren Fassadenzwischenraum 0,6 K, im inneren Fassadenzwischenraum 0,9 K betragen. (Tab. 18, Fig. 15)

Mit geschlossenen Lamellen betrug dieser Wert im äußeren Fassadenzwischenraum 0,5 K, im inneren Fassadenzwischenraum 2,4 K.

Das deutlich stärkere vertikale Temperaturgefälle im inneren Fassadenzwischenraum läßt auf eine relativ hohe Luftdichtigkeit der Lamellenwand und eine geringe Konvektion innerhalb des inneren Fassadenzwischenraumes schließen.

### **6.3 Temperaturverteilung im Rauminnen**

Eine hohe Solarstrahlung bewirkte eine Erwärmung der äußeren Lamellenoberfläche auf bis zu +45°C. Dennoch kam es im Innenraum lediglich zu einer Erwärmung der Raumlufttemperatur auf maximal +25,6°C. Diese Erwärmung der Raumlufttemperatur hatte bei der Zweite-Haut-Fassade ohne Sonnenschutzsystem (Meßreihe 1), bei vergleichbarer Solarstrahlung und wesentlich niedrigeren Außenlufttemperaturen +39,3°C betragen.

Die geringe Erwärmung der Raumlufttemperatur unter Einsatz der Holz-Alu-Lamellen ist auf deren gute Sonnenschutzwirkung zurückzuführen.

### **6.4 Oberflächentemperaturen der Holz-Alu-Lamellen**

Mit geöffneten Lamellen erfolgte bei intensiver Sonneneinstrahlung eine Erwärmung der äußeren Lamellenoberfläche auf maximal +43,6°C; die Temperatur der Innenseite lag um 5,7 K tiefer. (Tab. 20, Fig. 11)

Zu demselben Zeitpunkt lag die äußere Oberflächentemperatur der gedämmten Lamelle bei +38,8°C, die Innenseite um 18,2 K tiefer. Dieser deutliche Unterschied in der Temperaturdifferenz läßt sich weitgehend auf die Wirkung der Wärmedämmung zurückführen.

In der Nacht hatte die Temperaturdifferenz von Lamellenaußen- zu -innenseite für die ungedämmte Lamelle 1,3 K, die gedämmte Lamelle 3,4 K betragen. (Tab. 21, Fig. 12)

Dieser Unterschied ist ebenfalls auf die Wirkung der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum zurückzuführen

**7. Meßreihe 9: 29.4. - 6.5.99**  
**Zweite-Haut-Fassade mit**  
**Alu-Lamellen geöffnet,**  
**Raumlufttemperatur +30°C**

Während der Meßreihen 1 - 8 von Januar bis April bewegten sich die durchschnittlichen Außenlufttemperaturen in einem Bereich zwischen -10°C und +10°C. Während der vorliegenden Meßreihe wurden Außenlufttemperaturen zwischen ca. +9°C und +25°C gemessen.

Um trotz dieser jahreszeitenbedingten Zunahme der durchschnittlichen Außenlufttemperatur vergleichbare Aussagen zur Wärmeschutzfunktion der Alu-Lamellen zu erhalten, wurde die Raumlufttemperatur während Meßreihe 9 und 10 auf +30°C gehalten.

Die Meßreihe 9 wurde mit permanent geöffneten Lamellen durchgeführt, und diente primär der Ermittlung der Sonnenschutzigenschaften der Lamellen.

**7.1 Solarstrahlung,**  
**Außenlufttemperatur**

In dem angegebenen Meßzeitraum variierte der Maximalwert für die Globalstrahlung auf vertikale Flächen zwischen 55 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 634 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 22)

Die maximale Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 109 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 939 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen.

Die Außenlufttemperatur schwankte in einem Bereich zwischen +8,7°C und +24,5°C, also um etwa 15 K. Bezogen auf den einzelnen Tagesverlauf der Außenlufttemperatur war die Schwankungsbreite deutlich geringer. Diese betrug maximal 12 K.

**7.2 Temperaturverteilung im**  
**Fassadenzwischenraum**

Ein unmittelbarer Vergleich der thermischen Eigenschaften der Alu-Lamellen mit denen der Holz- bzw. Holz-Alu-Lamellen war aufgrund des sich im Jahresverlauf ändernden Sonnenstandes relativ problematisch.

Im März war die Lamellenoberfläche zum Erreichen von Vollverschattung jeweils senkrecht zum projizierten Höhenwinkel der Sonne ausgerichtet gewesen, während im Mai die Lamellen horizontal standen, und unter einem anderen Winkel als im März von der Sonne bestrahlt wurden.

Dennoch wurde versucht, anhand der Temperaturverteilung innerhalb der Zweite-Haut-Fassade bei vergleichbarer Strahlungsintensität und Temperaturdifferenz zwischen Außen- und Raumluft die Sonnenschutzwirkung der Alu- und Holz-Lamellen miteinander zu vergleichen. (Tab. 23)

Hierbei zeigte sich, daß bei beiden Alternativen die äußere Lamellenoberfläche jeweils gleich stark gegenüber der Außenlufttemperatur erwärmt wurden.

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	55 W/m <sup>2</sup>	634 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	130 W/m <sup>2</sup>	939 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+8,7°C	+24,5°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+9,7°C	+35,5°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+10,0°C	+32,1°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+10,5°C	+47,7°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+10,5°C	+43,5°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+10,4°C	+30,3°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+12,9°C	+36,7°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+25,7°C	+34,7°C
T <sub>L</sub> Raum	+29,6°C	+33,5°C

Tab. 22: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung, Oberflächen- und Lufttemperatur, während Meßreihe 9: 29. April - 6. Mai 1999

Position	3.3., 13.00 Uhr Holz-Lamellen	2.5., 15.30 Uhr Alu-Lamellen
G <sub>vertikal</sub>	625 W/m <sup>2</sup>	625 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+13,9°C	+22,3°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+25,2°C	+34,1°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+21,6°C	+29,5°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+38,4°C	+46,6°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+34,7°C	+42,1°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+19,9°C	+27,9°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+27,3°C	+34,8°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+25,5°C	+33,5°C
T <sub>L</sub> Raum	+22,7°C	+31,8°C
Δ T <sub>L</sub> Raum ist / Raum soll	2,7 K	1,8 K
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum (Sollwert)	6,1 K	7,7 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR innen	6,0 K	5,6 K
Δ T <sub>L</sub> FZR innen / T <sub>o</sub> Iso.vergl. außen	7,4 K	6,9 K
Δ T <sub>o</sub> Iso.vergl. außen / Iso.vergl. innen	1,8 K	1,7 K

Tab. 23: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei hohem Strahlungsangebot, mit Holz-Lamellen (3.3.1999) bzw. Alu-Lamellen (2.5.1999)

Dies trifft auch auf die Lufttemperatur des inneren Fassadenzwischenraumes zu, der unter Einsatz der Holz-Lamelle auf 6,0 K bzw. der Alu-Lamelle auf 5,6 K gegenüber der Außenlufttemperatur erwärmt wurde.

Die Temperaturdifferenz zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum war bei beiden Lamellen mit 1,6 K bzw. 1,7 K nahezu identisch.

