

# UNTERSUCHUNGEN ZU VERTIKALSCHIEBEFENSTERN

LEHRSTUHL FÜR GEBÄUDETECHNOLOGIE • PROF. THOMAS HERZOG

DANIEL WESTENBERGER



**DISSERTATION**

INSTITUT FÜR ENTWERFEN UND BAUTECHNIK

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN • FAKULTÄT FÜR ARCHITEKTUR

Technische Universität München  
Fakultät für Architektur  
Institut für Entwerfen und Bautechnik  
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie

**Untersuchungen zu Vertikalschiebefenstern  
als Komponenten im Bereich von Fassadenöffnungen**

Daniel Westenberger

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. Hermann Kaufmann

Prüfer der  
Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr. (Univ.Rom) Thomas Herzog  
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen

Die Dissertation wurde am 8. September 2004 bei der  
Technischen Universität München eingereicht und durch die  
Fakultät für Architektur am 21. Januar 2005 angenommen.

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Institut für Entwerfen und Bautechnik, 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 die Bereitschaft, die akademische Betreuung der Arbeit in Form des Hauptreferats zu übernehmen. Bedanken möchte ich mich auch für den eingeräumten Freiraum und das entgegengebrachte Vertrauen.

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

Die Verfügbarkeit von experimentellen Forschungseinrichtungen am Institut für Entwerfen und Bautechnik trug zum Gelingen dieser Arbeit bei. Herrn Robert Rieger, Werkstattleiter der Metallwerkstatt im Technischen Zentrum der Fakultät für Architektur, danke ich für die unermüdliche Bereitschaft und das Engagement bei der Erstellung des Fassadenmodells zur realitätsnahen Anwendung im Maßstab 1:1.

Weiterhin danke ich den Mitarbeitern und ehemaligen Kollegen des Lehrstuhls für Gebäudetechnologie, insbesondere Herrn Jan Cremers und Herrn Dr. Werner Lang für das gezeigte Interesse, die hilfreichen Hinweise und die gewährte Unterstützung.

Meiner Familie, die mich nach ganzen Kräften unterstützt und in meinen Zielen bestärkt hat, möchte ich ebenso meinen Dank aussprechen.

Außerdem möchte ich mich bei folgenden Institutionen und Personen für ihre Unterstützung bedanken:

Lehrstuhl für Entwerfen, Raumkunst und Lichtgestaltung, Prof. Hannelore Deubzer, für die Benutzung des Künstlichen Himmels

Bartenbach Lichtlabor, Aldrans / Innsbruck A, Herrn Christian Anselm, für die fachliche Beratung der Untersuchungen im Künstlichen Himmel

Besonderer Dank gilt den Firmen, die mit Ihrer Unterstützung die Durchführung der experimentellen Untersuchungen ermöglicht haben:

SCHÜCO International KG, 33609 Bielefeld  
Herrn Dr. Winfried Heusler, Direktion Technik und Integralfassaden

SCHÜCO Projektbüro Deutschland Süd, 86637 Wertingen  
Herrn Helmut Lemmer, Herrn Jörg Labus und Herrn Günther Riffel

esco Metallbausysteme GmbH, 71254 Ditzingen  
Herrn Marco Zannini und Herrn Marc Biller

Veltrup Sonnenschutz GmbH, 94469 Deggendorf  
Herrn Hubert Kellermann und Herrn Rainer Baumann

INTERPANE Glasgesellschaft mbH & Co KG, 94447 Plattling  
Herrn Michael Schmidt

München, 3. September 2004  
Daniel Westenberger

Inhalt	Seite		Seite
<b>Vorbemerkung und Zusammenfassung</b>	6	<b>Teil 3 Entwicklungen bei Fenstern unter besonderer Berücksichtigung der vertikal verschieblichen Systeme</b>	
<b>Teil 1 Öffnungen im Bereich der Fassade: Aufgaben und Anforderungen an Fenster als Teil der Gebäudehülle</b>		1 Entwicklung der Fenster	33
1 Fenster: Zuordnung des Begriffs	8	2 Historische Entwicklung des Vertikalschiebefensters	35
2 Manipulatoren	8	3 Anwendung und geographische Verbreitung	35
2.1 Zuordnung des Begriffs	9	4 Zweiflügeliges Vertikalschiebefenster mit Gegengewicht	36
2.2 Typologische Einordnung	9	4.1 Entwicklung 1660-1675	36
2.3 Lage zur Ebene der Gebäudehülle	10	4.2 Verbreitung zur Zeit der Entwicklung	38
3 Aufgaben der Gebäudehülle	10	4.3 Vertikalschiebefenster in der Zeit nach Beginn der Industrialisierung	39
3.1 Schutz- und Regelfunktionen	10	4.4 Stand der Technik	40
3.2 Weitere spezifische Anforderungen an Fenster	14	5 Anwendungen der vertikal verschieblichen Systeme	41
<b>Teil 2 Typologische Einordnung und Vergleich der verschiedenen Öffnungsarten</b>		5.1 Anwendung in Gebäuden	41
1 Verwendete Unterscheidungsmethoden	19	5.2 Anwendungen im Fahrzeugbau	42
2 Zuordnung der üblicherweise verwendeten Öffnungsarten von Fenstern anhand typologischer Unterscheidungen	19	5.3 Sonstige Anwendungen	43
2.1 Erste Betrachtungsebene: Beweglichkeit der Fassadenfläche	19	6 Anwendungen der horizontal verschieblichen Systeme	43
2.2 Zweite Betrachtungsebene: Kinematische Klassifizierung	20	<b>Teil 4 Eigenschaften der vertikal verschieblichen Systeme</b>	
2.3 Dritte Betrachtungsebene: Anwendungsbezogene Terminologie	21	1 Funktionale Eigenschaften	48
2.4 Vierte Betrachtungsebene: Weitere Unterscheidungsmerkmale	22	1.1 Beeinträchtigung der Nutzfläche	48
3 Vergleich der verschiedenen Bewegungsarten	24	1.2 Öffnungsmöglichkeiten	48
3.1 Beeinträchtigung der Nutzfläche im Raum	24	1.3 Fensterlüftung	48
3.2 Anordnung an Verkehrsflächen	25	1.4 Sonnenschutz und Tageslichteintrag	48
3.3 Geometrische Beschreibung der erzeugbaren minimalen und maximalen Öffnungsflächen	27	1.5 Sicherheit	48
3.4 Lüftungseigenschaften der verschiedenen Öffnungsarten für Spaltlüftung und Stoßlüftung	28	1.6 Charakter der Bewegung	49
3.5 Einstellbarkeit der Öffnungsarten	29	1.7 Schallschutz	49
3.6 Witterungsschutz bei Spaltlüftung	29	2 Gestalterische Eigenschaften	49
3.7 Schutz gegen Zuschlagen durch Wind	29	2.1 Möglichkeiten der Unterteilung	49
3.8 Kombination mit anderen beweglichen Komponenten in der Fassade	29	2.2 Formate und Proportionen	49
3.9 Reinigung der Außenseite	30	2.3 Ansichtsbreiten der Profile	50
3.10 Beschläge und Dichtung	30	2.4 Geöffneter Zustand	50
		2.5 Gestalterische Auswirkung der Bewegung auf die Fassade	50
		3 Konstruktive Eigenschaften	50
		3.1 Mechanismus	50
		3.2 Lage in Bezug zur Fassadenebene und Art der Öffnung	51
		3.3 Anzahl der beweglichen Flügel und Anzahl der Bewegungsebenen	51

	Seite		Seite		
3.4	Einfluß der Anordnung von Fassadenraster und Stützenraster auf die Gebrauchsfähigkeit	53	2.1	Funktionale Eigenschaften der Kombinationsmöglichkeiten bezogen auf ein Fassadenfeld	73
3.5	Konstruktion der Flügel	53	2.2	Funktionale Eigenschaften der Kombinationsmöglichkeiten bezogen auf drei Fassadenfelder	74
3.6	Beschlüge	53	2.3	Erweiterung der Kombinationsmöglichkeiten	78
3.7	Integration in übliche Fassadenkonstruktionen	54	3	Gegenüberstellung von Anforderungen und Leistungsprofil: Mögliche Zuordnungen	79
3.8	Unterteilung der Flügelfläche	54	3.1	Zentrales Charakteristikum von vertikalen Schiebemechanismen	79
3.9	Einfluß der Konstruktion auf den Wärmedurchgang	54	3.2	Potentialabschätzung	81
3.10	Einfluß der Konstruktion auf die Dichtigkeit	54	4	Überprüfung der Ergebnisse im Modell	82
4	Wirtschaftlichkeit	58	4.1	Abbildung der Kombinationsmöglichkeiten im Modell	82
<b>Teil 5 Vertikalschiebefenster: Einsatz als Lüftungselement</b>			4.2	Modellphotographie	85
1	Fensterlüftung	61	4.3	Photographische Dokumentation der Kombinationsmöglichkeiten bei konstanten äußeren Lichtverhältnissen	88
1.1	Aufgabe und Funktion	61	4.4	Photographische Dokumentation der Kombinationsmöglichkeiten bei unterschiedlichen äußeren Lichtverhältnissen	90
1.2	Antriebskräfte	61	4.5	Ergebnisse der photographischen Untersuchungen	92
1.3	Anforderungen an Fensteröffnungen als Lüftungselement	61	<b>Teil 7 Realitätsnahe Anwendung des mehrschichtigen Fassadensystems mit vertikal verschieblichen Manipulatoren</b>		
2	Lüftungseigenschaften von Vertikalschiebefenstern	63	1	Grundlagen	96
2.1	Öffnungsflächen	63	1.1	Lehrstuhleigene Einrichtungen: Station für Solarforschung	96
2.2	Anordnung der Flächen bezogen auf den Raum	63	1.2	Einbausituation	96
2.3	Erzielbare Luftströmungen	64	2	Mögliche Komponenten für den Sonnenschutz	97
3	Einsatzmöglichkeiten	64	2.1	Kenngrößen der einzelnen Funktionen	97
3.1	Grundlüftung	65	2.2	Erfasste Merkmale üblicher Manipulatoren	97
3.2	Dauerlüftung	65	2.3	Bemerkungen zu gängigen Komponenten	98
3.3	Stoßlüftung	65	2.4	Auswahl der Komponenten	100
3.4	Nachtlüftung	65	3	Entwicklung des mehrschichtigen Fassadenaufbaus	100
3.5	Vergleich mit Drehkippfenstern	65	3.1	Anforderungen und Bedingungen	100
3.6	Alternative Öffnungsarten	65	3.3	Entwickeltes System	103
4	Wärmerückgewinnung	66	4	Experimentelle Untersuchung	106
<b>Teil 6 Kombination von Vertikalschiebefenstern mit Manipulatoren unter Verwendung des vertikalen Schiebemechanismus</b>			4.1	Gestalterische und funktionale Möglichkeiten	106
1	Grundlagen	69	4.2	Konstruktive Aspekte	111
1.1	Zuordnung der Funktionen	69	4.3	Reagibilität	112
1.2	Anwendung des vertikalen Schiebemechanismus	69			
1.3	Mehrschichtiger Fassadenaufbau	69			
1.4	Vertikale Einteilung der Fassadenfläche	69			
1.5	Festlegung der Eigenschaften der Fassade	70			
1.6	Anforderungen an mögliche Kombinationen	70			
2	Leistungsprofil der möglichen Kombinationen	73			

	Seite
<b>Teil 8 Zusammenfassung und Ausblick</b>	
1	Vertikalschiebefenster 115
2	Dreiflügeliges Vertikalschiebefenster 115
3	Kombination mit anderen Manipulatoren 115
4	Einbau der Testfassade in der Station für Solarforschung 115
5	Weitere experimentelle Untersuchungen 115
6	Weiterführendes Ziel 116
<b>Anhang</b>	
A 1	Anwendung von Vertikalschiebefenstern (Auswahl) 117
A 2	Dokumentation des mehrschichtigen Fassadenaufbaus mit vertikal verschieblichen Manipulatoren 118
A 3	Zur Verwendung des Begriffs 'Fenster' 126
A 4	Zur Konstruktion von Fenstern 129
A 5	Bemerkungen zur Lüftung 131
A 6	Glossar 144
A 7	Literaturverzeichnis 147
A 8	Verzeichnis übernommener Abbildungen 153

## Vorbemerkung und Zusammenfassung

Der Hintergrund der vorliegenden Arbeit am Institut für Entwerfen und Bautechnik, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ. Rom) Thomas Herzog, ist die Bedeutung der Einsparmöglichkeiten bei der Energieversorgung von Gebäuden. Diese steht im Kontext mit der Senkung der CO<sub>2</sub>-Emission als erklärtes gesellschaftliches und politisches Ziel.

Das wichtigste Element zur Steuerung des Energieverbrauchs eines Gebäudes ist die Fassade als Teil der Gebäudehülle. Die Fassade ist außerdem maßgeblich verantwortlich für die Steuerung des Nutzerkomforts. Von wesentlicher Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Lüftung, da diese für beide Aspekte ein großes Optimierungspotential aufweist.

Ein zentrales Regelungselement in der Fassade sind die Fensteröffnungen. Im Kontext mit natürlicher Lüftung ist das Vertikalschiebefenster ein besonders leistungsfähiges Prinzip: Der zu öffnende Flügel wird durch Translation in der vertikalen Ebene bewegt; die daraus resultierenden spezifischen Öffnungsmöglichkeiten ergeben hervorragende Voraussetzungen für natürliche Lüftung.

Die in den letzten Jahren verstärkt geforderte individuelle Lüftungsmöglichkeit am Arbeitsplatz durch

Fenster bei gleichzeitiger Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften der Gebäudehülle, insbesondere der Glasflächen, führt zu neuen Betrachtungsweisen in der Fassadenentwicklung: Das komplexe System der Regulatoren und Mechanismen in der Gebäudehülle muß flexibel auf unterschiedliche äußere klimatische Zustände und auf individuelle Anforderungen an das Innenklima reagieren können. Dies erfolgt im Bereich der Öffnungen durch bewegliche und veränderbare Komponenten, sogenannte Manipulatoren. Je komplexer das System der Manipulatoren ist, desto mehr Bedeutung kommt den dabei verwendeten Mechanismen zu.

Die Arbeit hat zum Ziel, die Einsatzmöglichkeiten und das Leistungsspektrum von vertikalen Schiebemechanismen für bewegliche und kinetische Komponenten im Bereich von Fassadenöffnungen darzustellen. Im Vordergrund der Untersuchungen steht die Optimierung der Gebäudehülle hinsichtlich der Energiebilanz und des Nutzerkomforts. Der Ausgangspunkt ist der bekannte Fenstertyp des Vertikalschiebefensters.

In den letzten Jahrzehnten ist das Vertikalschiebefenster nur punktuell

Abb. 0.1 Überblick zum Aufbau der Arbeit: Zusammenhang der wesentlichen Arbeitsschritte

<b>Öffnungen im Bereich der Fassade: Aufgaben und Anforderungen an Fenster als Teil der Gebäudehülle</b>	Teil 1
<b>Typologische Einordnung und Vergleich der verschiedenen Öffnungsarten</b> Eigenschaften der Bewegungsmechanismen	Teil 2
<b>Entwicklungen bei Fenstern unter besonderer Berücksichtigung der vertikal verschieblichen Systeme</b> Zweiflügeliges Vertikalschiebefenster mit Gegengewicht	Teil 3
<b>Eigenschaften der vertikal verschieblichen Systeme</b>	Teil 4
<b>Vertikalschiebefenster: Einsatz als Lüftungselement</b>	Teil 5
<b>Kombination von Vertikalschiebefenstern mit Manipulatoren unter Verwendung des vertikalen Schiebemechanismus</b> Zentrales Charakteristikum von vertikalen Schiebemechanismen Kombinationsmöglichkeiten	Teil 6
<b>Realitätsnahe Anwendung des mehrschichtigen Fassadensystems mit vertikal verschieblichen Manipulatoren</b> Entwicklung eines Fassadensystems zur realitätsnahen Anwendung Experimentelle Untersuchung der Reagibilität	Teil 7
<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	Teil 8
<b>Experimentelle Untersuchungen des Fassadensystems mit dreiflügeligen Vertikalschiebefenstern</b> Lüftungseigenschaften	

Darstellung des Arbeitsfelds

Lösungsansätze und Potentialabschätzung

Experimentelle Untersuchungen

separater Baustein

betrachtet worden. Um genauere Kenntnis über die Einsatzmöglichkeiten zu erhalten, befaßt sich die vorliegende Arbeit mit den funktionalen und konstruktiven Eigenschaften von vertikalen Schiebemechanismen und den gestalterischen Aspekten, die sich aus der Bewegungsart ergeben.

Zur Darstellung des Arbeitsfeldes werden zunächst die Aufgaben und Anforderungen an Fenster als Teil der Gebäudehülle zusammengefaßt. Die typologische Zuordnung der Öffnungsarten ist die Grundlage für den Vergleich der verschiedenen Bewegungsarten von Fenstern. Im Anschluß an eine Beschreibung der historischen Entwicklung des zweiflügeligen Vertikalschiebefensters mit Gegengewicht folgt eine Darstellung der Eigenschaften von vertikal verschieblichen Systemen.

Die Einsatzmöglichkeiten von Vertikalschiebefenstern als Lüftungselement werden anhand der Lüftungseigenschaften im Vergleich zu Drehkippfenstern aufgezeigt.

Die Kombination von Vertikalschiebefenstern mit anderen unterschiedlichen Komponenten bei Verwendung des vertikalen Schiebemechanismus bildet das zentrale Thema der Untersuchungen. Da die Bewegung der Komponenten innerhalb einer Ebene erfolgt, weist

der vertikale Schiebemechanismus sehr günstige Eigenschaften auf: Durch die Verwendung des vertikalen Bewegungsprinzips können die verschiedenen Komponenten unabhängig voneinander bewegt werden.

Als Potentialabschätzung werden theoretische und praktische Untersuchungen anhand von Modellen durchgeführt, die das Leistungsspektrum des vertikalen Schiebemechanismus und die sich ergebenden Einsatzmöglichkeiten aufzeigen.

Anschließend werden experimentelle Untersuchungen an einer Versuchsfassade durchgeführt, die für die realitätsnahe Anwendung im Maßstab 1:1 entwickelt und in der lehrstuhleigenen Station für Solarforschung eingebaut wird.

## Teil 1 Öffnungen im Bereich der Fassade: Aufgaben und Anforderungen an Fenster als Teil der Gebäudehülle

### Vorbemerkung

Bereits die prinzipielle Betrachtung der Fassade impliziert Öffnungen: Dem Bedürfnis nach Schutz vor klimatischen Bedingungen und Abschirmung der Außenwelt wird durch einen Raum mit Wänden und einem darüber befindlichen Dach entsprochen; um diesen Raum nutzen zu können, ist vor allem Belichtung und die Belüftung erforderlich. Dies geschieht im Typ des Megaron-Hauses ohne Fenster nur über die Türöffnung. <sup>1, 2</sup> Für einen größeren Eintrag von Tageslicht und einen größeren Luftaustausch sind zusätzliche Öffnungen notwendig, bei denen die Einführung eines beweglichen Verschlusses der erste Schritt in der Verbesserung des Leistungsprofils ist. Primär werden hierfür Fenster eingesetzt, die durch zusätzliche bewegliche Komponenten ergänzt oder auch ersetzt werden können. So kann auf die sich ändernden äußeren Bedingungen oder inneren Anforderungen reagiert werden.

Da Fenster - analog zur übrigen Fassade - in der Regel auch thermisch trennende Funktion übernehmen, werden zunächst die heutigen Gebrauchsanforderungen und die Aufgabenbereiche von Fenstern dargestellt.

### 1 Fenster: Zuordnung des Begriffs

Die in der Literatur verwendeten begrifflichen Abgrenzungen und Definitionen der einzelnen Elemente einer Wandöffnung sind von kunstgeschichtlicher Betrachtungsweise geprägt. Es erscheint daher zweckmäßig, den Begriff 'Fenster' bezogen auf den Bewegungsmechanismus zu klären, um die oftmals vorhandene Unschärfe bei der Verwendung des Begriffs zu vermeiden.

'Fenster' leitet sich direkt vom lateinischen Wort 'fenestra' ab: „Öffnung für Luft und Licht in der Wand, Fensteröffnung“. <sup>3</sup>

Das englische Wort 'window' verweist auf eine frühe Funktion des Fensters. Für die Herkunft steht das Wort vindauga (altisländisch: Windauga). <sup>4, 5</sup>

Die ursprünglichen Funktionen des Fensters waren neben der Belüftung auch die Belichtung. Zusätzlich wird es für die visuelle Verbindung und als maßgebliches Gestaltungsmittel sowohl für das äußere Erscheinungsbild eines Gebäudes als auch für die Raumbildung im Inneren des Gebäudes verwendet.

Im Rahmen dieser Arbeit bezeichnet 'Fenster' eine Wandöffnung, die folgende Kriterien erfüllt: <sup>6, 7</sup>

- Lichtdurchlässigkeit (in geschlossenem Zustand): permanente Nutzungsmöglichkeit von Tageslicht im Gebäude
- Schutz vor Umwelteinflüssen (in

- geschlossenem Zustand)
- Beweglichkeit: Austausch der Raumluft mit der Außenluft
- Anordnung und Abmessungen in Relation zum Benutzer
- in offenem Zustand nur bedingt für die Durchlässigkeit von Personen oder Objekten vorgesehen
- konstruktiv als Bauteil in der Fassade eingesetzt

Der Charakter einer Öffnung, der sich aus dem Bezug zur umliegenden Wandfläche ergibt, wird auch bei einer umgebenden Glasfassade durch die Öffnungsmöglichkeit (Öffenbarkeit) erreicht.

Die Relation zum Nutzer zeigt sich zum Beispiel darin, daß die Funktion des Ausblicks vorwiegend im mittleren Bereich einer geschoßhohen Fassadefläche gegeben ist. <sup>8</sup>

#### (Fenster-) Flügel

Für die beweglichen Abschlüsse einer Öffnung wird der Begriff 'Flügel' verwendet. <sup>9</sup> Zur Verdeutlichung der Funktion oder des Zusammenhangs kann der Begriff mit einem Zusatz versehen werden, z.B. Fensterflügel, Lüftungsflügel. <sup>10, 11</sup>

Eine Ausnahme dazu bildet die Bezeichnung 'fixierter Flügel' für feststehende Teile, bei denen der Begriffsteil 'Flügel' - im Unterschied zu 'Festverglasung' - auf konstruktive Gemeinsamkeiten verweist. <sup>12, 13</sup> Wenn mehrere bewegliche Elemente, z.B. bei einem Lamellenfenster, konstruktiv zu einer Einheit zusammengefaßt sind, bezeichnet 'Fenster' das gesamte Bauteil und



Abb. 1.01 Fassade mit (Fenster-) Öffnungen (Tessin, CH)

nicht nur die einzelnen Flügel. Mit dem Kriterium des Bauteils vereinbar ist, daß ein Fenster neben einem beweglichen Teil auch einen feststehenden Teil haben kann. Die geforderte Funktion der Lüftung wird dann nur von dem beweglichen Teil übernommen. (Weitere Ausführungen zum Begriff 'Fenster' finden sich im Anhang.)

### 2 Manipulatoren

Ein wichtiges Regelungselement in der Fassade sind die erwähnten Öffnungen in den Wandflächen, bei denen die Durchlässigkeit über veränderbare Komponenten variiert wird - in der Regel durch Bewegung. <sup>14</sup> Diese beweglichen / kinetischen Komponenten vor Öffnungen werden als 'Manipulatoren' bezeichnet. <sup>15</sup>

In den letzten Jahren läßt sich für diese eine steigende Anzahl ver-

schiedener Bewegungsmechanismen feststellen. Im Zusammenhang damit ist auch bei Fenstern die Tendenz erkennbar, andere Bewegungsmechanismen alternativ zu den in Deutschland üblicherweise verwendeten Drehkippenfenstern anzubieten, die bezogen auf den Heizenergieverbrauch durchaus nicht unproblematisch sind, da die als Dauerlüftung verwendete Kippstellung auf Grund eines hohen Luftaustauschs zu hohen Lüftungswärmeverlusten führen kann.

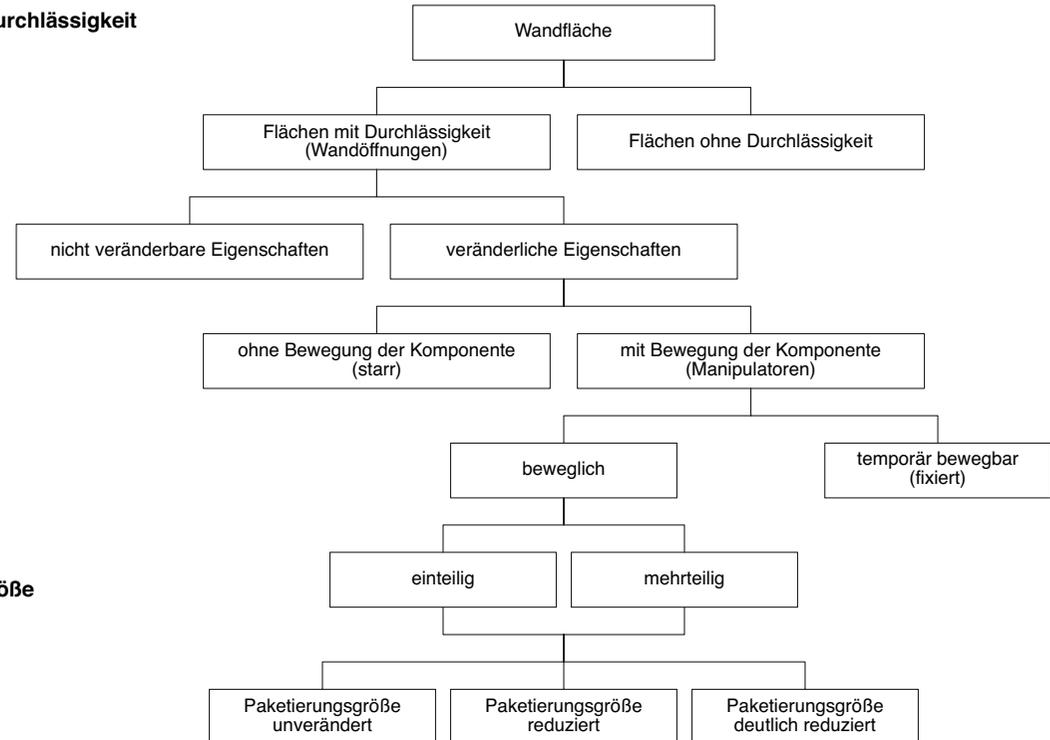
### 2.1 Zuordnung des Begriffs

Die Bezeichnung des Begriffs Manipulator für im Bereich der Gebäudehülle bewegliche Elemente basiert auf einer von Thomas Herzog betreuten Dissertation von Walde- mar Jaensch <sup>16</sup>, aus der auch die folgende Zuordnung entnommen ist:

„'Manipulation', ursprünglich von manus (lat.) - „Hand“, wurde seit dem 17. Jahrhundert für: - „Handgriff, geschicktes Vorgehen, listige Handhabung, Kunstgriff, Beeinflussung, gezielte Lenkung“ - in der Verwaltung benutzt. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurde das Wort zusätzlich als Terminus des magnetischen Heilverfahrens verwendet.“ (s.o.) <sup>17</sup>

„Manipulatoren sind (...<sup>18</sup>) Geräte zur geschickten und gezielten Übertragung von Bewegungen der menschlichen Hand auf Gegenstände, die der unmittelbaren Handhabung nicht zugänglich sind, bzw. Vorrichtungen, mit deren Hilfe

#### Ebene 1: Eigenschaften der Durchlässigkeit (Luft, Strahlung)



#### Ebene 2: Beweglichkeit der Komponente

#### Ebene 3: Unterteilung der Komponente / Paketierungsgröße

Abb. 1.02 Typologische Zuordnung des Begriffs Manipulator: Bewegliche / kinetische Komponenten zur Veränderung der Eigenschaften der Durchlässigkeit der Wandfläche

Vorgänge gezielt beeinflusst werden können.“ (Jaensch) Das zentrale Merkmal von Manipulatoren ist die zielgerichtet verwendete Beweglichkeit. <sup>19</sup> Der in der Bezeichnung enthaltene Begriff der Bewegung mit der Hand wird dadurch erweitert, daß die Bewegung auch durch technische Mittel erfolgen kann. <sup>20</sup>

### 2.2 Typologische Einordnung

Manipulatoren können auf Grund ihrer Eigenschaften unterschieden

werden. Für die typologische Zuordnung werden drei Betrachtungsebenen eingeführt (siehe Abb. 1.02):

- Eigenschaften der Durchlässigkeit
- Beweglichkeit / Bewegbarkeit
- Unterteilung und Volumen- / Größenänderung

#### Eigenschaften der Durchlässigkeit

Bei Wandflächen sind Flächen mit und ohne (nahezu keiner) Durch-

lässigkeit zu unterscheiden. Die Eigenschaften der Durchlässigkeit lassen sich für Wandöffnungen unterteilen in:

- nicht veränderbar (konstant)
- veränderlich

Der Vollständigkeit halber sei an dieser Stelle auch auf die stationären Maßnahmen zur Regelung der Durchlässigkeit im Bereich der Fassade hingewiesen, die auf die verschiedenen äußeren Bedingungen Bezug nehmen. Vor allem für die

unterschiedlichen Sonnenstände wird die Durchlässigkeit durch Flächen mit nicht veränderlichen Eigenschaften gezielt beeinflusst, z.B. durch ein 'Bris de Soleil'.

Auch wenn das äußere Erscheinungsbild (von z.B. feststehenden Lamellen) dem der beweglichen Elemente oftmals sehr ähnlich ist, so zählen sie nicht zur Gruppe der Manipulatoren.

### Beweglichkeit der Komponente

Die veränderlichen Eigenschaften können ihrerseits unterteilt werden:

- ohne Bewegung <sup>21</sup>
- mit Bewegung

Die Eigenschaft von Komponenten, die bewegt werden können, läßt sich durch zwei Adjektive kennzeichnen:

- bewegbar (im Sinne von: kann bewegt werden)
- beweglich (im Sinne von: ist zum Bewegen konstruiert) <sup>22, 23</sup>

Für Komponenten mit Bewegung kann daher folgende Unterscheidung getroffen werden: <sup>24</sup>

- (temporär) bewegbar (fixiert), z.B. Winterfenster
- beweglich, z.B. wegfahrbar, nachfahrbar

In der Regel sind Manipulatoren bewegliche Komponenten. Die für Manipulatoren verwendeten Bewegungsarten sind oftmals eine Kombination verschiedener Bewegungsprinzipien.

Die grundlegenden Bewegungsarten für Komponenten im Bereich

der Fassade werden im nachfolgenden Teil anhand der Bewegungsarten von Fenstern in einer typologischen Zuordnung dargestellt.

### Unterteilung / Paketierungsgröße

Die Paketierung (Größenänderung, Änderung des Volumens / Fläche) ist bei beweglichen Komponenten in der Fassade entscheidend für konstruktive, funktionale und gestalterische Aspekte. Die Paketierung läßt sich unterscheiden in:

- unverändert
- reduziert
- deutlich reduziert

Die Unterteilung des Systems kann einteilig oder mehrteilig erfolgen. Die Beweglichkeit läßt sich durch die Bewegungsart und Bewegungsrichtung beschreiben.

### 2.3 Lage zur Ebene der Gebäudehülle

Für Manipulatoren und starre Komponenten zur Beeinflussung der Durchlässigkeit werden drei verschiedene Lagen zur (bauphysikalischen) Ebene der Gebäudehülle unterschieden (siehe Abb. 1.03):

- innenseitig
- innerhalb der Ebene (z.B. im Scheibenzwischenraum von Isolierverglasungen)
- außenseitig

### 3 Aufgaben der Gebäudehülle

Die Gebäudehülle hat die primäre Aufgabe, einen (Innen-) Raum zur Schaffung von Aufenthaltsbedin-

gungen vom Außenraum abzugrenzen.

Daraus resultieren Anforderungen an Öffnungen in der Fassade, die den folgenden Bereichen zugeordnet werden können:

- Funktion
- Konstruktion
- Gestaltung
- Ökologie <sup>25</sup>

Bei der Zuordnung einzelner Aspekte läßt sich feststellen, daß es bei dieser Unterteilung durch Überschneidungen zu einer gewissen Unschärfe kommt. In Abb. 1.04 und Abb. 1.05 findet sich der Versuch einer Zuordnung ohne Anspruch auf Vollständigkeit. <sup>26</sup> Die Unterteilung erfolgt in primäre und sekundäre Anforderungen und Aufgaben von Fenstern.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sind hauptsächlich die gebrauchsfunktionalen Anforderungen von Bedeutung, weshalb zu den anderen Punkten nur ansatzweise einige Aspekte aufgezählt werden.

### 3.1 Schutz- und Regelfunktionen

Betrachtet man die Fassade als „Trenn- und Filterschicht zwischen außen und innen“ <sup>27</sup>, so definiert sich aus folgenden Aspekten die Notwendigkeit der Reaktion:

- Die Unterschiedlichkeit der äußeren Bedingungen ergibt sich durch die fortlaufend unterschiedlichen klimatischen Zustände (jahreszeitliche, tageszeitliche und witterungsbedingte Änderungen).

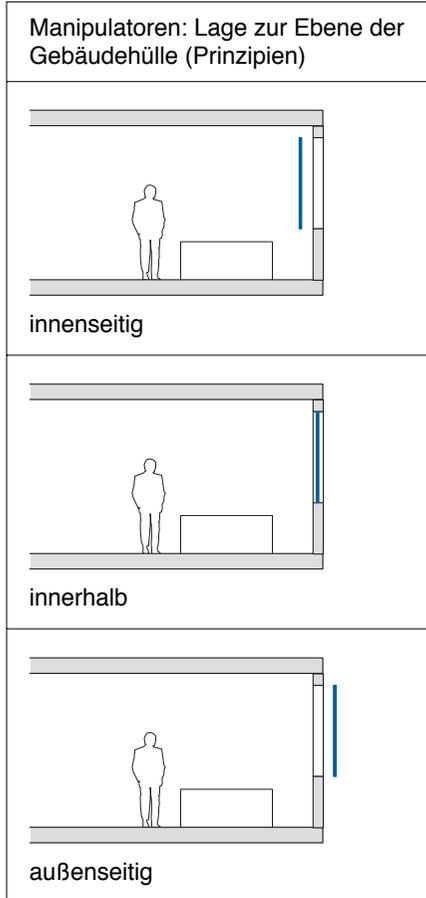


Abb. 1.03 Manipulatoren: Lage zur Ebene der Gebäudehülle

- Die Innenraumbedingungen sollen möglichst konstant sein und den Kriterien für ein behagliches Raumklima entsprechen. Je nach Nutzer können die Anforderungen hierfür verschieden sein. Die Gebäudehülle muß in der Lage sein, auf diese multiplen Anforderungen reagieren zu können.

„Die Bedingungen und Anforderungen (...) weisen der Fassade

Schutz- und Regelfunktionen zu. Erstere schützen im Wesentlichen vor der Intensität der äußeren Einflüsse, vor allem denen der Witterung. Letztere dosieren deren für das Innenraumklima gefordertes und erträgliches Maß mit dem Ziel der thermischen Behaglichkeit.“ (Thomas Herzog 28)

Basierend auf der oben genannten Definition (Zitat aus: Fassaden Atlas) läßt sich in Anlehnung an VDI 6011 das Begriffspaar

- Schutzfunktionen
- Versorgungsfunktionen

nennen, das in der vorliegenden Arbeit verwendet wird.

Die beiden Begriffe nehmen deutlichen Bezug zum oben genannten Wesen der Fassade: Einerseits soll die Fassade z.B. Schutz vor zu starker Sonneneinstrahlung bieten und andererseits aber auch den Innenraum ausreichend mit Tageslicht versorgen.

Die technische Aufgabe der Fassadenöffnungen ist also der kontrollierbare Austausch des Innenraumklimas mit dem Außenraumklima für die einzelnen Parameter mit dem Ziel, Raumkonditionen für den Aufenthalt von Menschen zu schaffen. Die veränderlichen Komponenten übernehmen die Regelung 29 der Durchlässigkeit für:

### 3.1.1 Wärme

Für den Energiehaushalt eines Gebäudes sind neben dem internen Energiebedarf die Energieverluste

und die Energieeinträge über die Gebäudehülle die maßgeblichen Größen. Der Wärmedurchgang läßt sich in Abgabe und Aufnahme 30 von Wärmeenergie unterteilen. Der Wärmeschutz ist grundlegend in DIN 4108 geregelt. Dort wird deutlich auf die Bedeutung energiesparender Maßnahmen und den engen Zusammenhang mit der Lösung von Umweltproblemen verwiesen: Wärmeschutz „ist ein vorrangiges, gesellschaftliches Anliegen.“ 31 Darüber hinaus werden in der Energieeinsparverordnung weitergehende Anforderungen an den Energieverbrauch eines Gebäudes gestellt. Regelungen für den Bereich von Arbeitsplätzen finden sich in den Arbeitsstättenrichtlinien. 32

Im Bereich des Wohnbaus ist in erster Linie der winterliche Wärmeschutz 33 mit entsprechenden Maßnahmen zur Wärmedämmung während der kalten Jahreszeit zu nennen. Für Verwaltungsbauten ist in zunehmendem Maß der sommerliche Wärmeschutz von Bedeutung. 34, 35 Im Bereich der Fenster ist die gleichzeitige Betätigung der Komponenten für Sonnenschutz 36 und Lüftung zu beachten.

### 3.1.2 Licht

Die ausreichende Belichtung des Gebäudeinneren erfolgt in der Regel durch Öffnungen in der Fassade. 37 Die Lichtverhältnisse verändern sich sowohl vorhersehbar mit

Abb. 1.04 Primäre und sekundäre Anforderungen an Fenster (Teil 1)

Fenster: Aufgabenbereiche und Anforderungen Teil 1			Kategorie			
			Funktion	Konstruktion	Gestaltung	Ökologie
primäre Anforderungen	Lichteintrag	Sonnenschutz	●			○
		Tageslichtnutzung	●			○
		Blendschutz	●		○	
		Sichtbeziehung	●		○	
		Sichtschutz	●		○	
	Luftaustausch	Sauerstoffversorgung	●			
		Abfuhr von Schadstoffen	●			○
		Abfuhr von Feuchtigkeit	●	●		
	Witterungsschutz	Wind	●	○	○	
		Feuchtigkeit	●	○		
	Winterlicher Wärmeschutz	Eintrag solarer Strahlung	●			○
		Transmissionswärme v. innen n. außen	●			○
		Lüftungswärmeverlust	●	○		○
	Sommerlicher Wärmeschutz	Eintrag solarer Strahlung	●			○
		Transmissionswärme v. außen n. innen	●	○		○
		Abführen von Wärme über Lüftung	●	○		○
	Nutzer / Gebrauch	Betätigung	●			
		Sicherheit (Einbruch)	○	●		
Schallschutz		●	○			
Reinigung, Wartung		●	●		○	
sekundäre Anforderungen	technisch	Sicherheit: Brandschutz	●	○		
		Sicherheit: Absturzsicherung	●	○		
		Beeinträchtigung der Nutzfläche	●	○		
		Abfuhr von Wärmeenergie über Lüftung	●			○
		Herstellung, Montage, Bauablauf		●		○

dem Stand der Sonne im Tages- und Jahreslauf als auch nicht vorhersehbar durch die sich stetig ändernden Bewölkungszustände. Bezogen auf Licht lassen sich verschiedene Aufgaben der Manipulation feststellen:

- Sonnenschutz
- Tageslichtnutzung
- Blendschutz
- Ausblick/Einblick
- Sichtschutz
- Energiegewinn (Photovoltaik)
- und Kombinationen

### Nutzung des Tageslichts

Die Versorgung des Innenraums mit Tageslicht steht in direktem Zusammenhang mit Sonnenschutz, Blendschutz und der Sichtverbindung. Da die vier Aspekte Sonnenschutz, Tageslichtnutzung, Blendschutz und Ausblick sich gegenüber stehen, können Öffnungen im Bereich der Fassade niemals alle Aspekte gleichzeitig maximal erfüllen.

So sind ein geringer solarer Energieeintrag (Sonnenschutz) und eine gute Tageslichtnutzung nicht direkt miteinander kombinierbar. Ebenso steht die Nutzung von Tageslicht dem Schutz vor unerwünschter Blendung<sup>38</sup> gegenüber, die im Zusammenhang mit Bildschirmarbeitsplätzen zunehmend zu beachten ist. Das Ziel ist daher der jeweils günstigste Kompromiß.

Die Erfahrung zeigt, daß vor allem beim Sonnenschutz die Nutzung von Tageslicht nicht berücksichtigt wird: Durch herkömmliche Sonnen-

schutzlösungen wird der Innenraum oftmals so stark verdunkelt, daß Kunstlicht eingeschaltet werden muß und außerdem ein Ausblick nicht mehr möglich ist.

### Sonnenschutz versus Nutzung von Tageslicht

Da dieser Punkt im Kontext mit Fensteröffnungen von elementarer Bedeutung ist, soll an dieser Stelle die sich daraus ergebende Problematik anhand eines Beispiels verdeutlicht werden:

In den südlichen europäischen Ländern ist die überwiegende Zeit des Jahres das Problem Kühlung von Gebäuden zu lösen. Um den Eintrag solarer Strahlung zu minimieren, werden Klapp-, Falt- oder Drehläden geschlossen, die jedoch den Raum stark verdunkeln und auch den Luftaustausch reduzieren. Damit etwas Licht in den Raum eindringt, wird der Laden nicht ganz geschlossen (Abb. 1.06). Es entsteht ein schmaler vertikaler Spalt. Durch diesen gelangt Sonnenlicht in den Raum. Der im Blickfeld befindliche Spalt führt jedoch zu Blendung.

Um den Raum nutzen zu können, wird Kunstlicht verwendet, obwohl im Außenraum Sonnenlicht in ausreichendem Maße vorhanden ist. Das Problem ist die Verteilung des Lichts im Innenraum. Durch Modifizierung der Läden - Anordnung und Ausbildung der Stellen, an denen

Abb. 1.05 Primäre und sekundäre Anforderungen an Fenster (Teil 2)

Fenster: Aufgabenbereiche und Anforderungen Teil 2		Kategorie				
		Funktion	Konstruktion	Gestaltung	Ökologie	
(sekundäre Anforderungen)	(technisch)	Austausch	●	○		○
		technisches Upgrade	●	○		○
	energetisch	Wärmeverlust		○		●
		direkte Solarenergienutzung		○		●
		indirekte Solarenergienutzung		○		●
		Wiederverwendung, Recycling		●		●
	visuell	Anordnung in der Fassade	●		●	
		Aufteilung, Gliederung	○		●	
		Proportionen			●	
		Größen, Formate	○		●	
		Farbigkeit		○	●	
		Oberflächen		○	●	
		Profilierung		○	●	
	wirtschaftlich	Investitionskosten		●		○
		Unterhaltskosten		●		○
		Energiekosten				●
	psycho-physisch	Bedürfnis nach psychischem Appell	●			
		Hell-Dunkel-Rhythmus	●			
		Farbstimulans	●		○	
Kontaktbedürfnis vs. Privatsphäre		●				
Orientierungsbedürfnis		●		○		
Sicherheitsbedürfnis		●	○			
juristisch	Gesetze	○	●		○	
	Normen, Richtlinien	○	●		○	
	Gestaltungsvorschriften			●		

das Licht in den Raum eintritt - kann die Situation verbessert werden.

Als Beispiel, wie diese Aufgabe bezogen auf moderne Arbeitsplätze gelöst werden kann, seien hier die im Rahmen eines F+E Vorhabens eigens neu entwickelten Vorfassaden der Zusatzversorgungskasse Wiesbaden (Arch.: Herzog + Partner) mit variablem g-Wert aufgeführt: Der Sonnenschutz besteht pro Fassadenfeld aus einer um eine horizontale Achse drehbaren Kombination von zwei Verschattungselementen mit opaken (unterteilten) Flächen.

Im oberen Teil befinden sich in einem horizontal verlaufenden Spalt lichtumlenkende Lamellen, die Tageslicht an die Decke reflektieren. Der Ausblick in die begrünten Zwischenhöfe ist im unteren Bereich möglich.

Der Innenraum erhält somit ausreichend Tageslicht, ohne daß dadurch der Nutzer geblendet wird (Abb. 1.07<sup>39</sup>). Die Sichtverbindung nach außen bleibt erhalten.

Zusammenfassend lassen sich als Anforderungen für die Nutzung von Tageslicht folgende Ziele nennen:

- Möglichst hohe Gleichmäßigkeit des Lichts im Innenraum
- Schattenbildung als Qualität
- Farbneutralität des Lichts

Als Kriterien gelten die Eintrittsstelle des Tageslichts und die Eintrittstiefe des Lichts.

### Sichtbeziehung

Das Fenster soll einerseits Kontakt mit außen - Verbinden von Außen-



Abb. 1.06 (nahezu) geschlossene Faltschirme: Eintritt von Tageslicht durch vertikalen Spalt: hoher Leuchtdichtekontrast im Innenraum - typische Situation im Mittelmeerraum / Südeuropa (Ollioules, Provence F)

raum und Innenraum - ermöglichen und andererseits Abschluß gegen außen bilden. Diesbezüglich kann zwischen visueller, physischer und psychischer Verbindung unterschieden werden.<sup>40, 41</sup>

Sowohl in geschlossenem als auch in geöffnetem Zustand ist das Fenster ein „Mittel der Kommunikation“.<sup>42</sup>

Für den visuellen Bezug ist die Lage und Ausbildung der Öffnung auf die Tätigkeiten und die damit verbundenen unterschiedlichen Positionen abzustimmen.

Ein wesentliches Kriterium ist in diesem Zusammenhang die Höhe des Augpunktes, der für die verschiedenen Positionen angegeben werden kann:<sup>43, 44</sup>

- im Stehen ca. 170 cm
- im Sitzen ca. 130 cm
- im Liegen (auf ca. 30 cm) ca. 70 cm

Bei Angaben zur Augenhöhe kann es sich jedoch immer nur um Durchschnittswerte handeln, die lediglich der Orientierung dienen. Außerdem ist neben der Höhe des Augpunktes das Blickfeld des Nutzers entscheidend für die Wahrnehmung der Außenwelt.

Aus den Angaben im Handbuch der Ergonomie (HdE)<sup>45</sup> lassen sich folgende Werte ableiten:

- normale Sehachse:<sup>46</sup>  
25° - 35° gegen die Horizontale geneigt
- optimal nutzbares Blick-Gesichtsfeld:<sup>47</sup>  
± 30° in der Horizontalen  
± 25° in der Vertikalen (bezogen auf die normale Sehachse).

Die Orientierung des Nutzers zur Fassadenebene wird primär durch die Tätigkeit bestimmt.

### 3.1.3 Luft

Eine zentrale Aufgabe der Gebäudehülle ist der Luftaustausch zwischen innen und außen. Folgende Punkte sind zu beachten:

- Be- und Entlüftung (Qualität der Raumluft: Feuchte, Zusammensetzung, Temperatur; Luftgeschwindigkeit)
- Immissionen
- Schutz vor Wind (Fugendurchlässigkeit)

Auf die Lüftung als eine der Hauptaufgaben von Fensteröffnungen wird in Teil 5 im Zusammenhang mit Vertikalschiebefenstern näher eingegangen.



Abb. 1.07 Verschattungselemente mit horizontaler Öffnung oberhalb der Augenhöhe mit Lichtlenkelementen für Eintritt von Tageslicht: gute Lichtverteilung im Innenraum (ZVK, Wiesbaden; Arch.: Herzog + Partner; Photo: Robertino Nikolic / artur)

### 3.1.4 Schall

Die Gebäudehülle soll Schutz vor unerwünschtem Schalleintrag (Immission) in das Gebäude bieten. Bei speziellen Nutzungen, z.B. Fertigungsprozesse in der Industrie, übernimmt die Gebäudehülle auch den Schutz der Umwelt vor Emissionen.

Der Schallschutz (Lärmschutz) hat bei Fenstern zwei Aufgaben:

- Verminderung der Schwingungsanregung der Fassadenfläche (Verglasung) durch Luftschall mittels verschiedener Scheibendicken und spezieller Gasfüllungen des Scheibenzwischenraums
- Möglichst geringer direkter Schallübertrag durch Fugen und Fensteröffnungen

Da Schallschutz möglichst dichte Fenster bedeutet und freie Lüftung eine Öffnung der Fassadenfläche erfordert, sind spezielle Maßnah-

men erforderlich, um diese gegensätzlichen Anforderungen gleichzeitig zu erfüllen (z.B. die Reduktion der Öffnungsfläche und Ausbildung der Wege des Schalleintritts mit schallschluckenden Materialien).

### 3.2 Weitere spezifische Anforderungen an Fenster

Im Unterschied zu üblichen Wand- oder Dachkonstruktionen müssen bei Fassadenöffnungen die verschiedenen Aspekte auf sehr kleinem Raum gelöst werden (geringe Abmessungen im Schichtaufbau).

Da die vorliegende Arbeit zum Ziel hat, einen Bewegungsmechanismus hinsichtlich seines (funktionalen) Leistungsspektrums zu untersuchen und nicht die konstruktiven Aspekte von Fassadenöffnungen im allgemeinen, sei hier nur stichwortartig auf die zu beachtenden Aspekte verwiesen, die sich auch in den anerkannten Regeln der Technik widerspiegeln:

- Abtragung von Eigengewicht
- Einleiten von Windkräften
- Aufbau, Schichtenfolge
- Materialeigenschaften
- Herstellungsprozeß
- Elementierung
- Einbau
- Detailausbildung

#### 3.2.1 Dichtigkeit

Bei Öffnungen in der Gebäudehülle muß sichergestellt sein, daß in geschlossenem Zustand kein Niederschlag in das Gebäude eintreten kann. In besonderen Fällen kann dies auch für bestimmte Öffnungs-

zustände erforderlich sein (z.B. Dauerlüftung).

Der Begriff Schlagregendichtigkeit definiert, daß während gleichzeitiger Beanspruchung durch Wind und Regen bei geschlossenem Fenster kein Wasser in den Raum gelangen darf.

Mit Dichtung werden bei Fassadenöffnungen diejenigen Bereiche / Elemente bezeichnet, mit denen die verschiedenen Komponenten miteinander in Kontakt stehen und die das Bauteil gegen das Eindringen von Wasser oder ähnlichen Einflüssen abdichten.<sup>48</sup>

Grundsätzlich gibt es bei Fenstern permanente Abdichtungen und solche Abdichtungen, die durch wiederholte Öffnungs- und Schließvorgänge verändert werden. Im Zusammenhang mit offenbaren Elementen haben die erstgenannten eher untergeordnete Bedeutung. Die Dichtungen eines Fensters gewährleisten Winddichtigkeit, Schlagregendichtigkeit und Schalldichtigkeit sowie Beweglichkeit.

#### Dichtungszonen

Bewegliche Fassadenöffnungen müssen in geschlossenem Zustand eine ausreichende Abdichtung gegen Wind und Niederschlag bieten. Die Abdichtung der Fenster läßt sich in vier verschiedene Bereiche der Verbindung / Dichtung gliedern:

- Glas und Flügelrahmen (Glasfalz)
- Flügelrahmen untereinander
- Flügelrahmen und Blendrahmen

- Blendrahmen und Fremdbauteile (anschließende Wand)

Der besonders kritische Bereich ist zwischen den beweglichen und den feststehenden Teilen zu sehen. Hierfür wurden verschiedene Anschläge und Falze mit entsprechenden Materialien entwickelt.<sup>49, 50, 51</sup>

#### Fugenverlauf

Bezogen auf den Fugenverlauf lassen sich bei einer Öffnung in der Fassade folgende Positionen auf Grund ihrer Beanspruchung durch Wind und Niederschlag unterscheiden:

- horizontal oben: meist durch Überstand oder Leibung geschützt
- vertikal (seitlich): ablaufendes Wasser
- horizontal unten: exponierter Bereich, Wasserabfluß der gesamten Öffnungsfläche

#### Dichtungsebenen

Bei Öffnungen in der Fassade werden heutzutage die Abdichtungen der beweglichen Teile zweistufig ausgebildet: Der außen anfallende Regen wird über die erste Dichtungsebene am Eindringen in den Falz gehindert. Dies kann mit einer Überfalzung und / oder einer Dichtung geschehen. Sollte dennoch Wasser eingedrungen sein, so kann dieses über einen Hohlraum gesammelt und vom Winddruck entspannt abgeführt werden. Der abgeminderte Winddruck / Windsog wird in einer zweiten Dichtungsebene am Eindringen in das Gebäudeinnere gehindert.

Anschlagsebenen und Dichtungen sollten immer jeweils in einer Ebene verlaufen und gleichmäßig angepreßt werden.<sup>52</sup>

#### 3.2.2 Gebrauch

Aus dem Bereich der Produktgestaltung läßt sich der Begriff der Gebrauchstauglichkeit auf Gebäude übertragen.<sup>53</sup> Diese wird bezogen auf Fassadenöffnungen bei manueller und mechanischer Betätigung von den Aspekten der Handhabung bestimmt:

- einfach und sicher zu bedienen, nachvollziehbare (Bewegungs-) Mechanismen<sup>54</sup>
- Fehlbedienungssicherheit (Fehlbedienungssperre)

#### 3.2.3 Brandschutz

Die Öffnungen in der Gebäudehülle müssen einerseits vor eindringendem Rauch von außen schützen. Sie müssen auch davor schützen, daß Flammen oder Rauch durch die Öffnung auf andere Gebäudeteile übergreifen. Besonders zu beachten ist bei mehrgeschossigen Gebäuden der Brandüberschlag. Andererseits können Öffnungen in der Gebäudehülle unter gewissen Bedingungen auch die Forderung nach einem zweiten Fluchtweg erfüllen und zur Rettung von Personen mittels Rettungsgeräten der Feuerwehr genutzt werden.<sup>55</sup>

Man unterscheidet in

- Personen- und
- Objektschutz.

Grundsätzliche Regelungen zum Brandschutz erfolgen in den Landesbauordnungen.

### 3.2.4 Sicherheit

Für die verschiedenen Öffnungsarten sind entsprechend verschiedene Sicherheitseinrichtungen vorzusehen; für Vertikalschiebefenster ist z.B. eine Stoppvorrichtung zur Vermeidung des plötzlichen Herabfallens von Flügeln erforderlich.<sup>56</sup>

Die Öffnungen müssen in geschlossenem Zustand so ausgelegt sein, daß von außen ein Öffnen nicht möglich ist.

In offenem Zustand ist darauf zu achten, daß im Bereich von Verkehrsflächen keine Gefährdung auftreten kann.<sup>57</sup>

### 3.2.5 Wirtschaftlichkeit

Bei einem Gebäude sind Investitionskosten, die sich aus den Materialkosten, den Produktionskosten und den Montagekosten zusammensetzen, und Unterhaltskosten, die aus den Kosten für Wartung und Verschleiß sowie den Kosten für die Reinigung bestehen, zu unterscheiden. Betrachtungen und wertende Aussagen zur Wirtschaftlichkeit können daher nur im Vergleich erfolgen.

### Reinigung

Ein wichtiger Aspekt ist die Reinigung der verglasten Fassadenbereiche. Fenster, die sich auf Grund ihres Mechanismus in den Raum drehen lassen, erlauben eine Reinigung der äußeren Glasflächen vom Innenraum aus.

Bei anderen Bewegungsarten kann durch Anbringung spezieller Beschlagszusätze, mittels derer sich der Flügel durch Rotation für Reini-

gungszwecke in den Raum öffnen läßt, das Reinigen von innen ermöglicht werden.<sup>58</sup>

In den letzten Jahren wurden in der Oberflächentechnik Beschichtungen entwickelt, die - basierend auf dem sogenannten Lotusblüteneffekt - schmutzabweisend sind. Im Bereich der Gebäudehülle bedeutet dies, daß sich die Reinigungsintervalle von Glasflächen verändern.

Weiterführende Aussagen sind nur möglich durch eine Gegenüberstellung von Mehrkosten für die Beschichtung der Verglasung mit den Einsparungen für die Reinigung (Unterhaltskosten).

Zusätzlich werden für die automatisierte Fassadenreinigung zur Zeit auch außen geführte Roboter entwickelt. Hieraus werden in Zukunft sicherlich Anforderungen an die Ausbildung von Fassaden (Profilierung etc.) resultieren.

### Wartung und Verschleiß

Bei offenbaren Fassadenelementen ist neben dem Austausch defekter Teile (z.B. Scheiben) auch die Wartung der Verschleißteile aufzuführen. Dies sind in erster Linie die Beschläge, die sowohl für die Bewegung als auch für den Verschleiß verwendet werden. Ein weiterer Punkt ist die Dauerhaftigkeit der Rahmen und der Verbindungen, die durch die während der Bewegung aufgebrauchten Kräfte beansprucht werden.

### Technisches Upgrade

Neben dem Austausch defekter Teile stellt auch der Aspekt der Sa-

nierung Anforderungen, die vor allem die Konstruktion betreffen. Im Sinne eines technischen Upgrades ist sowohl die Erneuerung der kompletten Gebäudehülle als auch der Ersatz einzelner Komponenten zu nennen.<sup>59</sup>

## 4 Zusammenfassung

Die Anforderungen und Aufgabebereiche von Öffnungen in der Gebäudehülle bestehen aus verschiedenen Faktoren, die untereinander in Wechselbeziehungen stehen.

Neben den einzelnen Aspekten ist die „Ausgewogenheit und Balance die Zielsetzung des Handelns“ im Sinne eines 'Solar-Design'.<sup>60</sup>

Bereits die Auflistung der bauphysikalischen Parameter zeigt, daß Fensterkonzepte in Korrelation zu Belichtungs- und Lüftungskonzepten stehen und damit auch in Verbindung mit der Haustechnik gesehen werden müssen. Daraus ergibt sich der direkte Zusammenhang mit dem Gebäudekonzept:

„Die Entwicklung der Anforderungen an das Innenklima und das Verstehen der komplexen Vorgänge, die sich um das Fenster abspielen, ist entscheidend für das Verständnis der Funktion des Gebäudes als Ganzem. Man kann deshalb fast axiomatisch feststellen, daß es keine neuen Fensterkonzepte geben wird, die nicht zugleich auch neue Gebäudekonzepte sein werden, und umgekehrt.“ (Nikolaus Kohler<sup>61</sup>)

Die Veränderung der Eigenschaften der Fassade - Regelung der Durchlässigkeit - erfolgt durch Manipulatoren, zu denen Fenster gehören. Diese müssen die gleichen „Abschlußfunktionen“ erfüllen wie die Außenwand. Die eigentlichen Aufgaben erhält das Fenster durch die „Öffnungsfunktion“. <sup>62</sup> Die Öffnungsmöglichkeiten ergeben sich aus den verschiedenen Öffnungsmechanismen. Im folgenden Kapitel erfolgt daher auf Grundlage der typologischen Zuordnung ein Vergleich der Bewegungsarten von Fenstern.