Dies läßt einerseits auf vergleichbare Werte im Hinblick auf die Strahlungsabsorption schließen. Andererseits ist kein unmittelbarer Einfluß der geringfügig abweichenden Lamellengeometrie aufgrund der höheren und stärker gekrümmten Alu-Lamelle festzustellen.

Aufgrund der Meßergebnisse ist davon auszugehen, daß beide Lamellensysteme in etwa gleiche Sonnenschutzzeigenschaften besitzen.

## 8. Meßreihe 10: 7.-16.5.99 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen, permanent geschlossen, Raumlufttemperatur +30°C

Die Meßreihe 10 wurde mit permanent geschlossenen Lamellen durchgeführt und diente primär der Ermittlung der Wärmeschutzzeigenschaften der Lamellen.

### 8.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur

In diesem Meßzeitraum variierte der Maximalwert für die Globalstrahlung auf vertikale Flächen zwischen 101 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 591 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 24)

Der Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 195 W/m<sup>2</sup> und 953 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen.

Die Außenlufttemperatur schwankte zwischen ca. +7°C und ca. +24°C, also um 17 K. Bezogen auf den Tagesverlauf der Außenlufttemperatur war die Schwankungsbreite etwas geringer und betrug maximal 14 K.

### 8.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum

Nachts lag bei einer Temperaturdifferenz von 22 K zwischen Außen- und Raumluft die Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum um etwa 5,9 K über der Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum.

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	101 W/m <sup>2</sup>	591 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	195 W/m <sup>2</sup>	953 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+7,4°C	+24,2°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+7,9°C	+33,7°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+7,8°C	+28,2°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+10,3°C	+44,5°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+11,4°C	+40,3°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+13,7°C	+32,7°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+15,1°C	+33,5°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+26,1°C	+33,0°C
T <sub>L</sub> Raum	+29,6°C	+32,0°C

Tab. 24: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung, Oberflächen- und Lufttemperatur während Meßreihe 10: 7.-16.5.1999

	Holz-Lamelle	Holz-Alu-Lamelle	Alu-Lamelle
T <sub>L</sub> außen	-2,6°C	-2,6°C	+7,5°C
T <sub>o</sub> ESG innen	-3,2°C	-3,2°C	+8,0°C
T <sub>L</sub> FZR außen	-2,6°C	-2,6°C	+7,9°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	-0,3°C	-0,8°C	+10,3°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+1,7°C	+1,2°C	+11,5°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+4,2°C	+3,8°C	+13,8°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+5,6°C	+5,3°C	+15,2°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+15,9°C	+16,0°C	+26,2°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,8°C	+19,9°C	+30,2°C
T <sub>o</sub> Wand Nord innen	+17,2°C	+17,4°C	+27,4°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	22,4 K	22,5 K	22,7 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	6,8 K	6,4 K	5,9 K
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen	2,0 K	2,0 K	1,2 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR innen	6,8 K	6,4 K	6,3 K
Δ T <sub>L</sub> FZR innen / T <sub>o</sub> Iso.vergl. außen	1,4 K	1,5 K	1,4 K
Δ T <sub>o</sub> Iso.vergl. außen / Iso.vergl. innen	10,3 K	10,7 K	11,0 K
Δ T <sub>o</sub> Iso.vergl. innen / T <sub>L</sub> Raum	3,9 K	3,9 K	4,0 K

Tab. 25: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum nachts, jeweils mit geschlossenen Holz-Lamellen (18.2.1999, 7.00 Uhr), Holz-Alu-Lamellen (18.3.1999) bzw. Alu-Lamellen (16.5.1999, 6.00 Uhr)

Diese Temperaturdifferenz hatte unter Einsatz der Holz- bzw. Holz-Alu-Lamellen bei vergleichbaren Versuchsbedingungen 6,8 K bzw. 6,4 K betragen. (Tab. 25)

In allen drei Fällen ist die deutlich höhere Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum auf die Wärmeschutzwirkung der geschlossenen Lamellen zurückzuführen, was einer k-Wert-Verbesserung des gesamten Fassadensystems entspricht.

Beachtenswert ist allerdings, daß bei gleichen Versuchsbedingungen der Wärmedurchgangswiderstand der Holz-Lamelle am höchsten ist, da hier die Differenz der Lufttemperatur zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum am größten war. (Tab. 25)

Wie erwähnt, betrug die Höhe der Holz-Lamellen 30 mm, während die beiden Lamellenvarianten mit Aluminiumunterkonstruktion 55 mm hoch waren, was einen höheren Wärmedurchgangswiderstand aufgrund des höheren Luftpolsters im Lamellenhohlraum erwarten ließ.

Diese Erwartung wurde jedoch durch die gemessenen, etwa gleich großen Temperaturdifferenzen der angrenzenden Luftschichten bei Verwendung der Holz- bzw. Holz-Alu-Lamelle nicht bestätigt. Die Wärmebrücke aus Aluminium im Randbereich der Holz-Alu-Lamelle wirkte sich offensichtlich negativ auf den Wärmedurchgangswiderstand des gesamten Lamellensystems

aus; die erwartete Wärmeschutzverbesserung aufgrund des höheren Luftpolsters im Lamellenhohlraum wurde durch die erhöhten Wärmeverluste im Randbereich ausgeglichen.

Hierbei könnte in einem künftigen Arbeitsschritt näher untersucht werden, inwiefern mit einer Konvektion der Luft innerhalb der Holz-Alu- bzw. Alu-Lamelle aufgrund der größeren Lamellenhöhe zu rechnen ist.

### 8.3 Oberflächentemperaturen der Alu-Lamellen

Während die Temperaturdifferenzen zwischen Außen- und Innenseite für die ungedämmten Holz- und Holz-Alu-Lamelle nahezu gleich groß waren, fiel dieser Wert bei der Alu-Lamelle deutlich geringer aus. (Tab. 26)

Dies liegt an der hohen Wärmeleitfähigkeit von Aluminium im Vergleich zu Holz und den damit verbundenen Wärmeverlusten.

Deutlicher als bei den ungedämmten Lamellen fielen die Temperaturunterschiede von äußerer und innerer Lamellenoberfläche für die gedämmte Lamelle aus.

Es zeigte sich, daß durch den Einsatz von Wärmedämmmaterial im Lamellenhohlraum eine Verbesserung des Wärmedurchgangswiderstands bei allen drei Alternativen erreicht wird. Allerdings war diese Wirkung bei der Alu-Lamelle nur minimal, während bei der Holz-Alu-Lamelle die größte Verringerung des Wär-

	Holz-Lamelle	Holz-Alu-Lam.	Alu-Lamelle
$T_L$ FZR außen Mitte	-2,6°C	-2,6°C	+7,9°C
$T_o$ Lamelle ungedämmt außen	-0,3°C	-0,8°C	+10,3°C
$T_o$ Lamelle ungedämmt innen	+1,7°C	+1,2°C	+11,5°C
$T_L$ FZR innen Mitte	+4,2°C	+3,8°C	+13,8°C
$T_L$ FZR außen unten	-2,7°C	-2,6°C	+7,7°C
$T_o$ Lamelle gedämmt außen	-2,0°C	-2,5°C	+9,0°C
$T_o$ Lamelle gedämmt innen	+1,1°C	+2,1°C	+10,7°C
$T_L$ FZR innen unten	+2,4°C	+2,2°C	+12,2°C
$\Delta T_L$ FZR außen / FZR innen Mitte	6,8 K	6,4 K	5,9 K
$\Delta T_L$ FZR außen / FZR innen unten	5,1 K	4,8 K	4,5 K
$\Delta T_o$ Lamelle außen / innen ungedämmt	2,0 K	2,0 K	1,2 K
$\Delta T_o$ Lamelle außen / innen gedämmt	3,1 K	4,6 K	1,7 K

Tab. 26: Oberflächentemperaturen von ungedämmter und gedämmter Lamelle bei vergleichbaren Temperaturdifferenzen von Raumluft zu Außenluft, jeweils mit geschlossenen Lamellen: Holz-Lamellen (18.2.1999, 7.00 Uhr), Holz-Alu-Lamellen (18.3.1999) bzw. Alu-Lamellen (16.5.1999, 6.00 Uhr)

medurchgangs erreicht wurde. (Tab. 26)

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß die Wärmeschutzeigenschaften der drei Lamellensysteme vergleichbar gut sind, wenn auch die Holz-Lamelle im Vergleich eine höhere Effizienz hinsichtlich den Wärmeschutzeigenschaften in Relation zur Lamellenhöhe besitzt.

Das relativ gute Abschneiden der Alu-Lamellen hinsichtlich der vergleichbaren Lufttemperaturdifferenz zwischen dem inneren und dem äußeren Fassadenzwischenraum in Relation zu den Holz- bzw. Holz-Alu-Lamellen ist weniger auf den

guten Wärmedurchgangswiderstand als auf die Wärmeschutz- und Pufferwirkung des inneren, gut abgeschlossenen Fassadenzwischenraumes zwischen Lamellen und Isolierverglasung zurückzuführen.

**9. Meßreihe 11: 18. - 31.5.99  
Zweite-Haut-Fassade mit  
Alu-Lamellen, Wechselmodus,  
Raumlufthtemperatur +20°C**

Die Auswertung dieser Meßreihe sollte neben Hinweisen zur Wärmeschutzwirkung vor allem Aussagen zu der Sonnenschutzwirkung der Alu-Lamellen erlauben.

Während der Meßreihe 11 wurden die Lamellen während der Nachtstunden geschlossen gehalten und am Tag zwischen 8.00 Uhr und 18.00 Uhr dem Sonnenstand nachgeführt. Aufgrund des steilen Höhenwinkels der Sonne während der Sommermonate wurde bei horizontal ausgerichteten Lamellen eine Vollverschattung der inneren Verglasung erreicht.

**9.1 Solarstrahlung,  
Außenlufttemperatur**

In diesem Meßzeitraum variierte der mittlere Maximalwert der Globalstrahlung auf vertikale Flächen zwischen 21 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 555 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 27)

Der mittlere Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 41 W/m<sup>2</sup> und 1092 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen.

Die Außenlufttemperatur schwankte in einem Bereich zwischen +8,4°C und +31,0°C, also um 22,6 K. Bezogen auf den einzelnen Tagesverlauf der Außenlufttemperatur war die Schwankungsbreite deutlich geringer und betrug maximal 17,6 K.

**9.2 Temperaturverteilung im  
Fassadenzwischenraum**

**Wärmeschutzwirkung**

Die Differenz zwischen der Lufttemperatur in dem äußeren und dem inneren Fassadenzwischenraum hatte nachts bei Außenlufttemperaturen von etwa +8°C mit geschlossenen Alu-Lamellen ca. 4 K betragen.

Unter vergleichbaren Außenbedingungen war diese Temperaturdifferenz unter Einsatz der Holz- bzw. der Alu-Lamellen vergleichbar groß, was auf sehr ähnliche Wärmeschutzeigenschaften der drei Lamellensysteme schließen läßt. Die Ergebnisse vorhergehender Messungen werden hiermit bestätigt. (Tab. 28)

Bemerkenswert ist der geringe Temperaturunterschied von äußerer zu innerer Oberfläche der Alu-Lamelle von lediglich 0,8 K. Dieser Wert betrug für die Holz-Lamelle 1,2 K, für die Holz-Alu-Lamelle 1,0 K. Dies bedeutet, daß der Wärmedurchgangswiderstand der Alu-Lamelle in der beschriebenen Versuchsanordnung am geringsten anzusetzen ist.

Trotz dieser abweichenden Temperaturdifferenzen der Lamellenoberflächen der drei Alternativen, waren bei dieser Meßreihe unter vergleichbaren Außenbedingungen die jeweiligen Differenzen der Lufttemperatur zwischen dem äußeren und dem inneren Fassadenzwischenraum nahezu gleich. (Tab. 28)

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	21 W/m <sup>2</sup>	555 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	41 W/m <sup>2</sup>	1092 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+8,4°C	+31,0°C
T <sub>O</sub> ESG innen	+8,1°C	+41,0°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+8,6°C	+36,2°C
T <sub>O</sub> Lamelle außen	+10,1°C	+49,3°C
T <sub>O</sub> Lamelle innen	+10,9°C	+45,3°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+11,1°C	+38,6°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung außen	+11,9°C	+39,8°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung innen	+17,0°C	+34,5°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,2°C	+34,3°C

Tab. 27: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung, Oberflächen- und Lufttemperatur während Meßreihe 11: 18. - 31.5.1999

Position	Holz-Lamelle	Holz-Alu-Lamelle	Alu-Lamelle
T <sub>L</sub> außen	+6,6°C	+6,3°C	+8,5°C
T <sub>O</sub> ESG innen	+6,3°C	+6,5°C	+8,2°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+6,8°C	+6,5°C	+8,6°C
T <sub>O</sub> Lamelle außen	+7,8°C	+7,6°C	+10,1°C
T <sub>O</sub> Lamelle innen	+9,0°C	+8,6°C	+10,9°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+10,5°C	+10,1°C	+12,5°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung außen	+11,2°C	+10,8°C	+13,2°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung innen	+17,0°C	+17,0°C	+19,2°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,8°C	+20,0°C	+21,7°C
T <sub>O</sub> Wand Nord innen	+18,0°C	+18,0°C	+20,7°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	13,2 K	13,7 K	13,2 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	3,7 K	3,6 K	3,9 K
Δ T <sub>O</sub> Lamelle außen / innen	1,2 K	1,0 K	0,8 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR innen	3,9 K	3,8 K	4,0 K
Δ T <sub>L</sub> FZR innen / T <sub>O</sub> Iso.vergl. außen	0,7 K	0,7 K	0,7 K
Δ T <sub>O</sub> Iso.vergl. außen / Iso.vergl. innen	5,8 K	6,2 K	6,0 K
Δ T <sub>O</sub> Iso.vergl. innen / T <sub>L</sub> Raum	2,8 K	3,0 K	2,5 K

Tab. 28: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum nachts, jeweils für geschlossene Holz-Lamellen (2.3.1999, 6.00 Uhr), Holz-Alu-Lamellen (8.4.1999, 6.00 Uhr) und Alu-Lamellen (19.5.1999, 6.00 Uhr)

Dies läßt darauf schließen, daß geringe Unterschiede im Wärmedurchgangswiderstand der drei Lamellensysteme bei Außenlufttemperaturen im Bereich zwischen ca. +6°C und +8°C eine untergeordnete Bedeutung haben.