## Anmerkungen

- 1 Zentralinstitut für Kunstgeschichte München 1981, Band VII, Sp. 1254
- 2 Klinskott 1994, S. 36
- 3 Thesaurus Linguae Latinae, Band 6, erster Teil, Spalte 479: „fenestra: sensu strictiore: i. qu. foramen in pariete aedificii, quo lux et aura immittitur.“ (Übersetzung sinngemäß: dasselbe, was ein Loch (Öffnung) in der Wand eines Gebäudes ist (darstellt), durch das Licht und Luft eintritt. (‘foranem’: „jede natürliche oder durch Kunst gebildete Öffnung, der Gang, Zugang, das Loch“, in: Georges, Karl Ernst: Ausführliches Lateinisch-Deutsches Handwörterbuch, 1. Band, Basel 1959, Spalte 2812)). Als Belegstelle wird im Thesaurus Linguae Latinae der Autor Marcus Terentius Varro (116-27 v. Chr.), Res Rusticae, 1,57,3 genannt.  
(Angaben und Übersetzung von Anselm Volk, Mainz)  
Der Begriff 'fenestra' ist bereits für das Etruskische nachweisbar (Ernout/Meillet und bei A. Walde, sowie Hinweis auch bei Zentralinstitut für Sprachwissenschaft 1989, Band 1, S. 425). Die Ableitung aus dem Griechischen wird bei Ernout/Meillet als Wortspielerei verworfen.  
Durch das Lehnwort Fenster wurden die alten germanischen Bezeichnungen wie althochdeutsch augatora (Tor, Öffnung in Form eines Auges), altisländisch vindauga (augenförmige Öffnung für den Wind) zurückgedrängt. (Duden Etymologie 1989, S. 182 ff. und Rumpp 1954, S. 9).  
Darin wird auch der Grund für die Abweichung des im lateinisch weiblichen Genus vermutet: „Das neutrale Genus wohl nach dem älteren ougatora (Tür in Form eines Auges).“ (Kluge, S. 209)
- 4 Duden 1989 (Etymologie), S. 182ff.
- 5 Als ein weiteres Beispiel für die Ableitung eines Begriffs aus der Funktion sei an dieser Stelle auf den französischen Begriff 'vasistas' für Oberlicht verwiesen, der Ende des 18. Jahrhunderts aus dem deutschen Fragesatz 'Was ist das?' entlehnt ist, da man - ähnlich wie bei einem Schalter (Robert) - durch „dieses Guckfenster leicht seine Neugier befriedigen kann“ (Wartburg).  
Der Begriff verweist auf die Funktion des Fensters als Kommunikationsmittel (Bloch/Wartburg). Er wird heute auch für Oberlicht(fenster) verwendet (Weis). Bei Larousse und Robert findet sich die Definition, daß es sich bei 'vasistas' um einen zusätzlichen Flügel in einem Fenster oder einer Tür handelt. Bei Robert findet sich außerdem der Hinweis auf die Verwendung des Begriffs für kleine Dachfenster.  
Zur Abwandlung der Bedeutung von Guckfenster zu Oberlicht liegen keine Aussagen vor.  
Der Begriff wird auch im Italienischen als Lehnwort aus dem Französischen für Klappfenster verwendet. (Macchi).
- 6 „Das Fenster ist derjenige Bereich innerhalb einer Wand oder Decke des Raumes, durch den eine natürliche Belichtung dieses Raumes vorgenommen wird. Fenster müssen lichtdurchlässig sein. Sie sind leichte Bauelemente, welche dann auch zweckmäßig zur Belüftung der Räume herangezogen werden.“ (Klindt/Frehse 1984, S. 14)
- 7 „Fenster versorgen die Innenräume mit Tageslicht, dienen der Lüfterneuerung in den Räumen und schützen vor Umwelteinflüssen wie Kälte, Wärme, Lärm, Wind und Niederschlägen.“ (Zapke et al. 1982, S. 5)
- 8 Im Sinne einer klärenden Anwendung der Definition werden im Anhang folgende Fälle in Relation zu den genannten Kriterien gesetzt:
  - Öffnung in opaker Wandfläche ohne zusätzlichen Abschluß,
  - Öffnung in opaker Wandfläche mit beweglichem, opaken Abschluß,
  - feststehende lichtdurchlässige Öffnung in opaker Wandfläche,
  - geschoßhohe Glasfassade mit lichtdurchlässigen beweglichen Elementen und
  - geschoßhohe Glasfassade mit opaken Lüftungsflügeln. (Anhang 3)
- 9 „'Flügel' ist der allgemeine Begriff für Türen oder Fenster, die schwenkbar, schiebbar oder anderweitig bewegbar sind. 'Rahmen' bedeutet jedes Teil, an dem ein Flügel durch eine Feststellvorrichtung gehalten werden kann.“ (Internationale Patentklassifikation (IPC), 7. Ausgabe. Sektion E, Untersektion E05 Schlösser; Schlüssel; Fenster- oder Türbeschläge; Trepsore)
- 10 „Flügel sind diejenigen beweglichen Anlageteile, die Tür- oder Toröffnungen verschließen oder freigeben.“ (Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 11/1-5)
- 11 An dieser Stelle sei auf den Zusammenhang mit dem Verb 'fliegen' hingewiesen, das bereits auf Bewegungs- und Formprinzipien verweist. Für den Bereich der Öffnungen in der Fassade wird 'Flügel' aber Bewegungs- und Form-neutral verwendet.
- 12 Entsprechend auch die Aussage in Wasmuths Lexikon der Baukunst: „Fensterflügel ist der in den äußeren Fensterrahmen fest oder beweglich eingesetzte Teil eines Fensters.“ (Wasmuth, 2. Band, S. 435)
- 13 Als Standflügel wird ein Flügel eines mehrflügeligen Fensters bezeichnet, „der dazu vorgesehen ist, nach dem Hauptflügel bewegt zu werden.“ (DIN EN 12519, S. 5)
- 14 Die Grundbegriffe der Systembeurteilung in den Naturwissenschaften werden für den Bereich der Architektur auf fünf Stufen ausgeweitet. Daraus entsteht als Abfolge der Betrachtung: System - Subsystem - Komponente - Element - Material. Durch die Maßstabwahl, bzw. den Betrachtungswinkel kann eine Verschiebung auftreten (z.B. im Städtebau: Stadt = System, Gebäude = Element). Bezeichnet man die Fassade als Subsystem des Systems Gebäude, so ergibt sich daraus die Verwendung des Begriffs Komponente für z.B. Fenster.
- 15 In den Normenwerken (u.a. in DIN EN 12216) wird der Begriff 'Abschluß' verwendet: „Produkt, das entweder innen oder außen angebracht ist, um Öffnungen zusätzlich zu schließen und / oder zu schützen (z.B. Fenster, Türen).“ (ebd S. 5)
- 16 Jaensch, Waldemar: Veränderbare Oberflächen - Verfahren zur Beurteilung kinetischer Manipulatoren im Bereich der Gebäudehülle als Maßnahme zu Regulierung des Gebäudeklimas. Kassel 1981
- 17 Ergänzend hierzu:
  - „Manipulation: Eingriff, um etwas zum eigenen Vorteil zu verwenden. Im 18. Jh. entlehnt aus gleichbedeutend frz. „manipulation“, einer Ableitung von frz. „manipuler“ zum eigenen Vorteil beeinflussen.“ (Kluge, S. 459)
  - „Manipulation: Beeinflussung bzw. Lenkung eines Menschen, eines Sachverhalts (...) In den experimentellen Naturwissenschaften ist die Manipulation im engeren Wortsinn als Handhabung sowie gezielte oder gerichtete Veränderung von Objekten weit verbreitet. Oftmals sind dafür spezielle Apparaturen (siehe Manipulator) im Gebrauch.“ (Brockhaus 1996, Band 14, S. 160ff.)
- 18 Die bei Jaensch angegebenen Quellen sind zugunsten einer besseren Lesbarkeit weggelassen. („Manipula-

- toren sind, nach Brockhaus (Enzyklopädie, 1971) und nach dem Wörterbuch der deutschen Gegenwartssprache, Berlin 1974, Geräte zur...“)  
Jaensch erwähnt außerdem: „In Meyers-Enzyklopädischem Lexikon, Zürich 1975, wird Manipulator bereits als eine bewegliche, gesteuerte Vorrichtung mit Längs- und Schwenkbewegungen wiedergegeben.“
- <sup>19</sup> Manipulator: „Gerät zum Handhaben von Gegenständen. Der Manipulator ersetzt den unmittelbaren Zugriff der menschlichen Hand; Kräfte und Bewegungen des Menschen können in gleichem oder geändertem Verhältnis übertragen werden.“ (dtv-Lexikon 1997)
- Der Begriff Manipulator wird vor allem im Zusammenhang mit radioaktiven Stoffen und anderen nicht zugänglichen Bereichen verwendet:  
„Vorrichtung zur Handhabung glühender, radioaktiver o.ä. Substanzen aus größerem Abstand oder hinter Strahlenschutzwänden.“ (Duden)
- „Bekannt ist der Einsatz von Manipulatoren in Kerntechnik und Raumfahrt.“ (dtv-Lexikon 1997)
- In den Normenwerken wird der Begriff Manipulator für Vorrichtungen zur Unterstützung der Handhabung von Lasten verwendet (z.B. Krane). Für das handgesteuerte Heben von Gegenständen (Werkstücken) wird der erweiterte Begriff 'handgesteuerte Manipulatoren' benutzt (E DIN EN 14238). Der Begriff wird außerdem im Zusammenhang mit Fernbediengeräten zum Arbeiten hinter Schutzwänden verwendet (DIN EN 25409).
- <sup>20</sup> In der Literatur wird auf „elektrische und hydraulische“ (dtv-Lexikon 1997) und „elektrisch oder elektromagnetisch gesteuerte Manipulatoren“ (ABC Technik und Naturwissenschaft) verwiesen.
- <sup>21</sup> Zu den Komponenten ohne Bewegung gehören zum Beispiel thermotrope Schichten und gasochrome oder elektrochrome Gläser.
- <sup>22</sup> Übereinstimmend mit „beweglicher“ Fensterflügel in E DIN 13126-1, S. 4.
- <sup>23</sup> Analog dem Begriffspaar bewegbar/beweglich läßt sich die Unterscheidung Bewegbarkeit/Beweglichkeit treffen. Im Rahmen dieser Arbeit wird daher der Begriff Beweglichkeit verwendet. (Die Verwendung des Begriffs in der Physik bleibt dabei unberücksichtigt. In der Physik ist Beweglichkeit „allgemein der Quotient aus den Beträgen der mittleren Geschwindigkeit gleichartiger Teilchen und einer auf sie wirkenden Kraft.“ (Brockhaus 1996, Band 3, S. 261))
- <sup>24</sup> Krippner 2001
- <sup>25</sup> Ergänzend zu den bereits bei Vitruv genannten Punkten *utilitas* (lat.: Nützlichkeit), *firmitas* (lat.: Festigkeit) und *venustas* (lat.: Anmut) kann man als vierten Aspekt die Ökologie aufführen. (Krippner 2003, S. 3.12-11) In einem weiteren Schritt ließe sich ergänzend die Ökonomie aufführen. (Hartwig 2003, S. 6)
- <sup>26</sup> Begriffe und Zuordnung u.a. nach Meck/Seifert 1986, S. 81
- <sup>27</sup> Herzog, Thomas; Cremers, Jan: Außen- und Innenbedingungen. In: Herzog 2004, S. 19
- <sup>28</sup> ebd, S. 19
- <sup>29</sup> Für die Verwendung des in der Systemtheorie gebräuchlichen Begriffs 'Regelung' findet sich in DIN 19226: „Das Regeln, die Regelung, ist ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine Größe, die Regelgröße (die zu regelnde Größe), erfaßt, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne der Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Kennzeichen für das Regeln ist der geschlossene Wirkungsablauf, bei dem die Regelgröße im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst. (...) Der Vorgang der Regelung ist auch dann als fortlaufend anzusehen, wenn er sich aus einer hinreichend häufigen Wiederholung gleichartiger Einzelvorgänge zusammensetzt (...). Auch unstetige Vorgänge können fortlaufend sein. (...) Auch ein Mensch kann als Glied eines Regelkreises mitwirken.“ (DIN 19226-1, S. 7)
- Im allgemeinen Sprachgebrauch findet sich oftmals eine gewisse Ungenauigkeit bei der Verwendung des Begriffs Steuerung, bei der die Rückkopplung, die für die Regelung kennzeichnend ist, entfällt.  
„Das Steuern, die Steuerung, ist der Vorgang, bei dem eine oder mehrere Größen als Eingangsgrößen andere Größen als Ausgangsgrößen aufgrund der dem System eigentümlichen Gesetzmäßigkeit beeinflussen. (...) Die Benennung Steuerung wird vielfach nicht nur für den Vorgang des Steuerns, sondern auch für die Gesamtanlage verwendet, in der die Steuerung stattfindet.“ (DIN 19226-1, S. 7)
- <sup>30</sup> Aufnahme solarer Wärmeenergie:  
- Direkt wirkende Systeme (z.B. Umwandlung kurzweiliger Strahlung im Gebäudeinneren in langwellige Wärmestrahlung)  
- Indirekt wirkende Systeme (z.B. photovoltaische Elemente zur Umwandlung in elektrische Energie, Kollektorflächen zur Umwandlung in Wärmeenergie).
- <sup>31</sup> DIN 4108 Beiblatt 2, S. 3
- <sup>32</sup> Die Erwärmung und Kühlung der Arbeitsräume wird in § 6 geregelt: Die Raumtemperaturen müssen als behaglich empfunden werden und dürfen keine größeren Schwankungen aufweisen. (Opfermann 2003, S. 37)
- <sup>33</sup> Winterlicher Wärmeschutz (Wärmestrom von innen nach außen):
- Reduktion des Transmissionswärmeverlusts über gute Wärmedämmeigenschaften
  - Reduktion des Lüftungswärmeverlusts mittels großer Dichtigkeit
  - gleichzeitig Eintrag von solarer Strahlung (thermischer Energiegewinn)
- Geregelt u.a. in: DIN 4108; Energieeinsparverordnung EnEV; BayBO Art. 16
- <sup>34</sup> Sommerlicher Wärmeschutz (Wärmestrom von außen nach innen):
- Schutz vor Eintrag von solarer Strahlung durch Sonnenschutzmaßnahmen
  - Abführen innerer Wärmelasten durch Luftwechsel, z.B. Zufuhr von kalter Luft, Aufnahme der Wärmeenergie durch Speichermedien
- Geregelt u.a. in: DIN 4108-2; E DIN EN ISO 13792
- Sonnenschutzmaßnahmen sind z.B. definiert in Arbeitsstättenverordnung, § 9 Fenster, Oberlichter: „Fenster und Oberlichter müssen so beschaffen oder mit Einrichtungen versehen sein, daß die Räume gegen unmittelbare Sonneneinstrahlung abgeschirmt werden können.“ und in Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 6: „An Fenstern, Oberlichtern oder Glaswänden sind wirksame Schutzvorrichtungen gegen direkte Sonneneinstrahlung vorzusehen.“
- <sup>35</sup> Der Energieverbrauch für Kühlung liegt oftmals über dem Energieverbrauch für Heizung. (Herzog 1999, S. 359)
- <sup>36</sup> Sonnenschutz umfaßt sowohl Maßnahmen zum Schutz vor Erwärmung durch Sonneneinstrahlung als auch Maßnahmen zum Schutz vor Blendung durch Sonnenstrahlen. (RWE Energie Bau-Handbuch 1994, S. 4/22)
- <sup>37</sup> Die im Sinne der Bauordnungen für eine ausreichende Tagesbeleuch-

- tung von Aufenthaltsräumen erforderlichen Fenster werden in Meyers Lexikon der Technik als „notwendige“ Fenster bezeichnet. (Band 2, S. 905)
- 38 Physiologische Blendung bezeichnet die Herabsetzung der Sehfunktionen, ohne daß „damit ein unangenehmes Gefühl verbunden sein muß.“ Bei psychologischer Blendung wird ein „unangenehmes Gefühl hervorgerufen, ohne daß damit eine merkbare Herabsetzung des Sehvermögens verbunden sein muß.“ (DIN EN 12665, S. 10)
- 39 Photo entnommen aus: Flage, Ingeborg (Hrsg.) et al.: Thomas Herzog - Architektur + Technologie. Prestel Verlag, München London New York 2001, S. 147, Photo: Robertino Nikolic / artur
- 40 Arntzen 1964, S. 38
- 41 „Arbeits-, Pausen, Bereitschafts-, Liege- und Sanitätsräume müssen eine Sichtverbindung nach außen haben.“ (Arbeitsstättenverordnung, § 7 Beleuchtung)  
 Weitergehend ist in Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 7/1 definiert: „Die Sichtverbindung nach außen muß in Augenhöhe durch Fenster, durchsichtige Türen oder Wandflächen den Ausblick aus dem jeweiligen Raum ins Freie ermöglichen. Die als Sichtverbindung vorgesehenen Fenster, Türen oder Wandflächen müssen aus durchsichtigem Glas oder einem anderen in gleicher Weise durchsichtigen Werkstoff bestehen.“
- 42 Pracht 1982, S. 99ff.
- 43 Handbuch der Ergonomie 1989
- 44 Pracht 1982, S. 102
- 45 Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (Hrsg.); Schmidtke, Heinz: Handbuch der Ergonomie. Im folgenden als HdE bezeichnet.
- 46 Die räumliche Lage des Kopfes bei normaler physiologischer Kopfhaltung läßt sich am ehesten durch die Ohr-Augen-Ebene ('Frankfurter Horizontale') abbilden: Bei dieser Kopfhaltung befindet sich „die Verbindungslinie zwischen dem tiefsten Punkt am Unterrand der knöchernen Augenhöhle und dem höchsten Punkt am Oberrand des Ohrlochs parallel zur Standfläche“. (HdE, Band 1, Kapitel 3.2.2, S. 3)  
 Im Zusammenhang mit visuellen Aspekten unterscheidet das HdE (Band 3, Kapitel B 5.1.1):
  - horizontale Sehachse: Kopf und Auge in gespannter Haltung, identisch mit Horizontalen
  - kopfbezogene Sehachse: Kopf in entspannter Haltung, Auge in gespannter Haltung, 10° - 15° gegen Horizontale geneigt
  - normale Sehachse: Kopf und Auge in entspannter Haltung, 25° - 35° gegen Horizontale geneigt.
- 47 Das HdE (Band 3, Kapitel B 5.1.2) unterscheidet in:
  - Gesichtsfeld: ruhender Kopf und ruhendes Auge
  - Blick-Gesichtsfeld: ruhender Kopf und bewegtes Auge
 Als Werte für das Gesichtsfeld finden sich folgende Angaben:  
 Horizontales Gesichtsfeld:
  - für Hellreize:  $\pm 60^\circ$
  - Farbgesichtsfeld:  $\pm 19^\circ$
  - optimal nutzbares Gesichtsfeld für Hellreize:  $\pm 15^\circ$
 Vertikales Gesichtsfeld (ausgehend von der normalen Sehachse):
  - für Hellreize:  $\pm 75^\circ$
  - Farbgesichtsfeld:  $\pm 16^\circ$
  - optimal nutzbares Gesichtsfeld für Hellreize:  $\pm 15^\circ$
 Für das Blick-Gesichtsfeld sind folgende Werte genannt:  
 Horizontales Gesichtsfeld:
  - Hellreize:  $\pm 75^\circ$
  - Farbblick-Gesichtsfeld:  $\pm 34^\circ$
  - optimal nutzbares Blick-Gesichtsfeld für Hellreize:  $\pm 30^\circ$
- Vertikales Blick-Gesichtsfeld (ausgehend von der normalen Sehachse):
  - Farbgesichtsfeld:  $\pm 34^\circ$
  - optimal nutzbares Gesichtsfeld für Hellreize:  $\pm 25^\circ$
- 48 Klindt/Frehse 1984, S. 16
- 49 Beim sog. „Wolfsrachen“ greifen beim Schließvorgang die beiden Flügelhölzer so ineinander, daß nicht nur eine gegenseitige Abstützung zu erhöhter Stabilität führt, sondern auch eine hohe Dichtigkeit erzielt wird.
- 50 Mit der Entwicklung des Doppelfensters erreichte man neben der besseren Wärmedämmung auch gleichzeitig zwei Anschlagsebenen. Der äußere Falz wurde mit entsprechenden Wetterschenkeln, Tropfnasen etc. als Abdichtung für Regenwasser ausgebildet. Der innere Falz wurde als Widerstand für die Zugluft profiliert. (Gerner/Gärtner 1996, S. 38)  
 Das Prinzip der zwei- oder mehrstufigen Dichtung behält auch bei modernen Fenstern seine Gültigkeit.
- 51 Z.B. im Nutgrund präparierte Pflanzenfasern oder gewellte Papierstreifen bei genuteten Rahmen. (Gerner/Gärtner 1996, S. 34)
- 52 Bei Wende- oder Schwingfenstern ist am Drehpunkt ein Versatz der Dichtungs- und Anschlagsebenen unumgänglich.
- 53 Der Gebrauch kann bezogen auf Wohnbauten auch mit dem Begriff „wohntechnische Aspekte“ umschrieben werden. (Zapke et al. 1982, S. 5)
- 54 „Das Öffnen und Schließen des Fensters muß so einfach wie möglich erfolgen können (bequemer Luftwechsel!).“ (Rumpp 1954, S. 142)  
 „Die Eingriffbedienung ist in den meisten Fällen einer Mehrgriffbedienung vorzuziehen, da sie eine falsche Handhabung der Öffnungsvorrichtung weitgehend ausschließt. Der Verschluß muß sich mit den gewohn-
- ten Handgriffen (...) und ohne Verständnis für den Mechanismus betätigen lassen.“ (Zapke et al. 1982, S. 21)
- 55 Geregelt u.a. in: BayBO Art. 15; BayBO Art. 38, Abs. 3: „Fenster, die zur Rettung von Menschen dienen, müssen im Lichten in einer Richtung mindestens 0,60 m, in der anderen Richtung mindestens 1 m groß und von innen zu öffnen sein. Die Unterseite der lichten Öffnung darf nicht mehr als 1,10 m über dem Fußboden liegen.“
- 56 Institut für Fenstertechnik 1986
- 57 „Fensterflügel dürfen in geöffnetem Zustand die Arbeitnehmer am Arbeitsplatz in ihrer Bewegungsfreiheit nicht behindern und die erforderliche Mindestbreite der Verkehrswege nicht einengen.“ (Arbeitsstättenverordnung, §9 Fenster, Oberlichter)
- 58 In den Landesbauordnungen wird gefordert, daß bei Fenstern neben der gefahrlosen Benutzung auch eine gefahrlose Reinigung möglich sein muß. So z.B. in BayBO Art. 38, Absatz 2, siehe auch DVBayBO § 10, Absatz 1 und 2.
- 59 Bei Gebäuden werden Primär- (Tragwerk), Sekundär- (Hülle) und Tertiärstruktur (Ausbau) unterschieden, wobei die Anforderungen an die Haltbarkeit abnehmen. Elemente im Bereich der Gebäudehülle sind bei entsprechendem Unterhaltsaufwand auf die Standdauer der Sekundärstruktur auszulegen. (Anmerkung: Der Begriff der Primärstruktur ist insofern leicht irreführend, da „die Hülle primäre Funktionen übernimmt“ und der Begriff Struktur im ersten Fall fälschlicherweise mit engl. 'structure' gleichgesetzt wird (Herzog 1995, S. 34))
- 60 Herzog 1999, S. 361
- 61 Kohler 1994, S. 150
- 62 Zimmermann 1996

## Teil 2 Typologische Einordnung und Vergleich der verschiedenen Öffnungsarten

### Vorbemerkung

Eines der primären Merkmale von Fenstern ist die Möglichkeit des partiellen Öffnens und Schließens der Gebäudehülle. Die Öffnungsart als Funktion der Fassadenöffnung ist für die konstruktiven und die gestalterischen Eigenschaften eines Fensters bestimmend.

Dabei lassen sich verschiedene Bewegungsarten unterscheiden. Für die Untersuchung zu Vertikal-schiebefenstern unter heutigen Gesichtspunkten der Gebrauchsanforderungen wird der vertikale Schiebemechanismus mit anderen Bewegungsarten verglichen, um das Leistungsprofil besser darstellen zu können.

Zunächst erfolgt die Ausarbeitung einer typologischen Einordnung der für Fenster zur Anwendung kommenden Bewegungsarten. Diese ermöglicht eine Einteilung und Zuordnung der Bewegungsarten nach ihren funktionalen, konstruktiven und gestalterischen Eigenschaften.

Für den Vergleich werden anschließend die Eigenschaften der verschiedenen Bewegungsarten mit Hilfe der typologischen Übersicht beschrieben.

### 1 Verwendete Unterscheidungs- methoden

Fenster können sowohl hinsichtlich ihrer funktionalen als auch ihrer konstruktiven oder auch ihrer gestalterischen Eigenschaften unterteilt werden. Bei der Analyse von Fenstertypen lassen sich parallel vorkommende Eigenschaften aufzeigen, die verschiedenen Betrachtungsebenen zugeordnet werden können.

In der Literatur finden sich diverse Vorgehensweisen zur Unterteilung von Fensterarten. Die Ebenen der unterschiedlich verwendeten Betrachtungsweisen sind dabei nicht immer eindeutig voneinander abzugrenzen, da sich die gewählten Kriterien zur Unterteilung oftmals dem Rahmen der jeweiligen Betrachtung unterordnen.

Neben architekturtheoretischen Aspekten spielt der technologische Entwicklungsstand bezüglich des Bauens der jeweiligen Zeit eine große Rolle für die Unterscheidung von Fenstertypen.

Neben der Bewegungsart, die auch als Öffnungsart der Flügel bezeichnet wird, werden verschiedene andere Merkmale zur Einteilung verwendet, z.B.: 1, 2, 3

- Material des Fensters
- Flügelanzahl
- Anordnung der Flügel
- Konstruktion des Fensterrahmens, Maueranschlag
- Fensterform, Gestaltung und Teilung des Fensterrahmens
- Funktion des Flügelrahmens

- Rahmenkonstruktion, Flügelrahmenprofil
- Konstruktion des Fensters
- Verglasung, bauphysikalische Aspekte

Von den üblicherweise verwendeten Unterteilungen für Fenster (Material, Bewegungsart, Konstruktion des Fensterrahmens/Art des Maueranschlags) ist das Merkmal Öffnungsart (Flügelarten) am besten geeignet, da damit auch Unterscheidungen der Fensteröffnungen in Glasfassaden getroffen werden können.

In der Allgemeinen Konstruktionslehre von 1900 definiert Warth: „Wir unterscheiden die Fenster nach der Art der Beweglichkeit in Flügelfenster und Schiebefenster.“<sup>4</sup> Abweichend hierzu wird im folgenden der Begriff 'Flügel' auch für die Bezeichnung der (beweglichen) Elemente eines Schiebefensters verwendet.<sup>5</sup>

### 2 Zuordnung der üblicherweise verwendeten Öffnungs- arten von Fenstern anhand typologischer Unterscheidungen

Um die (Grund-) Öffnungsarten typologisch miteinander in Beziehung zu setzen, werden in Abb. 2.02<sup>6</sup> die verschiedenen Bewegungsarten reduziert auf ihre jeweils signifikante Bewegung betrachtet.<sup>7</sup>

In der Praxis vorkommende Kombinationen der verschiedenen Bewegungsarten, z.B. Drehklappfenster



Abb. 2.01 Fassade mit Fenstern und Balkonen (Verona, I)

oder Senkklappfenster, werden in der typologischen Übersicht nicht berücksichtigt.

### Betrachtungsebenen

Für die Unterscheidung der verschiedenen Fenster werden die Öffnungsarten typologisch strukturiert, indem vier Betrachtungsebenen eingeführt werden:

- Erste Ebene: Beweglichkeit der Fassadenfläche
- Zweite Ebene: Kinematische Klassifizierung
- Dritte Ebene: Anwendungsbezogene Terminologie (Bewegungsart)
- Vierte Ebene: Weitere Unterscheidungsmerkmale

#### 2.1 Erste Betrachtungsebene: Beweglichkeit der Fassadenfläche

Für die typologische Zuordnung der Bewegungsarten von Fenstern wird die Fassade als Bezugssystem festgelegt.<sup>8</sup> Verglaste Fassadenflä-

**Ebene 1: Beweglichkeit der Fassadenfläche**

**Ebene 2: Kinematische Klassifizierung**

**Ebene 3: Anwendungsbezogene Terminologie**

**Ebene 4: Weitere Unterscheidungsmerkmale (beispielhafte Auflistung für Vertikalschiebefenster)**

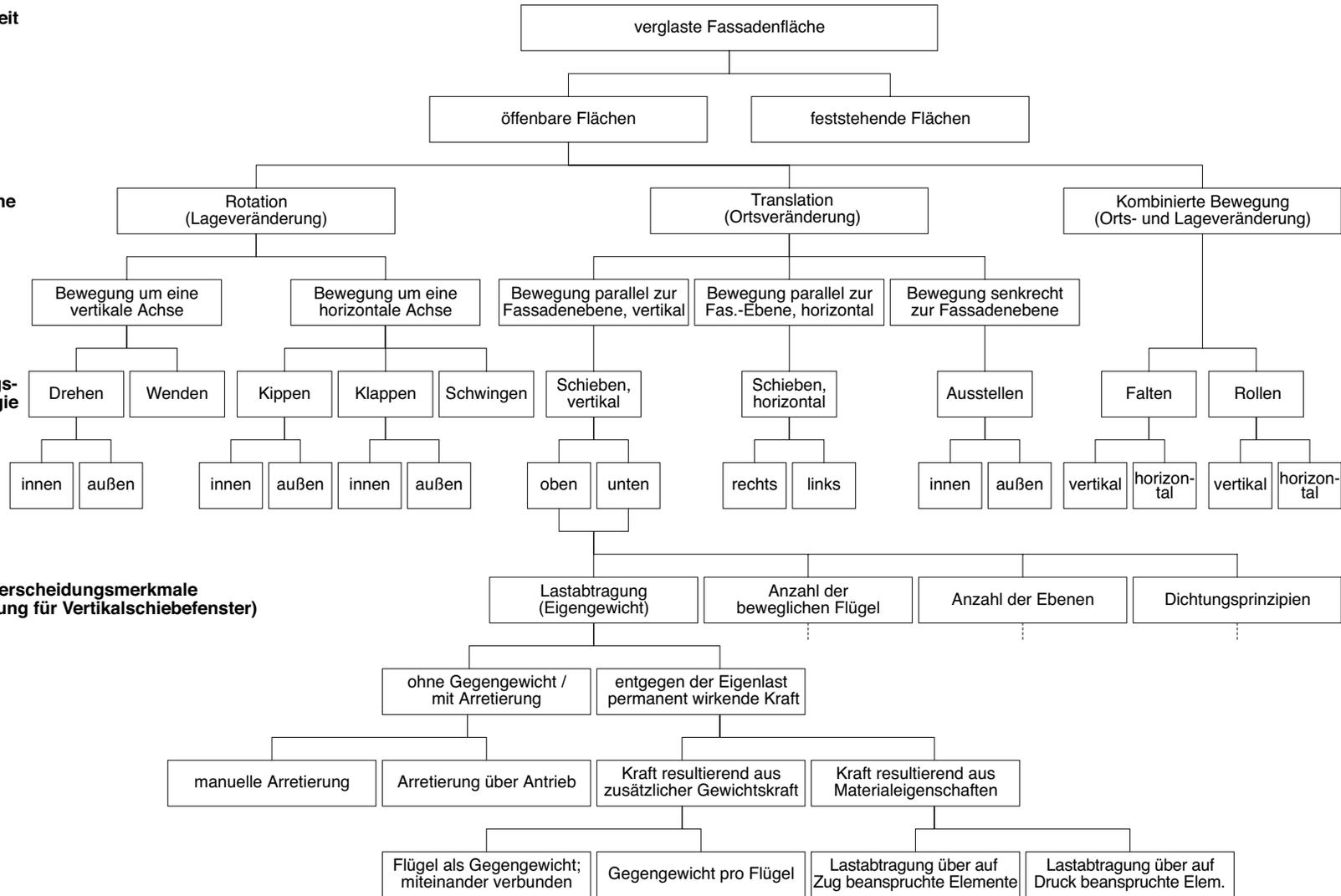


Abb. 2.02 Zuordnung der üblicherweise verwendeten Bewegungsarten anhand von typologischen Unterscheidungen; Einführung von vier Betrachtungsebenen

chen im Bereich der Gebäudehülle lassen sich bezüglich ihrer Beweglichkeit<sup>9</sup> unterscheiden in:

- Feststehende Flächen (Festverglasungen)
- Öffnbare Flächen

**Unterteilungen**  
Die Fensteröffnung wird unter anderem auf Grund statischer (Lastabtragung) und konstruktiver Aspekte (Differenzierung in Elemente für Festverglasung und be-

wegliche Flügel) unterteilt.<sup>10</sup> Die Größe der einzelnen transparenten Felder wird durch die Verfügbarkeit der Materialien (z.B. Glastafeln) bestimmt und definiert so die Gliederung.<sup>11</sup>

**2.2 Zweite Betrachtungsebene: Kinematische Klassifizierung**  
Das in der Mechanik gebräuchliche Modell des starren Körpers wird auf die beweglichen Flügel von Fen-

stern übertragen. <sup>12</sup> In der Kinematik werden zwei Sonderfälle der Bewegung unterschieden:

- Translation (fortschreitende Bewegung <sup>13</sup>): Bewegung, bei der die Linie zwischen zwei beliebigen Punkten A und B eines Körpers ihre Richtung im Raum nicht ändert. Alle Punkte eines Körpers bewegen sich auf kongruenten parallelen Bahnen und erfahren in der Zeit  $\Delta t$  die gleiche Verschiebung  $\Delta r$ . <sup>14, 15, 16, 17</sup>
- Rotation (Drehbewegung): Alle Punkte des Körpers bewegen sich auf ähnlichen, konzentrischen Kreisbahnen um eine gemeinsame geradlinige Drehachse. <sup>18, 19, 20</sup>

Alle anderen Bewegungsformen setzen sich aus diesen beiden Bewegungen - Translation und Rotation - zusammen. <sup>21, 22</sup>

### **Orts- und Lageveränderung**

Die Bewegungsform Translation wird auch als Ortsveränderung bezeichnet; für die Bewegungsform Rotation wird der Begriff Lageveränderung verwendet. <sup>23</sup>

Im Zusammenhang mit Bewegungen von Fenstern erscheint es sinnvoll, diese Begriffe zusätzlich aufzuführen, da sie bereits auf das Problem der Lastabtragung hinweisen: Bei einer Veränderung der Lage (Rotation) können die Kräfte über drehbare Lager abgeleitet werden. Eine Ortsveränderung (Translation) hingegen erfordert eine Lastaufnahme an verschiedenen Orten.

### **Art des Freiheitsgrades**

Aus der Kinematik läßt sich noch ein weiterer Punkt auf die Bewegungsarten von Fenstern anwenden: Die möglichen Bewegungen lassen sich durch die Angabe der Freiheitsgrade darstellen. <sup>24</sup> Betrachtet man zunächst einen Massenpunkt im Raum, so ergeben sich drei Freiheitsgrade durch die möglichen Translationsbewegungen in x-, y- und in z-Richtung. <sup>25</sup> Erweitert man die Betrachtung auf einen (starrten) Körper im Raum, so ergeben sich zusätzlich zu den drei Translationen noch drei mögliche Rotationen: Je eine um die x-, um die y- und um die z-Achse. <sup>26</sup>

Die Beweglichkeit der öffnbaren Flächen wird durch die Art des Freiheitsgrads bestimmt, der sich dadurch ergibt, daß bestimmte Bewegungsmöglichkeiten durch die Rahmen- und Flügelkonstruktion und die Beschläge vorgegeben sind: <sup>27</sup>

- Bei einer radialen Bewegung liegt im Bereich der Fenster ein Rotationsfreiheitsgrad um eine parallel zur Fassadenebene liegende horizontale oder vertikale Achse vor. <sup>28</sup>
- Bei einer Translation liegt entsprechend ein Translationsfreiheitsgrad vor. Die Bewegung erfolgt parallel zur Fassadenebene in horizontaler oder vertikaler Richtung oder senkrecht zur Fassadenebene.

Die beweglichen Flächen können bewegt werden

- durch Lageveränderung mittels

einer radialen Bewegung um eine Achse,

- durch Ortsveränderung auf Grund einer linearen Bewegung, oder
- durch eine gleichzeitige Orts- und Lageveränderung beim Öffnungsvorgang (Kombinierte Bewegung). <sup>29</sup>

### **2.3 Dritte Betrachtungsebene: Anwendungsbezogene Terminologie**

Die durch die kinematische Klassifizierung entstandene Unterteilung kann weiter differenziert werden:

#### **2.3.1 Rotation (Lageveränderung)**

Die Öffnungsarten als Bewegung um eine Achse lassen sich in Gruppen mit horizontaler und vertikaler Achse einteilen. Die jeweilige Bewegung kann für die Bezeichnung des Fensters verwendet werden (siehe Abb. 2.03).

#### **Bewegung um vertikale Achse:**

- Wenden: Wendefenster
- Drehen: Drehfenster

#### **Bewegung um horizontale Achse:**

- Kippen: Kippfenster
- Klappen: Klappfenster
- Schwingen: Schwingfenster

#### **2.3.2 Translation (Ortsveränderung)**

Die Bewegungen mit einer Ortsveränderung erfolgen durch lineares Verschieben in drei verschiedene Richtungen.

#### **Bewegung parallel zur Fassadenebene in der Vertikalen:**

- Schieben, vertikal: Vertikalschiebefenster

#### **Bewegung parallel zur Fassadenebene in der Horizontalen:**

- Schieben, horizontal: Horizontalschiebefenster

#### **Bewegung senkrecht zur Fassadenebene:**

- Ausstellen: Ausstellfenster (auch als Abstellfenster oder Parallelabstellfenster bezeichnet)

#### **2.3.3 Kombinierte Bewegung: Orts- und Lageveränderung**

Öffnungsarten können auch aus einer Kombination von Orts- und Lageveränderung <sup>30</sup> bestehen; beispielsweise wird bei einem Senklapp-Fenster die horizontale Drehachse am oberen Rand des Flügels während des Öffnens (Rotation) nach unten verschoben (Translation).

#### **Transformation (Veränderung der Komponente)**

Bisher wurde das bewegliche Element als unveränderbar betrachtet. Im Bereich der Abschlüsse von Öffnungen gibt es aber auch Bewegungsformen, bei denen sich das Element während des Öffnungsvorgangs in seiner geometrischen Form ändert.

Im Rahmen der typologischen Zuordnung werden bei den kombinierten Bewegungen folgende beiden Fälle betrachtet:

- Falten: Faltfenster
- Rollen: Rolltor

Bei den üblicherweise verwendeten Faltfenstern handelt es sich genau genommen um Dreh-Schiebe-Fenster, da die Fenster nicht als Fläche gefaltet werden, sondern aus mehreren einzelnen Rahmen bestehen. Zur Verdeutlichung sei auf die als Trennwände benutzten Faltwände verwiesen, bei denen - zumindest auf die Oberfläche bezogen - die ganze Fläche gefaltet wird. Für die Bewegungsart Falten sind mindestens zwei bewegliche Flügel erforderlich.

Ähnliches gilt auch für die Bewegung Rollen, bei der entweder Materialien, die in einer Richtung biegeweich sind, als Ganzes (z.B. Textilien, Folien) oder starre lineare Elemente mit Zwischenelementen verwendet werden können (z.B. Rolläden aus miteinander verbundenen Profilen). Betrachtet man nur die Fläche vor der Öffnung, so liegt in diesem Bereich die Bewegungsart Schieben vor.

Die Bewegungsart Raffen soll an dieser Stelle erwähnt, aber nicht näher untersucht werden, da sie nicht für Fenster, sondern eher im Zusammenhang mit Sicht- / Blendschutz verwendet wird. Raffen wird vorwiegend für biegeweiche und gegen Knicken unempfindliche Materialien benutzt (z.B. Stoffe für Vorhänge). Daneben wird Raffan auch für z.B. Jalousien verwendet, bei denen einzelne lineare Elemente (Lamellen) über Schnüre zu ei-

nem Behang miteinander verbunden sind.

### Optionale Bewegungen

Bei der Betrachtung des Fensters in Bezug auf die Beschläge läßt sich ungeachtet der kinematischen Klassifizierung folgende Unterteilung treffen: <sup>31</sup>

- Nicht-optionale Bewegungen: Der Flügel kann nur in einer Bewegungsart bewegt werden, die aus Translation, Rotation oder einer kombinierten Bewegungsart bestehen kann.
- Optionale Bewegungen: Der Flügel kann durch mehrere Öffnungsarten bewegt werden. Die verschiedenen Bewegungen, die aus Translation, Rotation oder einer kombinierten Bewegungsart bestehen können, sind getrennt, d.h. nacheinander ausführbar, z.B. das Drehkippenfenster, bei dem das Kippen nur möglich ist, wenn der Flügel aus der Drehbewegung in die geschlossene Stellung gebracht wird.

### 2.3.4 Bezug zur Fassadenebene

Die Fassade als Teil der Gebäudehülle ist in ihrer grundlegenden Funktion eine - meist senkrecht angeordnete - Trennung zwischen zwei Bereichen. Die Bewegungsarten können daher in einer untergeordneten Betrachtungsebene zusätzlich durch Bezug zu dieser Ebene (in der Regel oben/unten, außen/innen bzw. einwärts/auswärts) differenziert werden. Die Betrachtung erfolgt für das „öffnungs-

schließende“ <sup>32</sup> Element während des Öffnungsvorgangs, z.B.: <sup>33</sup>

- Drehen:
  - nach innen (aufgehend)
  - nach außen
- Klappen:
  - nach innen
  - nach außen
- Schieben, horizontal:
  - nach rechts
  - nach links
- Schieben, vertikal:
  - nach oben
  - nach unten
- Ausstellen:
  - nach innen
  - nach außen

Bei Vertikalschiebefenstern beziehen sich diese Differenzierungen auf den einzelnen Flügel. In der Regel treten die Bewegungsrichtungen 'vertikal nach oben' und 'vertikal nach unten' in Kombination auf. <sup>34</sup>

Für Vertikalschiebefenster findet sich in der Literatur auch der Begriff des Hebefensters. <sup>35</sup> Da parallel dazu der Begriff Hebe-Schiebefenster für eine spezielle Art des Horizontalschiebefensters verwendet wird, bei dem der Flügel zum Öffnen zunächst durch Anheben betätigt wird, bevor er horizontal bewegt werden kann, erscheint es sinnvoll, die Bezeichnung Hebefenster nicht zu verwenden und statt dessen ausschließlich die Bezeichnung Vertikalschiebefenster zu benutzen.

### 2.3.5 Kombinationsmöglichkeiten

Die in Konstruktionshandbüchern verwendeten Begriffe verdeutlichen

die Vielfalt der Bewegungsarten, die sich auf Grund der Kombinationsmöglichkeiten ergeben, z.B.:

- Drehflügel mit Drehschiebelager
- aneinander gehängte Drehflügel
- Drehkipplügel Fenster (Drehkippenfenster)
- Senkkippflügel Fenster
- Faltschiebefenster
- Schwingschiebefenster
- Lamellenfenster
- Hebeschiebefenster, Hängeschiebefenster, Versenkschiebefenster, Versenktür, Horizontalhebeschiebefenster
- Kipp- und Parallelabsteller, Drehparallelabsteller

Die Bewegungsarten entwickelten sich über eine Anzahl von Schritten zu vielfältigen Variationen im 20. Jahrhundert.

Die noch in der Mitte dieses Jahrhunderts existierenden Varianten werden heute jedoch größtenteils nicht mehr produziert. Als Gründe für diese Entwicklung sind unter anderem die erhöhten bauphysikalischen Anforderungen, insbesondere die Reduktion des Wärmedurchgangs zu nennen, die eine Zunahme der Scheibengewichte durch Mehrfachverglasungen bedingen und dadurch wesentlich höhere Anforderungen an Beschlag und Rahmen stellen.

### 2.4 Vierte Betrachtungsebene: Weitere Unterscheidungsmerkmale

Auf einer vierten Ebene werden Konstruktionsprinzipien und sich dadurch ergebende bestimmte

Merkmale unterschieden. Neben der für alle beweglichen Flächen zutreffenden Unterteilung in die Anzahl der Flügel werden auch für die jeweilige Öffnungsart spezifische Merkmale zur Unterteilung verwendet.

In Abb. 2.02 erfolgt für diese Betrachtungsebene eine beispielhafte Auflistung für Vertikalschiebefenster anhand der Lastabtragung.

### 2.4.1 Anzahl der Flügel

Die Unterteilung der verglasten Fassadenfläche unterliegt primär konstruktiven und funktionalen Aspekten.

Die Anordnung und Ausbildung von öffnbaren Elementen werden durch die Funktion des Elements definiert. Bei einer Fensteröffnung in einer (opaken) Wand erfolgt eine Differenzierung mit der Anzahl der zu öffnenden und der festverglaste Flügel.

Unterteilungen innerhalb eines Flügels erfolgen primär aus konstruktiven Gründen (verfügbare Scheibengrößen und Glasdicken, Windaussteifung, Stabilität der Flügel etc.), unterliegen aber auch gestalterischen Absichten.

Die Anzahl der Flügel (bewegliche Flügel, eventuell arretierte und nur zu Reinigungs- oder Wartungszwecken bewegliche Flügel, feststehende Flächen) gibt Aufschluß über die Variationen der Öffnungsmöglichkeiten:

- Einflügelige Fenster
- Zweiflügelige Fenster
- Mehrflügelige Fenster

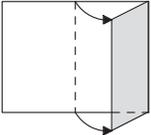
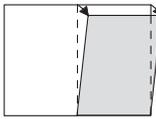
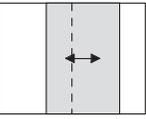
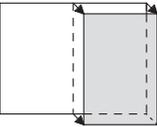
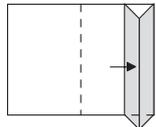
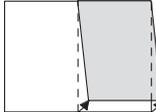
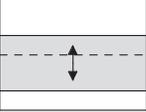
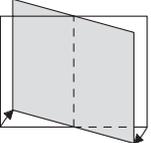
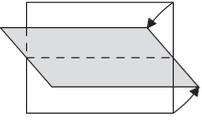
Bezeichnung von Fenstern anhand ihrer Bewegungsart					
Zuordnung	Rotation (Lageveränderung)		Translation (Ortsveränderung)		Kombinierte Bewegungen (Orts- und Lageveränderung)
	Bewegung um vertikale Achse	Bewegung um horizontale Achse	Bewegung parallel zur Fassadenebene	Bewegung senkrecht zur Fassadenebene	Veränderung der geometrischen Eigenschaften (Transformation)
Bezeichnungen	 Drehfenster	 Kippfenster	 Horizontalschiebefenster	 Ausstellfenster	 Faltfenster
		 Klappfenster	 Vertikalschiebefenster		 (Rollen)
	 Wendefenster	 Schwingfenster			

Abb. 2.03 Bewegungsarten von Fenstern: Zuordnungen der Bezeichnungen für die Bewegung

### 2.4.2 Merkmale der verschiedenen Konstruktionsprinzipien der Öffnungsarten

Die verschiedenen Öffnungsarten werden durch spezifische Konstruktionsprinzipien beschrieben.

#### Schiebefenster

Diese haben im Gegensatz zu Fenstern, die sich um eine Achse drehen, keinen festen Auflagerpunkt. Die Abtragung des Eigengewichts erfolgt über bewegliche Auflager.

#### - Vertikale Schiebefenster

Bei vertikalen Schiebefenstern gibt es die Möglichkeit, das Eigengewicht ohne Gewichtsausgleich mittels Arretierung abzutragen:

- Manuelle Arretierung
- Mechanischer Antrieb, der gleichzeitig die Bremsfunktion übernimmt

Eine andere Möglichkeit ist die Ausführung mit einer entgegen der Eigenlast permanent wirkenden Kraft.

Dies ist möglich durch:

- Kraft resultierend aus zusätzlicher Gewichtskraft:
  - Flügel als Gegengewicht, Flügel miteinander verbunden
  - zusätzliches Gegengewicht pro Flügel, unabhängige Flügelposition
- Kraft resultierend aus Materialeigenschaften (auf Zug und/oder Druck beanspruchte Elemente, z.B. Spiralfedern oder Gasdruckzylinder)

### - **Horizontale Schiebefenster**

Bei horizontalen Schiebefenstern gibt es Unterschiede in der Lastabtragung des Eigengewichts:

- Oben (hängend)
- Unten (stehend)
- Kombination

### **Drehfenster**

Bei Drehfenstern in opaken Wandflächen kann mit der Bezeichnung ein Bezug zu den verschiedenen Konstruktionsprinzipien des Rahmens und des Anschlags in der Wandöffnung hergestellt werden, z.B. Blendrahmenfenster. Das Weglassen der Bezeichnung der Bewegung veranschaulicht die Herkunft der Begriffe aus einer Zeit, in der diese Bewegungsart standardmäßig verwendet wurde.

### **2.4.3 Weitere konstruktive Merkmale**

Neben den erwähnten konstruktiven Differenzierungen der vierten Betrachtungsebene können auch Merkmale verwendet werden, die sich unabhängig von einer typologischen Gliederung primär auf die Konstruktion und nur sekundär auf den Öffnungsmechanismus beziehen.

### **3 Vergleich der verschiedenen Bewegungsarten**

Um Fenster als Komponenten der Gebäudehülle bezogen auf den Energiehaushalt und den Nutzerkomfort wirkungsvoll verwenden zu können, ist die genaue Kenntnis

der Bewegungsarten und des damit verbundenen Leistungsprofils notwendig.

Die folgenden Bewegungsarten werden auf Grund ihrer durch den Bewegungsmechanismus bedingten geometrischen Eigenschaften miteinander verglichen (siehe Abb. 2.04 ff.).<sup>36</sup> Die Bewegungsarten werden dabei mit folgenden Zusatzbedingungen untersucht:

- Drehen: 1-flügelig, frei beweglich
- Wenden: 1-flügelig, frei beweglich
- Kippen: 1-flügelig, beweglich bis zu einem Öffnungswinkel <sup>37</sup> von ca. 10°
- Klappen: 1-flügelig, beweglich bis zu einem Öffnungswinkel von ca. 10°
- Schwingen: 1-flügelig, frei beweglich
- Schieben, horizontal: 2-flügelig, frei beweglich
- Schieben, vertikal: 2-flügelig, frei beweglich
- Ausstellen: 1-flügelig, ausstellbar bis ca. 10 cm <sup>38</sup>

Die Untersuchungen erfolgen unabhängig von möglichen Anordnungen, Proportionen oder Größen. Als Situation wird eine Fensteröffnung in einer Wandfläche mit darunter liegender Brüstung angenommen. Die Öffnungsrichtungen sind auf den sinnvollen Einsatz in einer der Witterung ausgesetzten Außenwand ausgelegt. Der Vergleich erfolgt anhand der Punkte:

- Beeinträchtigung der Nutzfläche
- Anordnung an Verkehrsflächen
- Durchblick: maximale freie Öff-

nungsfläche und Unterteilung

- Geometrische Beschreibung der Öffnungsflächen bei Spaltlüftung und Stoßlüftung
- Eignung für Spaltlüftung
- Eignung für Stoßlüftung
- Einstellbarkeit der Öffnungen
- Schutz gegen Zuschlagen durch Wind
- Witterungsschutz (Schutz gegen Niederschläge) bei Spaltlüftung
- Kombination mit innenliegenden Manipulatoren
- Kombination mit außenliegenden Manipulatoren
- Reinigung der Außenseite
- Beschläge
- Dichtung

Die Tabelle wird zunächst in einer komprimierten Version gezeigt (Abb. 2.04). Die Übersicht zeigt ein günstiges Leistungsprofil für Vertikalschiebefenster, das an der dunkleren Färbung der Kreise in der Tabelle erkennbar ist.

Für einen detaillierteren Vergleich ist die Tabelle anschließend in einer ausführlicheren Version um die geometrischen Beschreibungen der Öffnungsarten, die Stichpunkte zu den Bereichen Beschläge und Dichtung sowie um die Anmerkungen in den Zeilen ergänzt dargestellt. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit erfolgt die Darstellung in zwei Teilausschnitten (siehe Abb. 2.05 + 2.06).

### **3.1 Beeinträchtigung der Nutzfläche im Raum**

Die Bewegungsarten unterscheiden sich in ihrer Beeinträchtigung der Nutzfläche bezogen auf die Raum-

tiefe. Die Bewegung des Elements wird grundlegend durch die Art des Freiheitsgrads der Beweglichkeit bestimmt.

### **Rotation (Lageveränderung)**

Die Bewegungsarten mit Veränderung der Lage (Rotation um eine vertikale oder horizontale Achse) beeinträchtigen die Grundrißfläche, da der Flügel während des Öffnungsvorgangs teilweise nach innen in den Raum hineinragt:

- Drehfenster: Der Flügel ragt in gesamter Breite in den Raum. (Ausnahme: außen angeschlagene Flügel und tiefe Leibung oder nach außen aufgehende Drehfenster <sup>39</sup>)
- Wendefenster: Der Flügel ragt zur Hälfte in den Raum.
- Kippfenster: Der Flügel ragt lediglich im oberen Bereich etwas in den Raum. Die Nutzfläche ist in Tischhöhe nicht beeinträchtigt.
- Klappfenster: Da der Flügel (in der Regel) nach außen öffnet, ragt er nicht in den Raum.
- Schwingfenster: Der Flügel ragt zur Hälfte in den Raum. Da der untere Teil nach außen aufgeht, ist die Nutzfläche in Tischhöhe nicht beeinträchtigt, in Kopfhöhe besteht hingegen eine Verletzungsgefahr durch den hineinragenden Flügel.

### **Translation (Ortsveränderung)**

Bei Bewegungsarten mit Ortsveränderung wird durch fortschreitende Bewegung (= Translation) der zu bewegende Teil aus dem Bereich der Öffnung bewegt:

Kinematische Klassifizierung	Rotation (Lageveränderung)					Translation (Ortsveränderung)			Orts- und Lageveränderung mit Veränderung der Komponente (Transformation)
	Bewegung um vertikale Achse		Bewegung um horizontale Achse			Bewegung parallel zur Fassade, horizontal	Bewegung parallel zur Fassade, vertikal	Bewegung senkrecht zur Fassade	
<b>Bewegungsarten von Fenstern (Übersicht)</b>	<b>Drehfenster</b>	<b>Wendefenster</b>	<b>Kippfenster</b>	<b>Klappfenster</b>	<b>Schwingfenster</b>	<b>Horizontal-schiebefenster</b>	<b>Vertikal-schiebefenster</b>	<b>Ausstellfenster</b>	<b>Faltfenster</b>
Ansicht: von innen Horizontalschnitt: oben=außen, unten=innen ● = ja ○ = neutral / bedingt ○ = nein									
Keine Beeinträchtigung der Nutzfläche bezogen auf die Raumtiefe	○	○	●	●	○	●	●	●	○
Möglichkeit der Anordnung an Verkehrsflächen	○	○	○	●	○	●	●	●	○
Durchblick: Maximal freie Öffnungsfläche und Unterteilung	●	○	○	○	○	○	○	○	○
Eignung für Spaltlüftung	○	○	○	○	○	●	●	●	○
Eignung für Stoßlüftung	●	●	○	○	●	○	○	○	○
Einstellbarkeit der Öffnungen	○	○	○	○	○	●	●	●	○
Bewegungsart bietet Schutz gegen Zuschlagen durch Wind	○	○	○	○	○	●	●	●	●
Witterungsschutz (Schutz gegen Niederschläge) bei Spaltlüftung	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Möglichkeit der Kombination mit innenliegenden Manipulatoren	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Möglichkeit der Kombination mit außenliegenden Manipulatoren	●	○	○	○	○	○	○	○	○
Reinigung der Außenseite von innen möglich	●	○	○	○	○	○	○	○	○

Abb. 2.04 Vergleich der Bewegungsarten von Fenstern (Übersicht)

- Schiebefenster: Da bei Schiebefenstern die Bewegung parallel zur Fassadenebene erfolgt, wird die Nutzfläche nicht beeinträchtigt.
- Ausstellfenster: Bei Ausstellfenstern wird die Fensterfläche senkrecht von der Fassade weg bewegt. Das Öffnungselement bleibt dabei in der Achse der Öffnung. Die Nutzfläche wird (bei Öffnung nach außen) nicht beeinträchtigt.

### Kombinierte Bewegungen (Orts- und Lageveränderung)

Bei Bewegungsarten mit Orts- und Lageveränderung wird z.B. beim Falten durch Schieben und Drehen der zu bewegende Teil aus dem Bereich der Öffnung bewegt:

- Faltfenster: Bei Faltfenstern ist die Beeinträchtigung der Nutzfläche von der Größe der einzelnen Elemente abhängig.
- Bei Bewegung durch Rollen mit horizontaler Achse wird die Nutz-

fläche nicht beeinträchtigt. (Diese Bewegungsart wird für Fenster üblicherweise nicht verwendet, sondern nur bei zusätzlichen Komponenten im Bereich von Fensteröffnungen, wie z.B. Rollladen, und bei Rolltoren.)

### 3.2 Anordnung an Verkehrsflächen

Das Öffnen von Fenstern, die an (innenliegenden) Verkehrsflächen angeordnet sind, ist möglich bei:

- Drehfenstern, nach außen aufgehend (Ausnahme bei nach innen aufgehenden Drehfenstern: die Flügel können so weit geöffnet werden (ca. 180°), daß sie an der Wandfläche anschlagen und in dieser Stellung arretiert werden können)
- Klappfenstern, nach außen aufgehend
- Kippfenstern (bedingt)
- Horizontalschiebefenstern
- Vertikalschiebefenstern

Kinematische Klassifizierung	A	B	C	D	E
	Rotation (Lageveränderung)				
	Bewegung um vertikale Achse		Bewegung um horizontale Achse		
<b>Vergleich der Bewegungsarten von Fenstern</b> <b>Teil 1</b>  Ansicht: von innen Horizontalschnitt: oben=außen, unten=innen  ● = ja ● = neutral / bedingt ○ = nein	Drehfenster	Wendefenster	Kippfenster	Klappfenster	Schwingfenster
1 Keine Beeinträchtigung der Nutzfläche bezogen auf die Raumtiefe	○ (Öffnungsbreite)	○ (1/2 Öffnungsbreite)	● minimal	● (nach außen aufgehend)	○ (1/2 Öffnungsbreite)
2 Möglichkeit der Anordnung an Verkehrsflächen	● (nach außen aufgehend)	○	●	● (nach außen aufgehend)	○
3 Durchblick: Maximale freie Öffnungsfläche und Unterteilung	● 100 %	● 100%, vertikale Teilung	○	○	● 100%, horizontale Teilung
4 Geometrische Beschreibung der erzeugbaren minimalen / kleinen Öffnungsflächen	1x seitlich rechteckig, oben und unten dreieckig	2x seitlich rechteckig, oben u. unten 2x dreieckig	2x seitlich dreieckig, oben rechteckig	2x seitlich dreieckig, unten rechteckig	4x seitlich dreieckig, oben und unten rechteckig
5 Geometrische Beschreibung der erzeugbaren maximalen / großen Öffnungsflächen	komplette Öffnungsfläche	komplette Öffnungsfläche, senkrechte Unterteilung	(2x seitlich dreieckig, oben rechteckig)	(2x seitlich dreieckig, unten rechteckig)	kompl. Öffnungsfläche, waagr. Unterteilung
6 Eignung für Spaltlüftung	●	●	●	●	●
7 Eignung für Stoßlüftung	●	●	○	○	●
8 Einstellbarkeit der Öffnungen	○	○	●	●	○
9 Bewegungsart bietet Schutz gegen Zuschlagen durch Wind	○	○	●	●	○
10 Witterungsschutz (Schutz gegen Niederschläge) bei Spaltlüftung	○	○	●	●	●
11 Möglichkeit der Kombination mit innenliegenden Manipulatoren	○	○	●	●	○
12 Möglichkeit der Kombination mit außenliegenden Manipulatoren	●	○	●	●	○
13 Reinigung der Außenseite von innen möglich	●	●	● (lösbarer Beschlag)	○	●
14 Stichpunkte zum Bereich der Beschläge	Auskragen des Flügels erzeugt Moment	Lastabtragung erfolgt mittig	Flügel gegen Herabfallen sichern	Flügel muß in offenem Zustand arretiert werden	Scheibe hängt in offenem Zustand durch
15 Stichpunkte zum Bereich der Dichtung	auch nach außen aufschlagend (bei Wind + Regen)	Versatz in den horizontalen Dichtungen	Überfaltung am Fußpunkt bedingt möglich	Einsatz in windreichen Gegenden	Versatz in den vertikalen Dichtungen

Abb. 2.05 Vergleich der Bewegungsarten von Fenstern (Teil 1)

Kinematische Klassifizierung	F	G	H	I
	Translation (Ortsveränderung)			Orts- + Lageveränderung
	Bewegung parallel zur Fassade, horizontal	Bewegung parallel zur Fassade, vertikal	Bewegung senkrecht zur Fassade	mit Veränderung der Kompon. (Transformation)
<b>Vergleich der Bewegungsarten von Fenstern Teil 2</b>	<b>Horizontal-schiebefenster</b>	<b>Vertikal-schiebefenster</b>	<b>Ausstellfenster</b>	<b>Faltfenster</b>
Ansicht: von innen Horizontalschnitt: oben=außen, unten=innen ● = ja ○ = neutral / bedingt ○ = nein				
1 Keine Beeinträchtigung der Nutzfl. bez. auf die Raumtiefe	●	●	●	○
2 Möglichkeit der Anordnung an Verkehrsflächen	●	●	● (nach außen aufgehend)	○
3 Durchblick: Max. freie Öffnungsfläche und Unterteilung	○ 50%, vertikale Teilung	○ 50%, horizontale Teilung	○	○
4 Geom. Beschr. der erzeugbaren min. Öffnungsflächen	2x seitlich rechteckig	oben und unten rechteckig	umlaufend rechteckig	4 x oben u. unten dreieckig, senkr. rechteckig
5 Geom. Beschr. der erzeugbaren max. Öffnungsflächen	50 % d. Öffnungsgröße als senkrechte Unterteil.	50 % d. Öffnungsgröße als waagrechte Unterteil.	(umlaufend spaltförmig)	komplette Öffnungsfläche
6 Eignung für Spaltlüftung	●	●	●	○
7 Eignung für Stoßlüftung	○	●	○	○
8 Einstellbarkeit der Öffnungen	●	●	●	●
9 Bewegungsart bietet Schutz gegen Zuschlagen d. Wind	●	●	●	●
10 Witterungsschutz (Niederschläge) bei Spaltlüftung	○	●	○	○
11 Mögl. der Komb. mit innenliegenden Manipulatoren	●	●	●	●
12 Mögl. der Komb. mit außenliegenden Manipulatoren	●	●	○	○
13 Reinigung der Außenseite von innen möglich	○	○ (nach innen kippbar)	○	○
12 Stichpunkte zum Bereich der Beschläge	Verkanten bei hohen schmalen Formaten	Kompensation des Eigengewichts, Verkanten	Scherenmechanismus muß Windkräfte abführen	Übertragung des Hebelmoments über 2 Flügel
15 Stichpunkte zum Bereich der Dichtung	Überfaltung am Fußpunkt möglich	Überfaltung + Anpressen am Fußpunkt möglich	bereits bei min. Öffnungen kein Witterungsschutz	bereits bei min. Öffnungen kein Witterungsschutz

Abb. 2.06 Vergleich der Bewegungsarten von Fenstern (Teil 2)

- Ausstellfenstern (nach außen aufgehend)  
 Auch für diesen Aspekt läßt sich feststellen, daß analog zur Beeinträchtigung der Nutzfläche die Bewegungsarten mit Ortsveränderung günstigere Eigenschaften aufweisen. Neben den innenliegenden Verkehrsflächen sind auch außenliegende Verkehrsflächen in unmittelbarer Nähe zur Fassade (z.B. im Erdgeschoß, bei Laubengängen etc.) zu beachten.