Der Vergleich der verschiedenen Luft- und Oberflächentemperaturen unter verschiedenen Strahlungsbedingungen (Tab. 29, Fig. 13) zeigt, daß nachts die Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum und die Außenlufttemperatur gleich waren, während an einem sonnigen Tag die Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum 3,8 K über der Außenlufttemperatur von +30,7°C lag.

Die Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum lag nachts mit geschlossenen Lamellen 3,9 K über der Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum, was auf den Wärmedurchgangswiderstand der geschlossenen Lamellen und der inneren Luftschicht zurückzuführen ist.

Wie Tabelle 28 zu entnehmen ist, zeigen unter vergleichbaren Bedingungen alle drei Lamellenvarianten ähnliche Wärmeschutzigenschaften.

Die vertikale Temperaturschichtung im inneren Fassadenzwischenraum lag bei 1,7 K Temperaturdifferenz, während dieser Wert im äußeren Fassadenzwischenraum nur etwa 0,3 K betragen hatte. Dies spricht für eine relativ geringe Konvektion

im inneren Fassadenzwischenraum und eine relativ hohe Fugendichtigkeit der Lamellenwand.

#### Sonnenschutzwirkung

Wie in Tab. 29, Fig. 13 zu erkennen ist, lag bei einer Außenlufttemperatur von ca. +31°C und hoher Solarstrahlung die Raumlufttemperatur lediglich 2,1 K darüber, was für die gute Sonnenschutzwirkung des Alu-Lamellensystems spricht.

Allerdings lagen die Lufttemperaturen im äußeren und inneren Fassadenzwischenraum bei +34,5°C (außen) bzw. +38,3°C (innen), was auf die Wärmeabgabe der Lamellen und der Glasoberflächen zurückzuführen ist. (Tab. 29)

Im Hinblick auf die Durchlüftung der beiden Fassadenzwischenräume ist die vertikale Lufttemperaturschichtung in den Fassadenzwischenräumen besonders zu beachten. Diese Temperaturdifferenz von unterem zu oberem Bereich hatte im äußeren Fassadenzwischenraum 2,5 K, im inneren Fassadenzwischenraum 0,1 K betragen. (Tab. 30)

Unter vergleichbarer Sonneneinstrahlung und deutlich geringeren Außenlufttemperaturen von ca. +15°C, hatte sich eine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Fassadenzwischenräumen von ca. 4 K eingestellt.

Position	19.5., 6.00 Uhr	30.5., 16.00 Uhr
G <sub>vertikal</sub>	-	512 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+8,5°C	+30,7°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+8,2°C	+40,7°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+8,6°C	+34,5°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+10,1°C	+48,6°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+10,9°C	+44,8°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+12,5°C	+38,3°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+13,2°C	+39,6°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+19,2°C	+33,4°C
T <sub>L</sub> Raum	+21,7°C	+32,8°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	13,2 K	2,1 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	3,9 K	3,8 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR außen	0,1 K	3,8 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR innen	4,0 K	7,6 K

Tab. 29: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei geringem (22.5.1999, 6.00 Uhr, Lamellen geschlossen) und hohem Strahlungsangebot (30.5.1999, 16.00 Uhr, Lamellen geöffnet)

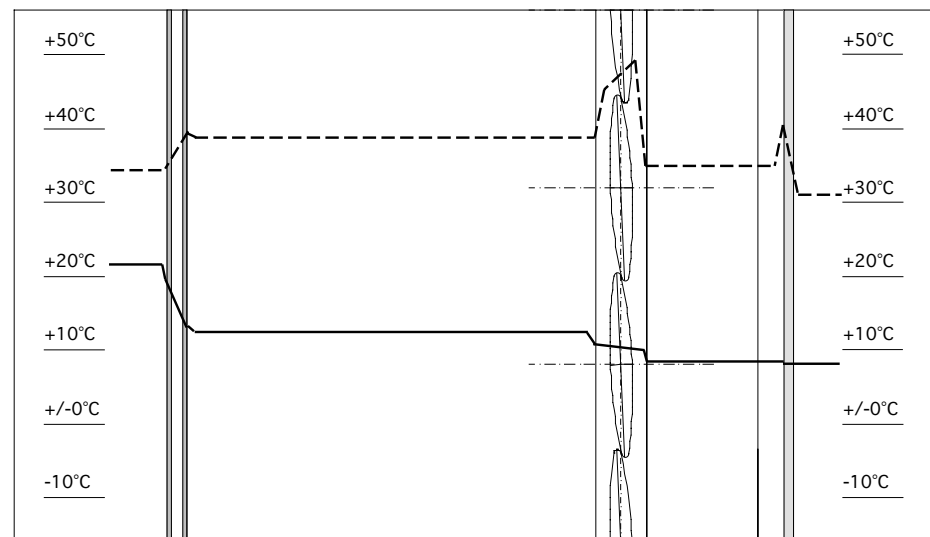


Fig. 13: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei geringem (22.5.1999, 6.00 Uhr) und hohem Strahlungsangebot (30.5.1999, 16.00 Uhr)

— 22. Mai 1999, 6.00 Uhr, Lamellen geschlossen  
 - - - - 30.5.1999, 16.00 Uhr, Lamellen geöffnet

Bei geöffneten Lamellen stellt der Unterschied zwischen der Lufttemperatur in dem Fassadenzwischenraum und der Außenluft aufgrund des thermischen Auftriebs die treibende Kraft für die Durchlüftung der Fassade dar. Während Zeiten mit hohen Außenlufttemperaturen von über +30°C und ähnlichen Temperaturen im Fassadenzwischenraum muß daher aufgrund des sehr geringen Temperaturunterschiedes mit einer relativ geringen Durchlüftung der Fassade und Wärmeabfuhr gerechnet werden. (Tab. 30)

### 9.3 Temperaturverteilung im Rauminnen

Wie bereits erwähnt, kam es bei hohen Außenlufttemperaturen von bis zu +31°C und hoher Solarstrahlung zu einer intensiven Erwärmung der verschiedenen Fassadenschichten und zu max. Raumlufttemperaturen von bis zu +34°C. Dies würde unter normalen Bedingungen eine extreme Einschränkung des Komforts im Rauminnen darstellen.

Während dieser Zeit lagen nachts die Außenlufttemperaturen mit ca. +17°C jedoch deutlich darunter, was unter anderen Versuchsbedingungen mit nachts geöffneten Lamellen zu einer Auskühlung des inneren Fassadenzwischenraumes geführt hätte.

### 10. Meßreihe 12: 1.-10.6. 1999 Zweite-Haut-Fassade mit Alu-Lamellen, permanent geöffnet, Raumlufttemperatur +20°C

Diese Meßreihe diente der Ermittlung der thermischen Eigenschaften der Lamellen unter sommerlichen Witterungsbedingungen. Wegen des steilen Höhenwinkels der Sonne wurden die Lamellen im gesamten Meßzeitraum in horizontaler Stellung gehalten.

#### 10.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur

Der Maximalwert der Globalstrahlung auf vertikale Flächen variierte in dem angegebenen Meßzeitraum zwischen 168 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 527 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 31)

Der Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 286 W/m<sup>2</sup> und 1225 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen.