### 3.3 Geometrische Beschreibung der erzeugbaren minimalen und maximalen Öffnungsflächen

Da für Spaltlüftung kleine und für Stoßlüftung große Öffnungsgrößen benötigt werden, erfolgt zunächst eine vergleichende Beschreibung der erzeugbaren minimalen und maximalen Öffnungsflächen der verschiedenen Bewegungsmechanismen.

#### Rotation

Bei Bewegungsarten mit Lageveränderung (Rotation um eine vertikale oder horizontale Achse) entstehen winkelförmige Öffnungsflächen. Die Zunahme der Fläche erfolgt daher nicht linear zur Bewegung. Auf Grund der Winkelfunktion ist eine Differenzierung vor allem kleiner Öffnungsgrößen bei großen Flügeln kaum möglich.

Die Komplexität der entstehenden Öffnungen und damit auch die geringe Regelbarkeit läßt sich der folgenden Beschreibung entnehmen:

- Bei Drehfenstern entsteht eine senkrechte und zunächst sehr schmale Öffnung und zusätzlich unten und oben je eine winkelförmige Öffnung für den Luftaustausch. Als maximale Fläche entsteht die komplette Öffnungsfläche.
- Bei Wendefenstern entsteht auf beiden Seiten je eine zunächst sehr schmale rechteckige vertikale Öffnung und zusätzlich unten und oben je zwei dreieckförmige Öffnungen für den Luftaustausch. Die maximale Fläche ist gleich der kompletten Öffnungsfläche, jedoch mit einer mittigen senkrechten Unterteilung (durch den Flügel).
- Bei Kippfenstern entsteht zunächst eine schmale rechteckige liegende obere Öffnung und zusätzlich rechts und links je eine dreieckförmige Öffnung für den Luftaustausch; keine größere Öffnung möglich.
- Bei Klappfenstern entsteht zunächst eine schmale rechteckige liegende untere Öffnung und zusätzlich rechts und links je eine dreieckförmige Öffnung für den Luftaustausch; größere Öffnung nicht möglich.
- Bei Schwingfenstern entstehen eine obere und eine untere zunächst sehr schmale rechteckige liegende Öffnung und zusätzlich rechts und links je zwei dreieckförmige Öffnungen für den Luftaustausch. Die maximale Fläche entspricht der kompletten Öffnungsfläche, jedoch mit einer mittigen waagrechtenteilung.

### Translation

Bei Bewegungsarten mit Ortsveränderung wird durch Schieben eine rechteckige Öffnungsfläche mit linear anwachsender Größe erzielt:

- Bei Horizontalschiebefenstern entsteht pro Flügel eine stehende zunächst schmale rechteckige Öffnung am seitlichen Fensterrand. Bei maximaler Öffnung ist eine vertikale Abtrennung der Fläche von 50 % vorhanden.
- Bei Vertikalschiebefenstern entsteht pro Flügel eine liegende zunächst schmale rechteckige Öffnung. Der untere Flügel ergibt bei Bewegung eine untere Öffnung, der obere Flügel eine Öffnung am oberen Rand. Bei maximaler Öffnung ist eine horizontale Abtrennung von 50 % vorhanden.
- Bei Ausstellfenstern entsteht ein umlaufender Öffnungsschlitz, da der Flügel senkrecht zu seiner Fläche aus dem Rahmen bewegt wird; es ist keine größere Öffnung möglich.

### Kombinierte Bewegungen

Bei Bewegungsarten mit Orts- und Lageveränderung findet eine entsprechende Überlagerung der Öffnungsgeometrien statt:

- Bei (horizontalen) Faltfenstern entsteht zunächst eine schmale rechteckige stehende Öffnung. Hinzu kommen bei weiterer Faltbewegung oben und unten dreieckförmige Öffnungen senkrecht zur Fassadenfläche. Die Lüftungsöffnungen sind nur schwer justierbar.

- Bei Bewegung durch Rollen mit horizontaler Achse (meist bei Rolltoren) entsteht zunächst eine schmale rechteckige liegende Öffnung. (Die Abdichtungen im Bereich der Rolle sind sehr aufwendig. Der Einsatz ist nur für große Öffnungsflächen wie Tor-einfahrten sinnvoll.)

### Durchblick: Maximale freie Öffnungsfläche

Eine zu 100% freie Öffnungsfläche ohne Unterteilung ist nur bei Drehfenstern möglich. Werden bei Schiebefenstern die Elemente innerhalb der Öffnungsfläche verschoben, so ist der Durchblick zur Hälfte ungestört.

Bei Wende- und Schwingfenstern ist der Durchblick vertikal bzw. horizontal geteilt.

### 3.4 Lüftungseigenschaften der verschiedenen Öffnungsarten für Spaltlüftung und Stoßlüftung

Der Vergleich der verschiedenen Öffnungsarten (ohne Windeinfluß) erfolgt bezogen auf die beiden unterschiedlichen Lüftungsvarianten Spaltlüftung und Stoßlüftung:

- Für die Spaltlüftung / Dauerlüftung werden kleine Öffnungen benötigt. Im Bereich der konstruktiven Parameter sind die Ausbildung der Minimalöffnung und die Anordnung der Öffnung die maßgeblichen Größen.
- Für die Stoßlüftung sind die maximal zu öffnende Fläche und die Lage im Bezug zum Raum maßgeblich.

Bei der freien Lüftung mittels öffnbarer Fenster kann ein Druckverlust in Abhängigkeit von der Öffnungsgröße festgestellt werden.

Bei drehbaren Flügeln hat der Öffnungswinkel bis zu einem bestimmten Grad der Öffnung Einfluß auf den Druckwiderstand; bei Klappfenstern findet z.B. ab einem Öffnungswinkel von 60° keine wesentliche Änderung des Druckverlusts mehr statt. Zu Schiebefenstern liegen hierzu keine Aussagen vor.<sup>40</sup>

Bei Dauerlüftung kann ein Vergleich erfolgen, indem man bei gleichen Öffnungsflächen die Lüftungswirksamkeit betrachtet.<sup>41</sup>

### Rotation

Die Lüftungseigenschaften lassen sich aus der Beschreibung der geometrischen Flächen ableiten. Durch Rotation entstehen dreieckförmige Flächen, die sich ungünstig auf die Spaltlüftung auswirken:

- Drehfenster: für Spaltlüftung bedingt geeignet; gute Eigenschaften für Stoßlüftung.
- Wendefenster: für Spaltlüftung bedingt geeignet; gute Eigenschaften für Stoßlüftung.
- Kippfenster: für Spaltlüftung geeignet; für Stoßlüftung ungeeignet.
- Klappfenster: für Spaltlüftung geeignet; für Stoßlüftung ungeeignet.
- Schwingfenster: für Spaltlüftung bedingt geeignet, da rasch zunehmende Öffnungsgrößen; gute Eigenschaften für Stoßlüftung.

## Translation

Die erzeugbaren schmalen rechteckigen Öffnungen sind grundsätzlich gut für Spaltlüftung geeignet. Maßgeblich ist jedoch die Anordnung der Öffnungsflächen bezogen auf den Raum. Dies gilt vor allem für den Vergleich der Stoßlüftung bei Horizontal- und Vertikalschiebefenstern:

- Horizontalschiebefenster: für Spaltlüftung geeignet; relativ gute Eigenschaften für Stoßlüftung, im Vergleich zu Vertikalschiebefenstern jedoch geringer.
- Vertikalschiebefenster: hervorragende Eigenschaften für Spaltlüftung; gute Eigenschaften für Stoßlüftung, da die Öffnungen im oberen und unteren Bereich liegen.
- Ausstellfenster: für Spaltlüftung geeignet; für Stoßlüftung ungeeignet.

Vertikale Schiebefenster weisen bezogen auf den Einsatz als Lüftungselement für Spalt- und Stoßlüftung günstige Eigenschaften auf.

### 3.5 Einstellbarkeit der Öffnungsarten

Eine dosierbare Spaltlüftung wird durch die Einstellbarkeit der Öffnungsfläche ermöglicht. Bei einigen Bewegungsarten kann dies nur über Zusätze erreicht werden:

- Drehfenster: zusätzlicher Feststeller erforderlich;
- Wendefenster: zusätzlicher Feststeller erforderlich;
- Kippfenster: Feststeller gegen zu weites Aufkippen vorhanden, ei-

ne Öffnungsgröße vorgegeben;

- Klappfenster: Feststeller für Öffnungszustand vorhanden, der in der Regel verschiedene Öffnungsgrößen vorgibt;
- Schwingfenster: Feststeller verhindert lediglich das Drehen in einem Winkel über 90°;
- Horizontalschiebefenster: Einstellung der Öffnungen pro Flügel variabel möglich, kein separater Feststeller erforderlich;
- Vertikalschiebefenster: bei Ausgleich des Eigengewichts kein Feststeller erforderlich;
- Ausstellfenster: Feststellung variabel möglich über den im Zusammenhang mit dem Ausstellmechanismus verwendeten Antrieb.

### 3.6 Witterungsschutz bei Spaltlüftung

Einen ausreichenden Schutz gegen Niederschläge bieten Kipp-, Klapp- und Vertikalschiebefenster. Schwingfenster und Horizontalschiebefenster sind zur Spaltlüftung bei gleichzeitigem Niederschlag bedingt einsetzbar.

### 3.7 Schutz gegen Zuschlagen durch Wind

Die Einstellbarkeit der Öffnungsfläche steht in direktem Zusammenhang mit dem zur Sicherheit gehörenden Aspekt des Zuschlagens durch Wind:

- Dreh-, Wende- und Schwingfenster können durch Wind zugeschlagen werden, sofern sie nicht durch zusätzliche Beschläge gehalten werden.

- Ist bei Kippfenstern die Windkraft größer als die Widerstandskraft, die durch den Beschlag und das bei der Öffnungsstellung wirksame Eigengewicht erzeugt wird, so kann ein Zuschlagen durch Wind erfolgen.
- Bei Klappfenstern wirkt der für das Öffnen notwendige Beschlag als Schutz gegen Windkräfte.
- Horizontal- und Vertikalschiebefenster werden senkrecht zu den auf die Fassade auftreffenden Windkräften bewegt. Sie können durch Wind also nicht zugeschlagen werden.
- Bei Ausstellfenstern wirkt der verwendete Antrieb (z.B. Gestänge) zum Öffnen als Schutz gegen das unbeabsichtigte Schließen durch Windkräfte.

### 3.8 Kombination mit anderen beweglichen Komponenten in der Fassade

Für den Vergleich der Bewegungsarten von Fenstern ist das Vorhandensein anderer beweglicher Komponenten ein wichtiges Kriterium, da sich die Veränderbarkeit der Eigenschaften des Fassadenausschnitts durch die Beweglichkeit der Manipulatoren ergibt.

Im Bereich der Fenster unterscheidet man:

- außenliegende Manipulatoren, z.B. für Verschattung, Tageslichtumlenkung;
- innenliegende Manipulatoren, z.B. für Tageslichtumlenkung, Sichtschutz (Vorhänge), Blendenschutz (Screens) und



Abb. 2.07 Vertikalschiebefenster: Kombination mit innenliegendem Manipulator (Claydon House, Claydon UK)

- im Fensterflügel integrierte Manipulatoren, z.B. für Tageslichtumlenkung, Sichtschutz, Blendenschutz. Da diese synchron mit dem Fenster bewegt werden, wird auf diese Gruppe nicht näher eingegangen.

Bei der Kombination verschiedener Manipulatoren ist zu unterscheiden:

- Die Manipulatoren können unabhängig voneinander so bewegt werden, daß der Bewegungsablauf anderer Manipulatoren nicht beeinträchtigt wird.<sup>42</sup>
- Die Manipulatoren können nur in Abhängigkeit voneinander in definierten Mustern bewegt werden.

Kombination bedeutet eine Addition verschiedener Elemente. Daraus ergibt sich, daß die Manipulatoren in verschiedenen Ebenen oder Bereichen angeordnet werden. Günstig ist die Kombination von Mani-

pulatoren, die nahezu in einer Ebene bewegt werden, z.B. durch Schieben.

### **Sonnenschutz**

Die Betätigung von außenliegendem Sonnenschutz ist bei Schiebefenstern ebenso möglich, wie die Betätigung eines (energetisch ungünstigeren) innenliegenden Sonnenschutzes.

### **Blendschutz**

Auf der Innenseite der Fassade angeordneter Blendschutz ist bei Schiebefenstern auch bei geöffnetem Fenster möglich.

Das Öffnen von Fenstern und die gleichzeitige Verwendung von Blendschutz ist sonst nur möglich bei:

- nach außen öffnenden Fenstern und innenliegendem Blendschutz (Sonnenschutz kann nicht vor Fenster angeordnet sein)
- nach innen öffnenden Fenstern und außenliegendem Blendschutz (Blendschutz der Witterung ausgesetzt, meist Kombination von Sonnenschutz und Blendschutzfunktion)

### **Sichtschutz**

Auf der Rauminnenseite der Fassade angeordneter Sichtschutz (z.B. Rollos, siehe Abb. 2.07) kann bei geöffneten Schiebefenstern ebenso erfolgen wie außenliegende Elemente, die dem Sichtschutz dienen. Eine ausführliche Untersuchung zur Kombination von Komponenten bei Verwendung des vertikalen Schiebemechanismus erfolgt in Teil 6.

### **3.9 Reinigung der Außenseite**

Die Reinigung der Außenseite kann vom Innenraum aus dann erfolgen, wenn der Flügel in den Raum geöffnet werden kann: <sup>43</sup>

- Dreh-, Wende- und Schwingfenster können so geöffnet werden, daß die Außenseite in den Raum hineinragt oder die Außenseite nach innen orientiert ist.
- Kippfenster können mit einem lösbaren Beschlag ausgestattet werden und dadurch nach innen geöffnet werden.
- Klapp- und Ausstellfenster können nur von der Außenseite gereinigt werden.
- Horizontalschiebefenster können dann gereinigt werden, wenn die Flügel aneinander vorbei geschoben werden können und die Hälfte der Flügelbreite nicht größer als eine Unterarmlänge ist. Abhängig vom Format ist das Reinigen durch Drehen des Flügels nach innen durch einen lösbaren Beschlag möglich.
- Vertikalschiebefenster können mit einem lösbaren Beschlag ausgestattet nach innen gekippt werden.

### **3.10 Beschläge und Dichtung**

Die Betätigung und die Bewegungsart eines Fensters sind abhängig von den Beschlägen, die teilweise eine Kombination der verschiedenen Bewegungsarten, z.B. für Reinigungszwecke, ermöglichen.

Im Zuge der allgemein fortschreitenden Automatisierung sind einerseits die Anforderungen der Benut-

zer an das Gebäude gestiegen, andererseits haben sich sowohl die Bereitschaft als auch die Fähigkeit reduziert, über das manuelle Öffnen und Schließen der Fenster das Gebäudeklima zu kontrollieren. Der Einhand-Beschlag für Drehkippenfenster wurde zum Standard, an dem andere Betätigungsarten gemessen werden. <sup>44</sup>

## **4 Zusammenfassung**

Die typologische Übersicht erfolgt im Rahmen dieser Arbeit mit der Absicht, die Vielzahl der Öffnungsarten aufzuzeigen, und bereits auf die sich ergebenden unterschiedlichen Eigenschaften hinzuweisen. Die Zuordnung der (Grund-) Bewegungsarten von Fenstern wird durch die Einführung der kinematischen Klassifizierung ermöglicht.

Das Leistungsspektrum eines öffnenden Elements in der Gebäudehülle ist abhängig vom verwendeten Mechanismus. Die Mechanismen weisen unterschiedliche Eigenschaften auf, die wegen ihres Einflusses auf Funktion, Konstruktion und Gestaltung von grundlegender Bedeutung sind.

Der Vergleich der Bewegungsarten von Fenstern ergibt ein sehr günstiges Leistungsprofil für Vertikalschiebefenster. Im Bereich der Lüftung weisen Vertikalschiebefenster günstige Eigenschaften sowohl für Stoßlüftung als auch für Spaltlüftung auf.

Außerdem eignen sie sich - wie auch Horizontalschiebefenster - hervorragend für die Kombination mit innen- und außenliegenden Manipulatoren. Das sich durch die Kombinationsmöglichkeiten ergebende Leistungsspektrum von Systemen mit vertikalem Schiebemechanismus ist zentrales Thema der vorliegenden Arbeit.

## Anmerkungen

- 1 Unter 'Fensterarten' finden sich zum Beispiel bei Meyer-Bohe in gleichwertiger Aufzählung die unterschiedlichen Begriffe Drehflügelfenster, Drehkipplügelfenster, Schwingflügelfenster, Wendefenster, Schiebefenster, Parallelabstellfenster, Verbundfenster, Lamellenfenster und Dachflächenfenster. Die Begriffe beziehen sich nur teilweise auf Bewegungsarten. (Meyer-Bohe 1973, S. 20ff.)
- 2 Bei Noky findet sich als Kriterium neben der Fensterrahmenart und der Bauart auch die Öffnungsart. Vor dem Hintergrund des Betrachtungsrahmens werden dort jedoch nur Fenster mit Drehflügel, mit Schieberahmen und Fenster mit Festverglasung unterschieden. Im Fachwortverzeichnis findet sich unter 'Fensterflügel, Flügel' die Unterscheidung „nach der Funktion“: Drehflügel, Schiebeflügel / Schieberahmen, Kippflügel und Hebeflügel. (Noky 1996, S. 45ff.)
- 3 Angaben finden sich außerdem in:
  - Estrich 1959
  - Gerner/Gärtner 1996
  - Reitmayer 1967
- 4 Warth 1900, S. 41
- 5 „Die Flügel werden nach ihrer Beweglichkeit, wie aus Tafel 26 ersichtlich bezeichnet.“ Dort Auflistung von Dreh-, Klapp-, Kipp-, Drehkippl-, Wende-, Schwing- und Schiebe-Falt-Flügel sowie Schiebe- und Hebeflügel. (Rumpp 1954, S. 143 und S. 249)
- 6 Die typologische Zuordnung der Bewegungsarten wurde vom Autor an anderer Stelle in Form eines Zwischenberichts veröffentlicht. Es handelt sich dabei um einen Arbeitsschritt, der im weiteren Verlauf überarbeitet wurde und daher geringfügige Variationen aufweist.
- 7 Bei Horizontalschiebefenstern erfolgt in der letzten Phase des Schließvorgangs zum Beispiel ein Absetzen des Flügels, um die Dichtigkeit am unteren horizontalen Falz zu erhöhen. Zur Verdeutlichung wird dann oftmals der Begriff Hebe-Schiebefenster verwendet.
- 8 „Ohne Angabe des Bezugssystems ist jede Beschreibung von Bewegungen inhaltslos.“ (Brockhaus 1987, 3. Band, S. 249)
- 9 Beweglichkeit: siehe Punkt 2.2 in Teil 1
- 10 Die Unterteilung mittels eines Kämpfers oder eines Fensterpfostens der Fensterfläche wurde vor allem durch statische Anforderungen bestimmt. Die Unterteilung in einen oberen und einen unteren Teil wurde auch bei horizontalen und vertikalen Schiebefenstern angewendet. (Gerner/Gärtner 1996, S. 28ff.)
- 11 Die Reduzierung der Fensterunterteilung bis hin zum Panoramafenster wirkt sich auch auf die Wahrnehmung des Betrachters aus. Blickt ein Benutzer von innen nach außen, so ergibt die Unterteilung der Fensterfläche durch Sprossen eine Staffelung in der Tiefe.
- 12 DIN 13317, S. 1: „Der starre Körper ist ein gedankliches Modell, das viele Probleme der Mechanik mit guter Annäherung an das Verhalten wirklicher Körper zu behandeln ermöglicht.“  
„Ein starrer Körper kann als ein System von unendlich vielen Massenpunkten aufgefaßt werden, deren gegenseitige Abstände sich nicht ändern.“ Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 103
- 13 Brockhaus 1996, 3. Band, S. 262
- 14 „Die geradlinige Bewegung ist die einfachste Form einer Bewegung.“ (Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 5)
- 15 Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 103
- 16 Förster 1972, S. 7
- 17 Brockhaus 1996, 3. Band, S. 262
- 18 „Ist die Lage dieser Achse im Raum unveränderlich, so spricht man von einer Rotation um eine feste Achse. Geht die Drehachse dagegen nur durch einen raumfesten Punkt (Fixpunkt) und verändert ihre Richtung mit der Zeit, so bezeichnet man dies als eine Rotation um einen Fixpunkt.“ Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 104
- 19 Förster 1972, S. 7
- 20 Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 104
- 21 Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 107
- 22 Förster 1972, S. 7
- 23 „Die Bewegung eines Gegenstandes entspricht einer Änderung von Ort und / oder Lage; sie läßt sich als Überlagerung einer Translation (Ortsveränderung) und einer Rotation (Lageänderung, Drehung) darstellen.“ (DIN 33417, S. 1; siehe auch DIN 13317, S. 2)
- 24 „Freiheitsgrade: Voneinander unabhängige Bewegungsmöglichkeiten.“ (DIN 1311-3, S. 2)
- 25 Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 35
- 26 Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 103 siehe auch DIN 1311, S. 14: „Die Anzahl der Freiheitsgrade eines mechanischen schwingungsfähigen Systems ist gleich der kleinsten Anzahl der betrachteten oder zugelassenen unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten (Verschiebungen oder Drehungen) der Systemelemente (im Kontinuum) oder der Körper (bei diskreten schwingungsfähigen Systemen) bzw. der kleinsten Anzahl voneinander unabhängiger generalisierter Koordinaten, die nötig sind, um die Anordnung eines schwingungsfähigen Systems zu beschreiben.“
- 27 Eine Unterscheidung bezüglich des Beweglichkeitsgrads findet sich bei Warth: Im Vergleich zu einem Drehfenster „findet bei einem Schiebefenster eine vollständige Ortsveränderung bei seiner Bewegung statt.“ (Warth 1900, S. 327)
- 28 Neben den beiden genannten Achsen ist auch eine Achse senkrecht zur Fassadenebene vorstellbar, so z.B. beim Projekt Produktionsgebäude Dial Norm AG, Kirchberg CH (Arch.: Fritz Haller).
- 29 Das Öffnen und Schließen von Fenstern kann (kinematisch) als geführte oder gebundene Bewegung bezeichnet werden. („Wenn ein Massepunkt gezwungen ist, sich auf einer vorgegebenen Fläche oder Kurve zu bewegen, so spricht man von einer geführten oder gebundenen Bewegung.“ Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 38)  
Im Zusammenhang mit beweglichen Komponenten im Bereich der Gebäudehülle sollen an dieser Stelle außerdem noch folgende Begriffe ergänzend aufgeführt werden:
  - Bei einer 'ebenen Bewegung' liegen die Bahnen aller Punkte eines Körpers in parallelen Ebenen, im Gegensatz zur 'räumlichen Bewegung'.
  - Der Bezug zur Geschwindigkeit wird durch 'gleichförmig' (Bewegung mit konstanter Geschwindigkeit) oder 'ungleichförmig' hergestellt.
  - Erfolgt die Bewegung mit konstanter Beschleunigung, so nennt man dies eine 'gleichmäßig beschleunigte Bewegung'.(Brockhaus 1996, 3. Band, S. 262. Förster 1972, S. 210. Hauger/Schnell/Gross 2002, S. 6+7)
- 30 Für den Fall, daß Aussagen zu einer Bewegung gemacht werden sollen ohne die genaue Art der Bewegung (Orts- oder / und Lageveränderung) zu kennen, kann der Begriff der (Änderung der) Position verwendet werden, da er sowohl Lage als auch Ort bezeichnet: „Position: (lat.) die Stellung, Ort, Lage; Standpunkt; Anstel-

- lung; Einzelposten“ (dtv-Lexikon 1997, Band 14, S. 238)
- 31 Cremers, Jan; Lang, Werner: Report Window Fittings. Nicht veröffentlichter Bericht des Forschungsprojekts Re-Frame. Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ.Rom) Thomas Herzog, Technische Universität München, München 2004
- 32 Dietze 1987, S. 18
- 33 Die Bezeichnung mit links oder rechts regelt DIN 107. Die Bewegungsrichtungen für Türen und Fenster sind in DIN EN 12519 definiert.
- 34 Die Differenzierung der Bewegungsrichtung findet sich auch in den Bezeichnungen von Fenstern: Für Fenster im Barock unterscheidet Lietz in Senkfenster (beweglicher oberer Teil) und Hebefenster (unterer Teil kann nach oben geschoben werden). Der Begriff 'Schiebefenster' bezeichnet dort seitlich (horizontal) bewegliche Schiebefenster. (Lietz 1982)
- 35 „Da ihr Flügel immer in der Vertikalen nach oben gehoben wird, sollen diese hier zur Unterscheidung von den Fenstern mit einem Schiebeflügel [Anm.: Horizontalschiebefenster] Hebefenster genannt werden.“ (Gerlach 1987, S. 62) Bei dieser Betrachtung wird der Bewegungsvorgang auf die Tätigkeit des Anhebens, das notwendig ist, wenn keine Gegengewichte zum Ausgleich des Eigengewichts vorhanden sind, reduziert. Die Abwärtsbewegung des Flügels wird durch diese Definition nicht erfaßt.
- 36 Ein Ansatz hierzu findet sich im RWE Energie Bau-Handbuch 1994, (S. 4/9): „Bei der Festlegung der Öffnungsart eines Fensters sind neben der Lage des Fensters im Raum auch die Möglichkeit der Raumbelüftung und Fensterreinigung zu beachten.“ Anschließend folgen zu verschiedenen Bewegungsarten (Dreh-, Kipp-, Drehkipp-, Schwing-, Wende- und (horizontale) Schiebefenster) kurze Hinweise zu den Lüftungseigenschaften für Stoßlüftung und Dauerlüftung. Dabei sind auch Aspekte der Reinigungsmöglichkeit und des Witterungsschutzes bei geöffnetem Fenster erwähnt. Vertikalschiebefenster werden bei dem Vergleich nicht betrachtet.
- 37 Die Einschränkung auf ca. 10° nimmt Bezug zu der möglichen Kippstellung bei Drehkippenfenstern; diese in Deutschland übliche Bewegungskombination soll bereits in diesem prinzipiellen Vergleich berücksichtigt werden. Der maximale Öffnungswinkel ist bei Drehkippenfenstern abhängig von der Flügelhöhe und dem verwendeten Beschlag. Bei Maas findet sich z.B. als maximaler Öffnungswinkel des untersuchten Drehkippenfensters für die Kippstellung ein Wert von 7,17° (Flügelhöhe: 1,33 m). (Maas 1995, S. 27ff.) (Hinweis: Bei reinen Kippenfenstern, z.B. im Oberlichtbereich, kann der Flügel oftmals viel weiter in den Raum gekippt werden, als bei Drehkippenfenstern.
- 38 Die Einschränkung auf ca. 10 cm nimmt Bezug zur Absturzsicherheit, die bei diesem Maß noch gegeben ist. Gelegentlich weisen Ausstellfenster weitaus größere Öffnungsmaße auf, z.B. ca. 50 cm bei der Fortbildungsakademie in Herne (Arch.: Jourda & Perraudin mit Hegger Hegger Schleif)
- 39 In windreichen Gegenden mit hoher Niederschlagswahrscheinlichkeit finden sich oft nach außen aufgehende Fenster, die durch den Winddruck in den Rahmen gepreßt werden, wodurch die Dichtigkeit gegen das auf der Fassadenfläche anstehende Regenwasser erhöht wird. Der auf der Lee-Seite wirkende Windsog, der das Fenster aus dem Rahmen nach außen zieht, geht einher mit einem geringeren Anfall von Regenwasser.
- In offener Stellung müssen sie arretiert werden. Das Reinigen der äußeren Glasflächen kann durch einen nach außen versetzten Drehpunkt der Fensterbänder ermöglicht werden.
- 40 Dietze 1987, S. 19
- 41 Bei der Angabe von aerodynamisch freien Flächen muß ein Abschlag für übliche Strömungswiderstände berücksichtigt werden: „Für gängige Öffnungsarten wie Klapp-, Kipp- oder Wendeflügel entspricht die aerodynamisch wirksame Fläche oft bis auf 10 % oder 20 % der Fläche des engsten freien Querschnitts im geöffneten Zustand. Für einen Kippflügel ist dies die Summe der seitlichen Dreiecke und des oben entstehenden Rechtecks zwischen Flügel und Rahmen.“ (Oesterle et al. 1999, S. 95)
- 42 Neben dem oftmals anzutreffendem Hinweis, daß Schiebefenster in geöffnetem Zustand nicht in den Raum ragen, findet sich auch der Hinweis auf den Zusammenhang der Bewegung und des Bedienung anderer Komponenten:
- „(...) Es können ferner Mückenfenster in jeder beliebigen Größe oben oder unten eingesetzt werden. Ferner ermöglichen die Schiebefenster die Verwendung praktischer Rollvorhänge in der vollen Breite der Nische auch bei geöffnetem Fenster, was bei Flügel Fenstern nur bei geschlossenem Fenster möglich ist.“ (Maier, H. 1895, S. 486)
- „Der Raum vor und hinter dem Fenster kann für die Anbringung von äußerem oder innerem Sonnenschutz voll genutzt werden.“ (Meyer-Bohe 1973, S. 29)
- 43 Die gefahrlose Reinigung der Fenster wird in den Landesbauordnungen gefordert. (RWE Energie Bau-Handbuch, S. 4/5)
- 44 Estrich 2/1987

### Teil 3 Entwicklungen bei Fenstern unter besonderer Berücksichtigung der vertikal verschieblichen Systeme

#### Vorbemerkung

Die Eigenschaft von Fenstern, die durch Schieben geöffnet werden, kann durch zwei Adjektive gekennzeichnet werden:

- verschiebbar (im Sinne von: kann verschoben werden)
- verschieblich (im Sinne von: ist zum Schieben konstruiert) <sup>1</sup>

In der vorliegenden Arbeit wird für Systeme, bei denen Öffnungen durch Schiebe-Bewegung geöffnet oder geschlossen werden, das Adjektiv verschieblich verwendet.

#### 1 Entwicklung der Fenster

Die folgende Darstellung der Entwicklung der lichtdurchlässigen (Fenster) und lichtundurchlässigen Komponenten bezieht sich vorwiegend auf technologische und konstruktive Aspekte der Bewegungsmechanismen. <sup>2</sup>

#### Lichtdurchlässige Komponenten

Für diese wurden bereits in der Antike neben Glas auch andere Materialien verwendet: Alabaster, Marmor, Horn, Tierhäute, Leinwand, Papier etc.. Die Fensteröffnung wurde erstmals in der römischen Antike durch die Verwendung von Glas zu einem technologisch ent-

wickelten Teil des Gebäudes. <sup>3</sup> Bis zum 11./12. Jahrhundert war die verglaste Fensteröffnung jedoch eine Ausnahme.

Die ersten Fenster waren in der Regel fest eingebaut und wurden zu beweglichen Fenstern weiterentwickelt. Bei diesen unterscheidet man nach der Art ihrer Bewegung.

Obwohl Drehfenster bereits aus der Antike bekannt sind, werden sie als Erfindung des Mittelalters betrachtet. In der Gotik wurde die Be- und Entlüftung mittels beweglicher lichtundurchlässiger Komponenten ermöglicht, die sich unterhalb der Festverglasung befanden. <sup>4</sup>

Schiebefenster, deren Flügel parallel zur Fassadenfläche horizontal bewegt werden, sind seit dem 13. Jahrhundert nachweisbar. <sup>5</sup> Aus der Zeit der Gotik sind horizontale Schiebefenster in Holzkonstruktion erhalten, deren Fensterfläche so unterteilt wurde, daß ein Flügel im unteren Bereich hinter die Festverglasung geschoben werden konnte. Durch eine diagonal versetzte Anordnung der Öffnungsflügel übereinander konnten verschiedene Lüftungsmöglichkeiten erreicht werden. Durch das Führen der Flügel in Holznuten konnten diese Fenster ohne Beschläge oder Eisenteile auskommen. <sup>6, 7</sup>

Die Unterscheidung der Funktionen Lüften (unterer Teil) und Belichten (oberer Teil) wurde in der Renaissance zunächst beibehalten: Be-

wegliche Läden im unteren Teil, Verglasung im oberen Teil. Die verschiedenen Fenster waren entsprechend den unterschiedlichen Anforderungen beweglich und festverglast. Zunehmend ging man dazu über, den gesamten unteren Teil der Fensteröffnung mit beweglichen Flügeln zu versehen. Bei Räumen mit mehreren Fenstern verzichtete man auf Öffnungsflügel an allen Fenstern. <sup>8</sup>

Das Fenster (Fensterrahmen, Fensterflügel, Verglasung) war im wesentlichen geprägt durch konstruktive Aspekte: Größe der verfügbaren Glasscheiben, notwendige Dimensionen der Konstruktionshölzer etc. Noch im 19. Jahrhundert hatte die Ausformung des Fensters keine gesonderte Bedeutung bei der Fassadengestaltung.

Dies läßt sich z.B. den Entwurfszeichnungen von Leo von Klenze für das Leuchtenberg-Palais, München, entnehmen. Hier sind die steinernen Einfassungen der Fenster sehr genau gezeigt, hingegen sind die Fenster nur durch eine dunkle Fläche abstrahiert dargestellt. Die Art und Einteilung der Öffnungsmöglichkeiten bleibt unberücksichtigt. <sup>9</sup>

Die Aufgabe der Dauerlüftung wurde bei großen Fensterflügeln oftmals durch den Einbau eines kleinen Lüftungsflügels erfüllt. Mit dem Verschwinden kleinerer Lüftungsflügel innerhalb der Fensterfläche wurde der gesamte Flügel mit seinen Öffnungsmöglichkeiten zum Lüften benötigt.



Abb. 3.01 Lichtdurchlässige Komponente zum Abschluß der Wandöffnung (Trento, I)

Hierbei ist die Entwicklung der Beschläge maßgeblich, die einerseits den neuen Funktionen gerecht werden müssen und andererseits auch durch den „Erhalt bewährter Techniken“ geprägt sind. <sup>10</sup>

Die Konstruktionshandbücher des 19. Jahrhunderts zeugen von der technischen und gestalterischen Vielfalt, mit der die Aufgabenstellungen beim Bauen gelöst wurden. <sup>11</sup>

In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde das manuell offene Fenster als Element der Fassade im Bereich des Verwaltungsbaus zunehmend durch verglaste Gebäudehüllen ohne Öffnungsflügel ersetzt. Das Gebäudeklima wurde bei diesen Lösungen durch mechanische Lüftungsanlagen geregelt.

Erkenntnisse im Zusammenhang mit dem Sick-Building-Syndrom (siehe auch Anhang 4) in den 80er

und 90er Jahren des letzten Jahrhunderts führten in der Folge dazu, daß die Bedeutung des individuell öffentbaren Fensters, das vom Nutzer entsprechend seiner Bedürfnisse unmittelbar betätigt werden kann, wieder erkannt wurde. Dies ging gleichzeitig einher mit der Entwicklung einer innovativen und hocheffizienten Gebäudetechnik zur Reduktion des Energieverbrauchs.

Ein hoher Anspruch an Bedienungscomfort und bauphysikalische Eigenschaften führten teilweise zu einem Verlust der historisch vielfältigen Lösungen im Bereich der Fenster. Zahlreiche Details gingen zugunsten von Produkten der modernen Fertigungstechnik verloren. Neben dem Erscheinungsbild eines Gebäudes, das durch Fenster maßgeblich geprägt wird, waren hiervon auch die technisch differenzierten Möglichkeiten der Schnittstelle von Innenraum und Außenraum eines Gebäudes betroffen.<sup>12</sup>

Die Forderung nach größeren Glasflächen und die höheren Scheibengewichte durch hochwertigere Wärmeschutzverglasungen stellten hohe Ansprüche an die Rahmenkonstruktion, die gleichzeitig ein besseres Wärmedämmverhalten aufweisen mußte.

Ein weiterer Grund für den Rückgang der Fenstervielfalt war die Kenntnis über die Bedeutung der Fugendichtigkeit. Eine möglichst hohe Dichtigkeit war mit geometrisch einfachen Anschlagsmöglich-

keiten und Dichtungsebenen (in einer Ebene verlaufend, linear) eher zu erreichen, als bei Bewegungsmechanismen mit versetzten Dichtungsebenen oder verschleifenden Dichtungen, wie sie charakteristisch sind für Schiebe-Bewegungen.<sup>13</sup>

### Lichtundurchlässige Komponenten

Öffnungen in der Gebäudehülle wurden neben lichtdurchlässigen Elementen auch mit anderen opaken Elementen verschlossen. Die einfachste Form stellte der Fensterladen dar. Für Läden als Verschuß der Fassadenöffnung oder als zusätzlicher Schutz anderer Komponenten (Fenster) wurden Holz<sup>14</sup>, Stein und Eisen verwendet. Man unterscheidet die verschiedenen Typen nach ihrer Befestigungsweise:<sup>15</sup>

- lose Fensterläden: Nach Bedarf eingeklemmte schildartige Bretterkonstruktionen
- Klappläden (= beweglich durch Klappen und Kippen): über oder unter den Fenstern mit Scharnieren befestigt; seit dem 12. Jahrhundert nachweisbar
- Schlagläden (= beweglich durch Drehen): seitlich in Angeln befestigt; bereits in der Antike nachweisbar als einzige Komponente zum Verschließen der Öffnung; umgangssprachlich als Klappläden bezeichnet
- Schiebeläden (= beweglich durch horizontales Schieben): seitlich meist für kleinere Fensteröffnungen innen oder außen

in einem Rahmen eingelassen; bereits in griechischer Zeit verwendet

- Fall- / Zugläden (= beweglich durch vertikales Schieben): über oder unter dem Fenster meist in die Fassadenverkleidung eingelassen; im 15. bis 18. Jahrhundert vor allem in der Ostschweiz auftretend.<sup>16, 17</sup>

Eine einfache Art des Ladens wurde bei Blockbauten in der Gotik verwendet: Durch das Herausnehmen eines Balkenstücks entstand eine ca. 30 x 30 cm große Öffnung. Die Öffnung konnte mit einem in horizontalen Leisten geführten Holzbrett oder einem mit transparentem Material bespannten Rahmen verschlossen werden.<sup>18</sup>

Die ursprünglich aus technischen Gründen entwickelten Fensterläden wurden ähnlich wie Fensterrahmen, Gewände und Beschläge zunehmend auch in gestalterische Überlegungen einbezogen.<sup>19</sup> Erst seit dem 15. Jahrhundert wurden Fensterläden als zusätzliches Element zu Verglasungen verwendet. Ab dem 18. Jahrhundert wurden (opake) Läden in der Regel ausschließlich zusätzlich zu (transparenten) Fenstern verwendet.<sup>20</sup>

Neben Schiebeläden und Schlagläden wurden folgende Komponenten verwendet, die auch heute noch benutzt werden:

- Rolläden oder Stores: Aus schmalen Querhölzern, die auf Schnüren oder Ketten aufgereiht



Abb. 3.02 Lichtundurchlässige Komponente: Schiebeläden (Altenwohnheim, Neuenbürg D; Arch.: Mahler Günster Fuchs)

sind; bekannt seit dem 18. Jahrhundert

- Jalousieläden<sup>21</sup>: Schlagläden mit Füllungen aus schräg gestellten (teils beweglichen) horizontalen Lamellenhölzern, zur Regulierung des Lichteinfalls und der Luftzufuhr; ab dem frühen 18. Jahrhundert<sup>22</sup>

Analog zu den (transparenten) Fenstern vollzog sich auch bei (opaken) Fensterläden die Entwicklung im 20. Jahrhundert. Die über lange Zeit an die jeweiligen Gegebenheiten angepaßten Fensterläden wurden durch einfacher zu bedienende Rolläden verdrängt. Mit der Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften der Fenster verlor der Fensterladen außerdem zunehmend seine direkte bauphysikalische Notwendigkeit. Heute wird er vorwiegend als Einbruchschutz und zur Verdunkelung verwendet. Im Zusammenhang mit gestiegenen

bauphysikalischen Anforderungen wird der Einsatz von Rolläden zur verbesserten Wärmedämmung im Bereich der Öffnungen wieder vermehrt diskutiert.

## 2 Historische Entwicklung des Vertikalschiebefensters

Neben dem horizontalen Verschieben stellt das vertikale Verschieben einen sehr einfachen Mechanismus dar, eine Fensterfläche zu öffnen. Der Mechanismus kommt ohne Beschlagteile aus, da der Flügelrahmen seitlich geführt wird. Im Gegensatz zum horizontalen Schiebemechanismus muß bei einem vertikal nach oben verschieblichen Fenster der Flügel in offener Stellung fixiert werden, da das Eigengewicht nicht durch Beschläge abgeführt wird.

Vertikale Schiebefenster sind wahrscheinlich eine Weiterentwicklung von vertikalen Schiebeläden. Ein genauer Zeitpunkt für die erste Verwendung von Vertikalschiebefenstern läßt sich nicht angeben.<sup>23</sup>

Als ältestes bekanntes, allerdings horizontal verschiebliches Fenster im deutschen Sprachraum gelten die Schiebefenster des mittelalterlichen Wohnturms von Schloß Murnau, Oberbayern, 1233.<sup>24</sup> „Ein horizontal verschiebbarer Lüftungsfügel in feststehendem Fenster scheint sogar die älteste Form des aufgehenden verglasten Fensters zu sein.“<sup>25</sup>

Fenster mit vertikal verschieblichen Flügeln sind in Deutschland seit dem Ende des 17. Jahrhunderts zu belegen. Die verschieblichen Flügel waren ein spezielles Element innerhalb des Fensters. Die als ganzes Element vertikal verschieblichen Fenster wurden im 18. Jahrhundert in Frankreich vermehrt angewendet. Sie gelten daher heute als französische Entwicklung. Die einzelnen Flügel wurden in offenem Zustand durch spezielle Vorrichtungen (eingestellter Stock, Lederriemen etc.) in Position gehalten.

Bei Exemplaren aus England und Schottland aus der Zeit vor Einführung der Vertikalschiebefenster mit Gegengewichten wurde das Fenster lediglich durch Stifte, die seitlich in den Rahmen gesteckt wurden, gehalten.<sup>26</sup>

Das Verschieben wurde auch in anderen Bereichen dort verwendet, wo Flächen verschiedene (Öffnungs-) Zustände annehmen (z.B. Läden).<sup>27</sup>

## 3 Anwendung und geographische Verbreitung

Schiebefenster waren in Europa bereits lange vor der Einführung des Vertikalschiebefensters mit Gegengewicht bekannt. Das am weitesten verbreitete Fenster war jedoch das Drehfenster, das in England und den Niederlanden erst durch das Vertikalschiebefenster mit Gegengewicht verdrängt wurde.

Bei der Untersuchung der historischen Entwicklung von Vertikalschiebefenstern stößt man neben der technischen Entwicklung und deren Vor- und Nachteilen auch auf andere Aspekte für die Verwendung von vertikalen Schiebefenstern: Analog zu Stilmerkmalen ist der Einfluß von Bezugsbauwerken und bestimmten, teils auch wechselnden modischen Vorlieben von großer Bedeutung.

Im deutschsprachigen Raum kam dem Schiebemechanismus für Fenster eine eher untergeordnete Rolle zu.<sup>28</sup> Die Verbreitung des Vertikalschiebefensters erfolgte in Deutschland bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts von den Niederlanden her in einem Streifen vom Westen des Niederrheins nach Westfalen und Niedersachsen.<sup>29</sup>

Schiebefenster kommen im 18. Jahrhundert in Deutschland vor allem an Bauwerken des preußischen Adels zur Anwendung, so bei Schloß Oranienstein, Diez an der Lahn, bei dem im Jahr 1707 Schiebefenster vorgesehen wurden. Eine stärkere Verbreitung erfolgte in Nordostdeutschland. Eine besondere Rolle spielt dabei der Einbau von Vertikalschiebefenstern im Schloß Sanssouci 1745-47, da der Bau des preußischen Königs Vorbildcharakter hatte. Dies führte zu einer Verwendung von Vertikalschiebefenstern in den umliegenden Fürstentümern: Weitere Verbreitung fanden sie in Berlin und Umgebung.



Abb. 3.03 Fassadefront mit Vertikalschiebefenstern, London UK

Auch für den ostfriesischen Bereich wird der Gebrauch von Vertikalschiebefenstern im 18. und 19. Jahrhundert berichtet.<sup>30</sup> Dort wurden Vertikalschiebefenster mit beweglichem unteren Flügel - ohne Gegengewicht, Feststellung mit Stiften etc., nur gelegentlich mit Seilen und Gegengewichten - bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts verwendet. Im Wohnhausbau und Schloßbau des 18. Jahrhunderts war das Vertikalschiebefenster ohne Gegengewicht der am meisten verwendete Fenstertyp.<sup>31</sup>

In Bayern finden sich Vertikalschiebefenster an der Amalienburg im Schloßpark Nymphenburg.<sup>32</sup> Ansonsten sind Vertikalschiebefenster aus historischer Sicht in Bayern unbekannt.<sup>33</sup> Dies trifft auch für Schleswig-Holstein zu.<sup>34</sup> In Sachsen fanden Schiebefenster bis in das 19. Jahrhundert Verwendung. Zu anderen Regionen in Deutsch-

land sind dem Verfasser keine Aussagen bekannt.

In Dänemark werden Vertikalschiebefenster praktisch nicht verwendet.<sup>35</sup> Dies trifft auch für Schweden zu. Die Verbreitung in Großbritannien und den Niederlanden wird im folgenden Kapitel erwähnt.

#### 4 Zweiflügeliges Vertikalschiebefenster mit Gegengewicht

Vertikal verschiebliche Fenster mit Gegengewicht sind allgemein aus den angelsächsischen Ländern bekannt und werden dort als 'sash-window' bezeichnet.<sup>36</sup> Der 1671 erstmals verwendete Begriff bezeichnet im Englischen ein vertikales Schiebefenster mit Gegengewichten.<sup>37</sup> Alternativ wird auch der Terminus 'vertical sliding window' benutzt.<sup>38</sup>

Die Frage nach der Herkunft des Vertikalschiebefensters mit Gegengewicht scheint lediglich in den Ländern das Interesse der Historiker zu wecken, in denen dieser Fenstertyp weit verbreitet ist (Großbritannien, Niederlande).<sup>39</sup> Sowohl Frankreich als auch die Niederlande und England werden als Herkunftsland genannt. Ob die Weiterentwicklung ausschließlich einem Land zugeschrieben werden kann, ist auf Grund der damaligen Situation unklar: Die politischen Verhältnisse - Exil der britischen Monarchie auf dem europäischen

Kontinent - begünstigten einen technologischen und kulturellen Austausch der Länder.

Es läßt sich aber feststellen, daß das vertikal verschiebliche Fenster mit Gegengewicht (sash-window) eine englische Weiterentwicklung eines französischen Vertikalschiebefensters ohne Gegengewicht darstellt.<sup>40</sup>

Bei diesem sash-window bedeutet die Einführung von Gegengewichten, mit denen der bewegliche Flügel mühelos in jede Position verschoben werden konnte, den entscheidenden Entwicklungsschritt bei Vertikalschiebefenstern. Der vor über 300 Jahren entwickelte Mechanismus bildet die Grundlage für heutige Anwendungen.

##### 4.1 Entwicklung 1660-1675

Die eigentliche Erfindung lag im Einbau eines Systems zum Ausgleich des Eigengewichts der Flügel, bestehend aus Gewichten, die über Rollen laufend mit den Flügeln über Schnüre verbunden waren. Ausschlaggebend hierfür war der Charles II.-Flügel im Whitehall Palast (1685-1687) von Christopher Wren, der von 1669 bis 1718 Leiter des königlichen Baubüros war. Ab 1670 wurde dort versucht, ausländische Fenstertypen auf lokale Bedürfnisse anzupassen. Das Ergebnis war ein Fenster, das auch dem Bedürfnis nach Licht im Barock gerecht wurde. Die Jahre 1669/70 gelten als die wesentliche Entwicklungsphase.

Auch wenn in der Literatur verschiedene Namen im Zusammenhang mit der Entwicklung genannt werden, so bleibt der eigentliche Erfinder unklar. Sicherlich hatte Wren als Leiter der obersten Baubehörde eine große Bedeutung, da er sich sehr für die Entwicklung von Fenstern engagierte.<sup>41</sup>

In den Niederlanden erfolgte die erste nachweisbare Verwendung von Vertikalschiebefenstern mit Gegengewichten 1686 am Schloß Zeist, bei Utrecht, und 1687 am Schloß Het Loo, bei Apeldoorn.<sup>42</sup>

##### 4.1.1 Technische Entwicklung

Die technologische Entwicklung bis zum ausgereiften Mechanismus hat ca. 1660 bis 1675 stattgefunden. In England wurde in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts üblicherweise das Glas in Blei gefaßt und für den (Flügel-) Rahmen Eisen verwendet, während in Italien, Spanien, Frankreich, Deutschland und den Niederlanden dafür Holz verwendet wurde.

Mangelnde Dichtigkeit führte zu Überlegungen, auch in England Holz als Baustoff für Fenster zu verwenden.<sup>43</sup> Das erste richtige Holzfenster (abgesehen von älteren Fenstern, die jedoch selten größer als 1 1/2 Fuß waren) wurde 1662 eingebaut.<sup>44</sup>

##### 4.1.2 Zusammenhänge mit klimatischen Verhältnissen

Das in Großbritannien vorherrschende milde und sehr feuchte

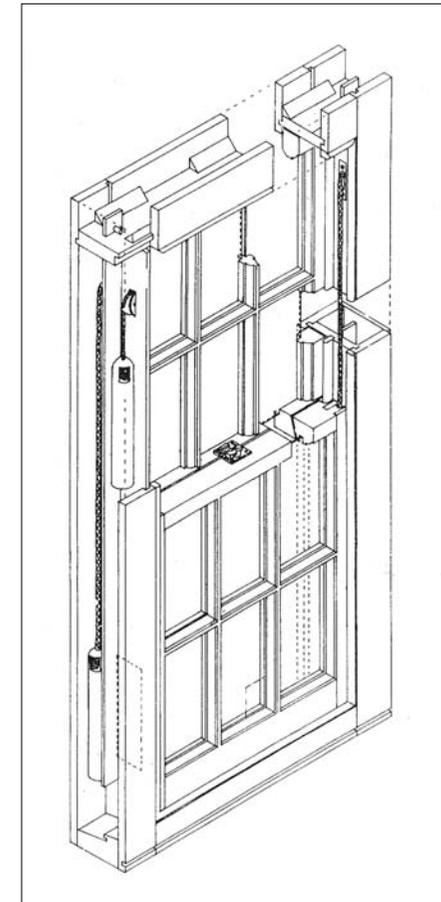


Abb. 3.04 Konstruktiver Aufbau eines traditionellen Vertikalschiebefensters mit Gegengewicht (sash-window)

Klima stellt an die Öffnungen der Gebäudehülle verschiedene Anforderungen. Der Hauptaspekt bei einem feuchten Klima mit moderaten Temperaturschwankungen ist eine gut dosierbare Dauerlüftung.<sup>45</sup> In windreichen Gegenden sind außerdem genau dosierbare und feststellbare Lüftungsmöglichkeiten von Vorteil.

Die Ergänzung eines unteren beweglichen Flügels mit Gegengewicht mit einem oberen beweglichen Flügel mit Gegengewicht war der technologische Durchbruch der vertikal verschieblichen Fenster. Mit dieser technisch ausgereiften Entwicklung konnten hervorragende Lüftungseigenschaften erreicht werden. <sup>46</sup>

Einer der großen Fortschritte war die dosierbare Lüftungsmöglichkeit, die sich sehr gut dem variablen Klima in Großbritannien anpassen konnte. <sup>47</sup>

In direktem Zusammenhang mit den klimatischen Verhältnissen steht auch die Versorgung der Wohnräume mit Wärmeenergie. Diese erfolgte in England traditionell mit offenen Feuerstellen in Form von Kaminen. Die mangelnde Luftdichtigkeit der Vertikalschiebefenster konnte die für den Verbrennungsvorgang erforderliche Sauerstoffzufuhr gewährleisten.

Neben der dosierbaren Lüftungsmöglichkeit wurde auch die Ausbeute des Tageslichts beachtet, die auf Grund der Nutzung notwendig ist. Neben Sonnenscheindauer ist auch die Lichtstärke bei diffusem Himmel oder bei Nebel von Bedeutung. <sup>48</sup>

Um die Lichtausbeute zu erhöhen, wurden hoch angelegte Fensterformate bevorzugt, für die sich vertikale Schiebefenster als besonders günstig erwiesen. Durch die Höhe der Fensteröffnung konnte der



Abb. 3.05 Vertikalschiebefenster, Cambridge UK

Raum auch in der Tiefe gut ausgeleuchtet werden.

#### 4.1.3 Beschreibung der Konstruktion

Die einzelnen Seiten des Rahmens der in England verwendeten Schiebefenster waren anfangs je aus einem Stück Holz. Die senkrechten Schäfte zur Führung der Gewichte sowie alle anderen notwendigen Aussparungen wurden aus dem Holz gefräst. (Nachweise über den genauen Bearbeitungsvorgang konnten bisher nicht erbracht werden.) Ab 1675 wurde der Rahmen aus mehreren Hölzern zusammengesetzt. <sup>49</sup>

An die zu bewegenden Flügel wurden über Umlenkrollen Gewichte gehängt. Als Gewicht wurden Behälter für Eisen- oder Bleikugeln oder massive Gussteile verwendet. Bei letzteren erfolgte die Dosierung durch Abschlagen des spröden Materials auf die richtige Länge. Die

Gewichte verringerten den zur Betätigung erforderlichen Kraftaufwand.

Für das Abhängen der Gewichte wurden Seile (Hanf, Draht), Ledergurte etc. verwendet. Die Seile wurden später durch Ketten ersetzt. Sie wurden über Rollen aus Messing oder Holz geführt; je größer der Durchmesser der Rolle, desto leichter ist die Bewegung des Fensters. <sup>50</sup>

Der für die Führung der Gewichte notwendige Kasten wurde seitlich neben der Rahmenkonstruktion angeordnet. Raumseitig wurden die englischen Vertikalschiebefenster meist mit einem hölzernen zweiflügeligen Fallladen (Spalettladen, Abb. 3.07) versehen, der pro Flügel zweigeteilt wurde und in der Mauernische vor den Holzverkleideten Schächten für die Gewichtsführung angeordnet wurde. <sup>51</sup>

Bestimmend für die leichte Verschieblichkeit war neben der genauen Anpassung des Gegengewichts auch die seitliche Führung der Rahmenhölzer. Die sich beim Bewegungsvorgang berührenden Holzteile wurden daher nicht gestrichen. <sup>52</sup>

An den oberen Ecken der unteren Flügel wurden Verlängerungen der seitlichen Rahmen angebracht, sogenannte 'Joggle'. Diese dienten der Aussteifung der Ecke und dem Schutz gegen Verkanten, da der seitliche Rahmen durch die Joggle ein größeres Auflager hat. Bei den oberen Flügeln bildeten die Joggle



Abb. 3.06 Vertikalschiebefenster, London UK

an den unteren Ecken zusätzlich einen gewissen Schutz bei herabfallendem Fenster.

Bei den Konstruktionen zum Feststellen der Fenster gab es solche, die das Fenster in einer bestimmten Position fixieren, und andere, die ein Schließen, nicht jedoch ein Öffnen durch die Gegengewichte verhindern.

Das Prinzip des Gegengewichts wurde in modifizierter Form auch bei gegenseitig aneinander hängenden Fensterflügeln angewandt. Der Grad der technischen Innovation, der diesem Typ anfangs zugemessen wurde, läßt sich an den Patentanmeldungen hierzu ablesen. <sup>53</sup>

#### 4.1.4 Fertigung

Das Vertikalschiebefenster mit Gegengewicht stellte auf Grund des Mechanismus nicht nur hohe Ansprüche an das handwerkliche



Abb. 3.07 Vertikalschiebefenster mit innenliegendem Fallladen, der gleichzeitig die Revisionsklappe für die Gewichtsführung verdeckt (Melford House, Sudbury UK)

Können, sondern setzte auch die Verwendung von gutem Material voraus. Die erforderliche Präzision machte eine Vorfertigung in der Werkstatt erforderlich. Die Fenster wurden komplett als Einheit auf der Baustelle angeliefert. Die Bedeutung der Vorfertigung läßt sich auch daran ablesen, daß Fenster als komplettes Bauteil von England nach Boston, USA, exportiert wurden. Die Wiederverwendung von Fenstern aus alten Gebäuden war nicht unüblich.

Ab ca. 1710 gehörte das Vertikalschiebefenster als vorgefertigtes Bauteil zum allgemeinen Berufsbild des Schreiners. Ab ca. 1720 war die Herstellung und der Einbau von Vertikalschiebefenstern Bestandteil des Handwerks.<sup>54</sup>

#### 4.1.5 Formale Entwicklung und Gestaltung

Das ursprüngliche Vertikalschiebefenster ohne Gegengewichte wurde

als formale Vorgabe für Weiterentwicklungen betrachtet. Ein wichtiger Aspekt war, den im sash-window eingefügten Mechanismus nicht sichtbar werden zu lassen.<sup>55</sup>

Die Überlappung der beiden Flügel bei einem zweiflügeligen Vertikalschiebefenster erzeugte eine horizontale Unterteilung der Fensterfläche. Dies entsprach der Unterteilung eines Drehfensters mittels eines eingefügten Kämpfers.

Die formale Entwicklung vollzog sich in verschiedenen Typen (Abb. 3.08). Man kann einen Typ A, bei dem das Fenster mit einem Mittelpfosten unterteilt ist, unterscheiden und einen Typ B, bei dem das Fenster keine solche Unterteilung erhält. Typ A entspricht in geschlossenem Zustand formal einem Drehfenster, bei dem die Mittelachse durch die Rahmenhölzer der beiden Flügel betont ist.<sup>56</sup>

Bei beiden Typen gibt es ein weiteres Unterscheidungsmerkmal: Mit oder ohne eingefügtem Querbalken (Typ 1 oder Typ 2). In England wurden vorwiegend Typen ohne Querbalken verwendet. Ab 1680 hat sich der Typ B2 (ohne Mittelpfosten und ohne Querbalken) durchgesetzt. Die Phase der formalen Entwicklung war ca. 1720 abgeschlossen. Der Typ B2 wurde standardmäßig verwendet.<sup>57</sup> Das sash-window war fortan ein eigenständiges Element in der britischen Architektur.<sup>58</sup>

Auffällig ist die Einheitlichkeit von Form und Größe der Vertikalschie-

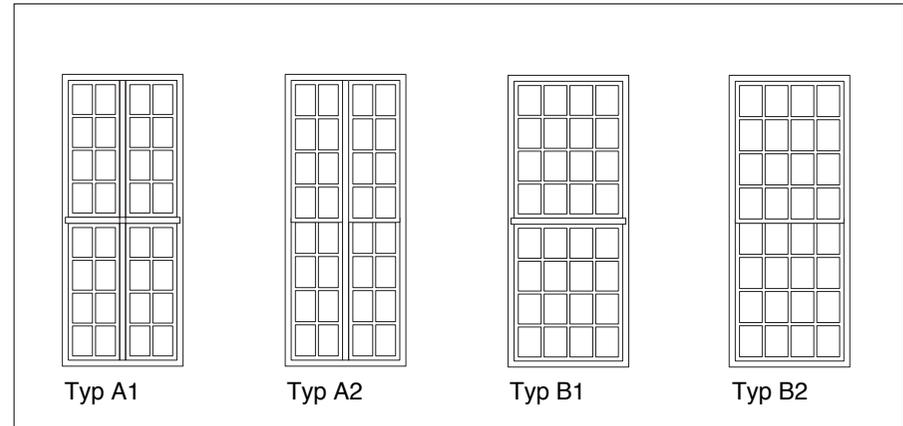


Abb. 3.08 Sash-window: Formale Entwicklung

befenster in Großbritannien: Die vorwiegend anzutreffende Bauweise ist der Backsteinbau. Die Konstruktion von Fensterstürzen geschieht mit einem als Lehrgerüst eingestellten Zargenrahmen oder mittels eines eingefügten Werksteins, über dem in der Regel ein Entlastungsbogen gemauert wurde.<sup>59</sup> Um diesen Sturz möglichst gering zu dimensionieren, ist es günstig, schmale vertikale Fensterformate zu wählen.

#### 4.2 Verbreitung zur Zeit der Entwicklung

London war zur Zeit der Entwicklung des Mechanismus mit Gegengewicht in England nicht nur in der Mode oder bildenden Kunst Vorbild, sondern auch in der Architektur.

Vertikalschiebefenster, als moderne und zeitgemäße funktionale, technische und gestalterische Ausstattung eines Hauses, waren ein „must“.

Die große Popularität gegenüber anderen damals verfügbaren Fenstern wird der Eleganz des vertikalen Schiebemechanismus mit Gegengewichten zugeschrieben.<sup>60</sup>

Das heute einheitlich wirkende Erscheinungsbild wurde zudem nicht unwesentlich durch den London Building Act geprägt, der nach dem großen Feuer von London im Jahre 1666 verfaßt wurde. Dieser schrieb als Baumaterial für Fassaden Ziegelstein oder Stein vor; lediglich bei Fenstern und Türen durfte Holz verwendet werden. Um ein rasches Ausbreiten von Feuer entlang der zeilenförmigen Reihenhäuser zu verhindern, war das Zurücksetzen der ursprünglich außen bündig sitzenden Fenster um eine Steintiefe verbindlich.

Der London Building Act von 1774 erweiterte die Vorschriften: Der kastenartige äußere Rahmen mußte verdeckt montiert werden (Abb. 3.06).

Eine rasche ländliche Verbreitung fanden sash-windows mit dem gleichzeitig einsetzenden Neubau von Landsitzen kurz nach der Entwicklung des Mechanismus. Der Zusammenhang mit klimatischen Verhältnissen wurde bereits dargestellt. Damit läßt sich die Verwendung in Großbritannien und den Niederlanden erklären. Für die Verbreitung in Nordamerika, Neuseeland und Australien kann hingegen nur vermutet werden, daß sich bei den aus Europa stammenden Siedlern analog zur Sprache auch die aus England vertraute Bauweise durchgesetzt hat.

Weitere Aspekte der Verbreitung von Vertikalschiebefenstern können im Rahmen dieser Arbeit nicht dargestellt werden, da es sich bei Fenstern auch in hohem Maße um ein kulturspezifisches Element mit entsprechend komplexen (kunstgeschichtlichen / soziologischen) Zusammenhängen handelt, was nicht Gegenstand dieser Arbeit ist.

### 4.3 Vertikalschiebefenster in der Zeit nach Beginn der Industrialisierung

Das Vertikalschiebefenster mit Gegengewicht wurde nach seiner Entwicklungsphase nur noch geringfügig in seinem prinzipiellen Aufbau verändert.

Als Material wurden zusätzlich Metalle eingesetzt (Gußeisen, Bronze, Stahl etc.). In der 'Brooking Collection' finden sich unter anderem Fensterflügel, deren Sprossen auf der Außenseite mit Kupferblech

verkleidet sind.<sup>61</sup> Das Holz konnte sehr gering dimensioniert werden, da das Metallblech nicht nur als Witterungsschutz, sondern auch zur Lastabtragung verwendet wird (Verbundwirkung).

Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden kleine Lüftungsflügel in Fenstern verwendet, die als vertikal verschiebbliche Flügel ausgebildet sind, um ein dosierbares Lüften zu ermöglichen.<sup>62</sup> Bei Gerner findet sich der Hinweis, daß Schiebefenster „im 19. Jahrhundert immer seltener“ wurden.<sup>63</sup>

Die „mangelhafte Luftdichte“ führte in den zwanziger Jahren dazu, daß Schiebefenster „nur noch in Loggien und Wintergärten, teilweise auch in Büro- und Geschäftsbauten“ verwendet wurden.<sup>64, 65</sup> Messungen zur Luftdurchlässigkeit, bei denen von sechs verschiedenen Fensterbauarten zwei hölzerne (Vertikal-) Schiebefenster gemessen wurden, sind für die frühen 30er Jahren belegt.<sup>66</sup>

### Aussagen in Konstruktionshandbüchern

Einen Überblick über den Einsatz von Vertikalschiebefenstern vermitteln Konstruktionshandbücher und Fachzeitschriften. Hier finden sich detaillierte zeitgenössische Informationen zu Vertikalschiebefenstern aus der Sicht des Erscheinungszeitraums. Anhand dieser Quellen läßt sich die damalige Verwendung von Vertikalschiebefenstern ableiten.



Abb. 3.09 Vertikalschiebefenster in Pfosten-Riegel-Fassade, Erweiterung Berufsschule, Heilbronn-Böckingen D (Fa. Gartner)

Eine Weiterentwicklung des englischen Vertikalschiebefensters findet sich in 'Die Thür- und Fenster-verschlüsse', 1876, und wird dort als „Schubfenster neuester Wiener Construction“ bezeichnet: „Doppelschubfenster“ bestehend aus zwei Vertikalschiebefenstern.<sup>67</sup> Eine andere Version zeigte die beiden Flügel in geschlossenem Zustand in einer Ebene.

Allgemein läßt sich sagen, daß die Weiterentwicklung von Vertikalschiebefenstern analog zu Drehfenstern erfolgte: Die Anzahl und der Verbund der Glasscheiben wurde für ein besseres Wärmedämmverhalten erhöht (zur Entwicklung der Fensterkonstruktionen siehe auch Anhang Teil 4).

„Die Schiebefenster waren früher beliebt, haben sich aber überlebt.“ Die mangelnde Dichtigkeit und die „mühsame und unvollkommene“ Öffenbarkeit werden in 'Die gesam-

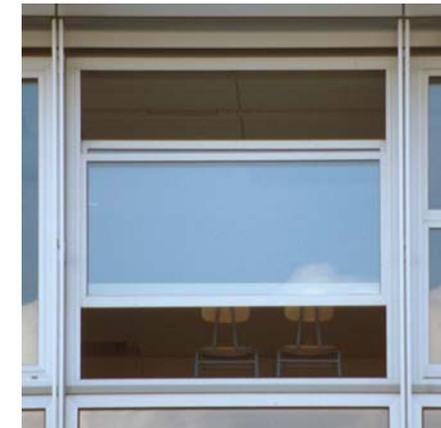


Abb. 3.10 Zweiflügeliges Vertikalschiebefenster mit gekoppelten Flügeln, Erweiterung Berufsschule, Heilbronn-Böckingen D (Fa. Gartner)

te Bauschreinerei' als Gründe hierfür angeführt. Lediglich die Sturmsicherheit, da die Flügel nicht zugeschlagen können, sah das 'Schreinerhandbuch' als Argument für eine Verwendungsmöglichkeit. Ergänzt wurde die mögliche Anwendung für Fenster, deren Flügel nicht drehbar zu öffnen sein können. Welche Rolle den gestalterischen Aspekten zukommt, erfuhr der Leser durch den Hinweis, daß die in zwei Ebenen liegenden Glasflächen der beiden Flügel vor allem bei horizontalen Schiebefenstern „des Mangels an Symmetrie wegen unschön, aber nicht zu umgehen ist.“<sup>68</sup>

In der Deutschen Bauzeitung von 1895 findet sich ein Artikel über Schiebefenster, der als Vorteile auflistet: „Sie bieten eine freiere Durchsicht; der Fenstersims sowie die Fenster-nische sind uneingeschränkt be-

nutzbar; es kann unten und oben und an beiden Orten zugleich gelüftet werden, während die bessere obere Lüftung bei den Flügel Fenstern nur mühsam und bei oberen Klappfenstern nur mittels mehr oder weniger unpraktischer und komplizierter Federfallen, Zudrückvorrichtungen usw. geschehen kann. Es können ferner Mückenfenster in jeder beliebigen Größe oben oder unten eingesetzt werden. Ferner ermöglichen die Schiebefenster die Verwendung praktischer Rollvorhänge in der vollen Breite der Nische auch bei geöffnetem Fenster, was bei Flügel Fenstern nur bei geschlossenem Fenster möglich ist.

Der Einwand, daß die Schiebefenster durch ihre Zweiteilung der Höhe nach und dadurch, daß die Glasflächen nicht in derselben Ebene liegen, von außen unschön wirken, fällt, sofern dieser Einwand überhaupt berechtigt ist, gegen die großen Vorzüge wenig ins Gewicht. (...) In unseren neuesten Fachschriften noch ist die Ansicht ausgesprochen, daß die Schiebefenster sich überlebt haben; sie seien nie ganz dicht, oder wenn sie gut schließen, nur mühsam und unvollkommen zu öffnen. Danach muß man überrascht sein, die anscheinend so unpraktischen Schiebefenster bei den doch so praktischen Amerikanern und Engländern ganz allgemein zu finden, um so mehr noch, als die amerikanischen Schiebefenster vollkommen dicht geschlossen werden können und sehr leicht beweglich sind.“<sup>69</sup>

Im 'Handbuch der Architektur' von 1896 findet sich zu Schiebefenstern folgendes: "Schiebefenster sind in Deutschland (...) nicht beliebt, während sie in England und in Amerika beim Wohnungsbau fast durchweg Anwendung finden. Ihre Vorzüge sind, daß sie sich bequem handhaben und bewegen lassen, daß sie freie Aussicht ohne Störung durch den Pfosten gewähren, daß sie nach dem Öffnen den freien Raum nicht so beschränken, wie die Flügel, welche durch den Wind leicht zugeworfen werden und deren Verglasung man beim Hinauslehnen aus dem Fenster manchmal eindrückt, daß sie die Vorgänge des Öffnens nicht hindern und endlich, daß sie billiger sind, als Flügel Fenstern, und einen einfacheren Beschlag beanspruchen."

Als Nachteile werden die Undichtigkeit, die erschwerte Reinigung und das Klappern im Rahmen genannt. Der Ebenenversatz der Flügel wird als "Schönheitsfehler" bezeichnet.<sup>70</sup>

Noch in den ersten beiden Jahrzehnten nach dem Zweiten Weltkrieg wurden dem Vertikalschiebefenster hervorragende Eigenschaften vor allem in der Lüftung zugewiesen. „Das Schiebefenster wird (...) stets begehrt sein, da es vom technischen Standpunkt aus durch Jahrzehnte hindurch erprobt und ausgereift ist.“<sup>71</sup>

Als Grund für die geringe Verwendung werden andere Konstruktionen aufgeführt: "Das Schiebefenster ist durch diese Konstruktion



Abb. 3.11 Zweiflügeliges Vertikalschiebefenster mit gekoppelten Flügeln in geschlossenem Zustand (Fa. SCHÜCO)

[Anm.: Verbundfenster] etwas in den Hintergrund getreten, aber nicht verdrängt worden.“<sup>72</sup>

Im 'Bauhandbuch 1963' werden Schiebefenster zusammen mit Spezialfenstern bei Glaserarbeiten aufgelistet. Es werden dort Vertikalschiebefenster dargestellt, deren "beide Flügel nach auf- und abwärts schiebbar" sind. Zusätzlich können die Flügel zum Reinigen nach innen geklappt werden. Die Gewichte werden in seitlichen Kästen geführt. Eine Variante wird mit Einfachverglasung aufgelistet, eine zweite mit Doppelverglasung.<sup>73</sup>

Analog zu der Bewertung der Konstruktion in den Publikationen ging auch die Zahl der Beschlägehersteller zurück. Konstruktionshandbücher der 60er Jahre nennen noch mehrere Hersteller von Vertikalschiebefenstern.<sup>74</sup> Die Produktion der verschiedenartigen Beschlä-



Abb. 3.12 Zweiflügeliges Vertikalschiebefenster mit gekoppelten Flügeln in geöffnetem Zustand (Fa. SCHÜCO)

ge wurde jedoch kontinuierlich eingestellt.

Vertikalschiebefenster finden Erwähnung in Büchern zur Konstruktion von Fenstern bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts.<sup>75</sup> Interessanterweise wird das traditionelle (englische) Vertikalschiebefenster mit Gegengewichten und Einfachverglasung noch 2001 in 'Moderne Baukonstruktion, Neue Gebäude - Neue Techniken' neben modernen Pfosten-Riegel-Fassaden aus Aluminiumprofilen aufgeführt.<sup>76</sup>

#### 4.4 Stand der Technik

Die Anfragen bei Beschläge- und Fensterherstellern ergaben, daß Vertikalschiebefenster heute sowohl von größeren als auch von kleineren Herstellern von Fenster- und Fassadensystemen angeboten werden.<sup>77</sup>

In der Regel handelt es sich um zweiflügelige Vertikalschiebefen-

ster, deren Flügel entweder miteinander gekoppelt sind oder jeweils mit Gegengewicht versehen sind (Anwendungsbeispiele siehe Abb. 3.09 bis 3.12). In geschlossenem Zustand befinden sich die Flügel in einer Ebene. In Abb. 3.11 und 3.12 sind die seitlichen verkröpften Führungsnuten zu erkennen.

Im Jahr 1996 betrug die Zahl der in Deutschland hergestellten Fenster 26 Millionen Stück.<sup>78</sup> Betrachtet man in diesem Zusammenhang die unterschiedlichen Entwicklungen im Bereich der Fassaden, verwundert die geringe Variation an Mechanismen für die Betätigung von Fensterflügeln.

Wenn man davon ausgeht, daß die international beachtete Fachmesse für Fenster (Fensterbau Frontale, Nürnberg) den jeweiligen aktuellen Stand der verfügbaren Fenstertechnologie abbildet, so zeigt die Situation im Jahr 2000 folgendes: Lediglich ein Hersteller (Fa. Hawa, Schweiz) ist auf dem deutschen Markt mit Beschlägen für ein Fenstersystem aus Holz mit vertikalem Schiebemechanismus vertreten. Zusätzlich werden von einigen wenigen Firmen Systeme für Kiosk- oder andere Verkaufssituationen angeboten. Diese bestehen in der Regel aus 1-Scheiben-Verglasung (teilweise aus Plexiglas o.ä.) und eignen sich nicht für den Einsatz bei Wohn- oder Büronutzung. Meist steht auch der elektrische Antrieb im Vordergrund.<sup>79</sup> Die Fensterbau Frontale 2004 ergab ein ähnliches Bild.<sup>80</sup>

Bei der im Jahr davor stattfindenden Fachmesse BAU2003 in München waren jedoch mehrere Fassaden- und Fensterhersteller mit Vertikalschiebefenstern vertreten gewesen.

Neben dem Angebot kompletter Vertikalschiebefenster ist das Angebot der Beschlägehersteller von grundlegender Bedeutung. Anfragen bei den marktführenden Herstellern ergaben, daß derzeit nahezu keine Beschläge für vertikale Schiebemechanismen angeboten werden.<sup>81</sup>

Im Ursprungsland der Vertikalschiebefenster mit Gegengewichten sind viele alte Fenster noch in Verwendung. Mangelnde Pflege des Mechanismus (Überstreichen der Führungsnuten, defekte Seile) ist die Ursache für die häufig vorhandene Ablehnung. Um moderne Wärmeschutzstandards einzuhalten, werden viele Vertikalschiebefenster mit zusätzlichen innenliegenden Horizontalschiebefenstern mit Einfachverglasung „aufgerüstet“. Zur (vermeintlichen) Modernisierung werden außerdem dem traditionellen Fenster nachempfundene Typen aus Kunststoff und mit Isolierverglasung angeboten. Sehr häufig werden die Vertikalschiebefenster jedoch gegen feststehende Verglasung mit einem nach außen zu öffnenden Klappfenster oder Senkkloppfenster als Oberlicht ausgetauscht. In den USA, wo Vertikalschiebefenster zu den üblicherweise verwende-

ten Fenstertypen im Wohnungsbau zählen, wird die traditionelle Form vor allem bei Einfamilienhäusern mit neuen Materialien wie z.B. Kunststoff nachgeahmt. Im Vordergrund stehen Haltbarkeit und Benutzerkomfort.

Die Firma Kawneer bietet ein Fassadensystem zum Einsatz bei Pfosten-Riegel-Fassaden mit Vertikalschiebefenstern an. Die Rahmen aus Aluminium sind jedoch thermisch nicht getrennt.

## 5 Anwendungen der vertikal verschieblichen Systeme

Sobald eine Öffnung einen variablen Öffnungsgrad besitzen soll, werden neben Dreh-Bewegungen auch Schiebe-Bewegungen verwendet. Diese haben den Vorteil, daß die Auflagerkraft über ein bewegliches Auflager gezielt abgefangen werden kann. Vertikale Schiebemechanismen kommen in folgenden Bereichen zur Anwendung:

- Gebäude
- Fahrzeuge
- sonstige Bereiche

Auf eine umfassende Darstellung wird hier verzichtet. Einige Hinweise auf beispielhafte Projekte sollen lediglich das Spektrum der Anwendungsmöglichkeiten zeigen.

### 5.1 Anwendung in Gebäuden

#### 5.1.1 Lichtdurchlässige Komponenten (Fenster)

Für bestimmte Nutzungen sind Vertikalschiebefenster besonders vor-

teilhaft, z.B. Krankenhäuser, Schulen, Hotels.<sup>82</sup> Vertikalschiebefenster eignen sich ebenfalls für die Anwendung grundriß-optimierter Verwaltungsgebäude.<sup>83</sup>

Daneben können auch die Nutzungsvariabilität im Grundriß und der Benutzerkomfort zur Verwendung von Vertikalschiebefenstern führen.<sup>84</sup>

Vertikalschiebefenster werden wegen ihrer Lüftungseigenschaften bei großen Raumtiefen verwendet (Klassenräume etc.). Sie eignen sich auch dann besonders, wenn ein ungehinderter Ausblick bei geöffnetem Fenster erreicht werden soll und der Öffnungsflügel nicht in den Raum ragen kann, z.B. Restaurant- und Hotelbauten.<sup>85</sup> Vertikale Schiebemechanismen können bei großflächigen Öffnungen eingesetzt werden, bei denen Flügel aus verkehrstechnischen Gründen nicht angewendet werden können. Außerdem lassen sich so mehrere große Öffnungen nebeneinander realisieren.<sup>86</sup>

Außer den Sicherheits- und Lüftungseigenschaften kann auch die Durchlässigkeit für Personen bei mehrteiligen Vertikalschiebefenstern bewußt eingesetzt werden.<sup>87</sup> Die Kombination des vertikalen Schiebemechanismus mit anderen Bewegungsarten ist belegt.<sup>88</sup>

#### Exkurs: Jean Prouvé

Im Zusammenhang mit vertikalen Schiebefenstern ist das Werk von

Jean Prouvé von besonderem Interesse. Ab 1929 beschäftigt er sich intensiv mit diesem Mechanismus. Das Bewegungsprinzip wird dabei in verschiedenen Variationen verwendet.

Auffallend dabei ist, daß das Fenster als technisches (mechanisches) Element verstanden wird, das funktionalen, konstruktiven und gestalterischen Aspekten unterliegt. Dies wird auch durch mehrere Patente belegt.<sup>89</sup>

Bei dem Projekt Square Mozart (siehe Abb. 3.13 und 3.14) besteht die Fassade aus der Addition gleicher geschoßhoher Felder. Diese bestehen aus einem unteren opaken und einem oberen transparenten Teil. Der transparente Teil ist ein Senkfenster, das vertikal in den Brüstungsbereich verschoben werden kann.

Im Brüstungsbereich ist ein opaker Laden aus Metallblech mit mittigen Kühlhaubenschlitzen auf einer Rahmenkonstruktion angeordnet. Auf senkrechten Schienen kann dieser nach oben verschoben werden, um den dahinterliegenden Raum zu verschatten. Die Schlitze dienen der Lüftung in geschlossenem Zustand des Schiebeladens.

Um gleichzeitig einen Ausblick in den Straßenraum zu haben, kann der Laden nach außen geklappt werden. Auf der Innenseite der Fassade sind zusätzlich Vorhänge als Sicht- und Blendschutz angeordnet.

Das Gebäude zeichnet sich durch eine hohe ablesbare Funktionalität der Fassade aus, die durch die Be-

nutzer ein sich stetig änderndes Erscheinungsbild erhält.

### 5.1.2 Opake Komponenten

Die Verwendung eines vertikalen Schiebemechanismus findet sich im Bereich der Gebäudehülle auch für opake Komponenten. Am günstigsten bietet sich die Verwendung von vertikal verschieblichen opaken Komponenten im Zusammenhang mit Brüstungselementen an. Die Komponenten werden im Bereich der Brüstung verstaut und bei Bedarf verschoben.

Ebenso denkbar ist, einen auf der Rauminnenseite angeordneten Laden zur Reduzierung der Nachtauskühlung bei ungünstigen U-Werten der Verglasung, im offenen Zustand in den Brüstungsbereich zu verschieben.<sup>90</sup>

## 5.2 Anwendungen im Fahrzeugbau

Der maßgebliche Parameter beim Fahrzeugbau ist die Bewegung, die sich durch die grundlegende Funktion der Mobilität ergibt. Sollen die Öffnungen der Fahrzeughülle verschließbar sein, so unterscheidet man zwei verschiedene Öffnungsarten:

- Öffnungen, die nur in ruhendem Zustand geöffnet werden.
- Öffnungen, die auch während des Fahrens offenbar sind.

Vor allem bei letzteren ist das Prinzip des Verschiebens parallel zur Hüllfläche vorteilhaft, da keine Flügel oder ähnliches nach außen oder innen ragen.



Abb. 3.13 Fassade mit vertikal verschieblichen Elementen, Square Mozart, Paris - Arch.: Jean Prouvé

### Automobilbau (Straßenverkehr)

Im Automobilbau besteht trotz des Einzugs von Klimaanlage weiterhin die Notwendigkeit, die seitlichen Fenster zu öffnen. Die Fensterflächen werden in der Regel durch vertikales Verschieben geöffnet. Das Öffnen erfolgt durch Versenken der Scheibe in Tür oder Heckklappe. Die Glasscheibe wird seitlich durch Führungsschienen (in Gummiprofilen, mit Filzauflage o.ä.) oder durch in Führungsschienen verankerten Glashalterungen gehalten. Eine separate Rahmenkonstruktion für das bewegliche Glasfeld entfällt. Zusätzlich werden die Fenster in geschlossenem Zustand in Gummidichtungen gepreßt. Der Antrieb der verschieblichen Teile erfolgt manuell durch direktes Schieben, durch Kurbeln oder elektrisch durch Stellmotoren (elektrische Fensterheber), die mittlerweile zum Standard bei Personenkraftwagen und auch Nutzfahrzeugen



Abb. 3.14 Ausklappbarer vertikal verschieblicher Laden (Square Mozart, Paris - Arch.: Jean Prouvé)

geworden sind. (Drehbare Wendeflügel, wie z.B. beim VW-Käfer, werden im Automobilbau nicht mehr verwendet.)

Auch Türen können neben dem Aufklappen ebenso durch vertikales Schieben geöffnet werden.<sup>91</sup>

### Waggonbau (Schienenverkehr)

Die maximale Ausnutzung von Volumen und Fläche bei (Personen-) Waggonen im Schienenverkehr bedingt möglichst raumsparende bewegliche Elemente. Der vertikale Schiebemechanismus wird daher bei Fenstern nahezu ausschließlich angewendet. Durch den Einsatz von klimatisierten Waggonen im Schienenverkehr des Fernverkehrs besteht jedoch keine Notwendigkeit mehr für manuell zu betätigende Fensteröffnungen zur Lüftungsregulierung. Lediglich vertikal verschiebliche (aufgerollte) Stores zur Lichtreduzierung kommen zum Einsatz.

## Schiffsbau

Auch im Schiffsbau kommen Schiebefenster zur Anwendung. Die Verwendung ist dort analog zum Hotelbau: Die geringen Geschwindigkeiten würden auch nach außen aufgehende Flügel erlauben, jedoch steht die Dosierbarkeit der Lüftung bei gleichzeitig ungestörtem Ausblick im Vordergrund.<sup>92</sup>

### 5.3 Sonstige Anwendungen

Sobald eine Öffnung einen variablen Öffnungsgrad besitzen soll, kommen neben Dreh-Bewegung auch Schiebe-Bewegungen vor. Diese haben den Vorteil, daß in jedem Zustand die auf den Flügel wirkende Kraft über die (beweglichen) seitlichen Auflager gezielt abgefangen werden kann.<sup>93</sup>

## 6 Anwendungen der horizontal verschieblichen Systeme

Analog zu vertikal verschieblichen Systemen werden horizontal verschiebliche Systeme angewendet, wenn eine Öffnung einen variablen Öffnungsgrad besitzen soll.

### Anwendung in Gebäuden

Die bekannteste Anwendung im Bereich der lichtdurchlässigen Fensterverschlüsse ist das Horizontal-schiebefenster. Aspekte wie Sicherheit und geringere Beeinträchtigung der Nutzfläche treffen hier ebenso zu wie bei Vertikalschiebefenstern. Bei den opaken horizontal verschieblichen Fensterverschlüs-

sen stellt der horizontale Schiebela-den eine sehr einfach zu konstruierende Art des Fensterladens dar (siehe auch Abb. 3.02). Der horizontal verschiebliche Bewegungsmechanismus wird auch für Schiebetüren verwendet.

### Anwendungen im Fahrzeugbau

Die Ausführungen zu den vertikal verschieblichen Systemen können auch für den Fahrzeugbau auf die horizontal verschieblichen Systeme übertragen werden. Horizontale Schiebemechanismen kommen dort zur Anwendung, wo Flügel in offenem Zustand in Aufenthalts- und Verkehrsbereiche ragen würden. Außerdem erweisen sich verschiebliche Flügel als leichter feststellbar, und sie werden durch Wind nicht bewegt.

Im Automobilbau finden horizontale Schiebemechanismen vor allem bei Schiebedachkonstruktionen Anwendung. Dabei wird ein Teil der Dachfläche durch einen Hebeschiebemechanismus unter oder über die äußere Dachhaut verschoben. Das durch den Hebemechanismus hervorgerufene versetzte Verschieben ist notwendig, um in geschlossenem Zustand eine möglichst glatte Dachfläche zu gewährleisten und um gegen den durch den Fahrtwind hervorgerufenen Winddruck abdichten zu können. Über die Öffnungsfläche kann die Luftzirkulation im Wageninneren und der Lichteinfall über das Dach beeinflußt werden. Für die Regelung des Lichteinfalls sind in der

Regel verschiedene verschiebliche Ebenen (transparent, transluzent, opak) angeordnet.

Auch für Fenster wird der horizontale Schiebemechanismus im Automobilbau verwendet. Hierbei wird meist die eine Hälfte der Verglasung horizontal hinter die andere Hälfte verschoben. Aufwendige Mechanismen im darunter liegenden Karosseriebereich entfallen.<sup>94</sup>

Das horizontale Verschieben von Türflächen wird vor allem bei großformatigen seitlichen Türöffnungen verwendet, da der benötigte Raum zum Öffnen geringer gegenüber aufklappenden Türen ist.

Im Schienenverkehr / Waggonbau werden Türen horizontal verschoben: Bei Güterwaggons auf Grund des geringeren Platzbedarfs beim Öffnen; bei Personenwaggons aus Platzgründen und Gründen des mechanisch gesteuerten Antriebs.

### Sonstige Anwendungen

Analog zu vertikalen Schiebemechanismen werden horizontale Mechanismen dort verwendet, wo eine Öffnung einen variablen Öffnungsgrad besitzen soll. Bei horizontal verschieblichen Systemen können große Eigenlasten über bewegliche Lager abgefangen werden, so daß zum Bewegen neben der Trägheit der Masse lediglich der Reibungswiderstand überwunden und nicht das Eigengewicht angehoben werden muß. Bei Dreh-Bewegung entstehen in geöffnetem Zustand im

Gegensatz zu verschieblichen Systemen Momentkräfte, die über die Komponente an das Auflager geleitet werden müssen.

## 7 Zusammenfassung

Die entscheidende Entwicklung bei Vertikalschiebefenstern war die Einführung des Mechanismus mit Gegengewichten. Dadurch wurde das Fenster zu einem technisch ausgereiften System, das im anglo-amerikanischen Raum als Standard anzusehen ist. Die Verbreitung über diesen Bereich hinaus erfolgte nur in geringem Umfang.

Oftmals finden sich auch heute noch unbegründete Abneigungen gegen vertikale Schiebefenster, die am ehesten dem Aspekt der kulturellen Unterschiede zuzuordnen sind. Die Anwendung von Vertikalschiebefenstern hängt deshalb nicht zuletzt auch mit einer ausreichenden Kenntnis dieses Fenstertyps zusammen.<sup>95</sup>

Auffällig ist der vergleichsweise geringe Anteil an Gestaltungsaufwand beim sash-window im Vergleich zum technischen und funktionalen Leistungsprofil und zur hohen technischen Präzision.<sup>96</sup>

Verbesserungen der Fenster erfolgten hauptsächlich im Bereich der Wärmedämmeigenschaften und der Dichtigkeit. Vor allem letztere verlangte eine große Präzision des Schließvorgangs. Bei Schiebefen-

stern konnte dies dadurch erreicht werden, daß der Schiebemechanismus geringfügig variiert wurde: Durch verkröpfte Führungsnuten wird der Schiebevorgang parallel zur Fassadenebene für das Anpressen der Dichtungen mit einer Schiebebewegung senkrecht zur Fassadenfläche in Kombination mit einer zweifachen minimalen Drehbewegung ergänzt.

Im Zusammenhang mit der allgemein fortschreitenden technischen Entwicklung wurde das Vertikalschiebefenster in seinem bauphysikalischen Leistungsprofil soweit verbessert, daß die heute verfügbaren Vertikalschiebefenster in ihrem (bauphysikalischen) Leistungsprofil modernen Drehkippfenstern nahezu entsprechen.

## Anmerkungen

- 1 In Analogie zu E DIN 13126-1, S. 49: 'beweglicher' Fensterflügel (siehe auch die sinnngemäße Differenzierung in 'bewegbar' und 'beweglich' unter Punkt 2.2 in Teil 1).
- 2 Der Überblick basiert auf den Abhandlungen über das Thema Fenster im Reallexikon zur Deutschen Kunstgeschichte RDK (Zentralinstitut für Kunstgeschichte 1981, Band VII + VIII, Kap. „Fenster“, „Fensterladen“ und „Fensterverschluß“). Die Betrachtung der Entwicklung der Neuzeit, die sich auf technologische und konstruktive Aspekte bezieht, basiert auf „Fensterarchitektur und Fensterkonstruktion in Bayern. Vom ausgehenden 18. Jahrhundert bis zum Ersten Weltkrieg“ (Gieß 1990), in dem eine örtliche Einschränkung auf den Raum Bayern vorgenommen ist, die Entwicklungen jedoch als typisch angesehen werden. Eine weitere Arbeit, die sich mit der Entwicklung der Fenster beschäftigt, ist „Das Fenster des Barock“ (Lietz 1982).
- 3 Klinkott nennt als erste Anwendungen die Thermen. (Klinkott 1994, S 38)
- 4 Gerner/Gärtner 1996, S. 21
- 5 Die Verwendung wird im RDK bis ins 19. Jahrhundert angegeben.
- 6 Gerner/Gärtner 1996, S. 24
- 7 Diese Öffnungsart wird neben Öffnungen für Licht und Luft, die mit einem Holzladen oder bespannten Rahmen verschlossen wurden, als eine der beiden Öffnungsarten bei Bauten auf dem Lande gesehen. Die horizontal aufschiebbarer Fenster konnten teilweise auch im Inneren mit einem Holzladen verschlossen werden. Im Zusammenhang mit ländlichen Bauten wird darauf verwiesen, daß diese Fensterart in der Stube Anwendung fand, die meist auf der dem Wetter abgewandten Seite (Südostecke) angeordnet war. Das Fenster war nicht dem „hauptsächlich Wettereinschlag“ ausgesetzt. (Reiher/Schäfer 1993)
- 8 Gerner/Gärtner 1996, S. 28
- 9 Grimoldi verweist in diesem Zusammenhang darauf, daß die Übereinkunft, Fenster als schattierte Flächen darzustellen, auch ökonomisch von Vorteil ist. (Grimoldi 1987, S. 65ff.)
- 10 Estrich 2/1987, S. 42
- 11 Krauth unterscheidet z.B. die Fenster in: Einfache Fenster, Doppel-, Klapp-, Dreh-, Schiebe- und Schaufenster. (Krauth 1890, S. 197)
- 12 Gieß 1990, S. 11
- 13 Die dicht schließenden Fenster führten in der Folge oftmals zu einem mangelhaften Luftwechsel mit den allgemein bekannten bauphysikalischen und hygienischen Problemen (Tauwasseranfall, Schimmelbildung etc.).
- 14 „Laden ist eine altsprachliche Bezeichnung für Brett.“ (Gerner/Gärtner 1996, S. 65)
- 15 Zentralinstitut für Kunstgeschichte 1981
- 16 Bei dem Appenzeller Zugladen wird der hölzerne Laden in den Bereich zwischen der Blockwand und dem Überladen versenkt. „Für das Hochziehen des Ladens ist ein Lederriemen angebracht, der oben geknotet ist. Mit einem am Laden befestigten 'Riegeli' und zwei Aussparungen in verschiedenen Höhen im Führungsholz kann der Laden in zwei verschiedenen Stellungen hochgezogen werden.“ (Herzog/Natterer 1984). Diese als Fensterschiebeläden bezeichneten Schiebemechanismen werden auch für den Schwarzwald erwähnt. (Wasmuth 1930, S. 438). In Varianten befindet sich der Laden in geöffneter Stellung vor der Brüstung (Ronner 1991, S. 112; Pracht 1982, S. 120) oder bei einem horizontalen Schiebeläden mit ausstellbarer Lamellenfüllung verdeckt im seitlichen Wandbereich (Pracht 1982, S. 120).
- 17 Abweichend dazu bezeichnet bei Wasmuth 'Falladen' einen „Fensterladen, der an seiner oberen Kante um Scharniere so bewegt werden kann, daß er in heruntergeklapptem Zustande das Fenster schließt.“ (Wasmuth 1930, 2. Band, S. 418)
- 18 Gerner/Gärtner 1996, S. 23
- 19 Die (konstruktive) Bezeichnung des Ladens wurde auch auf eine besondere Art der Nutzung übertragen, die durch die Konstruktion ermöglicht wurde: „Eine Sonderform des Klappladens fand ihren ganz besonderen Gebrauch. In dieser Sonderform war der Laden in zwei Teile geteilt, von denen sich der obere Teil nach oben und der untere Teil nach unten klappen ließ. Aufgeklappt diente der obere Teil als Wetterschutz, der untere Teil als Verkaufstheke für das im Haus befindliche Geschäft. Dieses Geschäft ist dann nichts anderes als ein Ladengeschäft, und der Fensterladen nichts anderes als ein Kaufladen. Solche Kaufläden gab es seit dem späten Mittelalter, und sie waren bis ins 19. Jahrhundert in Gebrauch.“ (Gerner/Gärtner 1996, S. 70)
- 20 Gerner/Gärtner 1996, S. 68
- 21 Bei Bäckmann findet sich der Hinweis auf den Zusammenhang zwischen der Funktion des Abschirmens des Raums gegen unerwünschte Einblicke des Nachbarn und dem französischen Wort Jalousie (Eifersucht) als Erklärung zur Herkunft des Begriffs. (Bäckmann 1998, S. 19)
- 22 Gerner/Gärtner 1996, S. 69
- 23 Louw 1983, S. 48
- 24 Hier erfolgte der Einbau des Fensters mit Errichtung des Mauerwerks. (Aumüller 1992)
- 25 Wickop 1949, S. 72
- 26 Lietz 1982, S. 73ff.
- 27 Eine besondere Anwendung des vertikalen Schiebemechanismus findet sich in der Elisabethkirche in Marburg. Bei dem Altar aus dem 13. Jahrhundert wurden Altarbilder aus dem Sockel herausgefahren.
- 28 „Die Verwendung der Schiebefenster in Deutschland ist begrenzt.“ (Lietz 1982, S. 85ff.)
- 29 Auskunft von Volker Gläntzer, Niedersächsisches Landesamt für Denkmalpflege, Hannover
- 30 Auskunft von HPC Weidner, Landesamt für Denkmalpflege Sachsen-Anhalt, Halle
- 31 Dieses Schiebefenster ist als das vorherrschende regionaltypische Fensterelement anzusehen. Aus dem in gleich große Felder unterteilten Schiebefenster wurde in Ostfriesland das Drehfenster entwickelt: Das aus den unteren Geschossen bekannte Fenster mit acht Feldern wurde in den oberen niedrigeren Geschossen auf sechs Felder reduziert. Die ungleichen Schiebeflügel wurden durch Einfügen der senkrechten Mittelsprosse zum nach außen offenen Drehfenster. (Schroll 1987)
- 32 Lietz 1982, S. 148ff.
- 33 Auskunft von Wolf Schmidt, Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege, Außenstelle Bamberg
- 34 Auskunft Rolf Wiese, Freilichtmuseum am Kiekeberg, Schleswig-Holstein
- 35 Auskunft Per Heiselberg, Indoor Environmental Engineering, University Aalborg DK

- 36 Sash window = Schiebefenster; sash bar window = Sprossenfenster; window sash = Fensterrahmen. (Bucksch 1976)
- 37 Etymologisch betrachtet ist der Begriff 'sash' eine Entwicklung des französischen Worts 'chassis' (Rahmen), das als Begriff für das Fenster allgemein verwendet wurde. (Louw 1983, S. 50)
- 38 Definition 'Vertical Sliding Windows': „Vertical sliding windows are units in which manually operated sash move vertically in relation to either fixed or similarly operating sash within a common frame and are held in one or more pre-selected or infinitely variable open positions by mechanical means (instead of conventional, hung-window balancing devices). One or more locking devices are furnished to secure the sash in the closed position. Double- or single-hung windows are vertically operating windows in which the sash weight is offset by a counterbalancing mechanism mounted in the window.
- Double-hung window: Both sash in a double-hung window are operable.
  - Single-hung window: Only one sash in a single hung window is operable.
  - Triple-hung window: Three sash in a triple hung window are operable.
  - Dropwindow: Vertical window in which the sash can descend into a cavity in the wall below the sill.“ (American National Standard 1997)
- 39 Zu der (historischen) technologischen Entwicklung des Vertikalschiebefensters mit Gegengewicht in Großbritannien gibt es in der Literatur drei Fachaufsätze:
- Louw, H.: The origin of the sash window. In: Architectural history, Band 26. London 1983
  - Louw, H.; Crayford, R.: A constructional history of the sash-window c.1670-c.1725 - Part one: Industrial Organization. In: Architectural history, Band 41. London 1998
  - Louw, H.; Crayford, R.: A constructional history of the sash-window c.1670-c.1725 - Part Two: Fabric & Technique. In: Architectural history, Band 42. London 1999
- 40 Louw/Crayford 1998, S. 83
- 41 Louw/Crayford 1999, S. 186
- 42 Lietz 1982, S. 73ff. (Arch. Schloß Zeist: Jacob Roman; Arch. Schloß Het Loo: Jacob Roman und Daniel Marot d.Ä.)
- 43 Louw 1998, S. 85, S. 173, S. 182
- 44 Louw 1999, S. 174
- 45 Koch erwähnt im Zusammenhang mit englischen Schiebefenstern das durch „den Golfstrom erzeugte milde Klima“. (Koch 1896)
- 46 English Heritage 1997
- 47 Louw/Crayford 1999, S. 185
- 48 Buddeberg 1913
- 49 Wittrick 1998
- 50 Koch 1896, S. 58
- 51 Siccardsburg 1876, S. VII
- 52 Die Fenster wurden im Gegensatz zur heutigen Praxis bereits vor der Verglasung gestrichen.
- 53 Auskunft Charles Brooking, University of Greenwich, Dartford, Kent UK (Gründer der 'Brooking Collection' - bedeutendste englische Sammlung einer Vielzahl verschiedener Fenstertypen, -Profile und Mechanismen)
- 54 Louw berichtet über den Konflikt, ob Vertikalschiebefenster zum Gewerk der Schreiner oder zum Gewerk der Zimmerleute zählen.
- 55 Louw/Crayford 1999, S. 199
- 56 Zeichnung nach: Louw/Crayford 1999, S. 84
- 57 Louw verweist bei der formalen und gestalterischen Entwicklung auf das Bemühen, zwei unterschiedlichen Tendenzen der Architektur in Europa gerecht zu werden: Zum einen das Betonen der Horizontalen in Italien und das Hervorheben der Vertikalen in Frankreich. (Louw/Crayford 1999, S. 226)
- 58 Der erste Nachweis für einen größeren Einsatz von Vertikalschiebefenstern (26 Stück) in England findet sich in Ham House, Richmond-upon-Thames UK. Der Einbau ist für Juli 1672 belegt. (Louw 1983, S. 64) In den Jahren 1673/74 wurden weitere 53 Stück installiert. (Louw/Crayford 1998, S. 104)
- 59 Gerner/Gärtner 1996, S. 28
- 60 Georgiou 1997
- 61 The Brooking Collection, University of Greenwich, Dartford, Kent UK
- 62 Entsprechende Lüftungsflügel finden sich auch bei vorgehängten Winterfenstern. (Siccardsburg 1876)
- 63 Gerner/Gärtner 1996, S. 38
- 64 Gerner/Gärtner 1996, S. 47
- 65 Bei einem „Wintergarten“ handelt es sich im Rahmen der mehrschaligen transparenten Glasfassadensysteme um ein Anlehnglashaus. Die Verwendung des Begriffs „Wintergarten“ verweist auf die saisonale Nutzung. (Lang 2000)
- 66 Sigwart 1932, S. 515ff.
- 67 Siccardsburg 1876, S. IX
- 68 Meyer, F. 1890, S. 218, S. 221
- 69 Maier, H. 1895, S. 484ff.
- 70 Koch 1896, S. 55ff.
- 71 Estrich 1959, S. 120
- 72 Schneck 1963, S. VII
- 73 Der Quadratmeterpreis beträgt für beide 287,- Sfr (Größe i.L. 1.40 x 2.30 m). Ein einfachverglastes Fenster, zweiflügelig, wird mit einem Preis von 69,- Sfr / m<sup>2</sup> (i.L. 1.20 x 1.30m) und ein zweiflügeliges Fenster mit Doppelverglasung wird mit einem Preis von 105,- Sfr / m<sup>2</sup> (i.L. 1.20 x 1.30m) angegeben. Ein Horizontalschiebefenster, 4 Flügel, Doppelverglasung, wird mit einem Preis von 182,- Sfr / m<sup>2</sup> (i.L. 7.80m x 1.45m) aufgelistet. (Hauser 1963, S. 474ff.)
- 74 Z.B. Gretsch & Co, Braun, C. Mayer & Sohn, Gretsch-Unitas, Weidtmann
- 75 z.B.: Meyer-Bohe 1973, S. 29; Neumann/Weinbrenner 1988, S. 349
- 76 Watts 2001
- 77 Düpmann: (www.)duepmann-alu.de  
Gartner: josef-gartner.de  
Hartmann: hartmanncoag.ch  
Hawa: hawa.ch  
Hirsch: hirschag.ch  
Schüco: schueco.de  
Schweizer: schweizer-metallbau.ch  
Sorpetalor Fensterbau: sorpetalor.de
- 78 Richter, K. 1998, S. 49ff.
- 79 Bei Fassadenbau Schweizer, Oerlikon CH, vermutet man als Ursache des Verschwindens der kleineren Hersteller von Vertikalschiebefenstern das Aufkommen der großen Fenstersystem-Anbieter, die sich auf gut zu vermarktende Massenprodukte konzentrierten.
- 80 Fensterhersteller aus Großbritannien oder den USA waren auf der Messe in Nürnberg nicht vertreten.
- 81 Die Firma esco deutete an, daß eine Entwicklung solcher Beschläge vorgesehen ist. Der Grund seien vermehrte Anfragen von Architekten, bei denen meist die optische Wirkung des Gebäudes ausschlaggebend sei; so wurde der Scherenmechanismus für ein Bankgebäude in Frankfurt ent-

- wickelt, da bei dem Hochhaus eine Fensterlüftung möglich sein sollte, die nicht durch schräg stehende Scheiben ein unruhiges Fassadenbild erzeugt. Entwickelt wurde ein parallel zur Fassade ausstellbarer Flügel. (Auskunft Dirk Flöter, esco Metallbaubeschläge, Technologiezentrum)
- 82 Bei der Aufstockung der Berufsschule in Heilbronn-Böckingen wurden Vertikalschiebefenster verwendet, da die Vorschriften des Gemeinde-Unfallversicherungsverbandes (GUV) vorschreiben, daß bewegliche Fensterflügel nicht in die Verkehrsfläche hineinragen dürfen.
- 83 Ein erst vor einigen Jahren saniertes Projekt mit zweiflügeligen Vertikalschiebefenstern befindet sich in Halle. Die schadhaften Fenster am Rathaus sollten ursprünglich mit zwei Kippflügeln ersetzt werden. Das Einschreiten der Denkmalpflege bewirkte, daß ca. 250 Vertikalschiebefenster nach neuem Standard aus Holz so hergestellt wurden, daß sie der Gestaltung der ursprünglichen entsprechen. (Auskunft durch den Hersteller der Fenster, Firma Antikhaus, Eppendorf. Die Beschläge wurden von der Firma Hawa, Schweiz, geliefert, die dieses Projekt auch als Referenzobjekt aufführt.)
- 84 Bei dem zweiten Bauabschnitt der TUI-Hauptverwaltung in Hannover, 1996, wurden ca. 650 Vertikalschiebefenster verwendet (Fa. Gartner). Die Fassade besteht aus einer Pfosten-Riegel-Konstruktion mit einem Achsmaß von 190 cm. Die gestalterischen Vorgaben des Architekten - keine zusätzlichen vertikalen Fensterunterteilungen, Betonung der Horizontalen - konnten bei gleichzeitig großer Bedienerfreundlichkeit mit Vertikalschiebefenstern erfüllt werden. Drehkippflügel hätten zu einer großen Beeinträchtigung der nutzbaren Raumfläche geführt. Das Prinzip der Vertikalschiebefenster war dem Bauherrn aus den USA bekannt. Als Anschauungsobjekt diente unter anderem die Landesbibliothek am Waterloo-Platz in Hannover, bei der vor ca. 25 Jahren Vertikalschiebefenster verwendet wurden. Die Verwendung im Verwaltungsbau war den Planern jedoch weitgehend unbekannt. Die Handhabung bei den verschiedenen Lüftungsstellungen wurde anhand einer Musterfassade getestet. Spezielle Untersuchungen zur Lüftung wurden nicht durchgeführt. (Auskunft durch den bei TUI für das Bauvorhaben zuständigen Architekten, Herrn Tiemann)
- 85 Beim Hotel Albana, Weggis CH, wurden Vertikalschiebefenster im Restaurantbereich mit wichtiger Aussicht verwendet. Im Sommer konnte so der im Blickbereich der sitzenden Gäste angeordnete untere Flügel nach oben geschoben werden, um ein ungestörtes Panorama zu bieten. (Das Hotel ist als Referenzobjekt in den Unterlagen der Firma Hawa aufgeführt.)
- 86 Bei der Werkhalle der Firma Kaufmann in Bobingen lassen sich die 6 x 6 m großen Tore durch vertikales Verschieben öffnen. (Arch.: Florian Nagler)
- 87 Bei Wasmuth findet sich die Bezeichnung Dosquet-Schiebefenster für „dreiteilige Schiebefenster, die vom Fußboden bis zur Decke reichen und so konstruiert sind, daß jeder der drei Teile unabhängig voneinander in jede beliebige Höhenlage gebracht werden kann. (...) Derartige Fenster haben sich im Krankenhausbau bewährt.“ Dies wird durch eine Abbildung verdeutlicht, bei dem Patienten in ihren Betten an die mit einem Brüstungsgitter versehene Öffnung oder auf die davor befindlichen Balkone geschoben sind. Der Name bezieht sich auf den Erfinder, Dosquet (Arzt). (Wasmuth, 2. Band, S. 230)
- Bei einem Lungensanatorium für Kinder in Halle (20er Jahre) sind dreiflügelige Vertikalschiebefenster so eingebaut, daß die beiden unteren Flügel hoch geschoben und die Betten mit den Kindern auf die Veranda geschoben werden konnten (Auskunft R. Lemberg, projektleitender Architekt der vor wenigen Jahren erfolgten Renovierung). Dieser Typ ist auch für das Staatsbad Norderney belegt. (Schneck 1963, S. 82)
- 88 Eine eher selten anzutreffende Version findet sich in einem großbürgerlichen Wohnhaus in Halle: Das Vertikalschiebefenster kann zusätzlich als Drehflügel geöffnet werden. (Hinweis von HPC Weidner, Landesamt für Denkmalpflege Sachsen-Anhalt. Dieses Fenster ist auch abgebildet in Schneck 1963.)
- 89 Ausführliche Dokumentation der Arbeiten von Jean Prouvé in:  
- Sulzer, Peter: Jean Prouvé Oeuvre complète / Complete Works, Vol. 1: 1917-1933 und Vol. 2: 1934-1944; Birkhäuser 1999 (Vol. 3: 1945-1954 erscheint bei Birkhäuser im Dezember 2004, Vol. 4: 1955-1985 in Vorbereitung)  
- Sulzer, Peter: Prouvé Highlights 1917-1944, Birkhäuser 2002
- 90 Langdon 1980, S. 140
- 91 Das vertikale Verschieben von Türflächen findet z.B. beim Fahrzeugtyp Z1 von BMW Anwendung: Die beiden Türen werden durch Versenken geöffnet.
- 92 Ein Dampfschiff auf dem Brienzer See, CH, ist mit Vertikalschiebefenstern ausgestattet, bei dem die Fenster mit Lederriemen in Position gehalten werden.
- 93 Zur Verdeutlichung des Sachverhalts sei hier exemplarisch auf Schiebebrücken (horizontales Verschieben in Richtung der Brückenachse) und den Verschluß von Rohrleitungen durch Schieber verwiesen.
- 94 z.B. Renault R4, ältere Land Rover-Modelle
- 95 Auf die Frage, welche Überlegungen beim Innovationszentrum Berlin-Adlershof zur Verwendung von Vertikalschiebefenstern führten, antwortete M. Sauerbruch: „Wir kommen aus England.“ Den Mehrkosten für die Konstruktion wurden Nutzerkomfort durch individuelle Lüftungsmöglichkeit und Platzersparnis gegenübergestellt. (Korrespondenz Matthias Sauerbruch, Berlin)
- 96 Bei zeitgleich entstandenen Drehfenstern in Deutschland oder Frankreich finden sich oftmals aufwendig verzierte Beschläge (Griffe, aufliegende Fensterbänder, Winkel etc.).

## Teil 4

### Eigenschaften der vertikal verschieblichen Systeme

#### Vorbemerkung

Im folgenden Teil werden die Eigenschaften von verschieblichen Systemen unter besonderer Berücksichtigung der vertikal verschieblichen Systeme dargestellt. <sup>1</sup> Zum besseren Verständnis erfolgt an einigen Stellen der Vergleich mit Drehkippenfenstern. Die Ausführungen zu den Eigenschaften von vertikal verschieblichen Systemen dienen als Grundlage für die Untersuchungen zu ihrer Anwendungsmöglichkeit. Bereits beim Vergleich der Bewegungsmechanismen wurde deutlich, daß der vertikale Schiebe- mechanismus durch die Lüftungseigenschaften und die Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Manipulatoren ein großes Einsatzpotential aufweist. Diese beiden Aspekte werden in den nachfolgenden Teilen 5 und 6 separat untersucht.

#### 1 Funktionale Eigenschaften

Verschiebliche Systeme sind im wesentlichen durch zwei Eigenschaften gekennzeichnet, aus denen sich grundlegende funktionale Eigenschaften ergeben:

- Die beweglichen Elemente werden (nahezu) in einer Ebene bewegt. Die Bewegung der Öffnungsflügel erfolgt parallel zur Fassadenebene.

- Die entstehenden Öffnungen in der Fassade ändern ihre Größe linear von zunächst schmalen Schlitzfenstern bis zu großflächigen Formaten.

#### 1.1 Beeinträchtigung der Nutzfläche

Die Grundrißfläche kann variabel bis zur Fassade genutzt werden (Abb. 4.01). Dies ist insbesondere im Büro- und Verwaltungsbau von Vorteil: Das Öffnen der Flügel ist bei unmittelbar am Fenster angeordnetem Mobiliar, z.B. Tische, möglich. Ein Freihalten der Arbeitsfläche wie bei Drehkippenfenstern entfällt. Die (vermietbare) Bürofläche kann dadurch effizienter genutzt werden.

#### 1.2 Öffnungsmöglichkeiten

Das klassische Vertikalschiebefenster besteht aus einem feststehenden und einem beweglichen Teil, der beim Öffnen parallel davor oder dahinter bewegt wird. Eine weitere gängige Variante besteht aus zwei beweglichen Flügeln, die vertikal verschoben werden. Bei der sehr selten anzutreffenden Variante des dreiteiligen Schiebefensters ist die gesamte Fassadenhöhe in drei Flächen unterteilt. In Abb. 4.04 ist der Zusammenhang zwischen Öffnungsmöglichkeiten und der Anzahl der Flügel in Kombination mit der Anzahl der Bewegungsebenen dargestellt.

#### 1.2.1 Maximale Öffnungsgröße

Bei der Unterteilung in mehrere Flügel, die alle parallel zueinander

in eigenen Bahnen auf die ganze Höhe verschoben werden können, beträgt der Anteil der Fläche, der bei maximaler Öffnung nicht geöffnet ist,  $1/x$  ( $x$  = Anzahl der Flügel). Eine Öffnung zu fast 100% kann nur erreicht werden, wenn die Flügel in Bereiche außerhalb der eigentlichen Öffnungsfläche verschoben werden können.

#### 1.2.2 Variable Öffnungsgrößen

Neben dem eindeutig definierten geschlossenen Zustand und der Maximalöffnung kann ein verschiebliches Element in andere variable Positionen in offenem Zustand verschoben werden.

Durch entsprechende Änderungen im Bereich der verschieblichen Lager (z.B. Laufnuten) lassen sich definierte Positionen vorgeben.

#### 1.2.3 Betätigung

Bei heutigen Schiebefenstern ist der gesamte Bewegungsablauf mit einem auf Ein-Hand-Bedienung ausgelegten Beschlag (Griff) möglich.

#### 1.3 Fensterlüftung

Die Eigenschaften des Vertikalschiebefensters bezogen auf den Einsatz als Lüftungselement werden im nachfolgenden Teil ausführlich dargestellt.

#### 1.4 Sonnenschutz und Tageslichteintrag

Auf den Zusammenhang zwischen Sonnenschutz und Eintrag von Tageslicht wurde schon in Teil 1 hingewiesen.

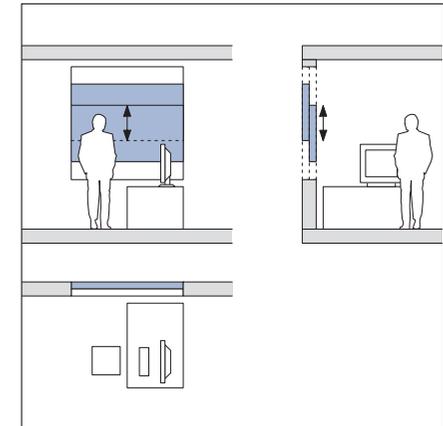


Abb. 4.01 Vertikalschiebefenster: Die Nutzfläche wird in geöffnetem Zustand nicht beeinträchtigt, da die Flügel nicht in den Raum ragen.

Da bei vertikal verschieblichen Systemen horizontale Öffnungen entstehen, eignen sich solche Systeme auch sehr gut für die Bewegung von Sonnenschutzelementen. Die Fassade läßt sich komplett verschatten; der Eintrag von Tageslicht findet über eine oben liegende schmale horizontale Öffnung statt. An dieser Stelle ist ebenso die Kombination mit Elementen zur Tageslichtnutzung möglich.

#### 1.5 Sicherheit

Bezogen auf den Bewegungsmechanismus sind drei Aspekte hervorzuheben:

#### 1.5.1 Anordnung an Verkehrsflächen

Verschiebliche Öffnungsflügel können auch im Bereich von Verkehrsflächen angeordnet sein, da sie in keinem Öffnungszustand aus dem Fassadenbereich in die Verkehrs-

fläche hineinragen. (Hinweis: Im Zusammenhang mit der Unfallverhütungsvorschrift wird bei Schulen der gesamte Klassenraum als Verkehrsfläche definiert.)

### 1.5.2 Windkräfte

Da die Betätigung der Öffnungsflügel quer zur Lüftungsrichtung erfolgt, können die Flügel durch die mit der Luftbewegung verbundenen Kräfte (Druck und Sog) nicht unkontrolliert bewegt werden; das bedeutet Sturmsicherheit. Bei Bewegungen um eine Achse (z.B. Drehfenster) bedarf es eines Feststellers, um zu verhindern, daß der Flügel durch Windkräfte bewegt wird.

### 1.5.3 Herabfallende Flügel

Bei Vertikalschiebefenstern müssen die Flügel gegen Herabfallen gesichert werden. Die Ausführung ist abhängig vom verwendeten Mechanismus zum Ausgleich des Eigengewichts. Eine zusätzliche Sperre kann das Durch-Schieben des oberen Flügels nach ganz unten verhindern (bei gekoppeltem zweiflügeligen Vertikalschiebefenster).

### 1.6 Charakter der Bewegung

Die Betätigung einer beweglichen Komponente bedarf der Aufmerksamkeit des Benutzers:

#### 1.6.1 Öffnungs- und Schließvorgang

Das Verschieben der Öffnungsflächen innerhalb der Fassadenebene bedarf im Vorfeld keiner Aufmerk-

samkeit, ob der Flügel auch genügend Spielraum hat um aufzuschlagen. Da man während des Öffnens den Flügel nicht auf sich zu bewegt wie bei einem Drehfenster, hat das Öffnen eines Schiebefensters einen eher beiläufigen Charakter. Öffnet man ein Fenster durch Verschieben, so kann man es außerdem jederzeit loslassen und es bleibt in seiner Position.

### 1.6.2 Geöffneter Zustand

In geöffneter Stellung bedarf ein Schiebefenster keiner Beobachtung und Kontrolle. Bei einem nur leicht aufgeschobenen Flügel erwartet man keine plötzlich einsetzende Bewegung, wie bei einem leicht geöffneten Drehfenster.