Bemerkenswert ist hierbei der sehr hohe Wert für die maximale Globalstrahlung auf horizontale Flächen, der normalerweise bei ca. 1000 W/m<sup>2</sup> liegt. Der überhöhte Wert dürfte auf eine Strahlungsreflexion aus der Umgebung zurückzuführen sein, die nur temporär in Abhängigkeit vom Sonnenstand auftrat.

Die Außenlufttemperatur schwankte in einem Bereich zwischen +9,1°C und +26,5°C, also um 17 K.

Position	außen	innen	ΔT
T <sub>L</sub> FZR oben	+36,0°C	+37,6°C	1,6 K
T <sub>L</sub> FZR Mitte	+34,5°C	+38,3°C	3,8 K
T <sub>L</sub> FZR unten	+33,5°C	+37,5°C	4,0 K
T <sub>O</sub> Lamelle ungedämmt	+48,6°C	+44,8°C	3,8 K
T <sub>O</sub> Lamelle gedämmt	+44,3°C	+41,7°C	2,6 K
Δ T <sub>L</sub> FZR unten/oben	2,5 K	0,1 K	

Tab. 30: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei hoher Solarstrahlung (30.5.1999, 16.00 Uhr), Außenlufttemperatur +30,7°C, Oberflächentemperatur Isolierverglasung außen +39,6°C, ESG Verglasung innen +40,7°C [4]

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	168 W/m <sup>2</sup>	527 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	286 W/m <sup>2</sup>	1225 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+9,1°C	+26,5°C
T <sub>O</sub> ESG innen	+8,3°C	+36,1°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+9,3°C	+33,1°C
T <sub>O</sub> Lamelle außen	+9,8°C	+45,0°C
T <sub>O</sub> Lamelle innen	+9,7°C	+42,0°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+9,7°C	+31,0°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung außen	+10,9°C	+34,7°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung innen	+17,0°C	+28,0°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,4°C	+27,4°C

Tab. 31: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung sowie Oberflächen- und Lufttemperatur während Meßreihe 12: 1. - 10.6.1999

Bezogen auf den einzelnen Tagesverlauf der Außenlufttemperatur war die Schwankungsbreite etwas geringer und betrug maximal 15,4 K.

#### 10.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum

Während der Nachtstunden wurde bei einer Außenlufttemperatur von +11,1°C im inneren Fassadenzwi-

schenraum eine Lufttemperatur von +11,7°C gemessen. Die vertikale Temperaturschichtung innerhalb des äußeren und inneren Fassadenzwischenraumes war mit 0,6 K bzw. 0,7 K vergleichsweise groß. (Tab. 32, Fig. 14)



Position	5.6., 5.30 Uhr	5.6., 15.00 Uhr
G <sub>vertikal</sub>	-	527 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+11,1°C	+26,0°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+10,4°C	+35,5°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+11,3°C	+32,8°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+11,6°C	+44,9°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+11,6°C	+41,7°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+11,7°C	+30,8°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+12,8°C	+33,8°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+18,8°C	+26,9°C
T <sub>L</sub> Raum	+21,2°C	+24,8°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	10,1 K	1,2 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen	0,4 K	2 K
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen	0 K	3,2 K

Tab. 32: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum mit geringer und hoher Strahlung (5. 6.1999, 5.30 Uhr und 15.00 Uhr)

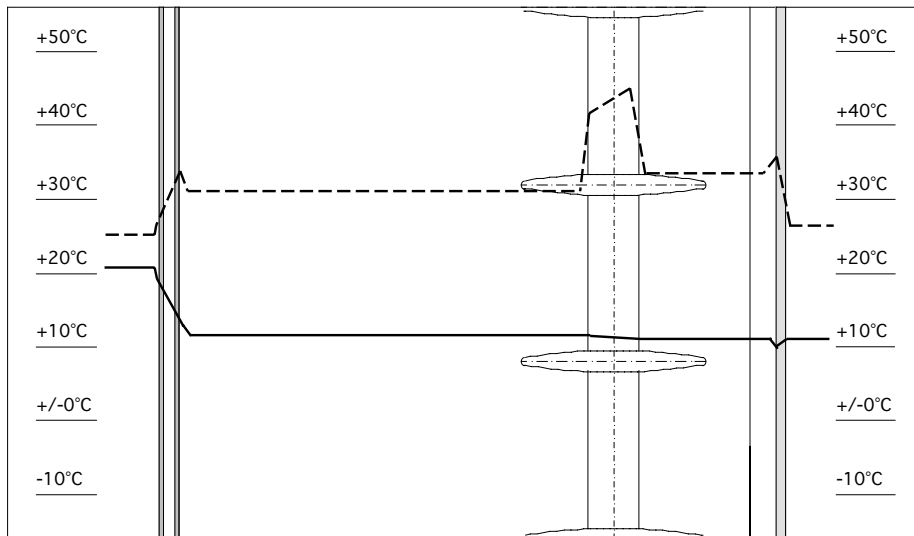


Fig. 14: Horizontales Temperaturprofil nachts sowie tagsüber bei hoher Solarstrahlung (5. Juni 1999, 5.30 Uhr und 15.00 Uhr)

— 5. Juni 1999, 5.30 Uhr      - - - - - 5. Juni 1999, 15.00 Uhr

	Alu-Lamelle
T <sub>L</sub> FZR außen Mitte	+32,8°C
T <sub>o</sub> Lamelle ungedämmt außen	+44,9°C
T <sub>o</sub> Lamelle ungedämmt innen	+41,7°C
T <sub>L</sub> FZR innen Mitte	+30,8°C
T <sub>L</sub> FZR außen unten	+30,5°C
T <sub>o</sub> Lamelle gedämmt außen	+37,5°C
T <sub>o</sub> Lamelle gedämmt innen	+33,0°C
T <sub>L</sub> FZR innen unten	+28,4°C
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen Mitte	2,0 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen unten	2,1 K
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen ungedämmt	3,2 K
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen gedämmt	4,5 K

Tab. 33: Oberflächentemperatur von ungedämmt bzw. gedämmt Alu-Lamelle bei hoher Solarstrahlung (5.6.1999, 15.00 Uhr, Außenlufttemperatur +26°C)

Dies bedeutet, daß nachts mit geöffneten Alu-Lamellen und einem Temperaturunterschied von ca. 10 K zwischen Raum- und Außenluft die Isolierverglasung in thermischer Hinsicht die relevante Ebene darstellt. Die Durchlüftung von äußerem und innerem Fassadenzwischenraum war in etwa gleich intensiv. Eine Einschränkung der Durchlüftung aufgrund der geöffneten Lamellen war nicht festzustellen.

Unter hoher Solarstrahlung und Außenlufttemperaturen von ca. +26°C zeigte sich mit geöffneten Lamellen, daß die Luft im äußeren Fassadenzwischenraum auf ca. +33°C, die Luft im inneren Fassadenzwischenraum auf ca. +31°C erwärmt wurde.

Auf der Isolierglasaußenseite wurden Temperaturen von ca. +34°C

gemessen. (Tab. 32)

Die vertikale Temperaturschichtung in beiden Fassadenzwischenräumen war mit 3,0 K (außen) bzw. 3,4 K (innen) nahezu gleich groß, wodurch von einer gleichmäßigen Durchlüftung beider Fassadenzwischenräume ausgegangen werden kann.