Dagegen bedarf das Hinauslehnen aus einer Öffnung mit einem vertikal verschieblichen Element der Gewöhnung, da der unerfahrene Benutzer zunächst Angst vor einem plötzlichen Herabfallen des Flügels hat (Guillotine-Effekt).<sup>2</sup>

### 1.7 Schallschutz

Analog zum Wärmeschutz entsprechen moderne Vertikalschiebefenster den heutigen Anforderungen bezüglich der Schallschutzeigenschaften. Die hervorragenden Lüftungseigenschaften von Vertikalschiebefenstern für Spaltlüftung bedeuten gleichzeitig auch gute Eigenschaften für den Schallschutz:

- Kleine Öffnungen reduzieren den Schalleintrag.

Einen Sonderfall stellt die Kombination von zwei hintereinander liegenden Vertikalschiebefenstern dar:

- Die Lüftung kann wie in Abb. 4.02 dargestellt erfolgen; im Zwischenbereich können schallschluckende Elemente angeordnet werden.<sup>3</sup>

## 2 Gestalterische Eigenschaften

Da die beweglichen Elemente nicht wie drehbare Flügel senkrecht zur Fassade gestellt werden können, findet bei verschieblichen Öffnungselementen immer eine Überlagerung mit anderen Fassadenflächen statt.

Das Verschieben von Komponenten kann gezielt zur Fassadengestaltung eingesetzt werden (siehe z.B. das Projekt 'Square Mozart' von Jean Prouvé).

Die Tatsache, daß ein aufgeschobenes Fenster nicht durch Windkräfte bewegt werden kann, könnte man als 'stabiles' und somit auch 'selbstverständliches' Erscheinungsbild bezeichnen. Im Zusammenhang mit dem Bewegungsvorgang Schieben ließe sich daher das Adjektiv 'unpräzises' anführen.

Im Gegensatz zu drehbaren Komponenten, die - wie beispielsweise Klappläden - entweder einen offenen oder einen geschlossenen Zustand einnehmen, sind hier variable Zwischenstellungen möglich.

### 2.1 Möglichkeiten der Unterteilung

Die Fensterfläche kann ganz, elementiert oder teilweise verschieb-

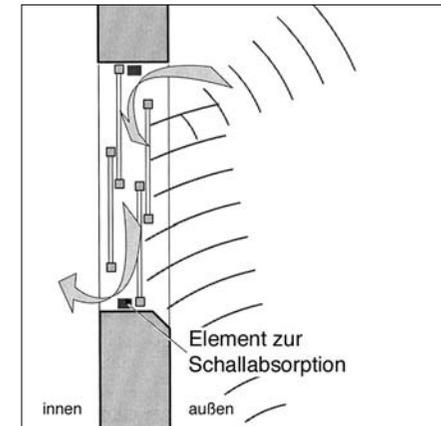


Abb. 4.02 Doppeltes Vertikalschiebefenster: Möglichkeit der Schallabsorption

lich sein. Die Flügel werden innerhalb der Fensteröffnungsfläche (in der Regel übereinander) oder in Bereiche außerhalb der Öffnung (Brüstung oder Sturzbereich) verschoben.<sup>4</sup>

Bei einteiligen Vertikalschiebefenstern, welche die gesamte Fläche des Fensters einnehmen, ist dies zwangsläufig der Fall.

Das Versenken von Flügeln in den opaken (verkleideten) Brüstungsbereich hinter der äußeren Verkleidung findet sich außer an historischen Beispielen<sup>5</sup> auch in Bauhandbüchern der Jahrhundertwende<sup>6</sup> und der Nachkriegszeit (großformatige Versenkenfenster).<sup>7</sup>

## 2.2 Formate und Proportionen

### Öffnungsgrößen

Fenstergrößen werden primär durch die umgebende Wandkonstruktion und die verfügbaren Mate-

rialien bestimmt. Die kritische Größe der Wandöffnung stellt die Fensterbreite dar. <sup>8, 9</sup>

Analog zu Drehkipfenstern sind für verschiebliche Systeme die Formate und Proportionen grundsätzlich frei wählbar und nur durch die Beschläge, Scheibenformate und gestalterische Aspekte definiert. Bei zweiflügeligen Vertikalschiebefenstern können die Flügel (bei gleicher Breite) verschiedene Höhen haben; bei gekoppelten Flügeln sollte die Höhe übereinstimmen, da sonst ein zusätzlicher Gewichtsausgleich erforderlich ist.

### **Verkanten der Flügel**

Durch das Verschieben kann sich das Element durch Ungleichmäßigkeiten der Kraftübertragung verkanten: Der aufgebrachten Kraft wirkt eine Widerstandskraft (Reibung und Masse) entgegen. Durch den Abstand der beiden Kräfte ergibt sich ein Drehmoment, das zur Verkantung führen kann. Elemente mit größerer verschieblicher Auflagerlänge und kleinerer Strecke zwischen den Auflagern verhalten sich daher günstiger. Dies bedeutet für vertikal verschiebliche Flügel stehende Formate und für horizontal verschiebliche Flügel liegende Formate. Die Einleitung der Kraft sollte bei Vertikalschiebefenstern mittig und bei Horizontalschiebefenstern im unteren Drittel erfolgen. Das Problem des Verkantens ist bei traditionellen Gleitlagern (Holz auf Holz) zu beobachten und tritt bei heutigen Konstruktionen auf Grund der aufwendiger konstruier-

ten seitlichen Führung, der Genauigkeit bei der Verarbeitung und der Formstabilität der Materialien eigentlich nicht auf.

### **2.3 Ansichtsbreiten der Profile**

Die Ansichtsbreiten unterscheiden sich im wesentlichen nicht von denen üblicher Fassadenkonstruktionen. Die seitliche Führung und die Maßnahmen zum Ausgleich des Eigengewichts stellen jedoch erhöhte Anforderungen an die vertikalen Profile.

Befinden sich beide Flügel in der gleichen Ebene in geschlossenem Zustand, so ist der Ansichtsbreite des mittleren horizontalen Rahmens vermehrt Aufmerksamkeit zu widmen. In der Regel ist dann die Ansichtsbreite doppelt so groß. Durch zwei verschiedene Flügelsebenen oder durch spezielle Rahmen kann dies vermieden werden.

### **2.4 Geöffneter Zustand**

Bei verschieblichen Systemen verändert sich das Bild der Fassade sukzessive beim Öffnen der Flügel. Eventuell vorhandene Raster werden unterbrochen und Linienbezüge versetzt. Werden zum Beispiel in jedem Fassadenfeld gleiche Vertikalschiebefenster angeordnet, entsteht eine horizontale Gliederung durch die Bandwirkung der Flügel über die Fassadenbreite. Durch Öffnen der Flügel verändert sich diese Wirkung, da nun die vertikalen Fassadenpfosten stärker wahrgenommen werden. Bei Drehkipfenstern bleiben die Bezüge zum Fassadenraster erhalten;

durch Rotation geöffnete Fensterflächen reflektieren jedoch das Licht anders als zur Fassadenebene parallel angeordnete Fensterflächen. Durch die Überlagerung der verschiedenen beweglichen und feststehenden Elemente in der Fassade können sich die optischen Eigenschaften in ihrer Wirkung addieren oder Bereiche abgedeckt werden.

### **2.5 Gestalterische Auswirkung der Bewegung auf die Fassade**

Allgemein läßt sich sagen, daß die Witterung (Veränderungen der klimatischen Verhältnisse) eine Reaktion des Gebäudes durch Manipulatoren hervorrufen kann. Je nach Ausbildung der Manipulatoren kann die Gebäudeerscheinung durch die Benutzung verändert werden. Die Art und das Maß der Veränderungen werden primär durch den Bewegungsmechanismus und die Regelungsmöglichkeit festgelegt. Die Anordnungsmöglichkeiten werden durch die Bewegungsmechanismen vorgegeben. Die Komplexität der entstehenden Konfigurationen ist jedoch enddefiniert.

## **3 Konstruktive Eigenschaften**

Im folgenden werden diejenigen Aspekte beschrieben, die sich aus der Bewegungsart ergeben.

### **3.1 Mechanismus**

Die Bewegung verschieblicher Elemente wird durch einen Mechanis-

mus erreicht, bei dem folgende Aspekte wichtig sind:

- Abtragung des Eigengewichts
- Kompensation des Eigengewichts während der Bewegung
- Betätigungsmechanismus
- Verriegelung der Flügel

#### **3.1.1 Abtragung des Eigengewichts der Flügel**

Beim Schiebemechanismus entfallen das Kippen und das damit verbundene Hebelmoment, das beim Öffnen eines Drehkipfenster-Flügels auftritt. Das Abführen der senkrechten Lasten muß lediglich mit der Bewegung in der vertikalen Ebene kombiniert werden.

Bei Horizontalschiebefenstern erfolgt die Lastabtragung über verschiebliche Auflager (Gleit- oder Rollenlager) senkrecht zur Bewegungsrichtung.

Das Eigengewicht kann entweder durch Aufhängung in die (Fassaden-) Konstruktion eingeführt werden oder der bewegliche Flügel steht unten auf und die Last wird über ein Lager in die Konstruktion eingeleitet. Im jeweils gegenüberliegenden Auflager erfolgt die Stabilisierung über eine Führungsvorrichtung. Die horizontalen Windkräfte werden über beide Auflager in das Tragwerk eingeleitet.

#### **Kompensation des Eigengewichts in geschlossenem Zustand**

Bei Vertikalschiebefenstern findet in geschlossenem Zustand die Abtragung seitlich der Öffnungsflächen in der Fassadenebene statt.

Das Vertikalschiebefenster eignet sich gut für Pfosten-Riegel-Fassaden, da hier das Eigengewicht direkt in die Pfosten eingeleitet werden kann. Die Riegel müssen lediglich die Windkräfte ableiten.

### Kompensation des Eigengewichts während der Bewegung

Das durch die Gravitation hervorgerufene Eigengewicht des zu verschiebenden Elements muß kompensiert werden, um eine Verschiebung nach oben zu ermöglichen und um eine unkontrollierte Verschiebung nach unten zu verhindern. Dies kann erfolgen durch:

- Reibung im Bereich der seitlichen Führung
- Federzug (Spiralfeder, Bandfederzug)
- Hydraulischer Stempel
- Gegengewicht
- Betätigung über Stellmotoren: Gravitation durch erhöhte Motorleistung bzw. Abbremsen über Getriebe o.ä. kompensiert.

Die Kraftübertragung über Führungsschienen erfordert ein entsprechend festes Material, da die Querschnitte der kraftübertragenden Elemente sehr klein sind.

### 3.1.2 Betätigung

Das Aufbringen der Kraft zur Bewegung kann direkt durch den Benutzer oder indirekt über einen Mechanismus erfolgen: <sup>10</sup>

- Gewinde- / Schraubspindel
- Zahnstangen und Zahnräder
- einer oder mehrere schwenkbare Hebel
- Scherenkinematik

- Seile
- Kettenantrieb
- Bowdenzug
- Kurbelbetrieb mit Kupplung oder Feststellbremse

Die Betätigung kann außerdem erfolgen durch:

- Handheber
- Pneumatische Bauelemente
- Elektrohydraulische Betätigungselemente
- Getriebewinde (Kettenradwinde)
- Flügelöffner

### 3.1.3 Verriegelung der Flügel

Die Verriegelung hat folgende Funktionen:

- Schutz gegen Öffnen
- Arretieren in variablen Positionen
- Schließmechanismus erzeugt Anpreßdruck um die erforderliche Dichtung zu gewährleisten.

Bei zweiflügeligen Vertikalschiebefenstern kann an der Stelle, an der sich die beiden Flügel überlappen, ein Verschluss angebracht werden, der die beiden Flügel gegeneinander fixiert, wodurch gleichzeitig die Dichtigkeit erhöht wird. <sup>11</sup>

Für das Arretieren in geöffneter Stellung sind spezielle Vorrichtungen notwendig. Für die Dauerlüftung ist ein Beschlag sinnvoll, der analog zu Kipfenstern eine spaltförmige Öffnung ergibt, bei dem der Flügel jedoch von außen nicht geöffnet werden kann (Einbruchschutz).

### 3.2 Lage in Bezug zur Fassadenebene und Art der Öffnung

Die zu verschiebenden Elemente können in Bezug zu den anderen

verschieblichen und nicht verschieblichen Elementen verschieden angeordnet sein (siehe Abb. 4.03):

- Gleiche Ebene (Verschieben erfolgt versetzt)
- Verschiedene Ebenen (Verschieben erfolgt linear oder versetzt):
  - raumseitig
  - außenseitig

Die Flügel können in geschlossenem Zustand in einer oder mehreren Ebenen angeordnet sein. Da das Verschieben in jedem Fall mindestens eine zusätzliche Ebene bedingt, muß der zu bewegende Flügel aus dieser Ebene bewegt werden, um an den anderen Flügeln vorbei bewegt zu werden. Dies kann z.B. durch gekröpfte Führungsnuten erfolgen.

### 3.3 Anzahl der beweglichen Flügel und Anzahl der Bewegungsebenen

Schiebefenster bestehen aus mindestens zwei Elementen, wenn sie nicht in geöffnetem Zustand vor eine Wand oder in einen Hohlraum in der Wand geschoben werden. <sup>12</sup> Die Anzahl der Flügel innerhalb der Öffnungsfläche definiert weitere Eigenschaften und Anforderungen (siehe Abb. 4.04).

#### 3.3.1 Einflügeliges Vertikalschiebefenster

Der bewegliche Flügel wird in einen Bereich außerhalb der Fensteröffnung verschoben. Die Konstruktion des Mechanismus überlappt somit zwei verschiedene Wandbereiche. Bei Glasfassaden wird der bewegli-

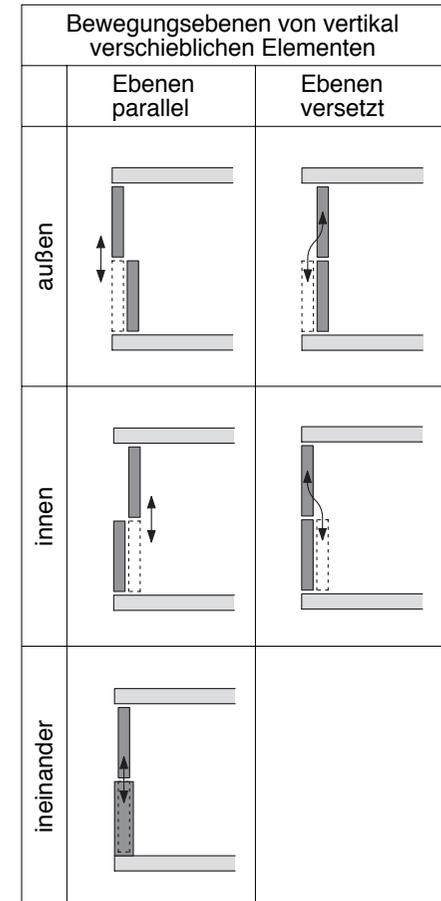


Abb. 4.03 Bewegungsebenen von vertikal verschieblichen Elementen (Prinzipzeichnungen)

che Flügel über die angrenzende Festverglasung geschoben. Dieser feststehende Bereich kann auch als zweiter Teil betrachtet werden, wenn die Ausführung der Verglasung, Proportionen etc. übereinstimmen.

#### 3.3.2 Zweiflügeliges Vertikalschiebefenster

Ein bei neueren Vertikalschiebefenstern häufig anzutreffender Typ ist

das zweiflügelige Vertikalschiebefenster. Die Flügel werden unabhängig voneinander in verschiedenen Ebenen verschoben. Die Öffnungsfläche ist in zwei (meist etwa gleich große) Flächen unterteilt.

### Gekoppelte Flügel

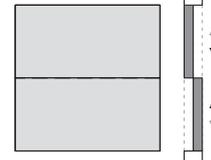
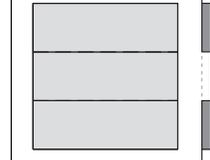
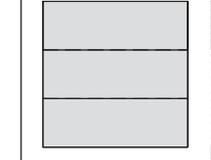
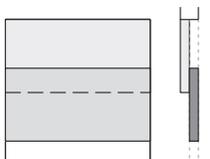
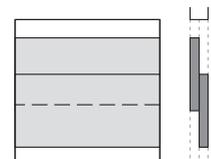
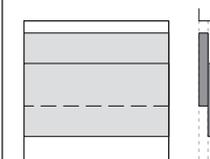
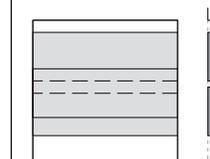
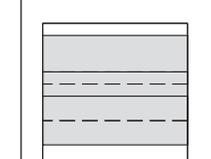
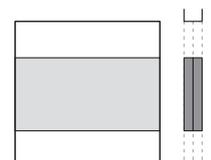
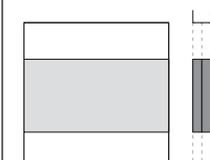
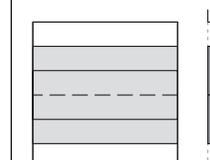
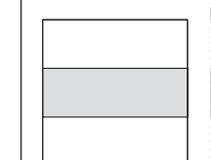
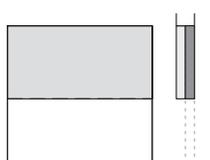
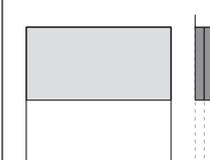
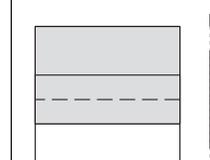
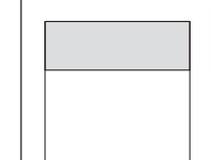
Bei zweiflügeligen Vertikalschiebefenstern können beide Flügel über eine Umlenkrolle aneinander gehängt werden, wodurch sich die oben und unten entstehenden Öffnungen parallel in der Größe verändern. Ein großer konstruktiver Vorteil besteht darin, daß bei gleichen Flügeln weitere Maßnahmen zur Kompensation der Eigengewichte der Flügel (Gegengewichte) nicht erforderlich sind.

### Fixierter oberer Flügel

Wird der bewegliche Flügel über einen Bereich geschoben, der baugleich mit dem Flügel ist, jedoch durch eine Fixierung feststehend ist, liegt aus konstruktiver Sicht ein zweiflügeliges Fenster vor. Die Lüftung kann nur über eine in der Höhe variierbare Öffnung geschehen. Diesem Nachteil steht ein verminderter konstruktiver Aufwand (lediglich ein Flügel beweglich) entgegen, weshalb dieser Typ häufig angewendet wurde.

Da die Eigenschaften einem einflügeligen Vertikalschiebefenster entsprechen, weist die im Englischen

Abb. 4.04 Öffnungsmöglichkeiten in Abhängigkeit von der Zahl beweglicher Elemente und der Zahl der Bewegungsebenen

Anzahl der beweglichen Elemente und der Bewegungsebenen und die sich ergebenden Öffnungsmöglichkeiten bei Vertikalschiebefenstern (VSF)						
(Ansicht von innen / Vertikalschnitt: links=außen, rechts=innen)						
	Zweiflügeliges VSF, oberer Flügel fixiert	Zweiflügeliges VSF mit gekoppelten Flügeln	Zweiflügeliges VSF	Dreiflügeliges VSF, zwei Bewegungsebenen	Dreiflügeliges VSF, drei Bewegungsebenen	
Beispiele für Grundpositionen (andere Positionen sind variabel möglich)	bewegliche Felder	 1 von 2 beweglich (oberes Feld fixiert)	 2 von 2 beweglich Flügel gekoppelt in 2 Ebenen	 2 von 2 beweglich in 2 Ebenen	 3 von 3 beweglich in 2 Ebenen	 3 von 3 beweglich in 3 Ebenen
	variable Öffnungen	 nur unten	 unten + oben	 unten + oben, auch mittig möglich	 unten + oben, auch mittig möglich	 unten + oben, auch mittig möglich
	maximale Öffnung (o/u)		 1/2 Öffnungsfläche unten + oben	 1/2 Öffnungsfläche unten + oben	 1/3 Öffnungsfläche unten + oben	 2/3 Öffnungsfläche, unten + oben
	maximale Öffnung	 1/2 Öffnungsfläche, nur unten		 1/2 Öffnungsfläche, auch oben möglich	 1/3 Öffnungsfläche, auch oben oder mittig möglich	 2/3 Öffnungsfläche, auch oben möglich

verwandte Bezeichnung „double hung / fixed light“ eine gewisse Unschärfe auf.

### 3.3.3 Mehrflügeliges Vertikal-schiebefenster

Mehrflügelige Fenster bieten verschiedene Möglichkeiten, wie die offenen Flügel verschoben werden. Bei der Bewegung der Flügel in jeweils eigener Ebene können die Flügel alle unabhängig von einander verschoben werden. Bei reduzierter Anzahl der Bewegungsebenen sind die Bewegungsmöglichkeiten entsprechend eingeschränkt.

### 3.4 Einfluß der Anordnung von Fassadenraster und Stützenraster auf die Gebrauchsfähigkeit

Im Büro- und Verwaltungsbau werden bestimmte Achsmaße verwendet, die durch die kleinsten Nutzungseinheiten definiert werden. Um eine möglichst große Flexibilität innerhalb des gegebenen Modulsystems im Ausbau zu erhalten, werden die Achsmaße auch für das Fassadenraster angewendet.<sup>13</sup> Der mögliche Anschluß von Trennwänden auf jeder Achse definiert somit ein Fassadenfeld und damit auch die maximalen Öffnungsgrößen.

Bei Vertikalschiebefenstern kann sich das Öffnungselement über die gesamte Breite des Fassadenfelds erstrecken. Die Unterteilung des Fassadenfelds erfolgt zunächst nur waagrecht durch den Öffnungsflügel.

### Anpaßbarkeit

Vertikalschiebefenster können prinzipiell an die verschiedenen Fassadenraster angepaßt und somit in jedes Fassadensystem integriert werden. Die Breite ist lediglich durch das maximal mögliche Flügelgewicht des verwendeten Mechanismus eingeschränkt.<sup>14</sup>

### Versatz des Stützenrasters

Da die Öffnungsflügel nicht aus der Fassadenebene herausragen, ist es möglich, daß Fassadenraster und Achsraster von innenliegenden Stützen bei einem Skelettbau zueinander versetzt sind und trotzdem bei Anordnung der Stützen in direkter Nähe der Fassade jeder Flügel zu öffnen ist.

Bei Drehfenstern ist dies nicht möglich (siehe Abb. 4.05).

### 3.5 Konstruktion der Flügel

Bei Vertikalschiebefenstern erfolgen die Konstruktion der Flügel und die Verglasungen nahezu analog zu üblichen Drehkippfenstern (siehe auch Anhang 4).

Folgende Flügel- und Rahmenarten sind möglich:

- Einfachfenster mit Einfachverglasung, Doppelverglasung<sup>15</sup>, Isolierverglasung oder Wärmeschutzverglasung
- Einfachfenster mit Vorsatzfenster: Das Anbringen von Vorsatzfenstern würde eine Änderung der Ebene der Führung des zu bewegenden Flügels bedeuten. Davon ausgenommen sind Vorsatzfenster, die innerhalb der Ab-

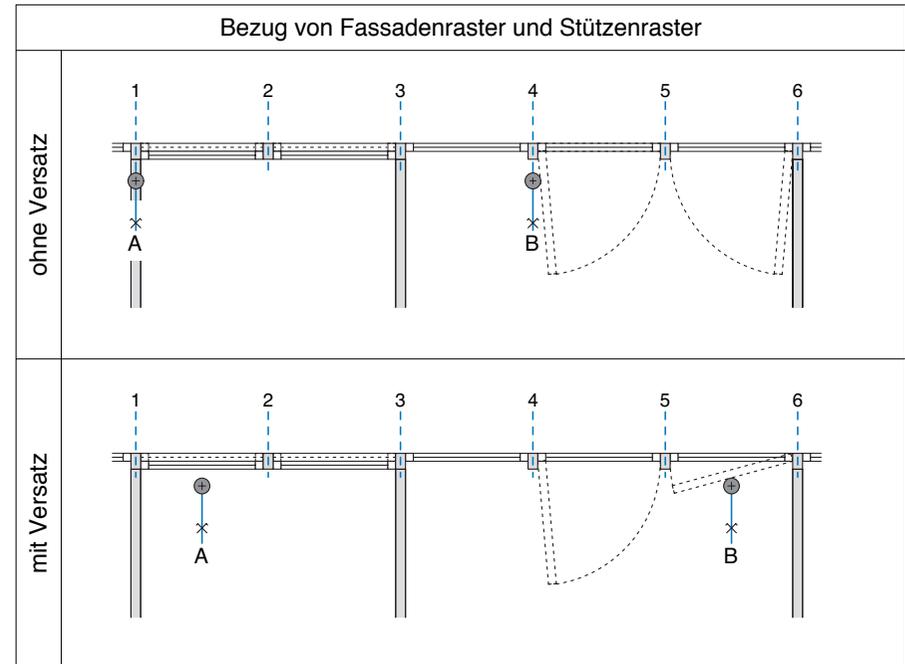


Abb. 4.05 Bei Vertikalschiebefenstern (Achse 1-3) können die Flügel auch dann geöffnet werden, wenn ein Stützenraster versetzt zum Fassadenraster angeordnet ist; Vergleich mit Drehfenstern (Achse 4-6)

messungen des Flügelrahmens montiert werden können.<sup>16</sup>

- Kastenfenster<sup>17</sup>
- Doppelfenster (sehr aufwendig, theoretisch möglich)
- Verbundfenster (sehr aufwendig, theoretisch möglich)

### 3.6 Beschläge

Die Bewegung eines verschieblichen Öffnungsflügels kann unterteilt werden in die einzelnen Bereiche:

- Lösen des Verschlusses
- Aufheben der Dichtigkeit
- Verschieben (eigentlicher Öffnungs- und Schließvorgang)
- Arretieren in offenem Zustand
- Erzeugen der Dichtigkeit

### - Verschließen

Wie aus den Überlegungen zur Dichtigkeit hervorgeht, sind die verschiedenen Vorgänge nicht mit einer (parallelen) Schiebe-Bewegung auszuführen.

Bei einem Drehfenster reicht dagegen eine Dreh-Bewegung aus. Lediglich der Schließvorgang benötigt eine funktionale Erweiterung der Beschläge. Bei Hebeschiebefenstern wird das horizontal zu verschiebende Element zuerst aus der Dichtung herausgehoben. Dazu wird meist ein Hebel umgelegt, der als Griff verwendet wird.

Für das Arretieren in geöffneter Stellung wird der Flügel durch Her-

ablassen auf Grund seines Eigengewichts wieder in die Dichtung gepreßt. Die Führungspunkte und die Ausbildung der Vertikalprofile sind neben der Dichtungsproblematik die besonders zu beachtenden Stellen.

### 3.6.1 Anordnung der Griffe

Bei manueller Betätigung ist die Anordnung der Fenstergriffe für die Variabilität der Grundrißnutzung entscheidend. Vor allem bei großen Achsmaßen der Fassade führt eine seitliche Anordnung des Verschlusses zu aufwendiger Bedienung und damit zu reduziertem Benutzerkomfort.

Für das vertikale Verschieben ist deshalb ein Griff unten in der Mitte des Flügelrahmens vorzuziehen. Wird der Flügel durch mechanische Kräfte bewegt, so ist das Bedienungselement so anzuordnen, daß es einerseits an zentraler Stelle im Raum angebracht und andererseits dem Fenster zugeordnet ist.

### 3.6.2 Sicherheit des Bewegungsvorgangs

Durch schnelles Schließen von Fenstern können im Falz Gegenstände oder Körperteile (Finger) gequetscht werden. Dies läßt sich analog zu einem Türschließer verhindern, indem der Bewegungsablauf durch spezielle Vorrichtungen abgebremst wird.

### 3.7 Integration in übliche Fassadenkonstruktionen

Bei vertikalen Schiebefenstern erfolgt die Lastabtragung an die Fas-

sadenkonstruktion über die seitliche Aufhängung.

Die Windkraft wird über die seitlichen Führungen und Anschläge in die Fassadenkonstruktion eingeleitet. Die horizontalen Riegel dienen lediglich dem Anschlag und der Abdichtung sowie eventuell als Brüstung.

Der Mechanismus mit den seitlichen Führungen und den Gegengewichten kann in die Fassadenpfosten integriert werden.<sup>18</sup> Die modernen Vertikalschiebefenster der verschiedenen Hersteller lassen sich dementsprechend in üblichen Pfosten-Riegel-Fassaden einsetzen.

### 3.8 Unterteilung der Flügelfläche

Die Unterteilung der Flügelfläche unterliegt bei Vertikalschiebefenstern den gleichen Parametern wie die Unterteilung der Flügel bei anderen Fenstern (Größe der Öffnung der Gebäudehülle, Größe der einzelnen Öffnungsflügel etc.).

Maßgeblich sind konstruktive Aspekte, wie die Ausführung der verwendeten Verglasung, Rahmenmaterial und Dimensionen. Die maximale Flügelgröße wird über die maximal zulässige Gewichtsaufnahme der Beschläge definiert.

### 3.9 Einfluß der Konstruktion auf den Wärmedurchgang

Die von den Herstellern auf dem deutschen Markt angebotenen Vertikalschiebefenster entsprechen den üblichen Anforderungen an

Fenster und sind bezüglich der bauphysikalischen Aspekte mit herkömmlichen Fenstern zu vergleichen.<sup>19</sup>

- Rahmen: Der Wärmedurchgang durch die Rahmen entspricht den üblichen Fassadensystemen.
- Der Lüftungswärmeverlust über die Fugen entspricht in Abhängigkeit von der Dichtung den üblichen Fensterarten.

### 3.10 Einfluß der Konstruktion auf die Dichtigkeit

Wie bei anderen Fensterarten wird bei Schiebefenstern auch unterschieden zwischen:

- geschlossenem Zustand
- Zustand der Bewegung

Aus dieser prinzipiellen Unterscheidung kann die Forderung abgeleitet werden, daß das Fenster nur in geschlossenem Zustand die entsprechende Dichtigkeit aufweisen muß. Dies erlaubt eine optimale Ausbildung der Dichtung, da sie nicht noch zusätzlich auf Bewegungszustände abgestimmt sein muß.

Der Luftaustausch in geschlossenem Zustand über die Fensterfugen wird über den Fugendurchlaßkoeffizienten  $a$  definiert.<sup>20</sup>

Bei einem Drehkippenfenster wird die Abdichtung dadurch erreicht, daß der Flügel mittels eines Beschlags in den Rahmen gedrückt wird. In Anlehnung daran werden bei modernen Vertikalschiebefenstern, die sämtliche bauphysikalische Anforderungen erfüllen, die Flügel durch verkröpfte Laufnuten an die Dich-

tungsebene herangeführt (siehe Abb. 4.06 und 4.07).

Durch Betätigen der Fenstergriffe erfolgt der eigentliche Anpreßvorgang (Schließmechanismus über Bänder analog zu Drehkippenfenstern).

Bei Vertikalschiebefenstern mit verschiedenen Ebenen der Flügel in geschlossener Stellung können die Flügel planparallel verschoben werden. Die Abdichtung der Flügel ist dann auf die (schleifende) Bewegung auszulegen. Die Abdichtung der beiden horizontalen Rahmentteile an der Überlappung der beiden Flügel kann durch Ineingreifen erfolgen.

Problematisch bezüglich Abdichtung in geschlossenem Zustand sind Flügel, die vollständig aneinander vorbei bewegt werden sollen. Diese haben im Gegensatz zu Türen und Fenstern anderer Öffnungsart praktisch keinen Anschlag an der Kontaktstelle der beiden Flügelrahmen.

### Anwendungsbezogene Prinzipien der Dichtungen

Eine Übersicht der Grundtypen der Dichtungsprinzipien (Auswahl) bei Vertikalschiebefenstern ist in Abb. 4.08 und 4.09 dargestellt.

Die Darstellung bezieht sich auf ein zweiflügeliges Vertikalschiebefenster, dessen unterer Flügel in der innenliegenden Ebene bewegt wird. Die Flügel werden in der Regel innerhalb der Öffnung bewegt. Bei

ein paar Beispielen sind mögliche zusätzliche Bewegungsrichtungen aufgeführt, die sich ergeben, wenn die Öffnung zum Beispiel in drei Flügel unterteilt ist oder der Flügel in einen Bereich außerhalb der Öffnung bewegt wird. Die seitliche Führung der Flügel ist nur ansatzweise dargestellt.

Das Aufzeigen sinnvoller Prinzipien beinhaltet auch die historischen Varianten, die bei heutigen Konstruktionen auf Grund mangelnder Luftdichtheit nicht mehr angewandt werden.

Die gezeigten Typen werden im folgenden durch stichwortartige Bemerkungen kommentiert. Die Kombination aus Buchstabe und Zahl verweist auf die Spalten und Zeilen der beiden Tabellen. Zunächst erfolgt die Betrachtung für den Vertikalschnitt (siehe Abb. 4.08).

Anschluß Flügel / Flügel:

- Parallele Profile: Die einfachste Art des Anschlusses sind parallele Profile, die zwangsläufig auf Grund des sich ergebenden Spalts undicht sind (Wind) (A1).
- Parallele Profile mit Dichtungselement: Dieses Prinzip erlaubt ein Öffnen des Flügels in zwei Richtungen (nach oben und unten). Als Dichtungselement können Bürstendichtungen (D2) oder Lippendichtungen, die sich ähnlich wie ein Scheibenwischer nach beiden Richtungen an das Profil anlegen (D1), verwendet werden.
- Konische Profile: Durch konische Profile läßt sich eine Anschlag-

ebene erzeugen (C1), die jedoch eine hohe Präzision der Fertigung und Maßhaltigkeit des Materials erfordert. Durch Anbringen eines Dichtungselements wird mittels Anpressen die Abdichtung verbessert (C2).

- Übergreifendes Zusatzelement: Die Abdichtung wird durch zusätzliche Elemente (ohne und mit Dichtungselement) übernommen. Dadurch können für beide Flügel die gleichen Rahmenprofile verwendet werden (D1, D2).
- Gestufte Profile: Durch Aufbringen eines Falzes lassen sich eine (A3) oder mehrerer horizontale Anschlagebenen erreichen, die zusätzlich mit einem Dichtungselement versehen werden können (A4).
- Durch versetzte Bewegungsebenen können die Flügel in geschlossenem Zustand in eine Ebene gebracht werden. Dieses Prinzip hat den Vorteil, daß die seitlichen Ebenen der Wasserführung keinen Versatz haben (B4). Das Prinzip der gestuften Profile läßt sich für diese Varianten um 90° drehen, wodurch sich vertikale Anschlagebenen ergeben (C3, D3, C4, D4).

Anschluß Flügel / Rahmen:

Grundsätzlich ist der untere Anschlußpunkt durch das ablaufende Wasser stärker gefährdet als der obere Punkt.

- Übergreifendes Profil: Die Abdichtung gegen Niederschlag erfolgt nach dem Prinzip der Schuppung (Überlappung in



Abb. 4.06 Beispiel für versetzte Führungsnut + versteckte Seilführung, Material der Fassadenkonstruktion: Aluminium (Fa. Hartmann, CH)

Richtung des Wasserabflusses). Die Abdichtung gegen Wind erfolgt durch Anschlag (E1 - G1, F3 - G3).

- Durch Anpressen eines Dichtungselements beim Schließvorgang wird die Dichtung erhöht (E2 - G2, F4 - G4).
- Durch einen eingelassenen Anschlag oder ein übergreifendes Profil wird die Abdichtung gegen Wind erhöht (H1, H2, I2, H3, H4, I4).
- Bei Bürstendichtungen (in I2 und I4 als zweifache Variante) muß beim Schließvorgang der Reibungswiderstand überwunden werden.
- Durch gestufte Profile ist das Ausbilden eines Falzes (oder mehrere Falze) möglich, wodurch sich eine Anschlagfläche senkrecht zur Fassaden- und primären Bewegungsebene ergibt. Die Flügel werden zum Abdichten in das Profil hinein gedrückt



Abb. 4.07 Beispiel für versetzte Führungsnut + sichtbare Seilführung, Material der Fassadenkonstruktion: Holz (Fa. HAWA, CH)

(J1, K1, J3, K3). Zur Verbesserung der Dichtigkeit werden Dichtungselemente in die Profile eingelassen. Die Flügel können in geschlossenem Zustand in einer gemeinsamen Ebene liegen (J2, K2, J4, K4).

In Abb. 4.09 sind die prinzipiellen Dichtungsmöglichkeiten für den seitlichen Anschluß der Flügel im Horizontalschnitt dargestellt.

Anschluß Flügel / Rahmen:

- Eingelassene Profile: Da die Bewegung in einer Art Nut erfolgt, ist bei diesem Prinzip zwangsläufig immer ein minimaler Spielraum vorhanden, der jedoch z.B. durch Bürstendichtungen abgedichtet werden kann (L1, L2, M2)
- Übergreifendes Profil: Analog zu eingelassenen Profilen kann der Spielraum durch Anbringen von ein- oder mehrfachen Bürstendichtungen abgedichtet werden;

		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Prinzipien der Dichtung bei Vertikalschiebefenstern: Vertikalschnitte, links=außen / rechts=innen (Anzahl der Möglichkeiten reduziert, vereinfachte Darstellung)												
		Anschluß Flügel / Flügel				Anschluß oben Flügel / Rahmen						
		Profile parallel	konische Profile	übergreifendes Element	Anschlag, eingelassen	Anschlag + Aufkantung	Anschlag + Falz	Anschlag, eingelassen	übergreifendes Profil	gestufte Profile (Falz)		
1	ohne Dichtungselement											
	mit Dichtungselement											
		Flügel / Flügel	Anschluß Flügel / Flügel - gleiche Ebene			Anschluß unten Flügel / Rahmen						
		gestufte Profile (Falz)	Profile parallel	gestufte Profile (Falz)			Anschlag + Aufkantung	Anschlag + Falz	Anschlag, eingelassen	übergreifendes Profil	gestufte Profile (Falz)	
3	ohne Dichtungselement											
	mit Dichtungselement											

Abb. 4.08 Dichtungsprinzipien bei Vertikalschiebefenstern, Teil1: Vertikalschnitte (links=außen, rechts=innen)

	L	M	N	O	P	Q
Prinzipien der Dichtung bei Vertikalschiebefenstern (Auswahl): Horizontalschnitte, oben=außen / unten=innen						
	Flügel in geschlossenem Zustand in zwei Ebenen			Flügel in geschlossenem Zustand in einer Ebene		
	Profil eingelassen		übergreifendes Profil		gestufte Profile	
1 ohne Dichtungs- element						
2 mit Dichtungs- element						

Abb. 4.09 Dichtungsprinzipien bei Vertikalschiebefenstern, Teil 2: Horizontalschnitte (oben=außen, unten=innen)

heutzutage oftmals verwendetes Prinzip (M1, M2, N3).

- Gestufte Profile: Der Flügel wird beim Schließvorgang senkrecht zur Fassadenebene in das gefalzte Rahmenprofil gedrückt (P1, Q1). Werden die Dichtungselemente in den Falzen angeordnet, lassen sich übliche Dichtigkeiten gegen Wind und Schlagregen erreichen (P2, Q2). Das Anpressen erfolgt (wie bei J1 - K4) durch gekröpfte seitliche Führungsnuten, in denen der Flügel über Zapfen geführt ist (heutzutage übliches Prinzip).

Der Wärmedurchgang durch die Profile bleibt an dieser Stelle unberücksichtigt. Grundsätzlich besteht das Problem im Versatz der thermisch trennenden Ebene. Vom Prinzip sind daher diejenigen Varianten von Vorteil, deren Flügel in geschlossenem Zustand in einer Ebene liegen.

### Geometrische Prinzipien

Die Abdichtung zwischen einem festen und einem beweglichen Fassadenelement oder zwischen zwei beweglichen Fassadenelementen erfolgt durch die Kombination von zwei geometrischen Prinzipien:

- Anschlag: Das eine Element wird gegen das andere Element über eine gemeinsame Kontaktfläche geschlossen.
- Falzung: Durch Ausnehmungen wird die Kontaktfläche der beiden Rahmenprofile vergrößert. Die Zahl der Anschlagsebenen wird dadurch erhöht.

Die Dichtungen können entsprechend der Art der Berührung bezeichnet werden:

- Mitteldichtung
- Anschlagdichtung
- Aufschlagdichtung

Die Dichtungen der Flügel untereinander und gegen den Blendrahmen lassen sich durch die Definition des Schließvorgangs unterscheiden:

- Schleifdichtungen
- Preßdichtungen
- Gleitverschluß

Die Bewegung des Flügels bei verschieblichen Systemen bedingt eine schleifende Bewegung an den Dichtungen, wenn Flügel und Dichtung nicht voneinander weg bewegt werden.

### Dichtungsebenen

Man unterscheidet nach den Ebenen der Dichtungen:

- einstufig (Minimum)
- zweistufig: Primär- und Sekundärdichtung (Schlagregen- und Winddichtung)
- mehrstufig: Zusätzliche Dichtungsebenen

Durch die Aufteilung in die einzelnen Dichtfunktionen können die Dichtungen optimal ausgebildet werden. Zusätzlich erhöht sich die Dichtigkeit mit jeder Dichtungsebene.

### Dichtungsarten

Je nach Beschaffenheit unterscheidet man in:

- Bürstendichtung
- Weichgummistreifendichtung
- Dichtung mit Hohlkörper:
  - flexibler Hohlkörper
  - pneumatischer Hohlkörper

Zur besseren Abdichtung werden die Dichtungen gegen die Anschläge oder gegeneinander gedrückt oder gepreßt (z.B. Lippendichtung, Dichtlippe).

Wenn die Dichtungen nicht gepreßt werden können, sondern die Flügel über Schleifvorgänge schließen, müssen die Dichtungen dieser Beanspruchung entsprechen:

- Bürsten, nicht beweglich, eventuell Steg aus Folie zur Verbesserung der Winddichtigkeit<sup>21</sup>
- Bürsten, herausfahrend in geschlossenem Zustand
- Gummidichtungen herausfahrend (höherer Anpreßdruck als

- bei herausfahrenden Bürsten)
- pneumatische Dichtung, die ihr Volumen verändert (Druck z.B. über Flügelgewicht erzeugbar)

Bei Vertikalschiebefenstern kann der Flügelrahmen in geschlossenem Zustand durch Aufbringen einer Kraft in die Dichtungsebene gedrückt werden. Dies kann manuell oder mechanisch erfolgen. In der Regel wird dazu die gleiche Kraft, welche die Bewegung erzeugt, benutzt. Denkbar ist auch die Verwendung des Eigengewichts. Bei Ketten- und Seilantrieb ist ein mechanisches Schließen (über den Antrieb) nicht möglich, da nur Zugkräfte und keine Druckkräfte übertragen werden können. Bei Stangenantrieb oder doppelter Seilführung kann dies jedoch erreicht werden.

#### **Anordnung der Dichtung bei vertikal verschieblichen Elementen**

Das verschiebliche Element kann abgedichtet werden an:

- Flächen senkrecht zur Ebene des Elements (Stirnseiten)
- Flächen parallel zur Ebene des Elements

Wird der Anschlag durch Ausformung eines Falzes mehrstufig ausgebildet, durchmischen sich die beiden Gruppen.

#### **Beanspruchung**

Die kritische Fuge ist bei einem Fenster die untere horizontale Fuge. Bezogen auf die Beanspruchung der verschiedenen Bereiche der Dichtungen weisen Vertikalschiebefenster günstige Eigenschaften auf:

- horizontal oben: Bereich kann durch Überstand oder Versatz geschützt werden; schuppenartige Überfaltung möglich.
- vertikal (seitlich): beide Seiten identisch, Überfaltung bei Bewegung in einer Ebene ohne Versatz möglich; Wasser ablaufend.
- horizontal unten (exponierter Bereich): geometrisch sehr effektiver Querschnitt durch schuppenartige Überfaltung am unteren Flügelholz möglich; ablaufendes Wasser kann abgeführt werden; Eigengewicht unterstützt Abdichtung, wenn Dichtungen senkrecht zur Element-Ebene angeordnet sind.

#### **Geöffneter Zustand**

Wird das vertikal verschiebliche Element gezielt zur Dauerlüftung mit sehr geringen Spaltbreiten eingesetzt, so ist die Luftdichtigkeit der Laufnuten (seitliche Führungsebene) besonders zu beachten, um die Wirkung der Spaltöffnung nicht durch Überlagerung mit anderen (unerwünschten) Öffnungen zu mindern.

#### **Vergleich mit horizontal verschieblichen Elementen**

Bezogen auf die Dichtungsproblematik der Gebäudehülle im Bereich der Fenster ist das Prinzip des vertikalen Schiebefensters auf Grund der horizontalen Elementstöße und der vertikalen Bewegungsführung (und Lastabtragung des Eigengewichts) technisch günstiger als horizontale Schiebefenster.<sup>22</sup> Bei Horizontalschiebefenstern kann der

Flügel seitlich gegen einen Anschlag gepreßt werden. Oben und unten ist eine ausreichende Dichtung nur sehr aufwendig zu erreichen. Diese Dichtungsproblematik ist durch den horizontalen Bewegungsmechanismus bedingt. Bei einem Vertikalschiebefenster kann der Flügel in die untere Dichtung von oben hinein gepreßt werden.

#### **4 Wirtschaftlichkeit**

Als Argument gegen Vertikalschiebefenster werden oftmals finanzielle Mehraufwendungen genannt. Diese sind zwar vorhanden, da bei gleicher Verglasung und Rahmenausführung der Mechanismus aufwendiger ist als zum Beispiel bei einem Drehkippenfenster. Jedoch sind die Fassadenöffnungen immer im Verhältnis zu den gesamten Fassadenkosten zu betrachten, die wiederum auch nur ein Teil der Gesamtkosten sind. Die oftmals aufgeführten Argumente gegen Mehrinvestitionen im Bereich der Fassadenöffnungen lassen sich dadurch entkräften, daß der erreichbare Nutzen einbezogen wird.

Im Zusammenhang mit Überlegungen zu energie- und komfortoptimierten Fassaden findet sich eine beispielhafte Aufstellung zur Amortisation von Mehrinvestitionen, die hier ebenso wie das folgende Projektbeispiel im Sinne einer Momentaufnahme erwähnt wird: Rechnet man bei Verwaltungsbauten mit durchschnittlichen Baukosten von



Abb. 4.10 Bürogebäude „Flur Nord“, Zürich (Arch.: Steiner Engineering)

1'500 Euro/m<sup>2</sup> Nutzfläche und einem Anteil der Fassade von 20 %, so ergeben sich bei 20 m<sup>2</sup> Nutzfläche pro Person Baukosten von 30'000 Euro pro Arbeitsplatz mit einem Fassadenanteil von 6'000 Euro. Die Personalkosten werden mit 60'000 Euro pro Person und Jahr angesetzt. Wenn durch eine Mehrinvestition im Bereich der Fassade von 50 % die Reduktion der Anzahl Unzufriedener zu einer Steigerung der Produktivität von 2% führt, sind die Mehrkosten bereits nach 30 Monaten amortisiert.<sup>23</sup>

#### **Mehrkosten: Beispiel**

Bei dem Bürokomplex „Flur Nord“ der UBS, Zürich 1996 (Abb. 4.10) beträgt der Anteil der Vertikalschiebefenster bei der kompletten Betrachtung der Kosten der Gebäudehülle ca. 20 bis 30 %. Die übrigen Kosten setzen sich aus Glas, Beschattung, Brüstungen, Verkleidungen etc. zusammen. Die durch Vertikalschiebefenster entstandenen

Mehrkosten belaufen sich auf ca. 2% des Gesamtauftrags und konnten durch Anpassungen an anderer Stelle kompensiert werden. <sup>24, 25</sup>

#### **Unterhalt: Reinigung / Wartung**

Das mit der Reinigung von Vertikalschiebefenstern verbundene Problem wird in einer Anzeige für aufzuklebende Folien mit Antihafbeschichtung illustriert (Abb. 4.11 <sup>26</sup>). Wie in Teil 2 erwähnt, muß für die Reinigung der äußeren Glasflächen vom Raum aus der Schiebemechanismus mit einem anderen Bewegungsmechanismus (Klappen, Kippen, Drehen etc.) kombiniert werden. <sup>27</sup>

Bei großflächig verglasten Fassaden muß die Reinigung der Öffnungsflügel im Gesamtzusammenhang gesehen werden. Die Reinigung kann hier kombiniert mit der Reinigung der festverglasten Flächen erfolgen. <sup>28</sup> Dies kann über Befahrungsanlagen oder gerüstartige Konstruktionen für Sonnenschutz u.a. erfolgen.

Wie bei allen Fenstern müssen auch bei verschieblichen Systemen die Verschlüsse und die Lager für die Bewegung sowie die Dichtungen in bestimmten zeitlichen Abständen auf ihre Funktion überprüft werden.

Aus Sicherheitsgründen muß zusätzlich der Mechanismus zur Kompensation des Gewichts in festgelegten Intervallen kontrolliert werden. Hierfür sind in der Fassadenkonstruktion leicht zugängliche Revisionsklappen vorzusehen. <sup>29</sup>

## **5 Zusammenfassung**

Verschiebliche Systeme werden dadurch charakterisiert, daß die Bewegung der Öffnungsflügel parallel zur Fassadenebene erfolgt. Funktional ergibt sich daraus, daß die Grundrißfläche nicht beeinträchtigt wird. Da Vertikalschiebefenster nicht nach der Seite verschoben werden, sondern nach oben und / oder unten, lassen sie sich gut mit den Achsmaß- und Raster-Anforderungen aus dem Büro- und Verwaltungsbau kombinieren.

Durch die Bewegung der Flügel parallel zur Fassadenebene ergeben sich Möglichkeiten der Gestaltung und Veränderung des Fassadenbilds durch die Betätigung der Fenster. Die entstehenden Öffnungen in der Fassade ändern ihre Größe linear von zunächst schmalen Schlitzen bis zu großflächigen Formaten.

Diese Öffnungsflächen, die zu den Besonderheiten des Vertikalschiebefensters gehören, ergeben hervorragende Lüftungseigenschaften. Der Einsatz des Vertikalschiebefensters als Lüftungselement wird im folgenden Teil der Arbeit aufgezeigt.



Abb. 4.11 „Are you spending more time cleaning than building?“ - eine heute in dieser Form nicht mehr zutreffende Aussage

## Anmerkungen

- 1 Ein Vergleich zwischen vertikal und horizontal verschieblichen Systemen erfolgt nur bei einigen (relevanten) Aspekten.
- 2 Vertikalschiebefenster werden im Französischen auch mit fenêtre guilotine bezeichnet.
- 3 Abbildung entnommen aus Baker/Steemers 2000, S. 15
- 4 Bei einigen Villen von Ludwig Mies van der Rohe werden großformatige (Panorama-) Fenster in den Brüstungsbereich bzw. Kellerwandbereich versenkt (z.B. Haus Tugendhat, Brno CZ, Haus Esther und Haus Lange, Krefeld).
- 5 Schneck 1963
- 6 Walde, H., S. 242
- 7 Analog zu versenkbaaren Fenstern werden bei Gebäuden in Hellerau Horizontalschiebefenster seitlich in den Wandbereich (ausgesparte Nische im Mauerwerk) verschoben. (Meyer 1939, S. 165) Eine Kombination verschiedener Öffnungs- und Bewegungsarten ist ebenso möglich: Bei einem 'Versenkkippfenster' wird das in der Höhe zweigeteilte Fenster zuerst in der Hälfte abgekippt um dann (zusammengeklappt) in der Brüstung versenkt zu werden. (Wirkop 1949, S. 74)
- 8 Als Beispiel hierfür sei auf das standardmäßig verwendete Rechteckfenster im Barock hingewiesen, bei dem bei verschiedenen Geschoßhöhen vor allem in der Höhe und nicht in der Breite variiert wurde. (Gerner/Gärtner 1996, S. 32)
- 9 Die Entwicklung von großen Öffnungsflächen wird allgemein als Fortschritt gesehen. Durch die eingeschränkte Nutzung der Lüftungsmöglichkeit wird jedoch der errungene Freiheitsgrad (freier Ausblick) wieder eingeschränkt. Gleichzeitig läßt sich ein großer Flügel aufgrund seiner Abmessungen nicht problemlos öffnen, weswegen oftmals nur die Kippstellung verwendet wird. (Uhlig et al. 1994, S. 46)
- 10 Auflistung nach: Internationale Patentklassifikation IPC 1999
- 11 Dieser ist bei alten traditionellen Vertikalschiebefenstern meist der einzige Verschuß. Durch Abschließen der Verriegelung wird ein Öffnen bei Einschlagen der Scheibe von außen verhindert.
- 12 Da die Abdichtungsprobleme bei der letztgenannten Gruppe bei vertikal verschieblichen Systemen außerordentlich schwierig zu lösen sind, werden solche Konstruktionen fast nur im Gebäudeinneren verwandt.
- 13 Die Nutzung bedingt Fassadenraster, die im Bereich 1,20 m bis 1,80 m liegen (übliche Werte: 1,35 m bis 1,50 m).
- 14 Im Gegensatz dazu ist die Breite des aufschlagenden Flügels von Drehfenstern dadurch eingeschränkt, daß durch zunehmende Hebelwirkung die Beschläge sehr stark belastet werden und der Flügel unhandlich wird.
- 15 Bereits zu Beginn der Entwicklung des Vertikalschiebefensters mit Gegengewicht finden sich doppelverglasete Vertikalschiebefenster, z.B. Ham House (13 Stück), Richmond-upon-Thames UK (Louw/Crayford 1998, S. 104).
- 16 Im Rahmen eines von der dänischen Regierung finanzierten Projekts zu neuen, verbesserten Fenstern findet sich der Vorschlag für ein Vertikalschiebefenster als Einfachfenster mit Wärmeschutz- und Vorsatzverglasung. (Hermansen 2000, S. 50)
- 17 Findet sich als „Schubfenster Neuester Wiener-Construction“ in Siccardsburg 1876.
- 18 Die Anordnung der Gegengewichte kann alternativ auch mittels Seilmechanismen an anderer Stelle erfolgen.
- 19 Bei einigen Herstellern werden für Vertikalschiebefenster sogar dieselben Profile wie bei Drehkippfenstern verwendet, so z.B. bei dem weiter unten erwähnten Projekt „Flur Nord“. Das Anpressen der Dichtung, für die das bewährte Prinzip der Mitteldichtung verwendet wird, erfolgt in beiden Versionen mit den gleichen Zapfenbändern. Die bei dieser Objektlösung im Jahr 1996 verwendeten Rahmenprofile weisen einen  $U_R$ -Wert von 2,2 auf. Für heutige Anforderungen würde die Konstruktion in überarbeiteter Version einen  $U_R$ -Wert von 1,8 aufweisen. Bezogen auf die Fugendurchlässigkeit wurde die Konstruktion in Beanspruchungsgruppe C eingestuft. (Auskunft Walter Baumgartner, Fahrni AG, Lyss CH) Das in Abb. 4.07 gezeigte Vertikalschiebefenster aus Holz wird nach DIN 18055 in Beanspruchungsgruppe B eingestuft. (Auskunft ift-Prüfbericht, Fa. Hawa, Mettmensstetten CH).
- 20 Hinweis: Heutzutage kann ein Fenster, das den Anforderungen des Wärme- und Schallschutzes entspricht, im geschlossenen Zustand den ausreichenden Luftaustausch nicht gewährleisten, wie dies früher der Fall war. Bei traditionellen Lüftungsgewohnheiten kann dies zu bauphysikalischen Problemen, z.B. Schimmelbildung, führen.
- 21 Schiebefenster in den USA sind mit mehreren Bürstendichtungen ausgestattet, um eine ausreichende Luftdichtigkeit zu erreichen.
- 22 „Undicht ist in vielen Fällen das Horizontalschiebefenster.“ (Schneck 1963, S. XII)
- 23 Heusler 1996, S. 48ff.
- 24 Die Fassadenkosten wurden mit ca. Sfr 13 Mio. budgetiert. Die Mehrkosten bei der Fassade betragen ca. Sfr 250'000,- (Auskunft Fassadenbau Schweizer AG).
- 25 Ergänzend hierzu sei erwähnt, daß durch das Entfallen der mechanischen Lüftung durch die Anwendung von freier Lüftung bei Verwaltungsgebäuden keine Erhöhung der Investitionskosten stattfindet. In der Regel sinken sie um 10 bis 15 % im Vergleich zu einer äquivalenten mechanischen Lüftung. (Air Infiltration and Ventilation Centre 1996, S. 8)
- 26 In Wirklichkeit scheinen die Personen auf dem Photo jedoch die Profile zu bearbeiten.
- 27 Dies ist in den Konstruktionshandbüchern durch Exemplare belegt, bei denen die Flügel zusätzlich nach innen geöffnet werden können. In den 60er / 70er Jahren wurden zur Lösung dieses Problems diverse Modelle entwickelt. Bei den meisten Produkten können beide Fensterflügel in den Raum gekippt werden und so vom Innenraum her gereinigt werden. Eine entsprechende Arretierungsvorrichtung hält den Flügel in Position. Aus dieser Zeit liegen mehrere Patentanmeldungen zu dem Verschußmechanismus vor. In den USA wurden hierzu bereits 1939 Konstruktionen angemeldet, bei denen die beiden Flügel um eine jeweils mittig angeordnete Achse drehbar sind. Das Kippen der Flügel führt jedoch zu verschiedenen Lastfällen, die eine hohe Beanspruchung der Rahmen besonders bei großen Scheibenformaten zur Folge hat.
- 28 Beispiel: Neven DuMont Haus, Köln, (Arch.: HPP)
- 29 Das traditionelle sash-window war so konzipiert, daß der empfindliche Mechanismus leicht zu warten und zu justieren war. Durch einfaches Entfernen der inneren Deckleisten konnten die Flügel nach innen umgeklappt oder ausgehängt werden. (Warth 1900, S. 328: Beschreibung eines amerik. Schiebefensters)

## Teil 5 Vertikalschiebefenster: Einsatz als Lüftungselement

### Vorbemerkung

Vor allem bei Arbeitsplätzen stellen einerseits die einschlägigen Vorschriften hohe Anforderungen an die Lüftung. Andererseits finden sich zunehmend Forderungen nach einer individuellen Lüftungsmöglichkeit am Arbeitsplatz durch Fenster. <sup>1, 2</sup>

### 1 Fensterlüftung

Im Hinblick auf die Darstellung der Lüftungseigenschaften werden zunächst einige Punkte zur Fensterlüftung aufgeführt. (Eine zusätzliche Darstellung zu Lüftung erfolgt im Anhang.)

#### 1.1 Aufgabe und Funktion

Vereinfacht gesagt, bedeutet Lüftung den „Austausch von Raumluft gegen Außenluft.“ <sup>3</sup>

Lüftung hat die Gewährleistung der Zustandsgrößen der Raumluft zum Ziel: <sup>4</sup>

- thermisches Raumklima:
  - Lufttemperatur
  - Luftgeschwindigkeit, Richtung und Strömungsverlauf der Luftbewegung
  - Luftfeuchte
- Raumluftqualität <sup>5</sup> (nicht-thermische Parameter der Raumluft):
  - Sauerstoff, der von Personen oder Prozessen benötigt wird

- Reaktionsprodukte, die von Personen oder Prozessen produziert werden (z.B. CO<sub>2</sub>-Konzentration)
- Gerüche (Komfortgründe)
- Stäube
- VOC (organische Komp.)

Bezogen auf die Nutzung eines Gebäudes ist der Luftwechsel auf folgende Aspekte abzustimmen:

- hygienische Erfordernisse
- bauphysikalische Erfordernisse
- Verbrennungsluftbedarf

Die Zuordnung der Fensterlüftung ergibt sich aus den im Anhang genannten Unterteilungen wie folgt:

- Fensterlüftung gehört zum Bereich der freien Lüftung in Abgrenzung zur mechanischen Lüftung. <sup>6</sup>
- Fensterlüftung läßt sich zu den Bereichen der Fugenlüftung, Schachtlüftung und Dachaufsatzlüftung abgrenzen.
- Bezogen auf die Lüftungsstrategie können Fenster zur Dauerlüftung und zur Stoßlüftung verwendet werden.
- Bezogen auf das Gebäude werden Fenster als Lüftungselement zur einseitigen Lüftung und zur Querlüftung verwendet.

#### 1.2 Antriebskräfte

Bei Lüftung unterscheidet man auf Grund der Antriebskräfte grundsätzlich in mechanische Lüftung (Antrieb der Luftbewegung durch mechanische Kräfte) und freie Lüftung, die auch als natürliche Lüftung bezeichnet wird.

Bei freier Lüftung erfolgt der Antrieb der Luftbewegung durch Druckunterschiede zwischen dem Innenraum und dem Außenraum.

Diese Kräfte resultieren aus den natürlichen Bedingungen: <sup>7, 8</sup>

- Windkräfte: Durch Wind im Bereich der Fassade induzierte Druckdifferenzen zwischen innen und außen, die den Luftaustausch bewirken. <sup>9</sup>
- Thermische Auftriebskräfte: Kräfte, die durch unterschiedliche Dichten auf Grund von Temperaturunterschieden (Temperaturschichtung) entstehen. <sup>10</sup> Die thermischen Auftriebskräfte werden durch Windkräfte überlagert und treten als Antriebskräfte bereits bei geringen Windgeschwindigkeiten in den Hintergrund. <sup>11, 12</sup>

Das Grundprinzip des Luftaustausches einer Fassadenöffnung auf Grund von Temperaturschichtung ohne Windeinfluß ist in Abb. 5.01 dargestellt. <sup>13, 14</sup>

Im Bereich der gedachten Ebene N (Neutrale Zone) findet keine Luftbewegung statt. Durch Änderung der vertikalen Lage der Öffnung und durch Einfluß von Windkräften verschiebt sich diese Ebene in der Höhe.

#### 1.3 Anforderungen an Fensteröffnungen als Lüftungselement

Bei Lüftungsöffnungen in der Fassade ist die Variabilität neben der Ausbildung und Anordnung der Lüf-

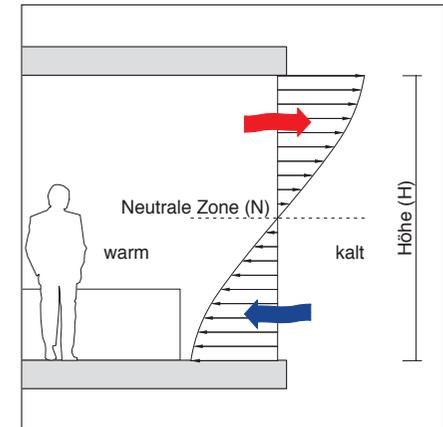


Abb. 5.01 Grundprinzip des Luftaustausches bei Öffnungen in der Fassade auf Grund von Temperaturschichtung ohne Windeinfluß, reine Konvektion, Zweiwegströmung (Beispiel Heizperiode)

tungsöffnungen ein entscheidendes Merkmal im Zusammenhang mit den physikalischen Eigenschaften der Hülle und der Masse eines Gebäudes.

Die Anforderungen an Fensteröffnungen als Lüftungselement setzen sich aus verschiedenen Punkten zusammen:

- Lüftungskonzept: Dauerlüftung, Stoßlüftung
  - eintretende Luft: kalte und gemäßigte Außentemperaturen
  - Fassadenkonzept: Fenstergröße, Wirksamkeit von Lüftungsöffnungen bezogen auf die Raumtiefe
- An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß die ursprüngliche Funktion von Fenstern teilweise an technische Systeme abgegeben wurde - die im Zusammenhang mit mechanischer Lüftung auftretenden Schwierigkeiten sind bekannt.

### 1.3.1 Lüftungskonzept

Das Lüftungskonzept basiert auf verschiedenen Lüftungsstrategien, die sich auf die Zeit (Grundlüftung, Dauerlüftung, Stoßlüftung), auf das Gebäude (einseitige Fensterlüftung, Querlüftung - siehe Abb. 5.02 und 5.03) und auf die Luftführung im Raum (Durchströmung, Wirbelbildung, Luftaustausch, Diffusionsvorgänge) beziehen. Grundlage für eine zielgerichtete Lüftung ist ein Lüftungskonzept, das auch das Nutzerverhalten berücksichtigt.

#### Dauerlüftung

Für die Dauerlüftung sind kleine und gut dosierbare Lüftungsöffnungen erforderlich:

- einseitige Lüftung: Um den thermischen Auftrieb effizient zu nutzen, sollten zwei Öffnungen mit möglichst großem vertikalen Abstand zueinander möglich sein. Eine gut einstellbare Dosierung verhindert unerwünschte Abkühlung.
- Querlüftung: Um den thermischen Auftrieb zu nutzen, sollte zwischen Lufteintrittsstelle und Luftaustrittsstelle ein möglichst großer vertikaler Abstand vorhanden sein. Bei windinduzierten Druckdifferenzen ist dieser Abstand unbedeutend.

Die Luftführung im Raum ist zu beachten, da Dauerlüftung über einen längeren Zeitraum stattfindet.

#### Stoßlüftung

Für die Stoßlüftung sind Öffnungen mit einem möglichst großen Lüftungsquerschnitt erforderlich:

- einseitige Lüftung: Maximale Öffnungsfläche; auf Grund der neutralen Zone in der Mitte der Öffnung kann die Fläche zweigeteilt mit vertikalem Abstand zueinander sein.
- Querlüftung: Maximale Öffnungsfläche erforderlich; der Luftdurchgang findet nur in einer Richtung statt.

### 1.3.2 In den Raum eintretende Außenluft

Zur Vermeidung von Zugluferscheinung ist es günstig, wenn sich die in den Raum eintretende Luft möglichst gut verteilen kann, wodurch sich die relative Luftgeschwindigkeit abbaut.<sup>15</sup>

Bei der im Zusammenhang mit mechanischer Lüftung verwendeten Quelllüftung wird zum Beispiel versucht, Zuluft und belastete Luft räumlich zu trennen.

Durch Zuführung der Zuluft in eine bodennahe Schicht (laminare Einschichtung<sup>16</sup>) wird auf Grund des thermischen Auftriebs an den internen Wärmequellen die nachströmende Luft aus der Zuluftschiicht angesaugt.

Soll die eintretende Luft möglichst tief in den Raum eindringen, kann der Coanda-Effekt ausgenutzt werden: „Werden ebene Luftstrahlen aus Schlitzen nicht unmittelbar unter der Decke ausgeblasen, sondern in einem gewissen Abstand  $a$ , so legt sich der Strahl, infolge des induzierten Wirbels und einseitigen Unterdrucks an die Fläche an, er „klebt“ gewissermaßen daran, so-

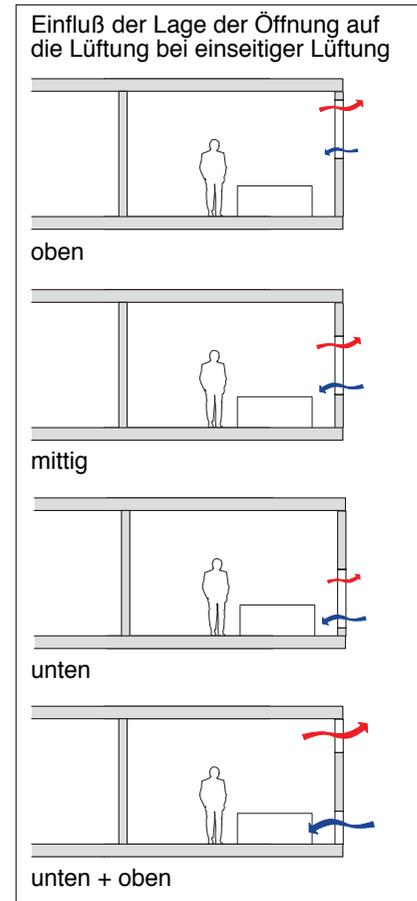


Abb. 5.02 Anordnung der Lüftungsöffnung: einseitige Lüftung

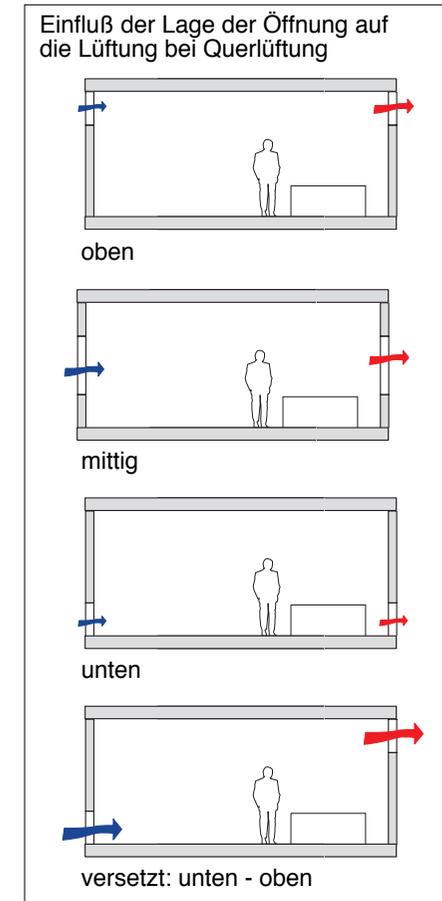


Abb. 5.03 Anordnung der Lüftungsöffnung: Querlüftung

lange  $a$  einen Wert von etwa  $30...50 \times b$  (= Strahldicke) nicht überschreitet. (...) Man nennt diese Erscheinungen gelegentlich auch Wirbelgrenzflächen-Effekt.“<sup>17</sup>

Dieser von der mechanischen Lüftung bekannte Vorgang könnte als Anregung dienen, den physikalischen Effekt auch auf die Fensterlüftung zu übertragen, bei der der

Außenluftstrom als Tangentiallüftung entlang glatter Flächen geleitet werden könnte (Wärmeübergang und möglichst geringe Verwirbelung, um eine Wirksamkeit auch in der Raumtiefe zu gewährleisten). Hierfür wären entsprechende Flächen in direkter Nähe der Lufteintrittsstelle vorzusehen. Außerdem sind Lage und Fensteröffnungsstelle zu beachten.

### Kalte Außentemperaturen

Je größer die Untertemperatur der zugeführten Luft gegenüber der Raumluft ist, desto größer ist das Zugluftrisiko. (siehe <sup>15</sup>)

Ein Vorwärmen der in den Raum eintretenden Außenluft kann durch die Anordnung der Zuluftöffnungen in Kombination mit Wärmequellen erfolgen. <sup>18</sup>

Die eintretende Luft sollte sich an Bauteilen mittels Konvektion erwärmen können. Eine gut einstellbare Dosierung verhindert unerwünschte Abkühlung.

Der Einsatz von Fensterlüftung ist unter Einhaltung der Richtwerte für die Behaglichkeit <sup>19</sup> nur bis zu einer bestimmten Außentemperatur möglich: In der Literatur wird zum Beispiel je nach Fensterart eine Außentemperatur von 0 bis 6 °C angegeben. <sup>20</sup>

### Gemäßigte Außentemperaturen

Bei gemäßigten Außentemperaturen, d.h. in der Nähe des Behaglichkeitsbereichs, sollte die eintretende Luft möglichst direkt zu der Position im Raum gelangen können, an der sich der Nutzer aufhält.

### Warme Außentemperaturen

Analog zu kalten Außentemperaturen kann die eintretende warme Luft an Bauteilen mittels Konvektion (geringfügig) abgekühlt werden. Die thermisch wirksamen Massen können die aufzunehmende Wärmeenergie mit Hilfe von Nachtlüftung oder Bauteilkühlung wieder abgeben.

### 1.3.3 Wirksamkeit von Lüftungsöffnungen bezogen auf die Raumtiefe

Die Anordnung der Lüftungsöffnungen in der Fassade und die Art der Lüftung (einseitige Lüftung oder Querlüftung) bestimmt die Raumtiefe, in der die freie Lüftung über Öffnungen in der Fassade wirksam ist.

Ohne nähere Angaben zur Anordnung des Öffnungsflügels gilt die Faustregel, daß Räume mit einseitiger Belüftungsmöglichkeit dann als „natürlich belüftbar“ gelten, wenn ihre Raumtiefe maximal 2,5 mal ihre lichte Höhe (H) beträgt.

Für den Fall der Querlüftung gilt 5 mal H. <sup>21</sup> Bei einseitiger Lüftung und einer im oberen Bereich angeordneten Öffnung ist die Lüftung bis zu einer Raumtiefe von bis zu 2H wirksam. Bei einer im unteren und einer im oberen Bereich angeordneten Öffnung erhöht sich bei einseitiger Lüftung die Wirksamkeit auf bis zu 3H. <sup>22, 23</sup>

Kleine Öffnungsstellungen der Fenster müssen genau positioniert und ausgebildet werden, da bei einer dichten Hülle die Wirkung des Luftstrahls in den Raum auf Grund der kleinen Öffnungen in der Gebäudehülle analog zu einem Düseneffekt ist.

## 2 Lüftungseigenschaften von Vertikalschiebefenstern

Die Lüftungseigenschaften von vertikal verschieblichen Fenstern ergeben sich durch den Bewegungsme-

chanismus (Vergleich mit Drehkippfenstern in Abb. 5.04 und 5.05).

Zwei Parameter sind von grundlegender Bedeutung:

- Geometrie der Öffnungsflächen
- Anordnung der Flächen bezogen auf den Raum

### 2.1 Öffnungsflächen

Bei vertikal verschieblichen Systemen entstehen auf Grund der linearen Bewegung Öffnungen, die sich bei gleicher (horizontaler) Breite in der vertikalen Richtung verändern. Vor allem kleinere Öffnungsflächen lassen sich präzise einstellen. Von großem Vorteil sind die einfache visuelle Erfassung der Öffnungsgröße und die Abschätzung der Wirkung durch den Nutzer: <sup>24</sup>

- Die fein dosierbare Spalllüftung eignet sich gut für Dauerlüftung.

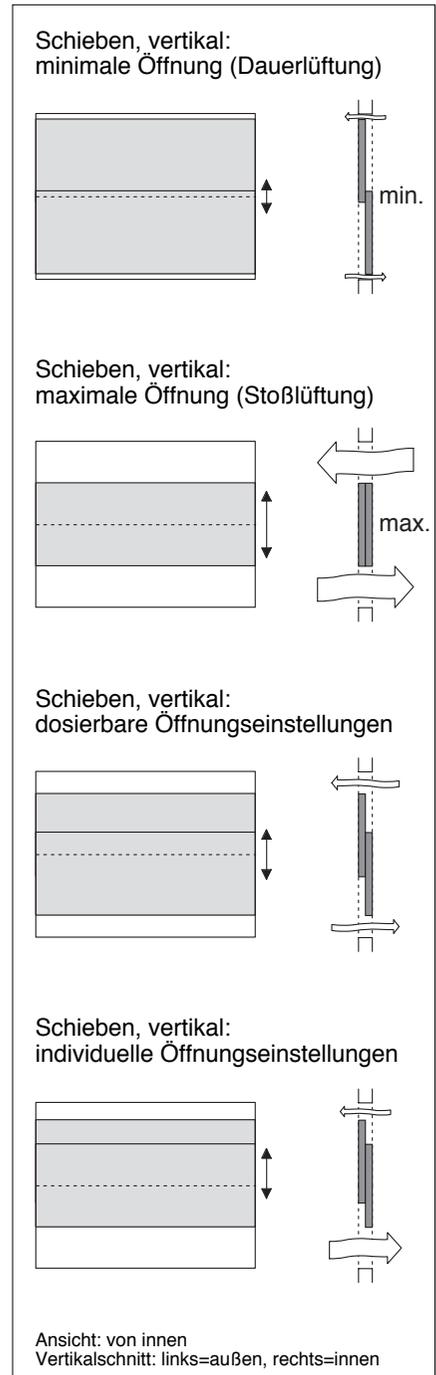
### Neutrale Fläche

Bei einem zweiflügeligen Vertikalschiebefenster werden die beiden Flügel in den Bereich der neutralen Fläche verschoben.

### 2.2 Anordnung der Flächen bezogen auf den Raum

Durch die Kombination zweier Öffnungsflügel lassen sich, bezogen auf den Raum, oben und unten Lüftungsöffnungen erzeugen. Durch die Anordnung von oberen und unteren Lüftungsöffnungen kann ein sehr guter Wirkungsgrad bei freier Lüftung erzielt werden. <sup>25</sup> Dies wird

Abb. 5.04 Lüftungsöffnungen von Vertikalschiebefenstern (Darstellung der prinzipiellen Luftströmungen bei einseitiger Lüftung ohne Berücksichtigung von Windeinfluß)



deutlich, wenn man den Einfluß der Lage der Öffnung auf die Lüftung bei einseitiger Lüftung und bei Querlüftung betrachtet (Abb. 5.02 und 5.03). Neben dem Einsatz für Dauerlüftung eignen sich Vertikal-schiebefenster auch sehr gut für Stoßlüftung. Die sich bei Luftaus-tausch auf Grund thermischer Kräfte einstellende Luftwalze kann eine große Ausdehnung in der Raumtie-fe aufweisen. <sup>26</sup>

### 2.3 Erzielbare Luftströmungen

Die Wirksamkeit der Lüftung ist stark abhängig von den Luftströ-mungen im Raum, die maßgeblich den Nutzerkomfort bestimmen.

#### 2.3.1 Betätigung: Erkennbarkeit der Wirkungsweise

Die Wirkungsweise eines Fensters als Lüftungselement hängt primär von der Betätigung ab. Wie bereits erwähnt, wird für Fenster vermehrt eine individuelle Betätigungsmög-lichkeit gefordert. Diese kann ma-nuell oder durch einen gesteuerten Antrieb erfolgen.

Die vom Benutzer veranlaßte Betä-tigung eines Fensters bedeutet im-mer einen Eingriff im Bereich der lufttechnischen Parameter. Der Be-wegungsmechanismus sollte daher dem Benutzer leicht verständlich sein. <sup>27</sup>

Insbesondere sollte sich die diffe-renzierte Einflußnahme auf die Lüf-tung von selbst erklären. Vertikal verschiebliche Fenster bieten be-sonders gute Voraussetzungen für die Erkennbarkeit der Wirkungswei-se:

- Die Fassadenöffnungen nehmen in der Größe linear zu und sind leicht auf das gewünschte Maß einstellbar.

Dies entspricht der Forderung nach einem bewußten und richtigen Um-gang mit Gebäuden, dessen Vor-aussetzung ist, daß Phänomene richtig verstanden werden. Die „Ur-sachenwahrnehmung des eigenen Fehlverhaltens“ führt so zu richti-gem Handeln. <sup>28</sup>

#### 2.3.2 In den Raum eintretende Außenluft

Bei einem Fassadenfeld mit zwei-teiligem Schiebefenster und darun-ter liegendem Brüstungsfeld kann dieses Brüstungsfeld als (dritter) vertikal verschieblicher Flügel aus-gebildet werden. Als Maßnahme zur Absturz-sicherung kann der Flü-gel mit einer Sperre versehen wer-den, welche die maximale Öff-nungsgröße reduziert.

Dadurch lassen sich auf vier ver-schiedenen Höhen horizontale Lüf-tungsöffnungen erzeugen:

- Bereich in Deckennähe
- in Höhe der Brüstung (Brü-stungsoberkante)
- in Kopfhöhe (normale Geschoß-höhe)
- Bereich in Fußbodennähe

Die Öffnung in Fußbodennähe er-möglicht bei geringen Öffnungsflä-chen eine Art Quelllüftung, die sich für die erwähnte Vermeidung von Zuglufterscheinungen eignet. <sup>29</sup>

Die Öffnung im oberen Bereich in Deckennähe verhindert Zugluf-ter-scheinungen bei hohen Luftge-schwindigkeiten im Aufenthaltsbe-

reich des Nutzers (=Arbeitsplatz). Der erwähnte Coanda-Effekt zum tiefen Eindringen der Luft in den Raum läßt sich durch Kombination mit glatten Deckenflächen errei-chen.

In geschlossener Stellung des obe-ren Flügels bleibt die wärmere Luft im Raum, während der untere Flü-gel geöffnet wird. Bei Drehkippen-tern würde die wärmere Luft durch die oben entstehende Öffnung ent-weichen.

#### 2.3.3 Ausbildung der Öffnungen

Untersuchungen zu Luftströmun-gen in Gebäuden geschahen bisher hauptsächlich in der Absicht, den Einsatz von Lüftungs- und Klima-anlagen zu optimieren.

Der genauen Kenntnis über mecha-nische Lüftungsanlagen muß die Kenntnis über freie Lüftung gegen-über gestellt werden: Bevor Luft-strömungen im Raum betrachtet werden, sind analog zu den Luftein-laßöffnungen bei mechanischer Lüftung die Öffnungen in der Fas-sade zu untersuchen. Ein wichtiger Schritt ist dabei die Optimierung der möglichen Öffnungsflächen.

Bei kleinen Lüftungsöffnungen ist die Ausbildung der Öffnungsfläche bestimmend für den Strömungs-koeffizienten der Öffnung. Mit zu-nehmender Öffnungsgröße verliert die Randausbildung an Bedeutung:

- Durch Modifizierung der für die Spaltlüftung bestimmenden hori-zontal verlaufenden Schließprofi-le im Hinblick auf ihre aerodyna-mische Wirkung könnten die Lüf-tungseigenschaften von Vertikal-

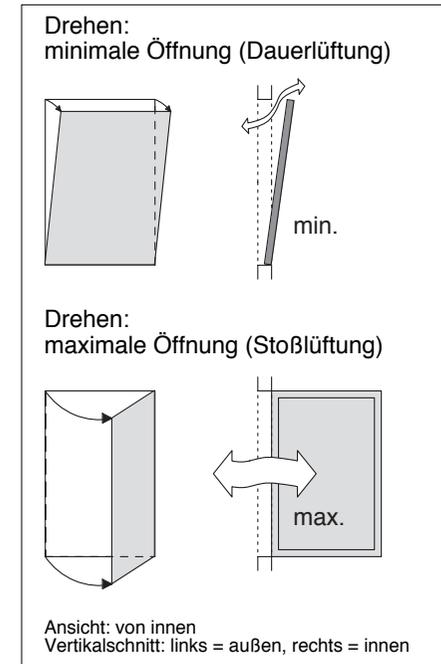


Abb. 5.05 Lüftungsöffnungen von Drehkip-pfenstern (Darstellung der prinzipiellen Luft-strömungen bei einseitiger Lüftung ohne Be-rücksichtigung von Windeinfluß)

schiebefenstern zusätzlich ver-bessert werden.

- Bei Vertikalschiebefenstern könnte außerdem durch Anbrin-gen von Leitblechen der eintre-ende Luftstrom gelenkt werden.

### 3 Einsatzmöglichkeiten

Für den Einsatz von Vertikalschie-befenstern werden unterschiedliche Lüftungsstrategien (bezogen auf die Zeit) separat betrachtet: <sup>30</sup>

- Grundlüftung
- Dauerlüftung
- Stoßlüftung
- Nachtlüftung

### 3.1 Grundlüftung

Im Zusammenhang mit der Zuluftversorgung von Aufenthaltsräumen findet sich die Forderung nach separaten Zuluftöffnungen in der Außenfassade. Als Alternative zu separaten Einbauten findet sich auch der Vorschlag zur Modifizierung des Fensterprofils.<sup>31</sup>

Vor allem während der Heizperiode könnte dadurch sichergestellt sein, daß bei möglichst geringem Lüftungswärmeverlust die Grundlüftung gewährleistet ist.

Bei vertikal verschieblichen Fenstern kann dies über eine geringfügige Modifizierung des unteren und oberen Schließprofils erreicht werden. Vorstellbar sind einstellbare Abstandshalter, die in geschlossenem Zustand am oberen Rand des oberen Flügels und am unteren Rand des unteren Flügels eine definierte 'Undichtigkeit' gewährleisten. Die eventuell durch Kondensation der warmen Abluft entstehende Feuchtigkeit muß abgeführt werden.

Gleichzeitig kann durch eine Modifizierung der Profile der Lufteinlaßweg so ausgebildet werden, daß eine Dämpfung des eintretenden Schalls erreicht wird.

### 3.2 Dauerlüftung

Für nur sehr kleine Öffnungen ist eine genaue Einstellbarkeit Voraussetzung, um eine präzise Dosierung zu gewährleisten.<sup>32</sup>

Eine Differenzierung im Bereich der Dauerlüftung und der Stoßlüftung ist bei Vertikalschiebefenstern sehr

gut zu erreichen, da die Öffnungen mit nur einer Bewegung Übergangslos einstellbar sind.

Bei Dauerlüftung kann ein Vergleich mit Drehkippfenstern erfolgen, indem man bei gleichen Öffnungsflächen die Lüftungswirksamkeit betrachtet.

Bei gleicher Größe der Öffnungsflächen können auf Grund der unterschiedlichen geometrischen Ausbildungen verschiedene aerodynamisch freie Flächen erzeugt werden.

### 3.3 Stoßlüftung

Erforderlich ist ein großer vertikaler Abstand der Öffnungen, um eine möglichst hohe Druckdifferenz an den Öffnungen zu erhalten. Da bei einem zweiteiligen Vertikalschiebefenster die beiden entstehenden freien Öffnungsflächen oben und unten liegen, befindet sich der geschlossene Teil im Bereich der „neutralen Zone“.

Da im Zusammenhang mit Stoßlüftung die Wirksamkeit der Luftwalze in der Raumtiefe von Bedeutung ist, ist bei gleichen wirksamen Flächen die Anordnung der Öffnungsfläche(n) entscheidend.

### 3.4 Nachtlüftung

Wenn im Tagesverlauf Wärme über Speichermassen abgeführt wird, kann die Lüftung auf die Zufuhr von Frischluft (hygienische Aspekte) beschränkt sein. Zur Abführung der Wärme aus den Speichermassen wird Nachtauskühlung (Nachtlüftung) eingesetzt. Für diese sind Fenster erforderlich, die eine hohe

Luftwechselrate bei geringer Öffnungsfläche ermöglichen.

Bei Vertikalschiebefenstern können die Flügel in variierbarer Stellung arretiert werden.<sup>33</sup> Auf Grund der günstigen Lage der Öffnungen reichen meist schon sehr geringe Spaltöffnungen. Der Witterungsschutz ist abhängig von der Ausbildung des unteren Flügel- und des oberen Rahmenprofils. Werden die Fenster mit steuerbaren Antrieben ergänzt, so kann die Nachtlüftung automatisch erfolgen.

### 3.5 Vergleich mit Drehkippfenstern

Eine ausreichende Grundlüftung ließe sich auch bei Drehkippfenstern durch Modifizierung des oberen und unteren Schließprofils erreichen. Durch die Dreh-Bewegung erfolgt beim Schließvorgang jedoch kein paralleles Andrücken der Dichtungen.

Dauerlüftung (Spaltlüftung) ist durch Kippen des Flügels möglich. Die Kippstellung ist bei üblichen Beschlägen nur durch ergänzende Beschläge differenziert einstellbar. Neben zusätzlichen Lüftungseinrichtungen gab es bereits in den 80er Jahren Überlegungen, unterschiedliche Kippstellungen bei Fenstern zu ermöglichen.<sup>34</sup> Derartige Überlegungen konnten sich auf dem Markt jedoch nicht behaupten.

Stoßlüftung ist mit Drehkippfenstern nur durch großflächiges Öffnen mittels Drehen des Flügels möglich. In der Drehstellung läßt

sich der Flügel in den einzelnen Öffnungsstellungen nur mit zusätzlichen Beschlägen arretieren.

Nachtlüftung ist in der gegebenen Kippstellung möglich. Der Beschlag ist in der Kippstellung in der Regel einbruchssicher.

### 3.6 Alternative Öffnungsarten

Die Lüftungseigenschaften von Vertikalschiebefenstern, die auf den beiden oben und unten erzeugbaren Lüftungsöffnungen beruhen, sind auch, aber nur ansatzweise, bei anderen Fensterarten vorhanden:

- Senkkippfenster: Der Flügel wird nach außen aufgeklappt und gleichzeitig wird die obere Bewegungsachse in Rahmenebene durch Schieben nach unten bewegt, so daß oben ein schmaler Öffnungsspalt entsteht. Der untere größere Öffnungsbereich ist durch das auskragende Fenster zudem vor Niederschlag geschützt. (Öffnungsgröße nicht linear zunehmend, nur bedingt dosierbar für Dauerlüftung)
- Schwingfenster (Öffnungsgröße nicht linear zunehmend, nur mit ergänzenden Beschlägen dosierbar für Dauerlüftung)
- Kipp-/Klappfenster als Öffnungsflügel im oberen und unteren Bereich angeordnet (Öffnungsgröße nicht linear zunehmend, nur mit ergänzenden Beschlägen dosierbar für Dauerlüftung)
- Ausstellfenster (Lüftungsöffnung umlaufend, für Dauerlüftung gut, für Stoßlüftung weniger geeignet,

direkter Kontakt zum Außenraum nicht gegeben; bei Ausstellen nach außen ohne zusätzliche Maßnahmen kein Schutz gegen Niederschläge).

könnte ein flüssiges Medium verwendet werden, um einen Teil der Rahmenprofile zu temperieren. Die Zuluft würde vortemperiert in den Raum gelangen.

#### **4 Wärmerückgewinnung**

Bisher werden Fenster in der Regel nur als öffnbare Komponente in einer Fassade gesehen. Ein Fenster ist jedoch ein Produkt, das in ein komplexes System von Energie- und Stoffkreisläufen eingebunden ist. Die Entwicklungen im Bereich der Verglasungs- und Rahmentechologie verweisen darauf, daß es sich bei heute eingebauten Fenstern um ein High-Tech-Produkt mit hochwertigen Eigenschaften handelt.

Betrachtet man Fenster als Elemente der Gebäudetechnik, so stellt sich die Frage nach dem Anschluß der Fenster an Regelungssysteme und Stoffkreisläufe. In diesem Zusammenhang ist der durch Lüftung auftretende Lüftungswärmeverlust, der oftmals als Argument für mechanische Lüftung verwendet wird, zu untersuchen. Erfolgt die Versorgung mit Zuluft über Fenster und wird die Abluft zentral abgeführt, so kann an dieser Stelle die Wärmerückgewinnung erfolgen. Die Wärme kann an ein anderes Medium abgegeben werden und so in einem separaten Kreislauf transportiert und / oder in den Heizkreislauf eingeleitet werden. Bei Spaltlüftung mit Vertikalschiebefenstern

#### **5 Zusammenfassung**

Vertikal verschiebliche Systeme weisen auf Grund des zur Anwendung kommenden Mechanismus sehr gute Eigenschaften für natürliche Lüftung auf. Dem höheren Aufwand, der mit dem Mechanismus verbunden ist, stehen potentielle Verbesserungen bei Energieverbrauch und Nutzerkomfort gegenüber.

Da die Bedeutung natürlicher Lüftung von Büro- und Wohnräumen zunehmend erkannt wird, kann auf Grund der Lüftungseigenschaften von einem großen Einsatzgebiet von Vertikalschiebefenstern ausgegangen werden. <sup>35</sup>

In einem ersten Schritt werden grundsätzliche Überlegungen dargestellt. Quantitative Angaben für den Vergleich zu anderen Fensterarten erfordern Messungen oder zumindest validierte Simulationen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit können keine strömungstechnischen Messungen durchgeführt werden, um zu weitergehenden Aussagen zu kommen, da der Lehrstuhl nicht über geeignete Meßeinrichtungen verfügt und keine Mittel zu Verfügung stehen, um solche Messungen an Dritte zu vergeben.

## Anmerkungen

- 1 Die Bedeutung des Zusammenhangs läßt sich z.B. daran ablesen, daß zur Zeit zu den Themen Fenster, Lüftung, Vorrichtungen zur freien Lüftung und Sonnenschutz Arbeitsstätten-Richtlinien überarbeitet oder neu erstellt werden. (Opfermann 2003, S. 56)
- 2 Sowohl in Konstruktionshandbüchern über Fenster als auch in Standardwerken zu Lüftung, Heizung und Klimatechnik wird auf die Lüftungseigenschaften von Vertikalschiebefenstern hingewiesen: Das Vertikalschiebefenster ist „ein ganz ausgezeichnetes Lüftungselement.“ (Schneck 1963, S. XII)  
„Die günstigste Lüftung erhält man mit Schiebefenstern [Anm.: Vertikalschiebefenster], da sich bei ihnen je nach Lüftungsbedarf und Windanfall sowohl im oberen wie im unteren Teil des Fensters eine bequem einstellbare Öffnung herstellen läßt.“ (Recknagel et al. 2001, S. 1067)
- 3 Meyringer/Trepte 1987, S. 11
- 4 Ihle 1991
- 5 Die Luftqualität gibt je nach Nutzung Grenzwerte für bestimmte Parameter der Luftzusammensetzung an. Die zu erreichende Raumluftqualität bildet den Ausgangspunkt zur Bestimmung der Lüftung, wobei die Außenluftqualität ebenso berücksichtigt wird wie alle Verschmutzungsquellen im Raum.
- 6 „Ein Vorteil der Fensterlüftung ist unbedingt ihre 'Lebendigkeit'“. (Beck-Richter, Alfred in: Schneck 1963, S. XVIII)
- 7 Man spricht auch von Temperaturlüftung und Windlüftung. (Frölich et al. 1986, S. 120ff.)
- 8 Da Windkräfte durch klimatische Zusammenhänge entstehen, die letztlich immer auf solare Einstrahlung und damit auf Temperaturunterschiede (Temperaturschichtung) zurückzuführen sind, erfolgt die Unterscheidung der Antriebskräfte bezogen auf die lokale Situation am Gebäude.
- 9 Die sich einstellende Lüftung über Fassadenöffnungen durch den auf der Fassade anstehenden Winddruck ist abhängig von verschiedenen Einflußgrößen: Klima / Lufttemperatur / Raumvolumen / Anordnung der Fensteröffnungen / Druckverlust aufgrund des Widerstands der Ein- und Auslaßöffnungen (Größe, Geometrie) / Häufigkeiten, Windstärken und Windrichtungen am Standort (Extremwerte und Schwankungswerten pro Zeitintervall, Häufigkeitsverteilung) / Abhängigkeiten zwischen Wind und Lufttemperatur / berechnete Höhenabhängigkeit des statistischen Mittels der Windgeschwindigkeit / makroklimatische Bedingung (Windgeschwindigkeit von mindestens 2 m/s). (Daniels 1996, S. 258)
- 10 Bei einem im Winter geheizten Raum entsteht folgende Druckverteilung: Raumseitig im oberen Bereich ein geringer Überdruck und raumseitig im unteren Bereich ein geringer Unterdruck gegenüber der Außenluft, sofern Windstille herrscht. Bei der großflächigen einseitigen Lüftung über eine Öffnung in der Fassade (z.B. Fenster) entweicht daher die warme Luft im oberen Bereich der Öffnung, während die kalte Luft im unteren Bereich der Öffnung eindringt. Die thermisch bedingten Kräfte sind abhängig von: Temperaturdifferenz aufgrund der Höhe (Temperaturschichtung) / Temperaturdifferenz zwischen innen und außen / Temperaturdifferenz zwischen den verschiedenen Seiten des Gebäudes durch verschiedene solare Einstrahlungsverhältnisse (Verschattung, Reflexion und Absorption, Wärmespeicherkapazität etc.).
- 11 Ab Anströmgeschwindigkeiten von ca. 0,5 m/s wird der Luftwechsel durch den Windeinfluß bestimmt. (Richter 2003, S. 242)
- 12 Bei freier Lüftung sind daher folgende Aspekte besonders zu beachten: Luv- und Lee-Situationen am Gebäude, Art der Fenster, Öffnungsarten der Fassade, Raumtiefe, in der die Lüftung wirksam sein soll, entstehende Thermik im Raum, Emissionen: Staub, Geräusche, Gerüche etc. (Daniels 1996, S. 258)
- 13 Graphik in Anlehnung an Zürcher/Frank 1998, S. 80
- 14 Über Öffnungen im Bereich der neutralen Fläche findet kein Luftaustausch statt. Die Lage der neutralen Fläche ist abhängig von den resultierenden Druckunterschieden. Die Lage der neutralen Ebene wird durch Überlagerung der thermischen Auftriebskräfte mit Winddruck verschoben
- 15 „Zugluft ist eine unerwünschte lokale Abkühlung des menschlichen Körpers, die durch Luftbewegung verursacht wird.“ (E DIN EN ISO 7730, S. 9)  
Zuglufterscheinungen treten bei Luftgeschwindigkeiten > 0,2 m/s im Aufenthaltsbereich auf. (Hausladen 2003, S. 20)
- 16 Kröling 1993, S. 22ff.: Quellluftsysteme werden hier als Prophylaxe des Sick-Building-Syndroms genannt, die dem „Ideal einer Spaltlüftung recht nahekommen.“
- 17 Recknagel et al. 2000, S. 1207
- 18 Im Zuge der Überlegungen zu der sehr hohen (zu hohen) Dichtigkeit von Fenstern wurden daher die Zuluftöffnungen zur Gewährleistung der Mindestluftzufuhr über Heizkörpern angebracht. (Mürmann 1994, S. 27 und S. 127)  
Die oftmals in das Brüstungsmauerwerk eingelassenen Öffnungen sind bei Vertikalschiebefenstern überflüssig, da kleine Luftschlitze variabel einstellbar sind.
- 19 Thermische Behaglichkeit liegt vor, wenn „der Mensch Lufttemperatur, Luftfeuchte, Luftbewegung und Wärmestrahlung in seiner Umgebung als optimal empfindet (...).“ (DIN 1946 Teil 2)
- 20 Zeidler 2000, S. 71ff.
- 21 Daniels 1996, S. 260
- 22 Baker/Steemers 2000, S. 58
- 23 Bei Lüftungsöffnungen erfolgt ein spezifischer Druckverlust der Luftströmung. Dieser Zeta-Wert ist abhängig von der Geometrie der Öffnung und der Luftgeschwindigkeit, die exponentiell wirkt. Der Staudruck steigt quadratisch mit der Luftgeschwindigkeit an.
- 24 „Die heute üblichen Einrichtungen zur freien Lüftung (Fenster und Lüftungsklappen oder Lüftungsgitter) befriedigen nicht. Sie haben eine unzureichende Einstellcharakteristik, verlangen ständige Nachregulierung und ihre Wirkung ist schlecht abschätzbar.“ (Meyringer 1987, S. 7)
- 25 „Besonders günstig wirken Schiebefenster, die sich so einstellen lassen, daß Außenluft durch eine untere Öffnung einströmt und Innenluft durch eine obere Öffnung abströmt.“ (Was-muth 1931, S. 554)  
„Günstig wirken Schiebefenster, bei denen Außenluft unten einströmt und Innenluft oben abströmt.“ (Neufert 2000, S. 119)
- 26 Die grundlegenden Lüftungseigenschaften von Vertikalschiebefenstern, die durch Erfahrungen aus der Baupraxis bestätigt werden, wurden erstmals von A.C. Verhoeven 1976 durch Messungen überprüft. Hierbei wurde der über eine Formel errechnete Luftwechsel mit Messungen verglichen, bei denen mittels Tempera-

- turunterschied und Geschwindigkeit der ein- und ausströmenden Luft der bei natürlicher Lüftung entstehende Luftaustausch an einem Vertikalschiebefenster bei Windstille bestimmt wurde. Die durch Stoßlüftung entstehende in den 8,40m tiefen Raum eindringende Luftwalze wurde außerdem durch visuelle Beobachtung in einem Versuch mit Rauchkerzen aufgezeigt. Verhoeven betont die Effektivität von Vertikalschiebefenstern, „selbst wenn die klimatologischen Umstände so sind, daß keine Windbeeinflussung vorliegt.“ (Verhoeven 1976, S. 475ff.)
- 27 „Gerade die Konstruktion von Fenstern ist zu fördern, die ihre Handhabung durch die Gestaltung erklären und die differenzierte Möglichkeiten zur Steuerung von Licht und Luft ermöglichen.“ (Zimmermann 1996, S. 488)
- 28 Herzog 1999, S. 360  
(Als Beispiel wird von T. Herzog hier auf das Kippen eines Fensters im Winter oberhalb eines durch Thermostat gesteuerten Heizkörpers hingewiesen. Bei Erhalt der Heizkostenabrechnung ist der Zusammenhang mit dem Nutzerverhalten nicht mehr herzustellen.)
- 29 Bei kalten Außentemperaturen besteht jedoch das Risiko „kalter Füße“.
- 30 Für die unterschiedlichen Lüftungsarten siehe Kapitel 'Lüftung' im Anhang.
- 31 Reichel 1998
- 32 Zur Dauerlüftung ist die verwendete Konstruktion zu beachten: Die Anordnung der geschlossenen Flügel in einer Ebene bedingt einen Versatz der Bewegungsebene vor allem im Anfangsbereich der Bewegung. Durch anfängliches Abkippen der Flügel können so zum Beispiel am oberen Rand des unteren Flügels ungewünschte Spaltöffnungen entstehen, die das Lüftungsverhalten beeinflussen können.
- 33 Je nach Beschlag ist durch die Arretierung in der Regel auch eine Einbruchssicherheit gewährleistet.
- 34 So konnte bei einer Variante der Flügel über eine zusätzliche Griffstellung in eine „Spar“-Kippstellung zur Kipp-Spaltlüftung (3-5 mm gekippt) gebracht werden. (Modell der Firma Winkhaus; in: Estrich 1986, S. 66ff.)
- 35 „In der Entwicklung justierbarer Fensteröffnungen, die fein einstellbar sind (...), liegt noch einiges Entwicklungspotential für die natürliche Lüftung.“ (Hausladen 2003, S. 19)

## Teil 6 Kombination von Vertikalschiebefenstern mit Manipulatoren unter Verwendung des vertikalen Schiebemechanismus

### Vorbemerkung

Bereits im Zusammenhang mit den Untersuchungen der Bewegungsarten von Fenstern (siehe Teil 3) ist die Kombinationsfähigkeit von Vertikalschiebefenstern mit innen- und außenliegenden Manipulatoren besonders interessant: Bei Kombination verschiedener Manipulatoren unter Verwendung des vertikalen Schiebemechanismus lassen sich die Komponenten unabhängig voneinander bewegen.

Im Zusammenhang mit der zunehmenden Komplexität der beweglichen Bauteile im Bereich der Fassade wird im folgenden der Einsatz von verschiedenen Komponenten unter Verwendung eines bestimmten Bewegungsmechanismus untersucht.

Durch theoretische Untersuchungen soll das Leistungsspektrum der Kombination vertikal verschieblicher Komponenten aufgezeigt werden.

Im Hinblick auf verfügbare Fassadensysteme mit Vertikalschiebefenstern wird die Kombination verschieblicher Manipulatoren an einem Modellbeispiel entwickelt und in praktischen Untersuchungen überprüft.

## 1 Grundlagen

Die sich ständig erweiternden Erkenntnisse über die energetischen Aspekte im Bereich der Fassade führen zu einer differenzierten Ausbildung der in der Fassade verwendeten Komponenten zur Regelung der licht-, schall- und wärmetechnischen Größen. Auf Grund der sich verändernden äußeren Parameter werden die Komponenten veränderbar und / oder beweglich ausgebildet.

Eine effiziente Regelung der Innenraumverhältnisse ist dann möglich, wenn alle Manipulatoren unabhängig voneinander betätigt werden können. Werden verschiedene Bewegungsarten verwendet, so kann es durch die Betätigung der Manipulatoren zu einer Beeinträchtigung der Komponenten untereinander kommen. Diese lassen sich dann nur in Abhängigkeit voneinander öffnen (Beispiel: Abb. 6.01)

### 1.1 Zuordnung der Funktionen

Im Rahmen dieses Kapitels werden folgende Funktionen der Fassade untersucht:

- Schutzfunktionen:
  - Winterlicher Wärmeschutz
  - Sommerlicher Wärmeschutz <sup>1</sup>
  - Blendschutz
- Versorgungsfunktionen:
  - Tageslichtnutzung
  - Durchsicht
  - Luftaustausch

Den verschiedenen Funktionen lassen sich einzelne Komponenten zuordnen (siehe Abb. 6.02).

Dadurch soll für jede Funktion eine möglichst effiziente Regelung erreicht werden. <sup>2, 3</sup>

### 1.2 Anwendung des vertikalen Schiebemechanismus

Der bisher in der Regel auf Fenster beschränkte vertikale Schiebemechanismus wird auch auf andere Manipulatoren (kinetische Fassadenelemente) übertragen.

Um eine Einschränkung der Flexibilität im Grundriß zu verhindern, ist es günstig, alle Schutz- und Versorgungsfunktionen innerhalb eines Fassadenfelds anzuordnen, da die Grundrißaufteilung in der Regel auf das Fassadenraster bezogen erfolgt. Wenn die Fassade die Schutz- und Versorgungsfunktionen innerhalb eines Felds übernimmt, können diese Einheiten je nach Anforderung unterschiedlich betätigt werden.

Die Anordnung und gesteuerte Bewegung der verschiedenen Manipulatoren pro Fassadenfeld kann so zu einer effektiveren Steuerung und Regelung des Gebäudeklimas beitragen.

### 1.3 Mehrschichtiger Fassadenaufbau

Da die Kombination der Fenster mit anderen Manipulatoren von zentraler Bedeutung ist, erscheint die Verwendung eines Bewegungsprinzips, bei dem die Kombination systemimmanent ist, aussichtsreich. Die Öffnungen im Bereich der Fassade werden nicht als Fenster mit zusätzlichen Vorrichtungen aufge-



Abb. 6.01 Mehrschichtige Anordnung der Manipulatoren - von innen nach außen (Villa Cesarina, Varese I):

- Fallladen, geschlossene opake Fläche
- Vorhangelement, auf Fenster montiert
- Drehfenster, innere Ebene, nach innen öffnend
- Horizontalschiebeladen, Lamellenstruktur
- Drehfenster, äußere Ebene, nach außen öffnend

faßt, sondern - bedingt durch die Wechselwirkungen und Zusammenhänge der einzelnen Aspekte - als System betrachtet. <sup>4</sup>

Die Komponenten werden in einzelnen Bewegungsebenen angeordnet, die zu einem mehrschichtigen (mehrlagigen) Fassadenaufbau zusammengefügt werden. <sup>5</sup>

### 1.4 Vertikale Einteilung der Fassadenfläche

Die Fassade läßt sich in einer ersten Betrachtung in drei Bereiche unterteilen (Abb. 6.03):

- Oberlichtbereich
- Bereich des Blickfelds vom Innenraum aus
- Brüstungsbereich

Im oberen und unteren Randbereich (Anschlußbereiche) werden

zusätzlich noch folgende Bezeichnungen verwendet:

- Sturzbereich: bezeichnet den Bereich über einem Fenster / Tür bis zur Decke
- Sockelbereich: bezeichnet den Bereich unter einer Tür / Fenstertür bis zum Fußboden

### 1.5 Festlegung der Eigenschaften der Fassade

Für die Fassade werden folgende Eigenschaften festgelegt (Abb. 6.04):

- Mehrschichtiger Aufbau mit vier Ebenen: <sup>6</sup>
  - Innenliegender Blendschutz
  - Fenster / Verglasung
  - Element zur Tageslichtnutzung (Tageslichtlenksystem)
  - Außenliegender Sonnenschutz <sup>7</sup>
- Die Elemente können unabhängig voneinander vertikal verschoben werden.
- Für die Ebene der Fenster (als thermisch trennende Hülle) wird ein Aufbau von drei Fensterelementen in zwei Bewegungsebenen vorgesehen. Im Falle von drei Fenstern in drei Bewegungsebenen würde sich ein stärkerer Aufbau in der Tiefe ergeben. Der bei zwei Bewegungsebenen erreichbare Öffnungsgrad wird als ausreichend eingestuft.
- Es wird Süd-Orientierung angenommen. <sup>8</sup>

Für die in der Fassade verwendeten Vorrichtungen aus lichtreflektierenden, lichtbrechenden bzw. lichtbeugenden Bauelementen, die Ta-

geslicht stärker in die Raumtiefe bzw. an die Decke umlenken, um eine höhere Beleuchtungsstärke in der Raumtiefe und eine bessere Gleichmäßigkeit der Beleuchtung im Innenraum zu erzielen, findet sich in DIN 5034-1 der Begriff Tageslichtlenksystem. <sup>9</sup>

Der Aspekt des Brandüberschlags (Brüstungsbereich) im Falle eines mehrgeschossigen Gebäudes bleibt bei der Festlegung, daß die Fassade vertikal in drei gleich große öffnere Felder aufgeteilt wird, unberücksichtigt.

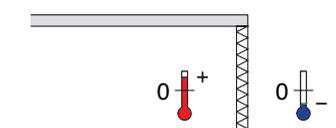
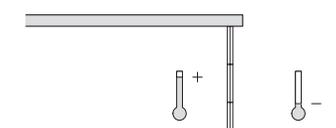
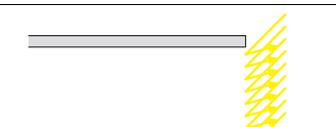
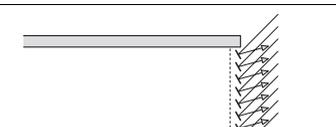
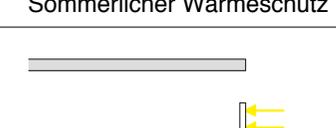
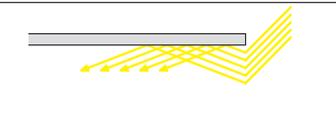
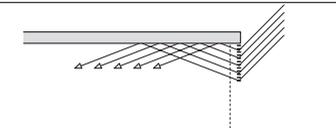
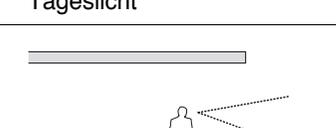
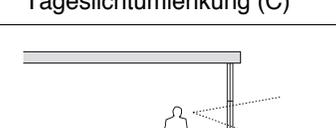
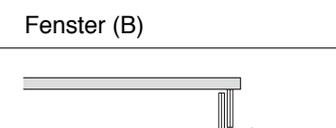
Bei der Öffnung des unteren Fensters werden für die weiteren Überlegungen außerdem sowohl die Absturzsicherheit als auch die Möglichkeit des Herausfallens von Gegenständen, die unbeabsichtigt auf dem Fußboden bewegt werden, bewußt vernachlässigt.

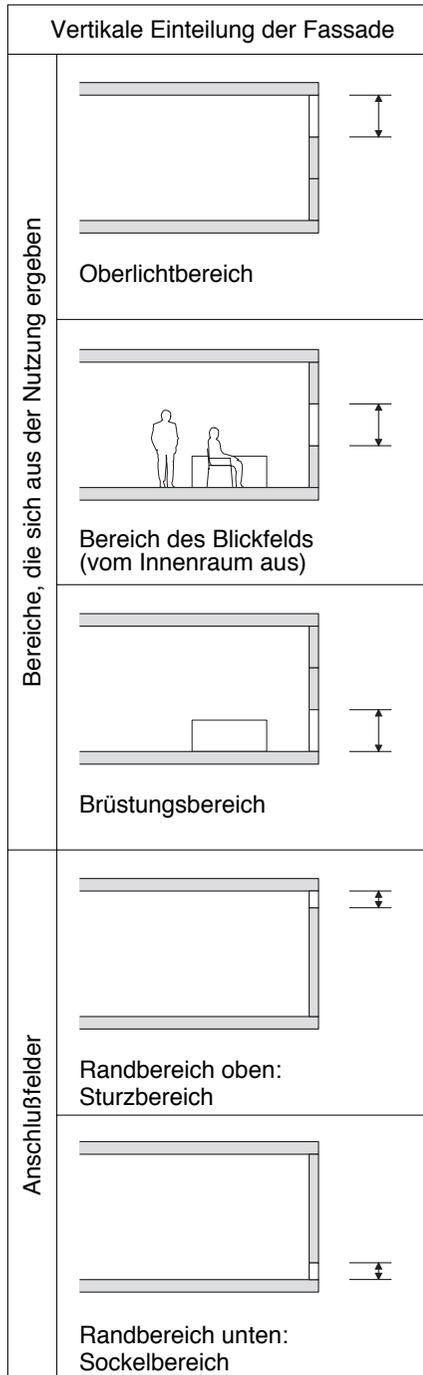
Durch entsprechende ergänzende Maßnahmen sind diese Punkte jedoch lösbar.

### 1.6 Anforderungen an mögliche Kombinationen

Im folgenden werden die Anforderungen an die Fassade dargestellt. Die Bewertung erfolgt für die einzelnen Funktionen in fünf Bewertungsstufen.

Abb. 6.02 Zuordnung von verschiedenen Funktionen und Komponenten bei einem mehrschichten Aufbau der Fassade (Aufbau in vier vertikal verschieblichen Ebenen, Buchstaben in Klammern bezeichnen die Ebenen von innen nach außen: A/B/C/D (Betrachtung des mittleren Fassadenfelds))

Zuordnung von Funktionen und Komponenten bei vier verschiedenen Ebenen		
	Funktionen der Fassade	Komponente (Ebene)
Schutzfunktionen	 <p>Winterlicher Wärmeschutz</p>	 <p>Fenster (B)</p>
	 <p>Sommerlicher Wärmeschutz</p>	 <p>Sonnenschutz (D)</p>
	 <p>Blendschutz</p>	 <p>Blendschutz (A)</p>
Versorgungsfunktionen	 <p>Tageslicht</p>	 <p>Tageslichtumlenkung (C)</p>
	 <p>Durchsicht</p>	 <p>Fenster (B)</p>
	 <p>Lüftung</p>	 <p>Fenster (-öffnung) (B)</p>



### 1.6.1 Unterschiedliche Tages-situationen

Die funktionalen Anforderungen an die Fassade werden durch die vielfältigen unterschiedlichen Situationen bestimmt. Für die folgenden Überlegungen wird daher zunächst eine Einschränkung auf beispielhafte Tagesszenarien vorgenommen.

#### Orientierung der Fassadenfläche

Betrachtet man die Fassade eines Gebäudes in bezug zum Tagesverlauf, so ist die Orientierung der Fassadenfläche ein maßgeblicher Parameter. Folgende grobe Einteilung läßt sich vornehmen:

- Nordfassade: Kaum direkte Sonneneinstrahlung
- Ostfassade: Direkte Sonneneinstrahlung in flachem Winkel (zur Horizontalen) in der ersten Tageshälfte
- Südfassade: Intensive direkte Sonneneinstrahlung, im Sommer steiler Winkel
- Westfassade: Direkte Sonneneinstrahlung in flachem Winkel (zur Horizontalen) in der zweiten Tageshälfte; Aufheizung kritisch bei Büro- und Verwaltungsgebäuden, da Überlagerung mit maximaler Lufttemperatur am frühen Nachmittag möglich.

Daraus ergeben sich für die jeweilige Orientierung unterschiedliche Anforderungen an die Elemente für Blendschutz, Sonnenschutz und

Abb. 6.03 Mögliche vertikale Einteilung der Fassade bezogen auf die Nutzung und Anschlußbereiche

Tageslichtnutzung. Durch die fixe Orientierung einer Fassadenfläche erfolgen die Unterschiede der Sonneneinstrahlung innerhalb bestimmter Werte.

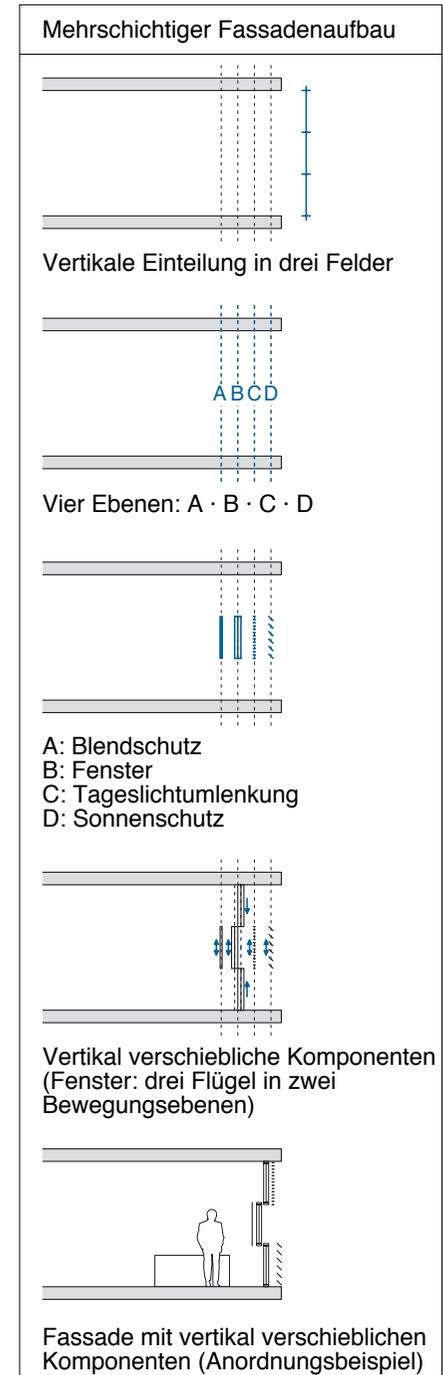
Das einzelne Fassadenfeld muß also nicht auf das gesamte Spektrum der Anforderungen, sondern nur auf einen Teil reagieren können. Werden die einzelnen Fassadenflächen aus einer Art Fassadensystem zusammengesetzt, so muß dieses in der Lage sein, das gesamte Spektrum an Anforderungen abzudecken. Als Beispiel wird für die weiteren Betrachtungen der Fall einer Südfassade angenommen.

#### Jahresverlauf

Neben der Situation im geographischen Sinn sind die verschiedenen Situationen, bezogen auf den Jahresverlauf, der Ausgangspunkt für die unterschiedlichen Anforderungen an die funktionalen Eigenschaften der Kombinationsmöglichkeiten. Der Jahresverlauf wird - bezogen auf die Lufttemperatur - für folgende beispielhafte Szenarien erfaßt:

- große Differenz zwischen Außentemperatur und Innentemperatur (Tag I, Winter):  $t_A \ll t_i$
- geringe Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur (Tag II, Übergangszeit):  $t_A < t_i$

Abb. 6.04 Mehrschichtiger Aufbau der Fassade zur Aufnahme der verschiedenen Komponenten



Anforderungen an die funktionalen Eigenschaften der Fassade bezogen auf den Jahresverlauf			Szenario-Nr.: 1		2		3		4		5		6		7		8	
			Tag I				Tag II				Tag III				Tag IV			
<p>Vereinfacht kann der Jahresverlauf durch die folgenden acht Tagesszenarien dargestellt werden:</p> <p>Ausgehend von den unterschiedlichen Anforderungen auf Grund des Jahresverlaufs werden - bezogen auf die Lufttemperatur außen und die Lufttemperatur innen - vier Szenarien erfaßt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lufttemperatur außen &lt;&lt; Lufttemperatur innen (Tag I)</li> <li>• Lufttemperatur außen &lt; Lufttemperatur innen (Tag II)</li> <li>• Lufttemperatur außen = Lufttemperatur innen (Tag III)</li> <li>• Lufttemperatur außen &gt; Lufttemperatur innen (Tag IV)</li> </ul> <p>Die Unterschiede im Tagesverlauf werden vereinfacht dargestellt durch die zwei Zustände:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Direkte Sonneneinstrahlung</li> <li>• Diffuse Einstrahlung / bewölkt</li> </ul>			<p>Außentemperatur &lt;&lt; Innentemperatur (große Differenz)</p>		<p>Außentemperatur &lt; Innentemperatur (geringe Differenz)</p>		<p>Außentemperatur = Innentemperatur</p>		<p>Außentemperatur &gt; Innentemperatur (geringe Differenz)</p>		<p>direkte Sonneneinstrahlung</p>		<p>diffuse Einstrahlung / bewölkt</p>		<p>direkte Sonneneinstrahlung</p>		<p>diffuse Einstrahlung / bewölkt</p>	
			<p>Die Bewertung der funktionalen Anforderungen der Tagessituationen erfolgt in fünf Bewertungsstufen.</p> <p>Legende:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● = sehr positiv</li> <li>◐ = positiv</li> <li>◑ = neutral/bedingt</li> <li>◒ = negativ</li> <li>◓ = sehr negativ</li> </ul>			<p>Schutzfunktionen</p>		Winterlicher Wärmeschutz		Sommerlicher Wärmeschutz		Blendschutz		Tageslichtnutzung		Durchsicht		Luftaustausch
●		●						◐		◐		◐		◐		◐		
◓		◓						◑		◑		◑		◑		◑		
●		◑						●		◑		●		◑		◑		
◐		●						◐		◐		◐		◐		◐		

Abb. 6.05 Anforderungen an die funktionalen Eigenschaften der Fassade bezogen auf den Jahresverlauf

- keine Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur (Tag III, Sommer):  $t_A = t_I$
- geringe Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur (Tag IV, Hochsommer):  $t_A > t_I$

Ergänzend könnten noch die Nächte aufgeführt werden:

- große Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur (Winternacht):  $t_A \ll t_I$
- geringe Differenz zwischen

- Außen- und Innentemperatur (Nacht in Übergangszeit):  $t_A < t_I$
- keine Differenz zwischen Außen- und Innentemperatur (Sommernacht):  $t_A = t_I$

Auf die Darstellung dieser drei Situationen wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen, da nachts Blendschutz und Durchsicht nur sehr bedingt und Tageslichtnutzung gar nicht relevant sind.