Beachtenswert ist außerdem die um 3 K höhere Temperatur der äußeren Isolierglasoberfläche gegenüber der Lufttemperatur im inneren Fassadenzwischenraum. Diese Erwärmung ist auf die Strahlungsreflexion an den Lamellenoberflächen und die sekundäre Wärmeabgabe der Lamellen zurückzuführen, was bei der Ermittlung des Gesamtenergiedurchlaßgrades von großer Bedeutung ist.

### 10.3 Temperaturverteilung im Rauminnen

Trotz hoher Einstrahlung auf die Fassade und Erwärmung des inneren Fassadenzwischenraumes um 4,8 K gegenüber der Außenlufttemperatur von +26°C blieb die Raumlufttemperatur 1,2 K unter der Außenlufttemperatur bzw. 6 K unter der Lufttemperatur des unmittelbar angrenzenden inneren Fassadenzwischenraumes. (Tab. 32)

Dies ist auf die gute Sonnenschutzwirkung der Lamellen zurückzuführen.

### 10.4 Oberflächentemperaturen der Alu-Lamellen

Bei intensiver Sonneneinstrahlung und einer Außenlufttemperatur von +26°C wurde mit horizontaler Lamellenstellung eine Temperaturdifferenz von äußerer zu innerer Lamellenoberfläche für die ungedämmten Lamelle von 3,2 K, für die gedämmten Lamelle von 4,5 K festgestellt. (Tab. 33) Der Temperaturunterschied der unmittelbar angrenzenden Luftschichten war gleich groß gewesen.

Die höhere Temperaturdifferenz bei der gedämmten Lamelle ist auf die Wirkung der Wärmedämmung im Lamellenhohlraum zurückzuführen.

### 11. Meßreihe 13: 15.-16.6.1999 Zweite-Haut-Fassade ohne Lamellen, Raumlufttemperatur +20°C

Diese Meßreihe diente zur Ermittlung von Vergleichswerten zu dem thermischen Verhalten der Fassade ohne Lamellen im Sommer. Zugleich wurden die Meßergebnisse als Bezugsgrößen für die Messungen mit den Holz-Lamellen bzw. Alu-Lamellen herangezogen.

#### 11.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur

Während des genannten Meßzeitraums variierte der mittlere Maximalwert [2] für die Globalstrahlung auf vertikale Flächen zwischen 202 W/m<sup>2</sup> bei starker Bewölkung und 550 W/m<sup>2</sup> bei aufgelockerter Bewölkung. (Tab. 34)

Der mittlere Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 380 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 450 W/m<sup>2</sup> bei aufgelockerter Bewölkung.

Die Außenlufttemperatur schwankte in dem angegebenen Zeitraum zwischen +13,4°C und +23°C, also um 7 K. Im Tagesverlauf war die Schwankungsbreite der Außenlufttemperatur ähnlich groß.

#### 11.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum

Eine Gegenüberstellung der Temperaturen im Fassadenzwischenraum zeigte, daß bei einer Außenlufttemperatur von +23°C und Son-

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	202 W/m <sup>2</sup>	550 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	380 W/m <sup>2</sup>	979 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+13,4°C	+23,0°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+13,1°C	+30,9°C
T <sub>L</sub> FZR	+13,6°C	+27,5°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+14,9°C	+33,0°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+20,2°C	+32,9°C
T <sub>L</sub> Raum	+21,9°C	+31,1°C

Tab. 34: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung sowie der Oberflächen- und Lufttemperaturen, während Meßreihe 13: 15.-16. Juni 1999

	16.6., 05.00 Uhr	16.6., 15.00 Uhr
G <sub>vertikal</sub>	-	550 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+13,5°C	+23,0°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+13,1°C	+30,3°C
T <sub>L</sub> FZR	+13,6°C	+27,9°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+14,9°C	+31,0°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+20,5°C	+30,6°C
T <sub>L</sub> Raum	+22,7°C	+28,5°C
T <sub>o</sub> Wand Nord innen	+22,0°C	+26,5°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	9,2 K	5,5 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR	0,1 K	4,9 K
Δ T <sub>L</sub> außen / T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	1,4 K	8 K

Tab. 35: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum ohne Lamellen nachts (16.6.1999, 5.00 Uhr) bzw. tagsüber mit hoher Solarstrahlung (16.6.1999, 15.00 Uhr)

neneinstrahlung die Luft im Fassadenzwischenraum auf +28°C erwärmt wurde. [2] Dies entspricht einer Temperaturdifferenz von 5 K. (Tab. 35)

Die äußere Oberfläche der Isolierverglasung wurde hierbei auf ca. +31°C, die Innenseite der Einfachverglasung auf +30,3°C erwärmt.

Hinsichtlich der vertikalen Temperaturschichtung im Fassadenzwischenraum zeigte sich, daß die Lufttemperatur im oberen Fassadenbereich 0,8 K unter der Lufttemperatur im unteren Fassadenbereich lag.

Diese ungewöhnliche Temperaturschichtung mit einer nach oben hin abnehmenden Lufttemperatur ist auf zwei Ursachen zurückzuführen:

- die strahlungsbedingte, starke Erwärmung des Fußbodens im Fassadenzwischenraum führte zu einer Erwärmung der einströmenden Außenluft.

- der obere Bereich des Fassadenzwischenraumes wurde durch das Dach der Meßeinrichtung bei steilstehender Sonne stark verschattet, wodurch sich dieser Bereich nicht so stark aufwärmen konnte wie der besonnte Teil des Fassadenzwischenraumes.

### 11.3 Temperaturverteilung im Rauminnen

Aufgrund der sommerlichen Witterungsbedingungen lagen die Raumluft- und Oberflächentemperaturen der Raumumschließungsflächen stets über +21°C, obwohl nachts die Außenlufttemperatur auf bis zu +13,5°C fiel. Auf der Innenseite der Isolierverglasung wurde der niedrigste Wert mit +20,5°C gemessen. (Tab. 35)

Die durchwegs hohen Raumlufttemperaturen sind auf die starke, strahlungsbedingte Erwärmung des Innenraums und die geringe Wärmeabgabe aufgrund der sommerlichen Außenlufttemperaturen zurückzuführen.

Wie bereits erwähnt, wurde die innere Fassadenebene während aller Meßreihen geschlossen gehalten,

weshalb eine Auskühlung des Innenraums nur aufgrund von Transmissionswärmeverlusten möglich war.

### 12. Meßreihe 14: 19.6.-23.7.1999 Zweite-Haut-Fassade mit Holz-Lamellen, permanent geöffnet, Raumlufttemperatur +20°C

Diese Meßreihe diente der Ermittlung der Wirkungsweise der Holz-Lamellen unter sommerlichen Witterungsbedingungen und sollte einen Vergleich mit den Alu-Lamellen zulassen. Aufgrund des steilen Höhenwinkels der Sonne wurden die Lamellen im gesamten Meßzeitraum in horizontaler Stellung gehalten.

#### 12.1 Solarstrahlung, Außenlufttemperatur

Der Maximalwert der Globalstrahlung auf vertikale Flächen variierte in dem angegebenen Meßzeitraum zwischen 131 W/m<sup>2</sup> an Tagen mit starker Bewölkung und 569 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. (Tab. 36)

Der Maximalwert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen variierte zwischen 237 W/m<sup>2</sup> und 1164 W/m<sup>2</sup> an sonnigen Tagen. Wie schon bei Meßreihe 12 bemerkt wurde, liegt der maximale Wert für die Globalstrahlung auf horizontale Flächen normalerweise bei ca. 1000 W/m<sup>2</sup>. Der jeweils nur in einem kurzen Zeitabschnitt gemessene höhere Wert dürfte auf Strahlungsreflexion aus der Umgebung zurückzuführen sein.

	mittl. Minimum	mittl. Maximum
G <sub>vertikal</sub>	131 W/m <sup>2</sup>	569 W/m <sup>2</sup>
G <sub>horizontal</sub>	237 W/m <sup>2</sup>	1164 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+7,1°C	+35,0°C
T <sub>O</sub> ESG innen	+6,2°C	+44,0°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+7,3°C	+41,5°C
T <sub>O</sub> Lamelle außen	+7,8°C	+54,5°C
T <sub>O</sub> Lamelle innen	+7,8°C	+51,3°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+7,6°C	+39,5°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung außen	+9,3°C	+43,5°C
T <sub>O</sub> Isolierverglasung innen	+16,7°C	+39,7°C
T <sub>L</sub> Raum	+19,2°C	+39,1°C

Tab. 36: Übersicht der mittleren Minimal- und Maximalwerte [2] für die Solarstrahlung sowie Oberflächen- und Lufttemperatur, während Meßreihe 14: 19.6. - 23.7.1999

Die Außenlufttemperatur schwankte während des angegebenen Meßzeitraums zwischen +7,1°C und +35,0°C, also um 28 K.

Bezogen auf den Tagesverlauf der Außenlufttemperatur war die Schwankungsbreite deutlich geringer und betrug maximal 15,8 K.

#### 12.2 Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum

In den Nachtstunden wurde bei +20,2°C Außenlufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum eine Lufttemperatur von +20,5°C, im inneren von +21,0°C gemessen. Die Lufttemperatur im äußeren Fassadenzwischenraum lag damit um 0,3 K, im inneren um 0,8 K über der Außenlufttemperatur.

Der Temperaturunterschied der Luft zwischen dem unteren und oberen Fassadenbereich war im äußeren

und inneren Fassadenzwischenraum mit jeweils 1 K gleich groß. (Tab. 37, Fig. 21)

Aufgrund der vorangegangenen, fünftägigen Schönwetterperiode mit hohen Außenlufttemperaturen und intensiver Sonneneinstrahlung lag die Raumlufttemperatur 11,4 K über der Außenlufttemperatur.

Der Vergleich der Meßwerte für die vertikale Temperaturschichtung in dem äußeren und inneren Fassadenzwischenraum zeigte, daß der thermische Auftrieb und damit die Durchlüftung von äußerem und innerem Fassadenzwischenraum in etwa gleich groß war.

Position	4.7., 5.30 Uhr	4.7., 15.00 Uhr
$G_{\text{vertikal}}$	-	500 W/m <sup>2</sup>
$T_L$ außen	+20,2°C	+34,7°C
$T_o$ ESG innen	+19,5°C	+43,9°C
$T_L$ FZR außen unten	+20,0°C	+39,1°C
$T_L$ FZR außen Mitte	+20,5°C	+41,3°C
$T_L$ FZR außen oben	+21,0°C	+41,9°C
$T_o$ Lamelle außen	+21,0°C	+53,5°C
$T_o$ Lamelle innen	+21,0°C	+50,9°C
$T_L$ FZR innen unten	+20,3°C	+37,2°C
$T_L$ FZR innen Mitte	+21,0°C	+39,3°C
$T_L$ FZR innen oben	+21,3°C	+39,9°C
$T_o$ Isolierverglasung außen	+22,5°C	+42,9°C
$T_o$ Isolierverglasung innen	+29,1°C	+37,1°C
$T_L$ Raum	+31,6°C	+34,9°C
$\Delta T_L$ FZR außen unten /oben	1,0 K	2,8 K
$\Delta T_L$ FZR innen unten / oben	1,0 K	2,7 K
$\Delta T_L$ außen / Raum	11,4 K	0,2 K
$\Delta T_L$ FZR außen / innen (Mitte)	0,5 K	2 K

Ein Einfluß der geöffneten Lamellen auf die Durchlüftung der beiden Fassadenzwischenräume war nicht festzustellen. Unter hoher Solarstrahlung und mit Außenlufttemperaturen von +34,7°C wurde bei geöffneten Lamellen die Luft im äußeren Fassadenzwischenraum auf +41,3°C, im inneren Fassadenzwischenraum auf +39,3°C erwärmt. (Tab. 37, Fig. 21)

Trotz Vollverschattung der inneren Fassade wurden auf der Isolierglasaußenseite Temperaturen von +42,9°C gemessen, was auf die Wärmestrahlung der auf über +50°C erwärmten Lamellen sowie die hohen Lufttemperaturen von ca +40°C

im Fassadenzwischenraum zurückzuführen ist.

Die vertikale Temperaturschichtung in dem äußeren und inneren Fassadenzwischenraum war mit 2,8 K bzw 2,7 K nahezu gleich groß, weshalb von einer gleichmäßigen Durchlüftung der beiden Fassadenzwischenräume ausgegangen werden kann.

Eine Verringerung der Durchlüftung des inneren Fassadenzwischenraumes aufgrund der geöffneten Lamellen war weder nachts noch während des Tages festzustellen.

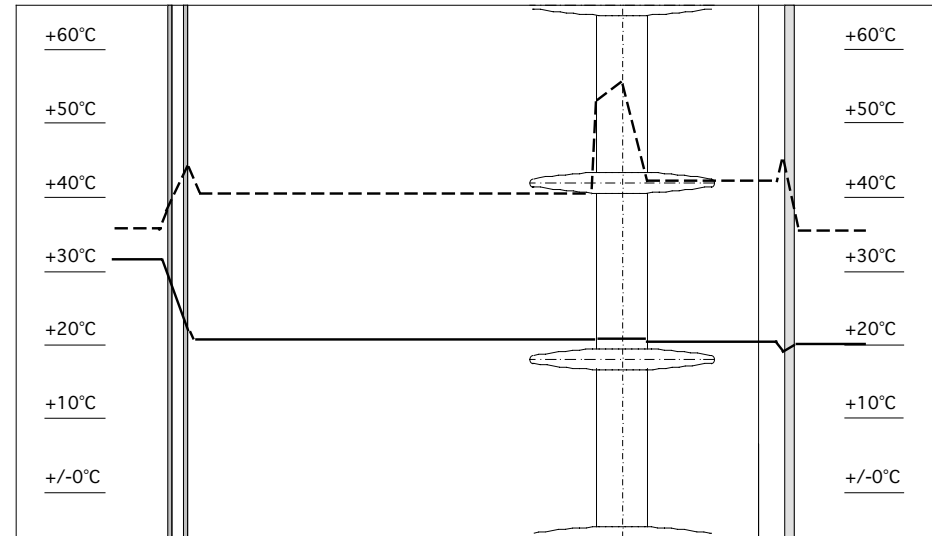


Fig. 15: Horizontales Temperaturprofil nachts sowie tagsüber bei hoher Solarstrahlung (4.7.1999, 5.30 Uhr und 15.00 Uhr)

— 4. Juli 1999, 5.30 Uhr - - - - - 4. Juli 1999, 15.00 Uhr

Tab. 37: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei geringem und hohem Strahlungsangebot an einem Tag mit hohen Außenlufttemperaturen

In Tabelle 38 ist ein Vergleich der Temperaturverhältnisse im Fassadenzwischenraum unter Einsatz der Alu- bzw. Holz-Lamellen dargestellt. Es zeigte sich, daß bei vergleichbaren Witterungsbedingungen nahezu identische Werte für die Luft- und Oberflächentemperaturen erreicht werden.