### Tagesverlauf

Betrachtet man eine Fassadenfläche, so variiert der Einstrahlungswinkel innerhalb fixer Werte. Der Zeitpunkt im Tagesverlauf wird durch die Orientierung bestimmt. Die Unterschiede des Einstrahlungswinkels bleiben an dieser Stelle unberücksichtigt, um die Anzahl der Variablen auf ein Minimum reduzieren zu können. Die Unterschiede im Tagesverlauf werden vereinfacht dargestellt

durch:

- Direkte Sonneneinstrahlung
- Diffuse Einstrahlung / bewölkt

### 1.6.2 Bewertung der funktionalen Anforderungen

In Abb. 6.05 erfolgt eine Bewertung der Anforderungen an die funktionalen Eigenschaften der Fassade für die Schutzfunktionen

- Winterlicher Wärmeschutz,
- Sommerlicher Wärmeschutz,
- Blendschutz

Betrachtung des mittleren Fassadenfelds		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
		0 Sch.	1 Schicht				2 Schichten						3 Schichten				4 Sch.
Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen mit vier Komponenten bezogen auf ein Fassadenfeld: (A) Blendschutz (B) Fenster (C) Tageslichtumlenkung (D) Sonnenschutz		keine Komponente	Blendschutz	Fenster	Tageslichtumlenkung	Sonnenschutz	Blendschutz Fenster	Blendschutz Tageslichtumlenkung	Blendschutz Sonnenschutz	Fenster Tageslichtumlenkung	Fenster Sonnenschutz	Tageslichtumlenkung Sonnenschutz	Blendschutz Fenster Tageslichtumlenkung	Blendschutz Fenster Sonnenschutz	Blendschutz Tageslichtumlenkung Sonnenschutz	Fenster Tageslichtumlenkung Sonnenschutz	Blendschutz Fenster Tageslichtumlenkung Sonnenschutz
Die Bewertung erfolgt für die Schutz- und Versorgungsfunktionen in drei Bewertungsstufen.																	
Legende: ● = positiv ● (light blue) = neutral / bedingt ○ = negativ																	
Kombinationskennzeichnung		-	A	B	C	D	A/B	A/C	A/D	B/C	B/D	C/D	A/B/C	A/B/D	A/C/D	B/C/D	A/B/C/D
Schutz- funktionen	Winterlicher Wärmeschutz	○	● (light blue)	●	○	○	●	○	○	●	●	○	●	●	○	●	●
	Sommerlicher Wärmeschutz	● (light blue)	● (light blue)	○	● (light blue)	●	○	● (light blue)	●	● (light blue)	●	●	● (light blue)	●	●	●	●
	Blendschutz	○	●	○	● (light blue)	●	●	●	●	● (light blue)	●	●	●	●	●	●	●
Versorgungs- funktionen	Tageslichtnutzung	●	● (light blue)	●	●	○	● (light blue)	● (light blue)	○	●	○	○	● (light blue)	○	○	○	○
	Durchsicht	●	○	●	● (light blue)	● (light blue)	○	○	○	● (light blue)	● (light blue)	● (light blue)	○	○	○	○	○
	Luftaustausch	●	● (light blue)	○	● (light blue)	●	○	● (light blue)	● (light blue)	○	○	● (light blue)	○	○	● (light blue)	○	○

Abb. 6.06 Betrachtung des mittleren Fassadenfelds: Funktionale Eigenschaften der 16 möglichen Kombinationen für den Aufbau der vertikal verschieblichen Komponenten in vier Schichten

und die Versorgungsfunktionen

- Tageslichtnutzung,
- Durchsicht,
- Luftaustausch / Lüftung.

Die Tabelle zeigt die Anforderungen an die funktionalen Eigenschaften in Abhängigkeit zum Jahresverlauf (mit unterschiedlichen Temperaturdifferenzen und Belichtungsverhältnissen).

## 2 Leistungsprofil der möglichen Kombinationen

Bisher wurden die funktionalen Anforderungen an die Eigenschaften der Fassade untersucht. Im nächsten Schritt werden die (funktionalen) Eigenschaften der möglichen Kombinationen analog zu den Anforderungen auf Grund der Tagesituationen dargestellt.

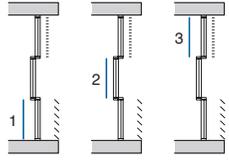
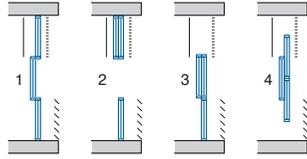
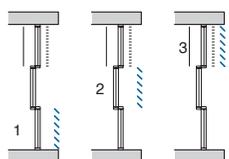
## 2.1 Funktionale Eigenschaften der Kombinationsmöglichkeiten bezogen auf ein Fassadenfeld

In einem ersten Schritt erfolgen die Untersuchungen der funktionalen Eigenschaften mit den weiter oben genannten sechs Parametern, bezogen auf ein Feld. Zur Betrachtung wird nur das mittlere der drei Felder herangezogen.

### 2.1.1 Anordnungsmöglichkeiten

Insgesamt lassen sich bei einem vierschichtigen Aufbau mit vier Elementen für ein Feld 16 Varianten unterscheiden:

- keine Komponente
- A Blendschutz
- B Fenster
- C Tageslichtumlenkung
- D Sonnenschutz
- A/B Blendschutz + Fenster

Anordnungsmöglichkeiten:
Ebene A: 3 Positionen Ebene B: 3 Positionen Ebene C: 7 Positionen (3 Flügel in 2 Bewegungsebenen) Ebene D: 3 Positionen
Anzahl der theoretisch möglichen Positionen (Kombinationen): $3 \times 7 \times 3 \times 3 = 189$
Reduktion der möglichen Positionen:
 <p>Blendschutz: 3 Positionen</p>
 <p>Fenster: 4 Positionen</p>
 <p>Tageslichtumlenkung: 1 Position</p>
 <p>Sonnenschutz: 3 Positionen</p>
Anzahl der zu untersuchenden Kombinationsmöglichkeiten: $3 \times 4 \times 1 \times 3 = 36$

- A/C Blendschutz + Tageslichtumlenkung
- A/D Blend- + Sonnenschutz
- B/C Fenster + Tageslichtumlenkung
- B/D Fenster + Sonnenschutz
- C/D Tageslichtumlenkung + Sonnenschutz
- A/B/C Blendschutz + Fenster + Tageslichtumlenkung
- A/B/D Blendschutz + Fenster + Sonnenschutz
- A/C/D Blendschutz + Tageslichtumlenkung + Sonnenschutz
- B/C/D Fenster + Tageslichtumlenkung + Sonnenschutz
- A/B/C/D Blendschutz + Fenster + Tageslichtumlenkung + Sonnenschutz

### 2.1.2 Bewertung der Kombinationen

In Abb. 6.06 sind die funktionalen Eigenschaften der verschiedenen Zustände in drei Stufen bewertet. <sup>10</sup> Mit zunehmender Anzahl der überlagerten Schichten werden die Schutzfunktionen positiv und die Versorgungsfunktionen negativ. Ein Zustand mit positiver Bewertung aller Kategorien ist nicht festzustellen. Der Grund hierfür liegt an den teilweise gegenläufigen Anforderungen. So wird der Ausblick durch Sonnenschutzelemente eingeschränkt und durch Komponenten zum Blendschutz meist völlig

Abb. 6.07 Anordnungsmöglichkeiten (Positionen) der Komponenten und Reduktion auf die zu untersuchenden 36 Kombinationsmöglichkeiten

verhindert. Die Nutzung des Tageslichts wird durch den Sonnenschutz eingeschränkt.

Durch die Kombination verschiedener Komponenten läßt sich eine Vielzahl unterschiedlicher Eigenschaften abbilden. Das System kann damit auf unterschiedliche Anforderungen reagieren. Für weiterführende Aussagen bezüglich des Leistungsspektrums und des Einsatzbereichs vertikaler Schiebemechanismen ist jedoch die Betrachtung des gesamten Fassadenbereichs notwendig.

### 2.2 Funktionale Eigenschaften der Kombinationsmöglichkeiten bezogen auf drei Fassadenfelder

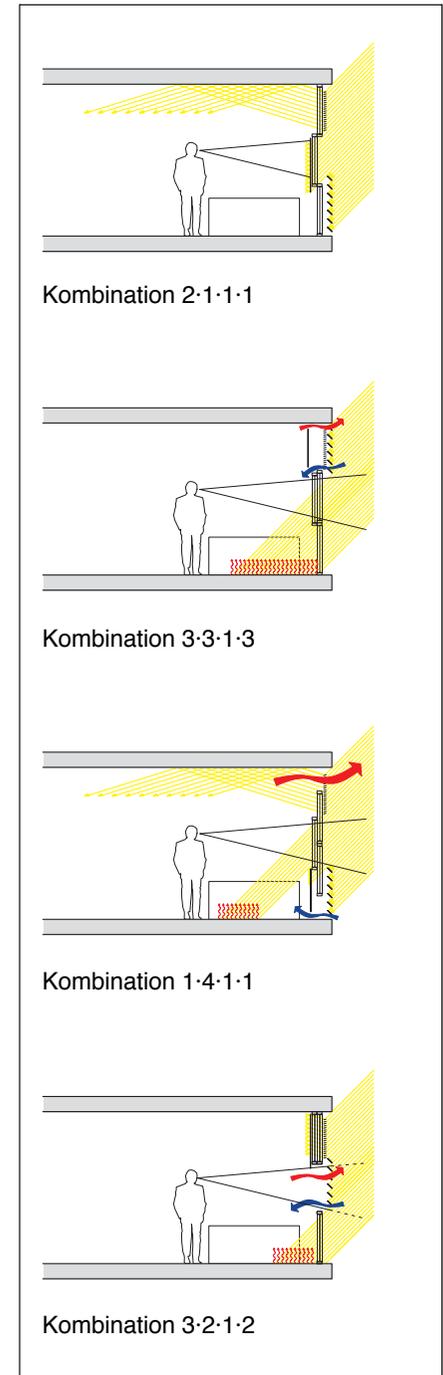
Bezogen auf das gesamte Fassadenfeld erhöht sich bei dem gegebenen Modell mit vierschichtigem Aufbau die Anzahl der theoretisch möglichen Kombinationen:

- Blendschutz: 3 Zustände
  - Fenster (3 Flügel in 2 Bewegungsebenen): 7 Zustände
  - Tageslichtumlenkung: 3 Zust.
  - Sonnenschutz: 3 Zustände
- Insgesamt ergeben sich somit  $3 \times 7 \times 3 \times 3 = 189$  Zustände.

#### 2.2.1 Anordnungsmöglichkeiten

Betrachtet man die Wirksamkeit der verschiedenen Komponenten zur Regelung von Luftwechsel, Belichtung und Temperatur, lassen sich,

Abb. 6.08 Beispiele für die zeichnerische Ermittlung der funktionalen Eigenschaften der ausgewählten Kombinationsmöglichkeiten bezogen auf drei Fassadenfelder



Betrachtung der drei Fassadenfelder		Übersicht		Nr.1 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 30 31 32 33 34 35 36																																			
				Fenster geschlossen									mittlerer Flügel nach oben geschoben									oberer Flügel in mittleres Feld geschoben									oberer und unterer Flügel je zur Hälfte in mittleres Feld geschoben								
<b>Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) mit vier Komponenten in vier Schichten</b> Aufbau von innen nach außen: Komponente: mögliche Positionen (Zahlen in Klammern) Blendschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3) Fenster: alle geschlossen/mittleres n. oben geschoben/oberes in die Mitte geschoben/oberes und unteres je halb in die Mitte geschoben (1/2/3/4) Tageslichtumlenkung: oberes Feld (1) Sonnenschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3)																																							
				Kombinationskennzeichnung: Ergibt sich aus der Zuordnung der 4 Schichten je einer Stelle einer vierstelligen Zahlenfolge: Blendschutz (1. Stelle) · Fenster (2. Stelle) · Tageslichtumlenkung (3. Stelle) · Sonnenschutz (4. Stelle)																																			
Die Bewertung der verschiedenen möglichen Kombinationen (anhand zeichnerischer Ermittlung) erfolgt für die Schutz- und Versorgungsfunktionen analog zur Erfassung der Anforderungen (Abb. 6.05) in fünf Bewertungsstufen.  Legende: ● = sehr positiv ● = positiv ○ = neutral / bedingt ⊖ = negativ ○ = sehr negativ		Schutzfunktionen	Winterlicher Wärmeschutz																																				
			Sommerlicher Wärmeschutz																																				
			Blendschutz																																				
		Versorgungsfunktionen	Tageslichtnutzung																																				
Durchsicht																																							
Luftaustausch																																							

Abb. 6.09 Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) für alle drei Felder der Fassade bei vierschichtigem Aufbau der vertikal verschieblichen Elemente (Übersicht)

bezogen auf den Raum, den einzelnen Bereichen des Fassadenfelds verschiedene Funktionen zuordnen:

- Oberlichtbereich: Lüftung, Tageslichtumlenkung, sommerlicher Wärmeschutz, winterlicher Wärmeschutz
- Bereich des Blickfelds: Lüftung, Blendschutz, sommerlicher Wärmeschutz, winterlicher Wärmeschutz
- Brüstungsbereich: Lüftung, sommerlicher Wärmeschutz, winterlicher Wärmeschutz

Daraus läßt sich ableiten, daß sowohl die Anordnung der Elemente

zur Tageslichtumlenkung im unteren und mittleren Element als auch die Anordnung des Blendschutzes im unteren Element nicht sinnvoll erscheinen. Für den Blendschutz wird die Anordnung des Elements im Brüstungsbereich - eine Art Parkposition - hinzugenommen.

Bei den Anordnungsmöglichkeiten der Fenster lassen sich Zustände identifizieren, die sich lediglich darin unterscheiden, daß sich die Anzahl der Scheiben für den Durchblick verdoppelt. Setzt man diese gleich, so ergeben sich noch vier Zustände.

Auf Grund der erforderlichen Brüstungshöhe wird der Zustand des offenen Brüstungsbereichs durch einen für die Lüftung sehr wichtigen Zustand ersetzt. Die bisherigen Zustände 'geschlossen' und 'offen' (null und eins) werden um den Zustand der halben Öffnung erweitert: Bei diesem werden der obere und der untere Bereich zu je 50 % geöffnet. Der Zustand der halben Öffnung wird auf die anderen Manipulatoren (noch) nicht angewandt.

Somit läßt sich eine Reduktion auf  $3 \times 4 \times 1 \times 3 = 36$  Zustände vornehmen (siehe Abb. 6.07).

Werden dem Aufbau entsprechend (von innen nach außen) die Schichten je einer Position einer vierstelligen Zahlenfolge zugeordnet, lassen sich dadurch die Kombinationsmöglichkeiten kennzeichnen:

Blendschutz (erste Stelle):

- Unteres Feld (1)
- Mittleres Feld (2)
- Oberes Feld (3)

Fenster, drei Flügel in zwei Bewegungsebenen (zweite Stelle):

- Alle Felder geschlossen (1)
- Mittleres Feld nach oben geschoben (2)
- Oberes Feld in die Mitte geschoben (3)

Betrachtung der drei Fassadenfelder		Teil 1	Nr. 1	2	3	4	5	6	7	8	9	
			Fenster geschlossen									
<b>Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) mit vier Komponenten in vier Schichten</b> Aufbau von innen nach außen: Komponente: mögliche Positionen (Zahlen in Klammern) Blendschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3) Fenster: alle geschlossen/mittleres n. oben geschoben/oberes in die Mitte geschoben/oberes und unteres je halb in die Mitte geschoben (1/2/3/4) Tageslichtumlenkung: oberes Feld (1) Sonnenschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3)  Kombinationskennzeichnung: Ergibt sich aus der Zuordnung der vier Schichten je einer Stelle einer vierstelligen Zahlenfolge: Blendschutz (erste Stelle) · Fenster (zweite Stelle) · Tageslichtumlenkung (dritte Stelle) · Sonnenschutz (vierte Stelle)												
		Kombinationskennzeichnung		1-1-1-1	1-1-1-2	1-1-1-3	2-1-1-1	2-1-1-2	2-1-1-3	3-1-1-1	3-1-1-2	3-1-1-3
Die Bewertung der verschiedenen möglichen Kombinationen (anhand zeichnerischer Ermittlung) erfolgt für die Schutz- und Versorgungsfunktionen in fünf Bewertungsstufen.  Legende: ● = sehr positiv ◐ = positiv ◑ = neutral/bedingt ◒ = negativ ○ = sehr negativ	Schutzfunktionen	Winterlicher Wärmeschutz	●	◐	●	◐	●	●	●	●	●	
		Sommerlicher Wärmeschutz	◑	◑	◑	◐	◑	◑	◑	◑	○	○
		Blendschutz	◑	◐	◑	●	◐	◑	◑	◑	◑	○
	Versorgungsfunktionen	Tageslichtnutzung	●	◐	◐	◐	●	◑	◑	◑	○	◐
		Durchsicht	●	◐	●	◑	◑	◑	●	◐	◐	●
		Luftaustausch	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Abb. 6.10 Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) für alle drei Felder der Fassade bei vierschichtigem Aufbau der vertikal verschieblichen Komponenten (Teil 1)

- Oberes u. unteres Feld je halb in die Mitte geschoben (4)
- Tageslichtumlenkung (dritte Stelle):
- Oberes Feld (1)
- Sonnenschutz (vierte Stelle):
- Unteres Feld (1)
  - Mittleres Feld (2)
  - Oberes Feld (3)

### 2.2.2 Bewertung der Kombinationsmöglichkeiten

Die Kombinationsmöglichkeiten lassen sich in bezug auf die funktionalen Eigenschaften untersuchen:

- Schutzfunktionen:
- Winterlicher Wärmeschutz
  - Sommerlicher Wärmeschutz
  - Blendschutz

- Versorgungsfunktionen:
- Tageslichtnutzung
  - Durchsicht
  - Lüftung

Der winterliche Wärmeschutz wird durch geschlossene Fenster am besten erfüllt.

Kann ein hoher solarer Eintrag durch günstige Stellung der Sonnen- und Blendschutzelemente erfolgen, so wird dies für die Bewertung des winterlichen Wärmeschutzes zusätzlich berücksichtigt.

Die solare Einstrahlung in den Raum wird für die Bewertung des sommerlichen Wärmeschutzes un-

tersucht. Für die Fenster wird hierbei angenommen, daß keine Sonnenschutzgläser vorliegen. Die eventuell vorhandene Lüftung zur Abfuhr der Wärme bleibt unberücksichtigt.

Der Blendschutz bezieht sich auf eine direkte Sonneneinstrahlung im Bereich eines Arbeitsplatzes. Zusätzlich wird der Leuchtdichtekontrast in der Fassade und die Verteilung von Tageslicht, bezogen auf die Raumtiefe, berücksichtigt.

Betrachtung der drei Fassadenfelder		Teil 2	Nr. 10	11	12	13	14	15	16	17	18	
			mittlerer Flügel nach oben geschoben									
<b>Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) mit vier Komponenten in vier Schichten</b> Aufbau von innen nach außen: Komponente: mögliche Positionen (Zahlen in Klammern) Blendschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3) Fenster: alle geschlossen/mittleres n. oben geschoben/oberes in die Mitte geschoben/oberes und unteres je halb in die Mitte geschoben (1/2/3/4) Tageslichtumlenkung: oberes Feld (1) Sonnenschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3)  Kombinationskennzeichnung: Ergibt sich aus der Zuordnung der vier Schichten je einer Stelle einer vierstelligen Zahlenfolge: Blendschutz (erste Stelle) · Fenster (zweite Stelle) · Tageslichtumlenkung (dritte Stelle) · Sonnenschutz (vierte Stelle)												
Kombinationskennzeichnung			1-2-1-1	1-2-1-2	1-2-1-3	2-2-1-1	2-2-1-2	2-2-1-3	3-2-1-1	3-2-1-2	3-2-1-3	
Die Bewertung der verschiedenen möglichen Kombinationen (anhand zeichnerischer Ermittlung) erfolgt für die Schutz- und Versorgungsfunktionen in fünf Bewertungsstufen.  Legende: ● = sehr positiv ◐ = positiv ◑ = neutral / bedingt ◒ = negativ ○ = sehr negativ	Schutzfunktionen	Winterlicher Wärmeschutz	◑	◐	◑	◐	◑	◑	◑	◐	◑	
		Sommerlicher Wärmeschutz	◑	◐	◑	◐	◑	◑	◑	◐	◐	◑
		Blendschutz	◑	◐	◑	◐	◐	◑	◑	◑	◑	◑
	Versorgungsfunktionen	Tageslichtnutzung	◐	◐	◐	◐	◐	◑	◑	◑	○	◐
		Durchsicht	◐	◐	◐	◑	◑	◑	◑	◐	◐	◐
		Luftaustausch	◐	◐	◐	◑	◑	◑	◑	◐	◐	◐

Abb. 6.11 Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) für alle drei Felder der Fassade bei vierschichtigem Aufbau der vertikal verschieblichen Komponenten (Teil 2)

Bei der Tageslichtnutzung wird die Verteilung des Tageslichts im Raum bewertet. Die Durchsicht wird für den Bereich des Blickfelds bewertet. Da als Sonnenschutz eine Lamellenstruktur angenommen wird, welche die primäre Aufgabe der Verschattung der Fassade erfüllt, ist eine reduzierte Durchsicht bei eingeschränktem Blickwinkel trotz Verschattung möglich. Bei der Bewertung der Lüftung wird eine Lüftung durch

thermische Antriebskräfte angenommen. Die Öffnungsstellung der Fenster mit einem je halb zur Mitte hin geschobenen oberen und unteren Flügel wird daher als besonders positiv bewertet. Bei der Überlagerung mit dem Blendschutzelement oder dem Sonnenschutz wird die Lüftung eingeschränkt.

#### Zeichnerische Ermittlung

Die Bewertung der verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten erfor-

dert einen Vergleich der Überlagerung der Schichten und die Auswirkungen auf den Raum. Die zeichnerische Ermittlung erfolgt mit fünf Bewertungsstufen:

- sehr positiv
- positiv
- neutral / bedingt
- negativ
- sehr negativ

Abb. 6.08 zeigt vier Beispiele für die Untersuchung der funktionalen

Eigenschaften der angegebenen Kombinationsmöglichkeiten. Die Bewertung der 36 Kombinationsmöglichkeiten nach ihren funktionalen Eigenschaften in tabellarischer Form zeigt Abb. 6.09 in einer Übersicht, in der sich bestimmte graphische Muster durch die Bewertung erkennen lassen. Die sich wiederholenden Muster der funktionalen Eigenschaften können bestimmten Kombinationsmöglichkeiten zugeordnet werden, bei denen die glei-

Betrachtung der drei Fassadenfelder		Teil 3	Nr. 19	20	21	22	23	24	25	26	27	
			oberer Flügel in mittleres Feld geschoben									
<b>Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) mit vier Komponenten in vier Schichten</b> Aufbau von innen nach außen: Komponente: mögliche Positionen (Zahlen in Klammern) Blendschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3) Fenster: alle geschlossen/mittleres n. oben geschoben/oberes in die Mitte geschoben/oberes und unteres je halb in die Mitte geschoben (1/2/3/4) Tageslichtumlenkung: oberes Feld (1) Sonnenschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3)												
		<b>Kombinationskennzeichnung</b> Ergibt sich aus der Zuordnung der vier Schichten je einer Stelle einer vierstelligen Zahlenfolge: Blendschutz (erste Stelle) · Fenster (zweite Stelle) · Tageslichtumlenkung (dritte Stelle) · Sonnenschutz (vierte Stelle)		1-3-1-1	1-3-1-2	1-3-1-3	2-3-1-1	2-3-1-2	2-3-1-3	3-3-1-1	3-3-1-2	3-3-1-3
Die Bewertung der verschiedenen möglichen Kombinationen (anhand zeichnerischer Ermittlung) erfolgt für die Schutz- und Versorgungsfunktionen in fünf Bewertungsstufen.  Legende: ● = sehr positiv ● (halbfilled) = positiv ● (1/4 filled) = neutral / bedingt ○ (1/4 empty) = negativ ○ = sehr negativ	Schutzfunktionen	Winterlicher Wärmeschutz	●	● (halbfilled)	●	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	●	● (halbfilled)	●	
		Sommerlicher Wärmeschutz	●	● (halbfilled)	●	●	● (halbfilled)	●	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)
		Blendschutz	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	●	● (halbfilled)	●	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	○
	Versorgungsfunktionen	Tageslichtnutzung	●	● (halbfilled)	●	○	● (halbfilled)					
		Durchsicht	●	● (halbfilled)	●	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	●	● (halbfilled)	●
Luftaustausch		● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	● (halbfilled)	

Abb. 6.12 Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) für alle drei Felder der Fassade bei vierschichtigem Aufbau der vertikal verschieblichen Komponenten (Teil 3)

chen Zustände für bestimmte Elemente vorliegen.

Der Grund für die Ablesbarkeit liegt in der Auflistung der Kombinationsmöglichkeiten: Die Reihenfolge wird durch Veränderung jeweils einer Schicht bestimmt - und nicht etwa durch numerische Auflistung. Auf den folgenden Seiten erfolgt eine detaillierte Darstellung der untersuchten Konstellationen (siehe Abb. 6.10 - 6.13).

### 2.3 Erweiterung der Kombinationsmöglichkeiten

Im Zusammenhang mit den bisherigen Untersuchungen stehen die Größe der Komponenten und die Bewegung der Komponenten in Bezug zu den drei gleich großen Fassadenfeldern, die man auch als eine Art (Fassaden-) Raster zusammenfassen kann. Durch Modifikation dieser Festlegungen läßt sich das Leistungsspektrum vielfältig erweitern.

#### 2.3.1 Verschieben ohne Bezug zum Fassadenraster

Eine einzige Ausnahme beim Bezug der Positionen der Komponenten zur vertikalen Einteilung in drei Felder wurde im Zusammenhang mit der Lüftung getroffen (Öffnen des oberen und unteren Flügelbereichs zu je 50 %).

Durch Verschieben ohne Bezug zum Fassadenraster erweitert sich das Spektrum um ein vielfaches.

#### 2.3.2 Größe der Elemente

Auch durch Variation der Elementgröße kann das Spektrum erweitert werden: Die Wirkung - sowohl in Bezug zum Innenraum als auch durch die Überlagerung der verschiedenen Schichten - kann dadurch optimiert werden. Dieser Aspekt ist im Zusammenhang mit einer konkreten Anwendungssituation von Bedeutung und wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter vertieft.

Betrachtung der drei Fassadenfelder		Teil 4	Nr. 28	29	30	31	32	33	34	35	36	
			oberer und unterer Flügel je zur Hälfte in mittleres Feld geschoben									
<b>Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) mit vier Komponenten in vier Schichten</b> Aufbau von innen nach außen: Komponente: mögliche Positionen (Zahlen in Klammern) Blendschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3) Fenster: alle geschlossen/mittleres n. oben geschoben/oberes in die Mitte geschoben/oberes und unteres je halb in die Mitte geschoben (1/2/3/4) Tageslichtumlenkung: oberes Feld (1) Sonnenschutz: unteres/mittleres/oberes Feld (1/2/3)  Kombinationskennzeichnung: Ergibt sich aus der Zuordnung der vier Schichten je einer Stelle einer vierstelligen Zahlenfolge: Blendschutz (erste Stelle) · Fenster (zweite Stelle) · Tageslichtumlenkung (dritte Stelle) · Sonnenschutz (vierte Stelle)												
Kombinationskennzeichnung			1-4-1-1	1-4-1-2	1-4-1-3	2-4-1-1	2-4-1-2	2-4-1-3	3-4-1-1	3-4-1-2	3-4-1-3	
Die Bewertung der verschiedenen möglichen Kombinationen (anhand zeichnerischer Ermittlung) erfolgt für die Schutz- und Versorgungsfunktionen in fünf Bewertungsstufen.  Legende: ● = sehr positiv ● (halbiert) = positiv ● (1/4) = neutral / bedingt ○ (1/4) = negativ ○ = sehr negativ	Schutzfunktionen	Winterlicher Wärmeschutz	● (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	
		Sommerlicher Wärmeschutz	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)
		Blendschutz	○ (1/4)	● (1/4)	○ (1/4)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (1/4)	○ (1/4)	● (1/4)	● (1/4)	○ (1/4)
	Versorgungsfunktionen	Tageslichtnutzung	● (halbiert)	● (1/4)	● (1/4)	● (1/4)	● (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	● (1/4)	○ (1/4)	● (1/4)
		Durchsicht	● (halbiert)	● (1/4)	● (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	○ (1/4)	● (1/4)	● (1/4)	● (1/4)
		Luftaustausch	● (halbiert)	● (1/4)	● (1/4)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (halbiert)	● (1/4)	● (1/4)	● (1/4)

Abb. 6.13 Funktionale Eigenschaften der möglichen Kombinationen (Auswahl) für alle drei Felder der Fassade bei vierschichtigem Aufbau der vertikal verschieblichen Komponenten (Teil 4)

### 3 Gegenüberstellung von Anforderungen und Leistungsprofil: Mögliche Zuordnungen

Bisher wurden sowohl die verschiedenen Tagessituationen als auch die 36 mögliche Kombinationen unabhängig voneinander betrachtet.

Durch die analog erfolgte Bewertung ist es möglich, beide Tabellen miteinander zu kombinieren:

Den einzelnen (funktionalen) Anforderungsprofilen für die verschiedenen Tagessituationen, die in Abb. 6.05 dargestellt sind, lassen sich Kombinationsmöglichkeiten aus Abb. 6.09 anhand der dort erfaßten funktionalen Eigenschaften (=Leistungsprofil) zuordnen.

#### Graphische Zuordnung der Kombinationsmöglichkeiten

Durch einen Vergleich des durch die graphische Darstellung einfach

zu erfassenden Anforderungsprofils mit den in gleicher Methode dargestellten Leistungsprofilen kann eine Zuordnung erreicht werden: In Abb. 6.14 erfolgt die Gegenüberstellung mit möglichst hoher Übereinstimmung zwischen Anforderungen der Tageskonstellationen und den Eigenschaften der ausgewählten Kombinationsmöglichkeiten.<sup>11</sup> Diese erste Zuordnung zeigt das Potential der Kombinationsmöglichkeiten, die sich durch die Verwen-

dung des vertikalen Schiebemechanismus für mehrere Komponenten in der Fassade ergeben.

#### 3.1 Zentrales Charakteristikum von vertikalen Schiebemechanismen

Die tabellarische Bewertung der funktionalen Eigenschaften der ausgewählten 36 Kombinationsmöglichkeiten zeigt das zentrale Charakteristikum der Kombination verschiedener Manipulatoren unter

Zuordnung von Tagessituationen und Kombinationsmöglichkeiten		Szenario-Nr.: 1		2		3		4		5		6		7		8					
		Tag I				Tag II				Tag III				Tag IV							
<p>Zuordnung von Tagesszenarien (siehe Abb. 6.05) und möglichen Kombinationen (siehe Abb. 6.09) durch Gegenüberstellung von:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionalen Anforderungen an die Fassade, resultierend aus den vier unterschiedlichen Tagesszenarien bezogen auf den Jahresverlauf</li> <li>- Funktionalen Eigenschaften der möglichen Kombinationen</li> </ul> <p>Die Zuordnung erfolgt durch möglichst hohe Übereinstimmung der graphisch dargestellten Profile.</p> <p>Die Bewertung der funktionalen Eigenschaften der möglichen Kombinationen und der funktionalen Anforderungen der Tagessituationen erfolgt für die Schutz- und Versorgungsfunktionen in fünf Bewertungsstufen.</p> <p>Legende:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● = sehr positiv</li> <li>◐ = positiv</li> <li>◑ = neutral/bedingt</li> <li>◒ = negativ</li> <li>○ = sehr negativ</li> </ul>		<p>außen      innen</p> <p>Außentemperatur &lt;&lt; Innentemperatur (große Differenz)</p>		<p>außen      innen</p> <p>Außentemperatur &lt; Innentemperatur (geringe Differenz)</p>		<p>außen      innen</p> <p>Außentemperatur = Innentemperatur</p>		<p>außen      innen</p> <p>Außentemperatur &gt; Innentemperatur (geringe Differenz)</p>													
		Anfor- derungen	Eigen- schaften	Anfor- derungen	Eigen- schaften	Anfor- derungen	Eigen- schaften	Anfor- derungen	Eigen- schaften	Anfor- derungen	Eigen- schaften	Anfor- derungen	Eigen- schaften	Anfor- derungen	Eigen- schaften	Anfor- derungen	Eigen- schaften	Anfor- derungen	Eigen- schaften		
Schutz- funktionen	Winterlicher Wärmeschutz	●	◐	●	●	◐	◐	◐	●	◑	◑	◑	◑	◐	○	◐	◐				
	Sommerlicher Wärmeschutz	○	◑	○	◐	◑	◐	◐	◐	◐	●	●	◑	◑	●	◐	◐	◐			
	Blendschutz	●	◐	◑	◐	●	●	◑	◐	●	●	◑	◐	◐	◐	●	●	◑	◐		
Versorgungs- funktionen	Tageslichtnutzung	◐	◐	●	●	◐	◐	●	●	◐	◐	●	●	◐	◐	●	●	●	●		
	Durchsicht	◐	◐	◐	◐	◐	◑	◐	◐	◐	◑	●	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐		
	Luftaustausch	◐	○	○	○	◑	○	◐	○	◐	○	●	◐	◐	●	●	●	◐	◐		
Kombinationskennzeichnung		1·1·1·2		2·1·1·2		2·1·1·1		2·1·1·2		2·3·1·1		1·3·1·1		2·4·1·1		1·4·1·1					

Abb. 6.14 Mögliche Zuordnung von Tagesszenarien und Kombinationsmöglichkeiten



Abb. 6.15 Modell (Abbildung der Meßbox)

Verwendung des vertikalen Schiebemechanismus:

- Durch den Einsatz des vertikalen Schiebemechanismus für verschiedene Manipulatoren sind die einzelnen funktionalen Bereiche unabhängig voneinander regelbar.

### 3.2 Potentialabschätzung

Durch das vertikale Verschieben der Elemente ist die Fassade als System in der Lage, auf verschiedene Situationen reagieren zu können, da die Gebäudehülle unterschiedliche Zustandsgrößen annehmen kann.

Dies zeigen die dargestellten Leistungsprofile. Die Darstellung aller 189 möglichen Kombinationen würde ein entsprechend vielfältigeres und differenzierteres Bild ergeben.

#### Abgrenzung der funktionalen Bereiche

Aus der Zuordnung läßt sich außerdem folgende Forderung ableiten:

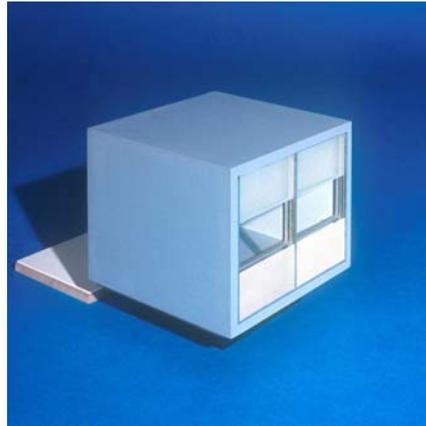


Abb. 6.16 Modell (Maßstab 1:25)

Damit die Fassade als System auf möglichst unterschiedliche Situationen regieren kann, sollten die zur Anwendung kommenden Komponenten für einen funktionalen Bereich eingesetzt werden und gleichzeitig möglichst geringe Auswirkungen auf andere funktionale Bereiche haben.

#### Reagibles System

Durch eine Differenzierung der Kombinationsmöglichkeiten (Erhöhung der Anzahl der Positionen bis zu einer freien Verschiebbarkeit der Komponenten, Variation der Größe etc.) wäre eine Zuordnung auch im Falle einer entsprechend differenzierteren Darstellung der unterschiedlichen Tagesszenarien möglich. Die Kombination verschiede-

Abb. 6.18 Modell mit mehrschichtigem Fassadenaufbau zur Aufnahme der verschieblichen Komponenten, Rückseite abnehmbar für Innenraumstudien:

- innere Schicht: Sonnenschutz
- mittlere Schicht: Vertikalschiebefenster, in zwei Ebenen
- äußere Schicht: Tageslichtnutzungselement und Sonnenschutz

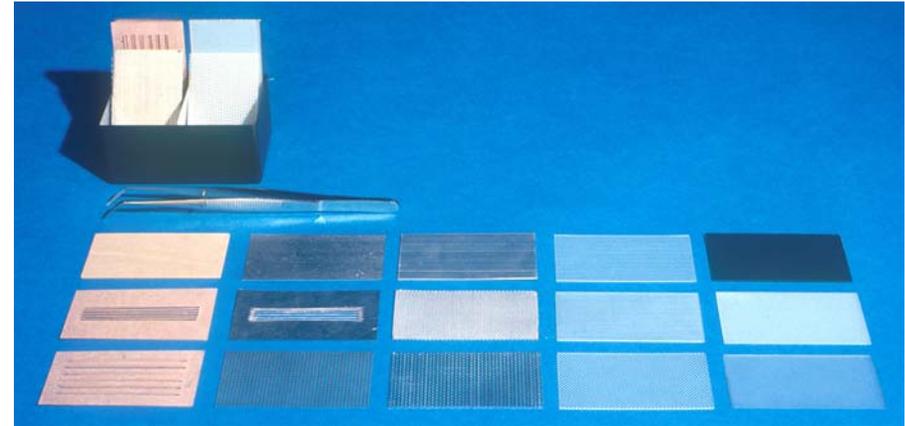
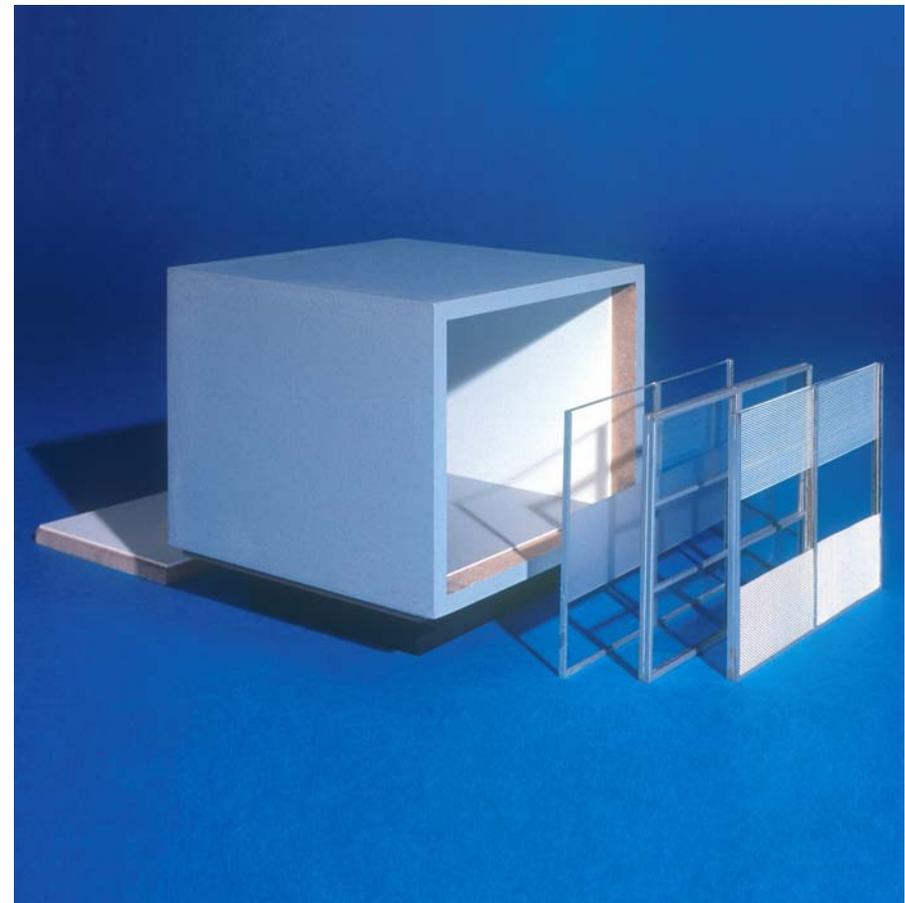


Abb. 6.17 Mögliche Materialien für die Anwendung als vertikal verschiebliche Manipulatoren



ner Manipulatoren unter Verwendung des vertikalen Schiebemechanismus stellt somit ein sehr reagibles System dar. Bei Anwendung anderer Bewegungsmechanismen der Manipulatoren ist dies nur bedingt der Fall.

#### 4 Überprüfung der Ergebnisse im Modell

Das Leistungsprofil des vertikalen Schiebemechanismus wurde bisher nur theoretisch anhand von 36 Kombinationsmöglichkeiten mit festen Positionen der Elemente untersucht.

Zu der damit nachgewiesenen grundsätzlichen Anpaßbarkeit des Systems an verschiedene Zustände und Anforderungen sollen in weiteren Schritten praktische Untersuchungen durchgeführt werden, um die Reagibilität einer Fassade mit vertikal verschieblichen Elementen aufzuzeigen.

Vor der Überprüfung durch ein Muster im Maßstab 1:1 können erste Aussagen bereits anhand von Modellen getroffen werden. In einem ersten Schritt sollen die Kombinationsmöglichkeiten abgebildet werden.

Die Möglichkeit, die Situation am Computer zu simulieren, wurde in Betracht gezogen. Der Vorgang des Schiebens ist hier jedoch nicht so unmittelbar erlebbar, wie in einem Modell; die fehlende direkte Handhabung als wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen kann

durch Simulationen nicht ersetzt werden.

Für die photographischen Untersuchungen werden die funktionalen Eigenschaften auf die optischen Parameter in reduzierter Form übertragen.

Photographische Untersuchungen werden durchgeführt für:

- Auswahl der 36 Kombinationsmöglichkeiten
- Tagessituationen und jeweils zugeordnete Kombinationsmöglichkeiten

##### 4.1 Abbildung der Kombinationsmöglichkeiten im Modell

Da die Auswirkung der Fassade auf den Innenraum ein wesentlicher Bestandteil der vorliegenden Arbeit ist, wird im Modell eine raumähnliche Situation abgebildet werden, die ungefähr den Dimensionen eines Büroraums entspricht. Für die Abbildung im Modell wird ein Fassadenausschnitt dargestellt. Die Fassade wird dabei auf ganzer Raumhöhe betrachtet. Die grundsätzlichen Anforderungen werden dadurch erweitert, daß bereits im Modell ein Bezug zu der lehrstuhleigenen Station für Solarforschung hergestellt werden soll.

##### 4.1.1 Maßstab des Modells

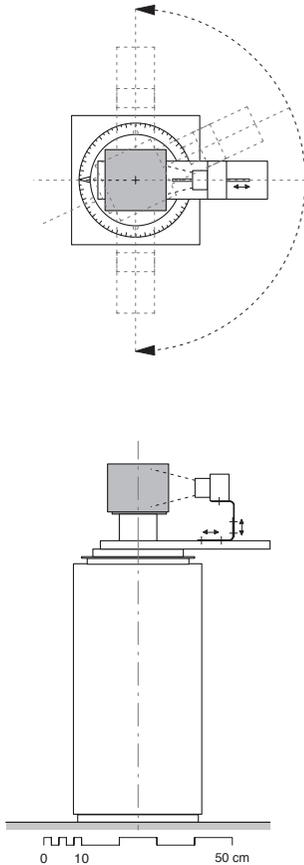
Die Wahl des Maßstabs hängt von den beabsichtigten Untersuchungen ab. Im Rahmen der vorliegen-



Abb. 6.19 Aufbau zur photographischen Erfassung der 36 ausgewählten Kombinationsmöglichkeiten

Abb. 6.20 Modell vor Photographie als Hintergrund





den Arbeit sollen die theoretischen Erkenntnisse zur Reagibilität des definierten Aufbaus mit vertikal verschieblichen Schichten durch das Modell überprüft werden.

Da der Schwerpunkt in der Beweglichkeit der einzelnen Elemente liegt und die Realisierung mit den üblichen Modellbaumaterialien und -techniken erfolgen soll, wird die Einbausituation der lehrstuhleigenen Meßeinrichtung im Maßstab 1:25 abgebildet. In diesem Maßstab können lichttechnische Werte zwar ermittelt werden, jedoch ist zum jetzigen Zeitpunkt (noch) kein Umrechnungsverfahren bekannt, wie die Werte auf die Realität übertragen werden können. Anhand von Photos können daher keine quantitativen Aussagen zum Raumeindruck in der Realität getroffen werden. Durch Bezug zur Zeitangabe können die photographischen Untersuchungen aber die Unterschiede der Einstrahlung sichtbar machen.

Für Untersuchungen zur Erzeugung des richtigen Raumeindrucks könnte der Maßstab 1:10 verwendet werden, da hier ein Verhältnis zwischen richtiger Funktionsweise des Tageslichtsystems und dem Modell besteht. Voraussetzung ist dafür, daß die Lichtwirkung des Tageslichtsystems vom Modell übernommen wird.

Abb. 6.21+22 Sockelkonstruktion: Grundriß (oben) und Schnitt (mitte) - Abbildungen ohne Maßstab

Abb. 6.23 Situation im Künstlichen Himmel: Modell und Digitalkamera auf horizontal drehbarer Sockelkonstruktion

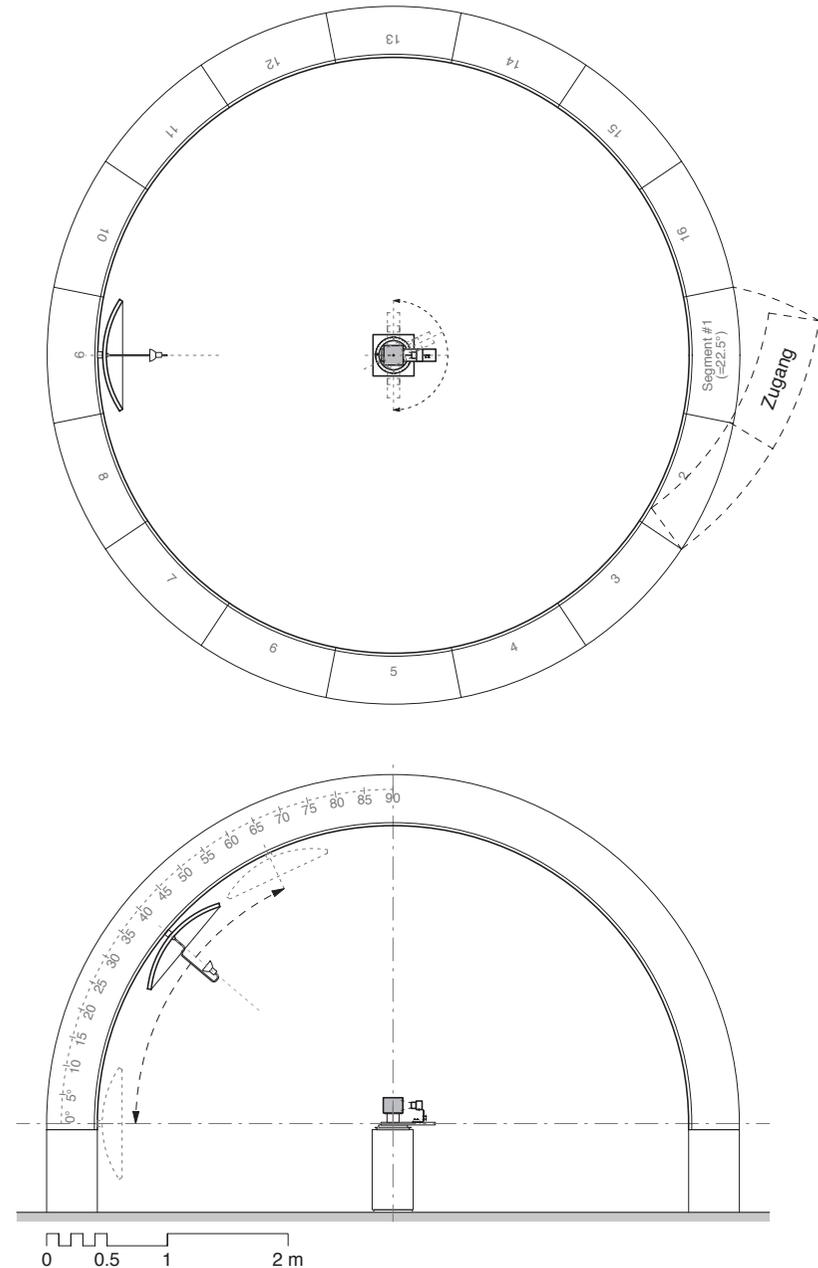
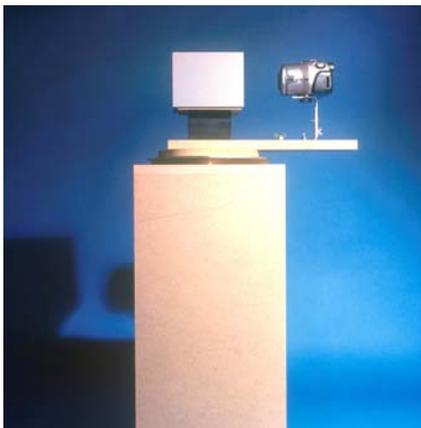
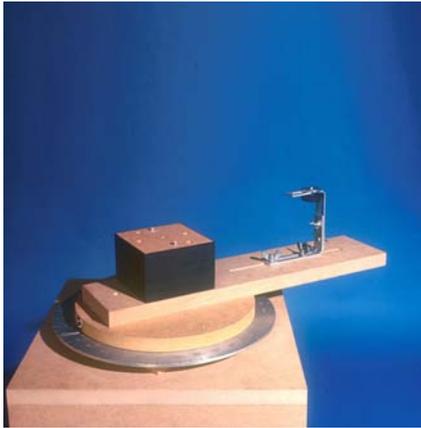


Abb. 6.24+25 Künstlicher Himmel der Fakultät für Architektur: Der Azimutwinkel ist über die vertikal verfahrbare Leuchte, welche die Sonne darstellt, einstellbar, der Horizontalwinkel ist über den speziell angefertigten Sockel einstellbar. Grundriß (oben) und Schnitt (unten) - Abbildungen ohne Maßstab



Die Vermutung, daß sich in diesem Maßstab der Bewegungsmechanismus im Modell nur sehr aufwendig nachbauen läßt, wird durch Untersuchungen zum möglichen Modellbau bestätigt. (Das Kompensieren des Eigengewichts der Komponenten durch Reibung ist nur bedingt möglich.)

Der Maßstab 1:25 wird daher für die Untersuchung der gegebenen Fragestellung als geeignet bewertet.

#### 4.1.2 Verwendete Materialien

Die Materialien der Elemente für Blendschutz, Fenster, Tageslichtumlenkung und Sonnenschutz werden zugunsten verfügbarer Modellbaumaterialien vereinfacht (siehe Abb. 6.17). Als Kriterien zur Auswahl werden Material, Farbe, Oberfläche, Reflexion und Permeabilität verwendet. Die Auswahl erfolgt hinsichtlich der Addierbarkeit der verschiedenen (optischen) Effekte bei gleichzeitigem Bezug zu in der Realität verwendeten Materialien. Folgende Materialien kommen zur Anwendung:

- Blendschutz: dünne transluzente Plexiglasscheibe
- Fenster: transparente Acrylglas-scheibe

Abb. 6.26-28 (links) Angefertigte Sockelkonstruktion mit drehbarer Aufnahme von Modell und Digitalkamera zur Einstellung des Horizontalwinkels

Abb. 6.29 (rechts) Situation im Künstlichen Himmel, Technisches Zentrum der Fakultät für Architektur



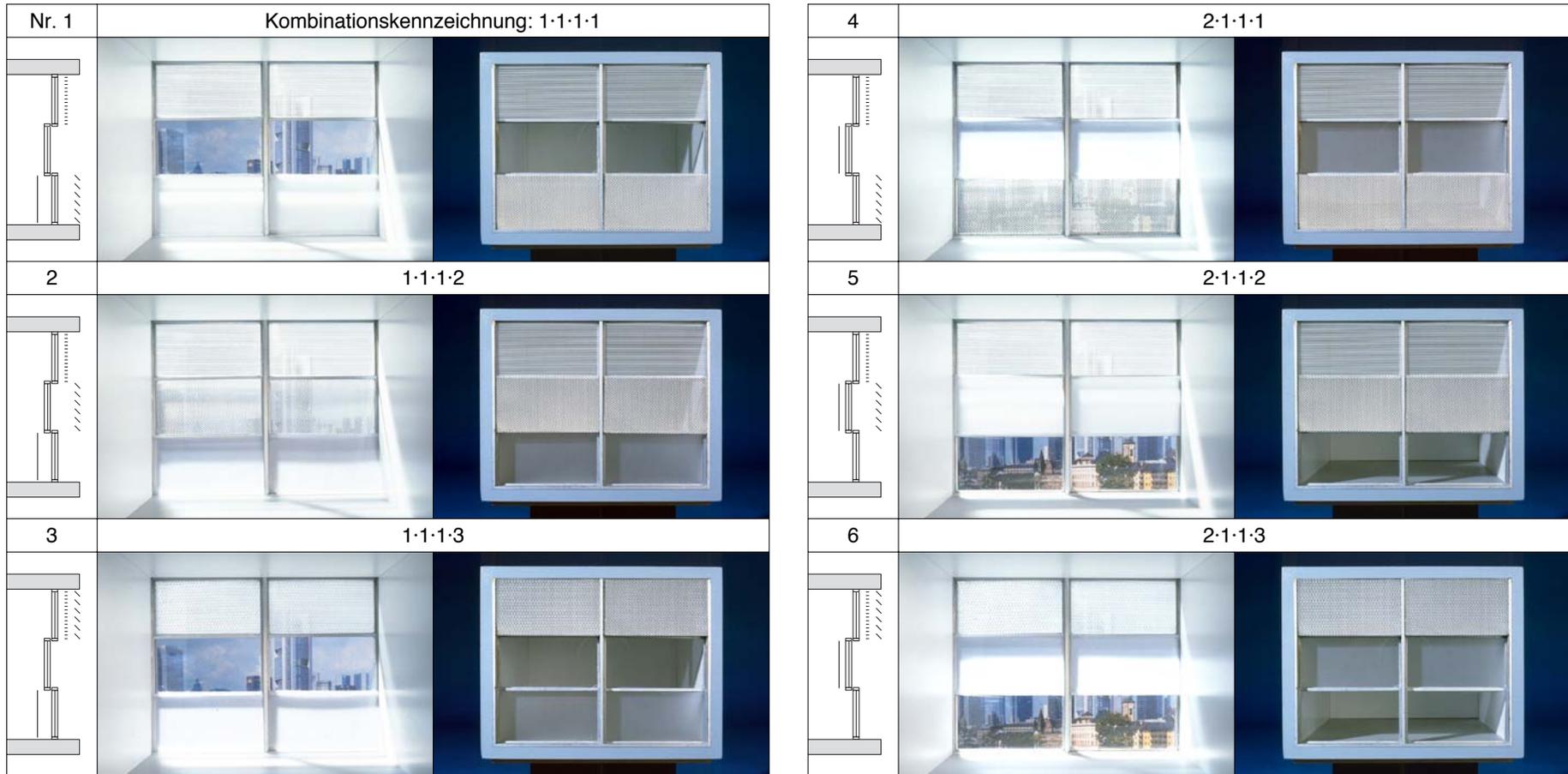


Abb. 6.30 Photographische Erfassung der ausgewählten 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 1: Komb. 1-6)

- Tageslichtnutzungelement: Acrylglascheibe mit aufgedrucktem weißen Linienraster
- Sonnenschutz: feines Streckgitter aus Aluminium

#### 4.1.3 Abbildung des Schiebemechanismus im Modell

Die Fassade des Modells ist in drei Lagen (Schichten) aufgebaut. In jeder Lage sind U-Profile aus Messing zu Rahmen zusammengelötet, in denen sich die jeweiligen Kom-

ponenten verschieben lassen. Die Stärke der Messingprofile variiert und ist auf die jeweilige Funktion abgestimmt (Abb. 6.18).

Die dem Raum zugeordnete Schicht nimmt die Komponenten für den Blendschutz auf. In der mittleren Schicht sind die Fenster in zwei Bewegungsebenen angeordnet. Die äußere Schicht nimmt die Komponenten für Sonnenschutz und Tageslichtumlenkung in je einer

Bewegungsebene auf. Die freie Verschiebbarkeit wird durch Federstahlelemente erreicht, die in die Messingprofile eingelegt sind; die erzeugte Reibung kompensiert das Eigengewicht der Komponenten.

Die Rückwand des Modells ist herausnehmbar, um Innenraumaufnahmen durchführen zu können. Das Modell ist so ausgelegt, daß die Komponenten ausgetauscht werden können. Dadurch können

auch andere Materialkombinationen aufgenommen werden.

#### 4.2 Modellphotographie

Die zur Verfügung stehenden Einrichtungen für Modellphotographie werden bereits bei der Anfertigung des Modells berücksichtigt. Die photographischen Untersuchungen der 36 ausgewählten Kombinationsmöglichkeiten werden mit den lehrstuhleigenen Möglichkeiten durchgeführt. Die Darstellung der

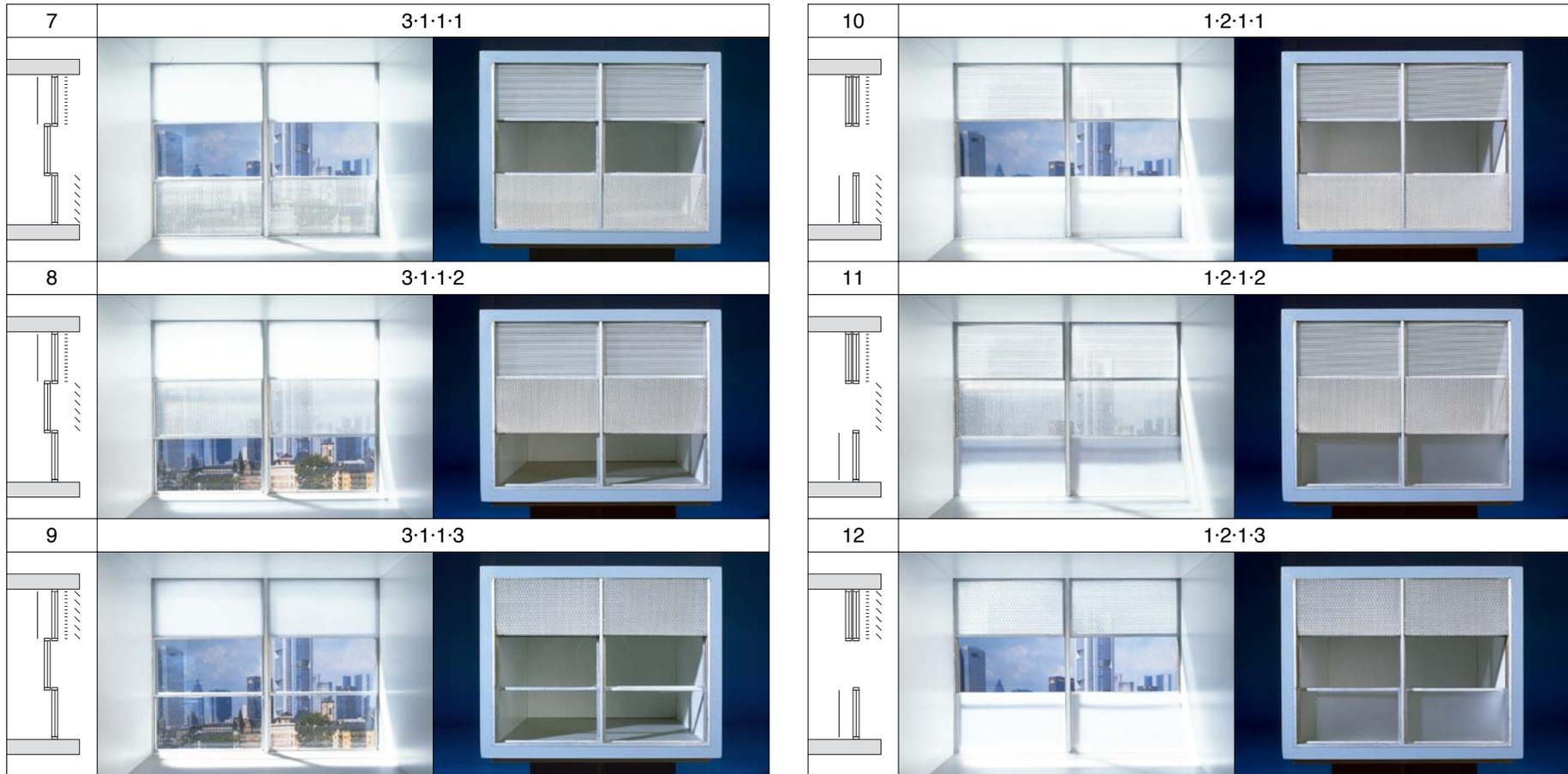


Abb. 6.31 Photographische Erfassung der ausgewählten 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 2: Komb. 7-12)

Tagessituationen und der jeweils zugeordneten Kombinationsmöglichkeiten erfolgt im Künstlichen Himmel der Fakultät für Architektur.