Die in sonenschutztechnischer Hinsicht relevante Vergleichsgröße ist hierbei die Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und der Luft im inneren Fassadenzwischenraum bzw. Rauminnen, da der Grad der Erwärmung einen Indikator für den Gesamtenergiedurchlaßgrad des

Fassadensystems darstellt.

Tabelle 38 kann entnommen werden, daß der Wert für die Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und dem inneren Fassadenzwischenraum bzw. der Raumluft bei beiden Systemen nahezu gleich groß ist, was auf vergleichbare Sonnenschutzigenschaften hinweist.

### 12.3 Temperaturverteilung im Rauminnen

Trotz hoher Einstrahlung auf die Fassade und Erwärmung der Luft im inneren Fassadenzwischenraum um 4,8 K gegenüber der Außenlufttemperatur von +24°C stieg die

Position	10.6., 15.00 Uhr Alu-Lamellen	25.6., 15.00 Uhr Holz-Lamellen
G <sub>vertikal</sub>	520 W/m <sup>2</sup>	520 W/m <sup>2</sup>
T <sub>L</sub> außen	+23,5°C	+24,0°C
T <sub>o</sub> ESG innen	+33,2°C	+34,3°C
T <sub>L</sub> FZR außen	+30,0°C	+29,9°C
T <sub>o</sub> Lamelle außen	+42,0°C	+43,8°C
T <sub>o</sub> Lamelle innen	+38,9°C	+41,2°C
T <sub>L</sub> FZR innen	+27,7°C	+28,3°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung außen	+31,7°C	+33,0°C
T <sub>o</sub> Isolierverglasung innen	+27,1°C	+28,2°C
T <sub>L</sub> Raum	+25,5°C	+25,8°C
Δ T <sub>L</sub> außen / Raum	2 K	1,8 K
Δ T <sub>L</sub> außen / FZR innen	4,2 K	4,3 K
Δ T <sub>o</sub> Lamelle außen / innen	3,1 K	2,6 K

Tab. 38: Temperaturverteilung im Fassadenzwischenraum bei hohem Strahlungsangebot mit Alu-Lamellen (10.6.1999, 15.00 Uhr) und Holz-Lamellen (25.6.1999, 15.00 Uhr)

	5.6., 15.00 Uhr Alu-Lamelle	2.7., 15.00 Uhr Holz-Lamelle
T <sub>L</sub> außen	+26,0°C	+26,5°C
T <sub>L</sub> FZR außen Mitte	+32,8°C	+32,2°C
T <sub>o</sub> Lamelle ungedämmt außen	+44,9°C	+45,3°C
T <sub>o</sub> Lamelle ungedämmt innen	+41,7°C	+42,6°C
T <sub>L</sub> FZR innen Mitte	+30,8°C	+30,9°C
T <sub>L</sub> FZR außen unten	+30,5°C	+30,9°C
T <sub>o</sub> Lamelle gedämmt außen	+37,5°C	+40,0°C
T <sub>o</sub> Lamelle gedämmt innen	+33,0°C	+31,8°C
T <sub>L</sub> FZR innen unten	+28,4°C	+28,9°C
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen (Mitte)	2,0 K	1,3 K
Δ T <sub>L</sub> FZR außen / FZR innen (unten)	2,1 K	2,0 K
Δ T <sub>o</sub> Lam. außen / innen ungedämmt	3,2 K	2,7 K
Δ T <sub>o</sub> Lam. außen / innen gedämmt	4,5 K	8,2 K

Tab. 39: Lamellenoberflächentemperatur bei hoher Sonneneinstrahlung von ungedämmter bzw. gedämmter Alu-Lamelle (5.6.1999, 15.00 Uhr, sowie Holz-Lamelle (2.7.1999, 15.00 Uhr)

Raumlufttemperatur nur um max. 2 K gegen über der Außenlufttemperatur.

Dies stellt neben den im vorhergehenden Abschnitt gemachten Beobachtungen einen weiteren Beleg für die gute Sonnenschutzwirkung der Holz-Lamellen dar. (Tab. 38)

#### 12.4 Oberflächentemperatur der Holz-Lamellen

Unter intensiver Sonneneinstrahlung und mit einer Außenlufttemperatur von +26,5°C wurde bei horizontal ausgerichteten Lamellen eine Temperaturdifferenz von äußerer zu innerer Lamellenoberfläche für die ungedämmte Lamelle von 2,7 K gemessen. Bei der gedämmten Lamelle hatte diese Differenz 8,2 K betragen. (Tab. 39) Allerdings war die gedämmte Lamelle im Bereich der unteren Lüftungsöffnung angeordnet gewesen, weshalb von einem besseren Ablüften der Wärme ausgegangen werden muß, als dies bei der auf mittlerer Fassadenhöhe positionierten ungedämmten Lamelle.

Im Vergleich zu den Meßwerten der Alu-Lamelle (Tab. 39) ist die große Temperaturdifferenz von Lamellenaußen- zu -innenseite bei der Holz-Lamelle allerdings sehr beachtenswert. Diese deutliche Temperaturdifferenz trat vor allem während der frühen Nachmittagsstunden mit intensiver Besonnung der Fassade auf, und deutet auf den guten Wärmedurchgangswiderstand der gedämmten Holz-Lamelle hin.

## Anmerkungen

[1] Um Vorhersagen zum thermischen Verhalten der Lamellen in Verwaltungsgebäuden unter Berücksichtigung des Standortes, der Fassadenorientierung und der Ausführung des Gebäudes zu ermöglichen, soll im Anschluß an diese Dissertation ein Simulationsmodell erstellt werden.

[2] Hierbei handelt es sich um den Mittelwert für jeweils 30 Minuten, der aus den fünfminütigen Meßintervallen gebildet wurde.

[3] Um ein behagliches Raumklima zu gewährleisten, sollten die Raumluft- und Wandoberflächentemperaturen annähernd gleich sein. Dies bedeutet, daß eine niedrige Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen durch eine entsprechend erhöhte Raumlufttemperatur ausgeglichen werden muß, um einen behaglichen Zustand herzustellen.

Recknagel, Hermann, [u.a.]. Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. 69. Aufl. München: Oldenbourg [u.a.], 1999. S. 53-55

[4] Bemerkenswert ist der ungewöhnlich geringe vertikale Temperaturunterschied im inneren Fassadenzwischenraum. Dies ist auf das geringe Temperaturgefälle zur Außenlufttemperatur, die geringe Luftbewegung außen und die relativ schmalen Lüftungsöffnungen im unteren und oberen Bereich der äußeren Verglasung zurückzuführen. Im Vergleich zu dem äußeren Fassadenzwischenraum war aufgrund der Vollverschattung der Fassade die strahlungsbedingte Erwärmung des inneren Fassadenzwischenraums relativ gering, weshalb sich hier kein nennenswerter thermisch bedingter Auftrieb einstellen konnte.