#### 4.2.1 Lehrstuhleigene Einrichtungen

Für die Vergleichbarkeit der verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten ist ein Aufbau erforderlich, bei dem Kamera und Objekt bei allen Aufnahmen an gleicher Stelle sind.

Das Modell wird mit einer speziellen Grundplatte versehen, die über Zapfen verfügt, welche paßgenau in entsprechende Bohrungen in der Sockelplatte einrasten. Das Modell kann abgenommen werden, um die unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten der im Modell beweglichen Elemente präzise einstellen zu können. Anschließend wird das Modell über die lösbare Steckverbindung wieder an exakt dieselbe Position gestellt.

Die Modellaufnahmen werden mit einer Kleinbild-Spiegelreflexkamera mit einem 50 mm-Objektiv durchgeführt, das über einen Makrobereich verfügt.

Für die Aufnahmen wird ein Photostrahler als direkte Beleuchtungsquelle verwendet; zusätzlich ist ein Diffusor im Bereich hinter der Kamera eingesetzt, um sowohl den Innenraum des Modells als auch die durch den Strahler entstehenden Schatten aufzuhellen.

#### 4.2.2 Künstlicher Himmel

In dieser fakultätsinternen Versuchseinrichtung, die dem Technischen Zentrum der Fakultät für Architektur zugeordnet ist, können verschiedene Sonnenstände und Lichtsituationen simuliert werden.

Der Künstliche Himmel bildet einen Raum, der oben mit einer Halbkugel abgeschlossen ist, die den Himmel nachbildet. Diese Halbkugel, die auf einem annähernd tischho-

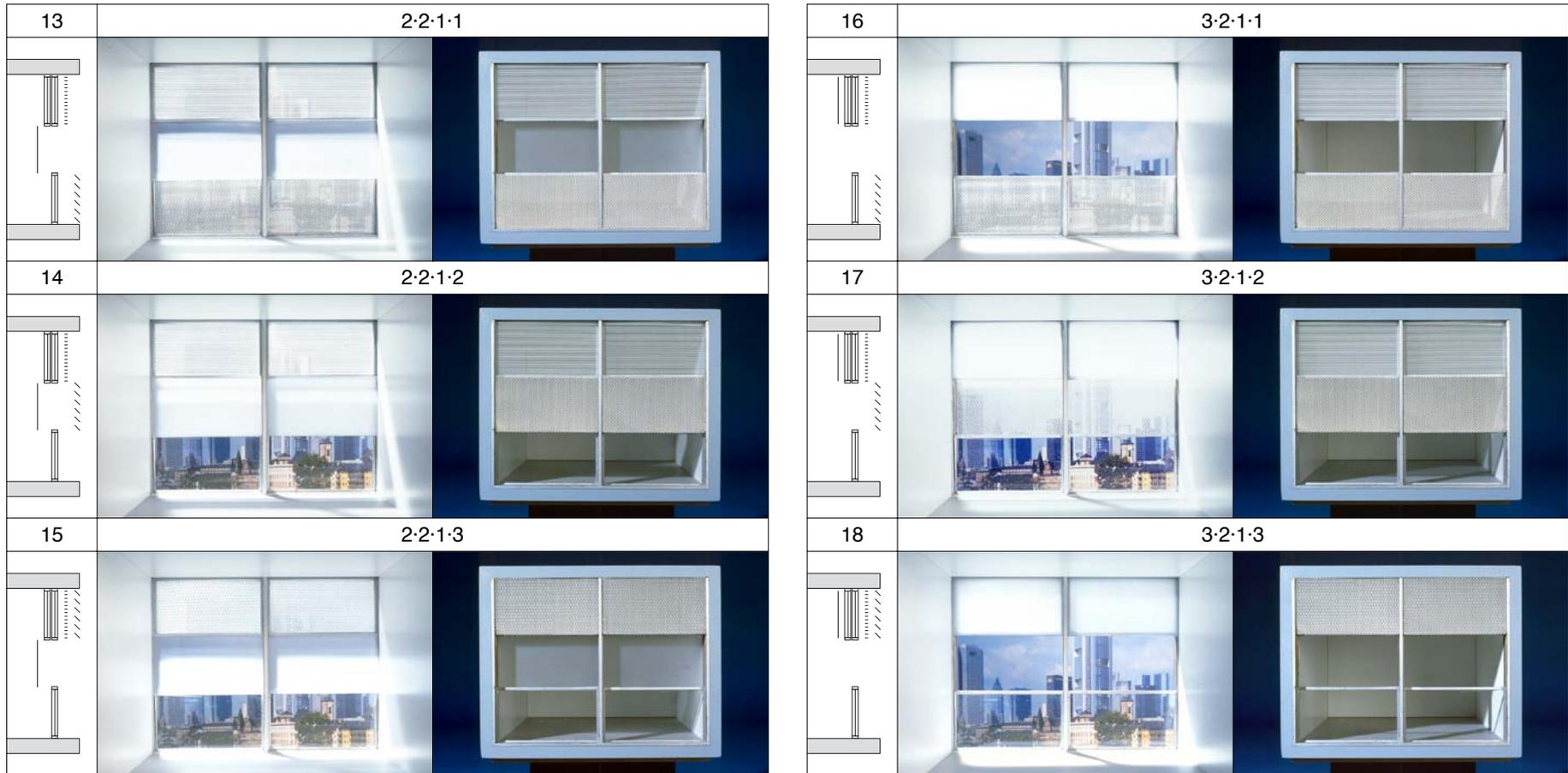


Abb. 6.32 Photographische Erfassung der ausgewählten 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 3: Komb. 13-18)

hen Sockel aus Metallrahmen steht, hat auf der Innenseite eine Verkleidung aus transluzenten Plexiglasscheiben, hinter denen Tageslicht-Leuchtstoffröhren in großer Dichte angeordnet sind.

Die Leuchtstoffröhren sind zu einzelnen Segmenten zusammengefaßt, die jeweils über einen Dimmer angesteuert werden. Dadurch können die Leuchtdichteverhältnisse des Himmels verändert werden.

Als Sonne dient ein Kunstlicht-Halogenstrahler, der über eine parabol-förmige Spiegelfläche reflektiert wird. Diese Konstruktion kann auf einer Bahn vertikal verfahren werden.

Anhand von Sonnenstandsdiagrammen können Zenit- und Horizontalwinkel der Sonne für den abzubildenden geographischen Standort abgelesen werden. Mittels einer für die Untersuchungen ange-

brachten Skala läßt sich die Sonne auf den entsprechenden Höhenstand fahren. Die Azimutabweichung wird durch Drehen des Modells in der Horizontalen erreicht. Für die photographischen Untersuchungen wird dafür ein spezieller Unterbau angefertigt, auf dem sich das Modell auf einer horizontalen Scheibe drehen läßt (Abb. 6.21 bis 6.25). Dadurch läßt sich die Azimutabweichung der Sonne für die jeweilige Tages- und Jahreszeit ab-

bilden. Die Kamera wird auf einer speziellen Halterung montiert, die mit dem Modell bewegt wird, damit der Ausschnitt nicht verändert wird.

Wie bei den Aufnahmen bei gleichen äußeren Lichtverhältnissen besitzt der bewegliche Teil, auf dem das Modell montiert wird, eine Sockelplatte, in der das Modell mittels Zapfen paßgenau fixiert wird. Den Aufbau zeigen die Abb. 6.26 bis 6.29.

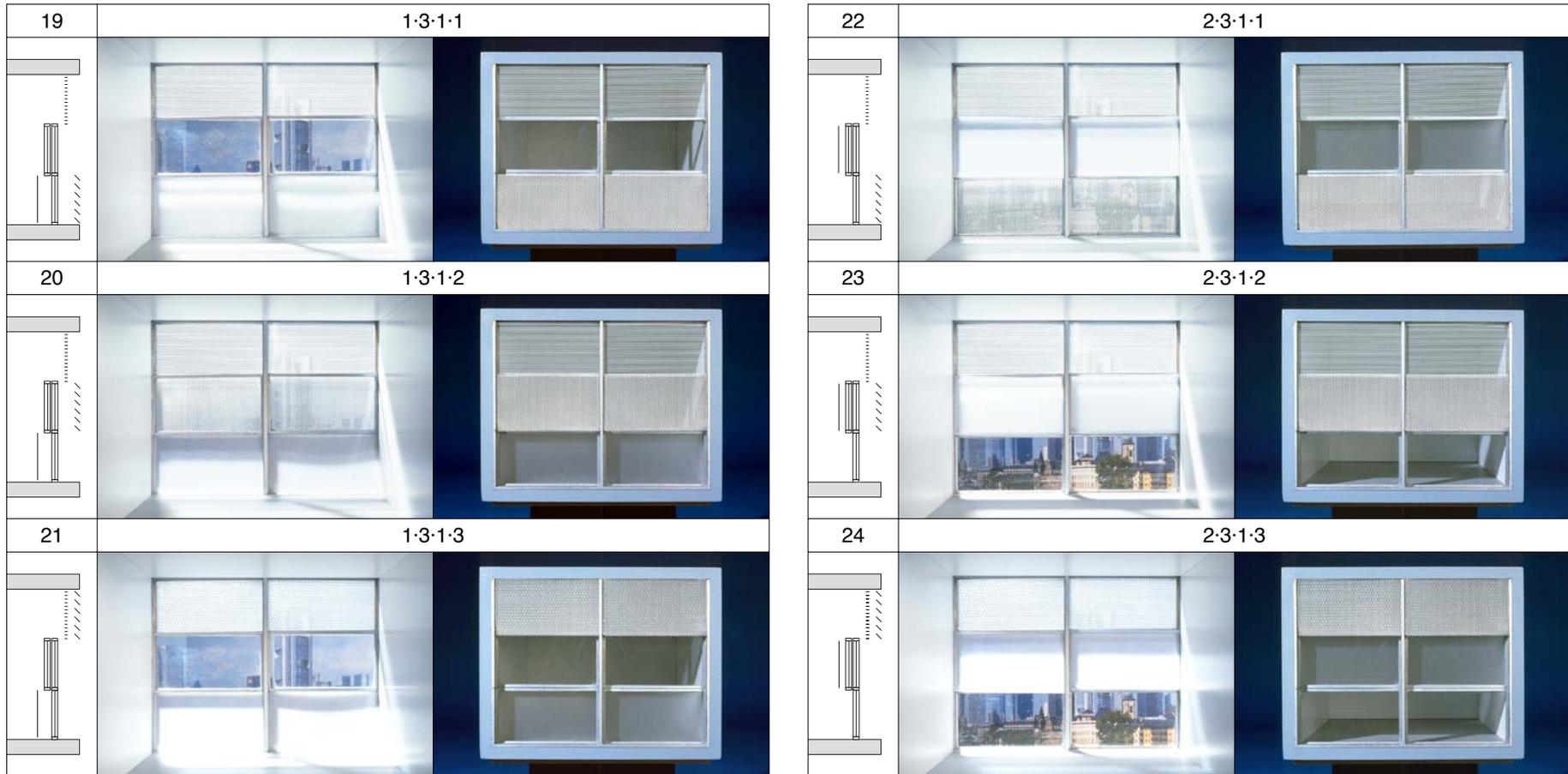


Abb. 6.33 Photographische Erfassung der ausgewählten 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 4: Komb. 19-24)

Im Künstlichen Himmel wird auf Grund unterschiedlicher Farbtemperaturen (diffuser Lichthimmel: Tageslicht-Leuchtstoffröhren, Sonne: Kunstlicht-Halogenstrahler) eine Digitalkamera (mit Zoom) verwendet.

#### 4.3 Photographische Dokumentation der Kombinationsmöglichkeiten bei konstanten äußeren Lichtverhältnissen

Für die 36 Kombinationsmöglichkeiten werden die Auswirkungen auf den Innenraum bei konstanten äußeren Beleuchtungsbedingungen photographisch dokumentiert. Die Position des Scheinwerfers, der von außen auf die Fassade trifft, wird in bezug auf eine möglichst

hohe Ablesbarkeit der unterschiedlichen Lichtverhältnisse im Inneren anhand des Modells ermittelt.<sup>12</sup>

Für die Innenraumaufnahmen wird das Modell vor ein als Hintergrund eingesetztes Photo der Frankfurter Skyline positioniert (Aufbau Abb. 6.19 und 6.20). So kann erreicht werden, daß die verschiedenen optischen Eigenschaften der Kombinationsmöglichkeiten deutlich sichtbar sind. Gleichzeitig wird durch die

Abbildung von modernen (Bank-) Hochhäusern im Hintergrund der aus den traditionellen englischen Wohnhäusern bekannte und damit oftmals assoziierte Typ des Vertikalschiebefensters im Umfeld von Verwaltungsbauten abgebildet. Dies ist bereits ein Verweis auf das angestrebte Einsatzgebiet. Ebenso wird das äußere Erscheinungsbild bei konstanten äußeren Beleuchtungsbedingungen dokumentiert.

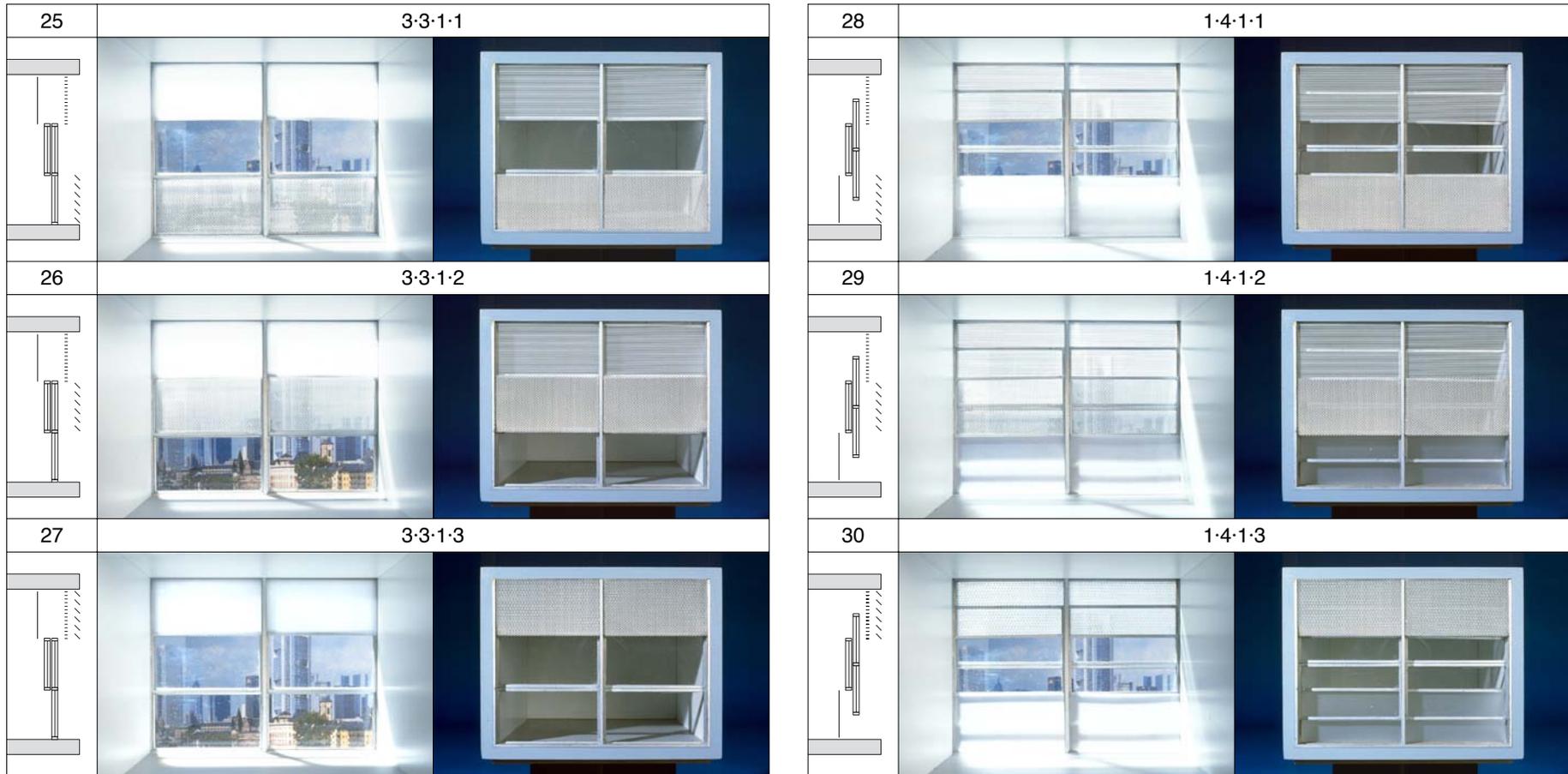


Abb. 6.34 Photographische Erfassung der ausgewählten 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 5: Komb. 25-30)

#### 4.3.1 Darstellung der 36 ausgewählten Kombinationsmöglichkeiten

Eine Gegenüberstellung der einzelnen Kombinationsmöglichkeiten erfolgt in Abb. 6.30 bis 6.35. In der linken Spalte befindet sich unter der fortlaufenden Nummerierung der Kombinationsmöglichkeiten die schematische Schnittzeichnung der Kombination. Unter der vierstelligen Bezeichnung für die Position der einzelnen Schichten

sind links die Situation im Innenraum des Modells und rechts das äußere Erscheinungsbild der Fassade dargestellt.

Die jeweilige Kombinationsmöglichkeit wird für beide Fassadenfelder angewendet. Aus Vorversuchen geht hervor, daß dadurch die unterschiedlichen Wirkungen sowohl im Boden- als auch im Wandbereich besser ablesbar sind. Trotz der durch die Modellbaumaterialien ein-

geschränkten optischen Eigenschaften der unterschiedlichen Manipulatoren zeigen die Untersuchungen anhand des Modells die in den Tabellen aufgezeigte Vielfalt der Kombinationsmöglichkeiten: Die relativen Veränderungen sind visuell erkennbar.

#### 4.3.2 Freie Kombinationen

Im Anschluß an die Abbildung der 36 ausgewählten Kombinationsmöglichkeiten wird eine kleinere

Serie mit freien Kombinationen dokumentiert (siehe Abb. 6.36). Das Verschieben der einzelnen Manipulatoren erfolgt hierbei teilweise unterschiedlich für die beiden Fassadenfelder.

Neben dem funktionalen Spektrum zeigt die Photoserie des Modells auch das gestalterische Potential, das sich durch die Verwendung von vertikal verschieblichen Manipulatoren ergibt.

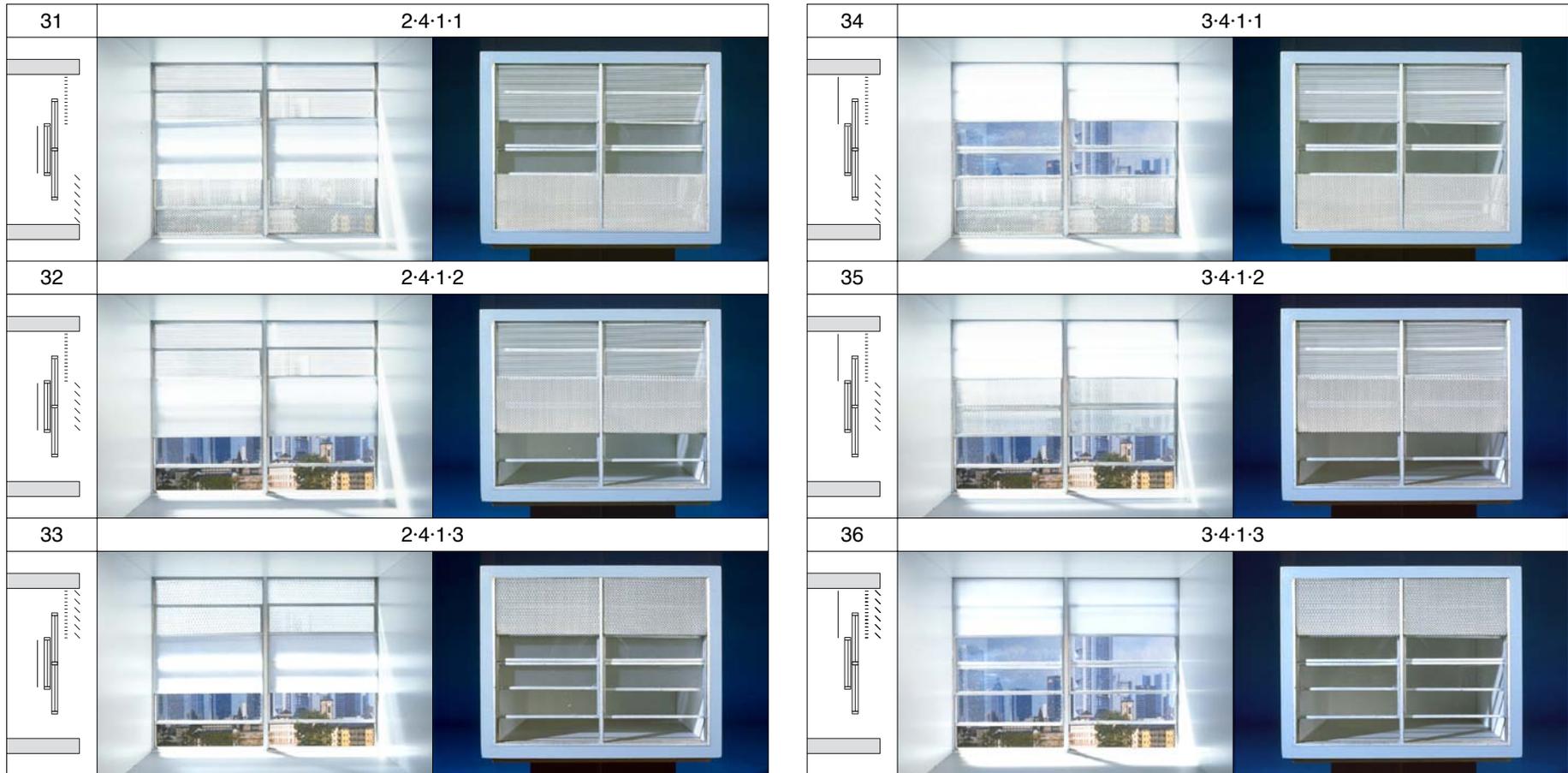


Abb. 6.35 Photographische Erfassung der ausgewählten 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 6: Komb. 31-36)

#### 4.4 Photographische Dokumentation der Kombinationsmöglichkeiten bei unterschiedlichen äußeren Lichtverhältnissen

Für die verschiedenen Tagessituationen wird das Modell im Künstlichen Himmel untersucht, bei dem ein Bezug zum sich verändernden Sonnenstand hergestellt werden kann. Im folgenden Arbeitsschritt werden dazu die Zuordnungen aus Abb. 6.14 abgebildet.

##### 4.4.1 Vier verschiedene Tagessituationen

Die Auswirkungen der zugeordneten Kombinationsmöglichkeiten auf den Innenraum werden im Künstlichen Himmel dargestellt und photographisch dokumentiert.

Die in Abb. 6.05 untersuchten vier verschiedenen Tage werden dem Jahresverlauf zugeordnet:

- Tag I: 21. Dezember
- Tag II: 21. März

- Tag III: 21. Juni
- Tag IV: 21. Juli

Die Untersuchungen der Einstrahlungsverhältnisse erfolgen im Hinblick auf den Ort der Anwendung im Maßstab 1:1 für den Standort München (48° NB). Die entsprechenden Werte für den Sonnenstand lassen sich aus Sonnenstandsdiagrammen ablesen und im Künstlichen Himmel einstellen (siehe Abb. 6.37).<sup>13</sup>

Die Einstrahlungsverhältnisse der Tagessituationen werden wie folgt erweitert:

- direkte Sonneneinstrahlung zu drei verschiedenen Tageszeiten: 09:00 Uhr (schräges Auftreffen der Sonneneinstrahlung auf die Fassade; bei früheren (=flacheren) Sonnenständen ist die Wirkung nur noch sehr schwer ablesbar) 12:00 Uhr (Höchststand der Sonne; Sonneneinstrahlung bezogen



Abb. 6.36 Modellstudien - Photographische Erfassung freier Variationen / Kombinationen (Auswahl): Ansichten raumseitig (oben) und Außenansichten (unten)

auf den Horizontalwinkel senkrecht zur Fassade)  
 14:00 Uhr (die Situation um 15:00 Uhr würde der Situation um 09:00 Uhr in gespiegelter Form entsprechen)

- diffuse Sonneneinstrahlung (bedeckter Himmel) ohne Bezug zur Tageszeit

In Abb. 6.38 erfolgt die Dokumentation der Auswirkungen durch die jeweiligen Sonnenstände der einzelnen Tage auf den Innenraum.

Die Photos zeigen, daß sich durch die Veränderungen des Sonnenstands die Lichtverhältnisse im Raum ändern. Dies liegt zum einen daran, daß in der Analyse der Kombinationsmöglichkeiten die Veränderungen des Sonnenstands bei den Leistungsprofilen nicht berücksichtigt wurden.

Eine andere Ursache liegt in den verwendeten Modellbaumaterialien für den Sonnenschutz; das Streckgitter ist nur andeutungsweise in der Lage, die Verschattung einer Lamellenstruktur abzubilden.

#### 4.4.2 Tagesverlauf mit freier Kombination

In einem weiteren Schritt wird der Sonnenstandsverlauf näher untersucht. Für die Abbildung im Modell sind extreme Winkel der Sonneneinstrahlung eher ungünstig. Daher wird als Tag der 21. März festgelegt, da hier der maximale Sonnenstand einen Mittelwert einnimmt und die Sonneneinstrahlung in den Morgen- und Abendstunden relativ

schnell auf die Fassade auftrifft, so daß sie im Innenraum abgebildet wird.

Die Fassadenelemente sind zur besseren Sichtbarmachung des sich ändernden Sonnenstands in einer freien Stellung (Kombination) angeordnet. Der Verlauf der Sonne wird für den 21. März in einer stündlichen Einteilung dokumentiert (siehe Abb. 6.39).

#### 4.5 Ergebnisse der fotografischen Untersuchungen

Die Aufnahmen mit konstanten äußeren Beleuchtungsbedingungen zeigen die Vielfältigkeit des Leistungsspektrums des Fassadensystems.

Außerdem ist ein Bezug zur zeitlichen Veränderung der Sonneneinstrahlung hergestellt. Die Veränderung der äußeren Beleuchtungsverhältnisse im Künstlichen Himmel bei konstanter Position der Elemente führt zu Veränderungen im Inneren. Dies zeigt sich deutlich in Form der Licht- und Schattensegmente, die über die Oberflächen des Raums wandern.

Die Variation der Außenzustände bedeutet eine zeitliche Veränderung der Wirkung im Innenraum. Im Umkehrschluß läßt sich daraus folgern, daß für eine bessere Erfüllung der Bedingungen im Innenraum die Fassade mit ihren Elementen auf die Änderungen der Bedingungen im Außenraum reagieren müßte.

So würde man beispielsweise zu dem Zeitpunkt, an dem die Sonne

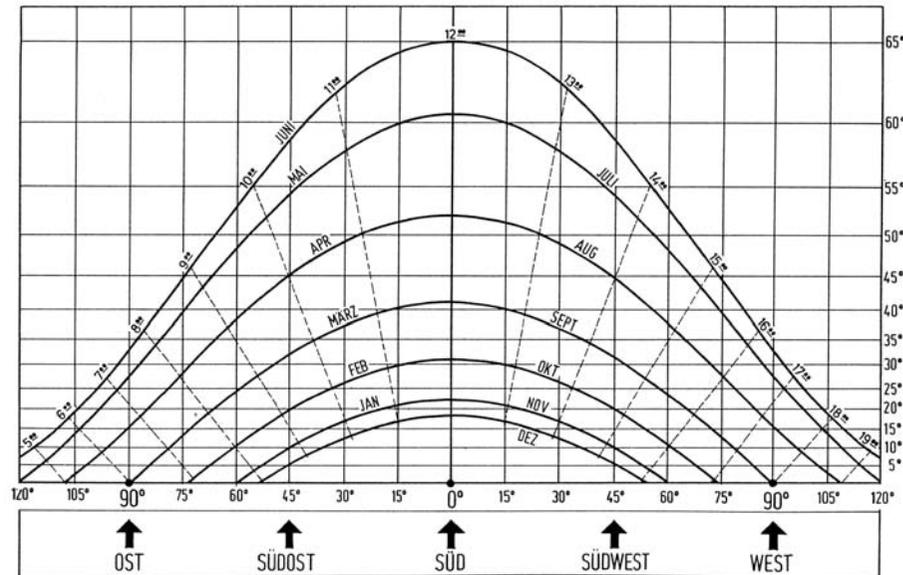


Abb. 6.37 Sonnenbahndiagramm zum Ablesen des Sonnenstands: Werte für Azimutabweichung und Höhenwinkel für den Standort München (= 48° nördlicher Breite)

den Bereich des Schreibtischs trifft (im Modell durch den Plexiglaskubus dargestellt), den Blend- oder Sonnenschutz durch Verschieben in die entsprechende Höhe bewegen. Die Anpassungen sind im Modell nicht vorgenommen worden, um den Sachverhalt anschaulicher darstellen zu können.

Dies bedeutet die Notwendigkeit eines flexiblen Systems, damit die Verhältnisse im Raum angepaßt werden können. Gleichzeitig ist dies ein Ausschlußkriterium (k.o.-Kriterium) für feststehende Systeme und der Beweis des grundsätzlichen Potentials des definierten Systems mit vertikal verschieblichen Elementen.<sup>14</sup> Die Photos zeigen die Zeitabhängigkeit (Sonnenstandabhängigkeit):

Die zeitliche Veränderung in der Wirkung läßt sich deutlich ablesen. Aus den Ergebnissen können jedoch keine Aussagen zu den Positionen der Elemente abgeleitet werden, weil die Bewertung nicht anhand einer bestimmten Systemtechnik erfolgt.

#### 5 Zusammenfassung

Die theoretischen Untersuchungen einer reduzierten Anzahl von Kombinationsmöglichkeiten bestätigen die aufgestellte These, daß die Verwendung des Bewegungsprinzips des vertikalen Schiebens für alle beweglichen Elemente im Bereich der Öffnungen der Gebäudehülle ein sehr leistungsfähiges Fassadenkonzept ergibt:

Lichtverhältnisse (Sonnenstand / Bewölkung)	☀			☁	
	Uhrzeit:	09:00 Uhr	12:00 Uhr	14:00 Uhr	(diffus)
<b>Tag I</b> <b>21. Dezember</b>  Azimutabweichung und Höhenwinkel: 09:00=40°O / 8° 12:00=0° / 18° 14:00=28°W / 13°					
Kombination:	1·1·1·2				2·1·1·2
<b>Tag II</b> <b>21. März</b>  09:00=54°O / 28° 12:00=0° / 41° 14:00=39°W / 34°					
Kombination:	2·1·1·1				2·1·1·2
<b>Tag III</b> <b>21. Juni</b>  09:00=73°O / 46° 12:00=0° / 65° 14:00=55°W / 55°					
Kombination:	2·3·1·1				1·3·1·1
<b>Tag IV</b> <b>21. Juli</b>  09:00=69°O / 43° 12:00=0° / 61° 14:00=51°W / 52°					
Kombination:	2·4·1·1				1·4·1·1

Abb. 6.38 Überprüfung der Zuordnungen aus Abb. 6.14: Photographische Dokumentation der Kombinationsmöglichkeiten im Künstlichen Himmel für den Standort München (= 48° NB)

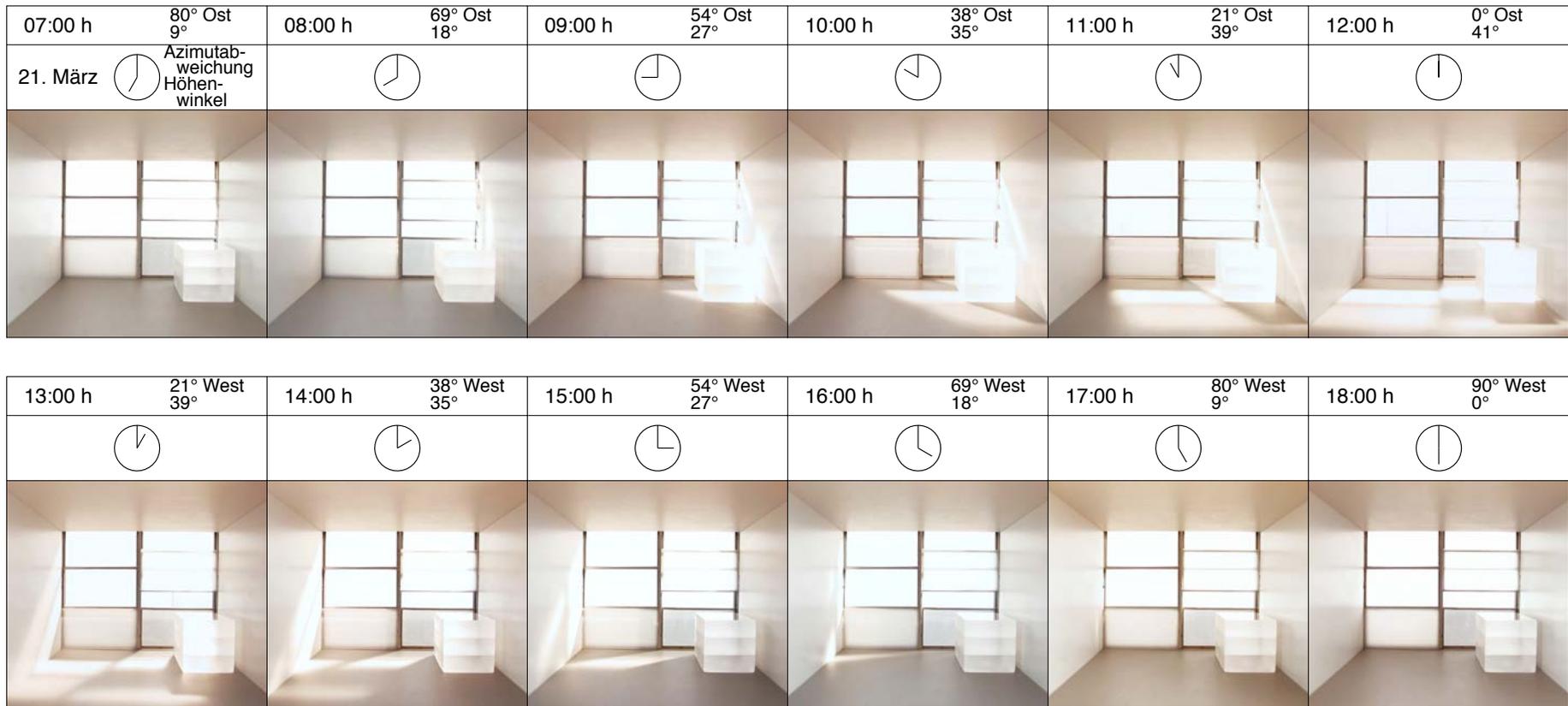


Abb. 6.39 Photographische Dokumentation des Sonnenverlaufs am 21.03. in Schritten à 1 Stunde (07:00 - 18:00 Uhr) für den Standort München (= 48° nördlicher Breite), freie Kombination

- Die Fassade bildet ein reagibles System, das sich den funktionalen Anforderungen optimal anpassen kann. <sup>15</sup>

Prinzipiell muß ein solches Fassadensystem in der Lage sein, je nach Anforderungen die entsprechenden Komponenten aufzunehmen.

Die im Anschluß durchgeführten praktischen Untersuchungen anhand des Modells in Form von photographischen Studien können im

Vorfeld zu weiteren experimentellen Untersuchungen die theoretische Beweisführung untermauern. Neben dem funktionalen Potential zeigen die praktischen Untersuchungen auch die gestalterische Vielfalt einer Fassade mit vertikal verschieblichen Komponenten auf.

In der lehrstuhleigenen Station für Solarforschung werden im nächsten Schritt experimentelle Untersuchungen im Maßstab 1:1 durchgeführt, um die bisherigen Erkenntnisse zu überprüfen.

## Anmerkungen

- 1 Im allgemeinen Sprachgebrauch wird für diese Schutzfunktion oftmals der Begriff Sonnenschutz verwendet. Hierunter kann man neben dem Hitzeschutz (sommerlicher Wärmeschutz) auch den Blendschutz (VDI-Richtlinie VDI 6011 / Entwurf) verstehen.

„Sonnenschutz sind alle Maßnahmen, die angewandt werden können - oder müssen - um störende und beeinträchtigende Wirkungen der Sonne zu verhindern, zu verringern oder zu beeinflussen. Dies sind z.B. Veränderungen eines Innenraumklimas bei direkter oder indirekter Sonneneinstrahlung durch zu große Erwärmung der Raumluft oder zu große Leuchtdichtekontraste und Blendung (...).“ (Bäckmann 1998, S. 12)

Da in den folgenden Untersuchungen beide funktionalen Aspekte (sommerlicher Wärmeschutz und Blendschutz) separat betrachtet werden, wird für die Funktion Hitzeschutz der Begriff 'Sommerlicher Wärmeschutz' verwendet.

Für die verwendeten Komponenten werden die Begriffe 'Sonnenschutz' und 'Blendschutz' verwendet.
- 2 Die „Entwicklung der Außenhaut vom statischen System zu einer mehrschaligen und mehrschichtigen, mit Manipulatoren ausgestatteten Gebäudehülle“ wurde auch auf den Rosenheimer Fenstertagen 2002 von W. Lang im Rahmen eines Vortrags diskutiert. (Lang, Werner: Die Gebäudehülle der Zukunft - Tendenzen und Umsetzung)
- 3 Ein ähnlicher Ansatz, bei dem jedoch kein Bezug zu den Bewegungsmechanismen erfolgt, findet sich in Wagner 2000, S. 7: „Zukünftige innovative Fassaden werden sich vornehmlich durch einzelne funktionale Einheiten mit jeweils spezifisch optimierten Eigenschaften auszeichnen, um die verschiedenen Aufgaben wie Sichtbezug nach außen, Tageslichtversorgung, Sonnen- und Blendschutz etc. effizient zu erfüllen.“
- 4 Betrachtet man das Gebäude als (Gesamt-) System, so stellt die Fassade ein Subsystem dar. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Betrachtungswinkel dahingehend verschoben, daß die Öffnung der Gebäudehülle als System gesehen wird, das aus Komponenten besteht. Genau genommen wäre ein zweiflügeliges Vertikalschiebefenster mit Gegengewichten ein Subsystem, das sich aus Komponenten (und Elementen) zusammensetzt.
- 5 Mathematisch bezeichnet der Begriff Ebene eine Fläche mit nur zweidimensionaler Ausdehnung. Im Bereich des Bauwesens liegt durch die Materialisierung eigentlich immer automatisch auch eine dritte Dimension vor.

Der Begriff der Ebene bezieht sich daher im vorliegenden Zusammenhang auf die Bewegung, bei der das Element nicht aus der (gedachten) Bewegungsebene herausragt.

Der Begriff der Schicht bezieht sich auf den Vorgang der Addition der einzelnen Elemente und ihrer Bewegungsebene zu einem mehrschichtigen Aufbau.

Da die einzelnen Elemente in konstruktiv voneinander unabhängigen Schichten angeordnet sind, müßte der Fassadenaufbau eigentlich als mehrschalig bezeichnet werden. Der Begriff der Schale wird jedoch oftmals in Verbindung mit opaken Wandflächen verwendet und kann im Zusammenhang mit Fensteröffnungen zu Mißverständnissen führen. (Der Fassadenaufbau könnte alternativ auch als mehrlagig bezeichnet werden.)
- 6 Die Betrachtung der einzelnen Schichten erfolgt abweichend von den Angaben zu Wandaufbauten (z.B. in Legenden zu Fassadenschnitten) oder Angaben zu Schichten und Ebenen bei Mehrfachverglasungen, die üblicherweise von außen nach innen erfolgt. Der Grund hierfür ist neben graphischen Aspekten auch die Betonung der Auswirkungen des Aufbaus der Fassade für die Verhältnisse im Innenraum; die unterschiedlichen Leistungsprofile der Kombinationen werden durch Einnahme des Standpunkts im Innenraum besser deutlich.
- 7 Entspricht der Forderung in DIN 5034 (S. 6): „Räume sind gegen Sonnenstrahlungswärme im Sommer möglichst durch außen vor der Verglasung liegende, abschirmende Vorrichtungen zu schützen.“
- 8 Bei einer anderen Orientierung müßten die einzelnen Komponenten (für Blendschutz, Sonnenschutz, Tageslichtnutzung etc.) anders ausgebildet sein, z.B. müßte der Sonnenschutz auf der Ost- oder Westseite eine senkrechte Lamellenstruktur aufweisen.
- 9 Abweichend hierzu findet sich bei Köster der Begriff Tageslichtumlenkung. (Köster 6/2000, S. 72ff.)
- 10 Die Bewertung der funktionalen Eigenschaften erfolgt zunächst in drei Stufen. Die gewonnene Aussagekraft ist an dieser Stelle der Untersuchungen ausreichend. Für weitere Bewertungen erfolgt eine Erweiterung auf eine fünfstufige Skala, um genauere Aussagen treffen zu können.
- 11 Bei den getroffenen Aussagen handelt es sich um vereinfachte Modelle. Die vorhandenen Differenzen lassen sich im Zusammenhang mit der Auswahl der konkret zur Anwendung kommenden Elemente verbessern.
- 12 Ein Bezug des Schattenwurfs im Modell zur geographischen Situation, von der aus das Photo der Frankfurter Skyline aufgenommen wurde, ist nicht vorhanden. (Photo entnommen aus: Herzog 1996, S. 109)
- 13 Bundesminister für Raumordnung und Städtebau 1990, S. 77
- 14 Für eine Verifizierung der Untersuchungen im Zusammenhang mit den Untersuchungen im Künstlichen Himmel wurde Prof. Christian Bartenbach kontaktiert, der das Fach 'Lichtgestaltung' lehrt. Die Bestätigung der Zielsetzungen erfolgte in einer ausführlichen Diskussion mit Herrn Christian Anselm, Bartenbach Lichtlabor (in Vertretung von Prof. Bartenbach).
- 15 „So muß eine intelligente dynamische Fassade der Zukunft ganz differenziert auf Jahreszeiten und klimatische Bedingungen reagieren (...).“ (Wolff 1997, S. 14)

## Teil 7 Realitätsnahe Anwendung des mehrschichtigen Fassadensystems mit vertikal verschieblichen Manipulatoren

### Vorbemerkung

Die Kombination verschiedener Manipulatoren bei Anwendung des vertikalen Schiebemechanismus für alle beweglichen Elemente im Bereich von Öffnungen in der Fassade ermöglicht, daß die einzelnen Komponenten unabhängig voneinander betätigt werden können. Das Resultat ist ein sehr anpassungsfähiges Fassadenkonzept. Auf Grund der bisherigen Ergebnisse über das aufgezeigte Potential soll das Leistungsprofil des vertikalen Schiebemechanismus in einer konkreten Einbausituation abgebildet und durch experimentelle Untersuchungen überprüft werden.

### 1 Grundlagen

Der thematische Schwerpunkt in der Konstruktionslehre und im Rahmen der Forschungsarbeiten am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Thomas Herzog, ist der Einsatz erneuerbarer Energien in der Architektur. Experimentelle Forschung und Entwicklung sind ein zentraler Bestandteil der Arbeiten. Vor diesem Hintergrund ist auch die Durchführung der experimentellen Untersuchung der mehrschichtigen Fassa-

de mit vertikal verschieblichen Manipulatoren an der Machbarkeit mit lehrstuhleigenen Möglichkeiten orientiert.

Dieser Ansatz bedingt, daß bestimmte Aspekte zwar aufgedeckt und als Fragestellungen formuliert werden, aber im Zuge der Untersuchungen nicht weiter behandelt werden können.

Vor allem die Dichtungsproblematik von Vertikalschiebefenstern kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht ausreichend bearbeitet werden.

Die Entwicklung eines Fassadensystems mit vertikal verschieblichen Komponenten, das in seinen bauphysikalischen Eigenschaften dem Stand der Technik entspricht, kann als weiterführender Schritt im Anschluß an die vorliegende Arbeit nur in Zusammenarbeit mit einem Fassadenhersteller erfolgen. Das Ziel ist daher, das Potential von Vertikalschiebefenstern grundsätzlich aufzuzeigen und eine solche Entwicklung eventuell anzustoßen.

#### 1.1 Lehrstuhleigene Einrichtungen: Station für Solarforschung

Der Lehrstuhl für Gebäudetechnologie verfügt über eine Station für solare Experimente, auf der Fassadensysteme und Komponenten getestet, ihre Leistungsfähigkeit erarbeitet und verbessert, sowie ihre Integration innerhalb des Gebäudes untersucht werden können.<sup>1</sup> Ein erhöht angeordnetes Stahlgerüst auf der Dachterrasse des



Abb. 7.01 Station für Solarforschung: Blick auf Hauptgebäude der TUM von der Alten Pinakothek aus

Hauptgebäudes dient als flexibel nutzbare Plattform mit idealen Besonnungsverhältnissen für die nach Süden ausgerichteten Aufbauten in Form von drei kubischen Meßeinrichtungen für thermische Messungen und Tageslicht-Messungen. Unterhalb der Plattform ist ein Raum zur Kontrolle und Erfassung der Meßdaten angeordnet (Abb. 7.01 + 7.02).

Klimatische Daten (Temperatur, Strahlung, Beleuchtungsstärke, Windstärke und -richtung) werden auf der Plattform durch entsprechende Meßinstrumente erfaßt. Für die Untersuchungen im Maßstab 1:1 dient die mittlere große 'Meßbox', in der bislang thermische und Tageslicht-Untersuchungen durchgeführt wurden. Seitlich wird sie von zwei analog konstruierten Einrichtungen im Maßstab 1:2,5 flankiert. So lassen sich parallele (optische) Untersuchungen durchführen. Der Maßstab 1:2,5 wurde gewählt, um einen Bezug der gro-



Abb. 7.02 Meßeinrichtungen (Meßboxen) auf Stahlgerüst als flexibel nutzbarer Plattform

ßen Meßeinrichtung zu den beiden kleineren zu erhalten. Die Südfassaden lassen sich in analoger Weise austauschen.

#### 1.2 Einbausituation

Die zur Anwendung vorgesehene Meßbox besteht aus einer wärmege-dämmten Leichtbau-Konstruktion.

Die lichten Abmessungen entsprechen ungefähr einem Ein-Mann-Büro-raum (3,50m x 3,50m x 2,70m). Die Konstruktion wurde so ausgelegt, daß die Teile der südlichen Fassade ausgetauscht werden können, um unterschiedliche Fassadensysteme und -komponenten entwickeln und testen zu können. Ein zusätzlicher Nutzwert besteht in der Integration der Fassadenkomponenten und der konstruktiven Verbindungen zu angrenzenden Bauteilen. Gestalterische Aspekte im Innenraum werden in situ diskutierbar.

## 2 Mögliche Komponenten für den Sonnenschutz

Um eine Auswahl der möglichen Komponenten treffen zu können, werden die funktionalen Eigenschaften verschiedener Komponenten untersucht. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wird folgenden Grundfunktionen jeweils eine Komponente zugeordnet:

- Sommerlicher Wärmeschutz: Sonnenschutzelement
- Blendschutz: Blendschutzelement
- Versorgung mit Tageslicht: Element zur Tageslichtnutzung (Tageslichtumlenkung)

Die Kombination mit einem vertikalen Schiebemechanismus bedingt, daß die Manipulatoren als flächiges, kompaktes Element zusammengefaßt sind und außerdem in zur Außenwand parallelen Bewegungsebenen bewegt werden können.

### 2.1 Kenngrößen der einzelnen Funktionen

Die Anforderungen an die Gebäudehülle können durch die in der Tabelle aufgeführten Kenngrößen ausgedrückt werden (Abb. 7.03):<sup>2</sup>

- U-Wert: Wärmedurchgangskoeffizient
- g-Wert: Anteil der auf eine transparente oder transluzente Außenwandkonstruktion auftreffenden Solarstrahlung, der an den Raum weitergegeben wird.
- z-Wert (neu:  $F_c$ -Wert): Abminderungsfaktor für die Sonnen-

	U-Wert	g-Wert	z-Wert	$\tau_{vis}$ -Wert
Sommertag, klarer Himmel	hoch	niedrig	niedrig	hoch
Sommertag, bedeckter Himmel	hoch	nicht relevant	nicht relevant	hoch
Sommernacht	hoch	nicht relevant	nicht relevant	niedrig (Sichtschutz)
Wintertag, klarer Himmel	niedrig	hoch	hoch	hoch
Wintertag, bedeckter Himmel	niedrig	nicht relevant	nicht relevant	hoch
Winternacht	niedrig	nicht relevant	nicht relevant	niedrig (Sichtschutz)

Abb. 7.03 Übersicht zu den Anforderungen an die Kenngrößen der Gebäudehülle (zitiert nach: Lang, Werner: Die Gebäudehülle der Zukunft. in: Tagungsband Rosenheimer Fenstertage 2002)

schutzwirkung von Verschattungseinrichtungen; er gibt an, welcher Anteil der auftreffenden Strahlungsenergie von einem Sonnenschutzsystem durchgelassen wird.

- $\tau_{vis}$ -Wert: Der Tageslichtdurchlaßgrad gibt an, welcher Prozentsatz des außerhalb eines Gebäudes vorhandenen Tageslichts durch die Verglasung hindurch tritt.

Die Versorgung des Raums mit Tageslicht wird mit folgender Kenngröße, die Aussagen über die Wirkung eines Tageslichtsystems erlaubt, erfaßt:<sup>3</sup>

- Tageslichtquotient D: Gibt das Verhältnis von Beleuchtungsstärken im Innen- und Außenraum an.<sup>4</sup>

Neben der Frage nach der Helligkeit ist auch die Frage nach deren Verteilung für die Nutzung eines Raumes von Bedeutung. Das über die Öffnungen der Gebäudehülle

eintretende Licht steht für den Nutzer in Relation zu der die Öffnung umgebenden (Wand-) Fläche. Dieses Verhältnis wird durch den Leuchtdichtekontrast beschrieben.

### 2.2 Erfasste Merkmale üblicher Manipulatoren

Die einzelnen Manipulatoren lassen sich nach Bauart, Beweglichkeitsgrad und Veränderbarkeit unterscheiden. Für die Auswahl werden folgende Merkmale in Betracht gezogen:

- Lichtdurchlässigkeit
- Luftdurchlässigkeit<sup>5</sup>
- Material
- Veränderbarkeit

#### Optische Eigenschaften

Bei den optischen Eigenschaften läßt sich für die gesamte Fläche des Elements folgende Unterteilung vornehmen:<sup>6</sup>

- opak
- opak und transluzent
- opak und transparent

- transluzent
  - transluzent und transparent
  - transluzent oder transparent
- Die Kombinationen können auch durch die Begriffe teiltransluzent und teiltransparent beschrieben werden.

Folgende Prinzipien lassen sich für die Regelung des Lichtdurchgangs durch die Ebene der Fassadenfläche nennen:

- Vollständige Abdeckung für direktes und indirektes Sonnenlicht (durch opake Flächen)
- Vollständige Abdeckung für direktes Sonnenlicht (durch transluzente Flächen)
- Teilweise Abdeckung für direktes und indirektes Sonnenlicht (z.B. engmaschiges Gitter, Siebdruck)
- Vollständige Abdeckung für direktes Sonnenlicht (Prinzip der zur Fassadenebene schräg gestellten Lamellen (horizontal und vertikal), richtungselektive Optiken mit Diffuslichtdurchlaß)

Für die auftreffenden Lichtstrahlen können folgende Unterscheidungen angegeben werden:

- Lichtstreuung
- Reflexion
- Lichtlenkung

### Luftdurchlässigkeit

Ein wichtiges Kriterium ist die Luftdurchlässigkeit, die bestimmend für die Funktion der Lüftung ist. Vorerst wird dabei nur die eigentliche Fläche des Elements betrachtet. Man kann unterscheiden in:

- geschlossene Fläche
- teilweise (strukturiert) geschlossene Fläche
- teilweise (linear) geschlossene Fläche

### 2.3 Bemerkungen zu gängigen Komponenten

Für diejenigen in der Praxis verwendeten Komponenten, die bei einem vertikalen Schiebemechanismus zur Anwendung kommen können, werden nachfolgend einige Anmerkungen aufgeführt.

#### 2.3.1 Sommerlicher Wärmeschutz

Maßnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz sind vom Jahres- und Tagesverlauf der Sonne abhängig. Die Anordnung der Sonnenschutzelemente sollte auf der Außenseite erfolgen, um den Innenraum nicht mit unnötiger Wärmeenergie zu belasten.

Abb. 7.04 Analyse der (funktionalen) Eigenschaften von in der Praxis verwendeten Manipulatoren (Auswahl) - Teil 1

<b>In der Praxis verwendete Manipulatoren (für Tageslichtnutzung, Sonnen- und Blendschutz) und deren funktionalen Eigenschaften (Teil 1)</b>				Funktionale Eigenschaften						
				Schutzfunktionen			Versorgungsfunktionen			
				Veränderbarkeit	Winterlicher Wärmeschutz	Sommerlicher Wärmeschutz	Blendschutz	Tageslichtnutzung	Durchsicht	Luftaustausch
Art	Optische Eigenschaften (Lichtdurchlässigkeit)	Luftdurchlässigkeit	Material							
Blendschutz (innenliegend)	opak	geschlossene Fläche	Holzpaneel	-	●	●	●	○	○	○
	opak + transluzent		Transluzentes Glas mit Siebdruck	-	●	●	●	○	○	○
	opak + transparent		Transparentes Glas mit Siebdruck	-	●	●	●	○	○	○
	transluzent		Stoffstore	-	●	●	●	○	○	○
	transluzent		Folie	-	●	●	●	○	○	○
	transluzent + transparent		Teilweise geätztes / bedrucktes Glas	-	●	●	●	○	○	○
	transparent / transluzent		Gläser mit thermotropen Schichten	o	●	●	●	○	○	○
Blendschutz (außenliegend)	opak + transparent	teilweise geschlossene Fläche: strukturiert	Lochblech	-	●	●	●	○	○	○
	transluzent + transparent		Metallgitter	-	●	●	●	○	○	○
	opak + transparent		Gewebe	-	●	●	●	○	○	○
	transluzent + transparent		Lamellenstore	+	○	●	●	○	○	○
Tageslichtumlenkung (außenliegend)	transluzent	geschlossene Fläche	Glas mit lichtstreuendem Siebdruck	-	●	●	●	○	○	○
	opak + transparent		Einlagen in SZR (Kapillarstruktur, Vlies o.a.)	-	●	●	●	○	○	○
	transluzent + transparent		lichtlenkende (reflektierende) Strukturen in SZR	-	●	●	●	○	○	○
	transluzent		Lamellenstrukturen im transparenten Material	-	●	●	●	○	○	○
	opak + transparent	teilweise geschlossene Fläche: strukturiert	Holographische Elemente	-	●	●	●	○	○	○
	opak + transparent		Gewebe	-	●	●	●	○	○	○
	opak + transparent		Lichtlenkraster	-	●	●	●	○	○	○
Tageslichtumlenkung (außenliegend)	opak + transparent	teilweise geschlossene Fläche: linear	Spiegellamellen	+	○	●	●	○	○	○
	transluzent + transparent		Lichtlenkprofile	+	○	●	●	○	○	○

Die Elemente können in den Brüstungsbereich oder (komprimiert) in den Sturzbereich verfahren werden.

Bei der Betätigung des Sonnenschutzes ist es sinnvoll, daß die Elemente zur Tageslichtlenkung nicht automatisch überlagert, sondern nur gezielt verschattet werden.

### 2.3.2 Nutzung von Tageslicht

Das auf die Fassadenfläche einstrahlende Tageslicht, bestehend aus direktem und diffusem Licht, wird durch Lichtstreuung, Lichtlenkung und Lichtleitung im Raum verteilt. Dies erfolgt in Abhängigkeit von Tages- und Jahresverlauf. Durch den gezielten Einsatz technischer Mittel sollen die dynamischen Veränderungen der direkten Sonneneinstrahlung auf ein Behaglichkeitsniveau eingeschränkt werden.

Bei Tageslichtumlenkssystemen unterscheidet Köster in

- „statische Systeme (starre Anordnung der lichtlenkenden Elemente) [Anm.: Um die Verwechslung mit 'statisch' im Sinne von Tragwerksplanung zu vermeiden, läßt sich auch der Begriff 'stationär' verwenden.],
- nachführbare Systeme (einachsig, z.B. Jalousien, oder zweiachsig, z.B. Heliostaten, dem Sonnenstand nachfahrbar) und
- wegfahrbare Systeme (z.B. raffbare Lichtlenkungsjalousien).“<sup>7</sup>

Bei den experimentellen Untersuchungen liegt eine Kombination

<b>In der Praxis verwendete Manipulatoren (für Tageslichtnutzung, Sonnen- und Blendschutz) und deren funktionalen Eigenschaften (Teil 2)</b>				Funktionale Eigenschaften						
				Schutzfunktionen			Versorgungsfunktionen			
				Winterlicher Wärmeschutz	Sommerlicher Wärmeschutz	Blendschutz	Tageslichtnutzung	Durchsicht	Luftaustausch	
Art	optische Eigenschaften (Lichtdurchlässigkeit)	Luftdurchlässigkeit	Material	Veränderbarkeit						
Sonnenschutz (außenliegend)	opak	geschlossene Fläche	Holzpaneel	-	●	●	●	○	○	○
	opak + transluzent		Transluzentes Glas mit Siebdruck	-	●	●	●	○	○	○
	opak + transparent		Transparentes Glas mit Siebdruck	-	●	●	○	○	○	○
	transluzent		Stoffstore	-	○	●	●	○	○	○
	transluzent / transparent	teilweise geschlossene Fläche: strukturiert	Thermotrope Gläser	+	●	●	●	○	○	○
	opak + transparent		Lochblech	-	○	●	●	○	○	○
	transluzent + transparent		Metallgitter	-	○	○	○	○	○	○
	opak + transparent	teilweise geschlossene Fläche: linear	Gewebe	-	○	●	●	○	○	○
	opak + transparent		Lamellenstore	+	○	●	●	○	○	○
	transluzent + transparent		Vertikale Lamellen	+	○	○	○	○	○	○
transluzent + transparent		Vertikale Glaslamellen	+	○	○	○	○	○	○	

Abb. 7.05 Analyse der (funktionalen) Eigenschaften von in der Praxis verwendeten Manipulatoren (Auswahl) - Teil 2

vor: Ein stationäres System wird durch den vertikalen Schiebemechanismus bedingt wegfahrbar.

### 2.3.3 Blendschutz

Neben den dauernden Veränderungen im Bewölkungsgrad ist beim Blendschutz auch die individuelle Tätigkeit (z.B. Bildschirmtätigkeit<sup>8</sup>) und der Sonnenstand im Jahresverlauf von Bedeutung. Die Elemente werden meist im Rauminnen angeordnet und können in den Brüstungsbereich oder sehr stark komprimiert in den Sturzbereich /

Bereich unterhalb der Decke verfahren werden. Herkömmliche Gewebe, die an der Decke befestigt sind und ausgerollt werden, haben den Nachteil, daß der Eintrag von Tageslicht auf die gesamte Höhe reduziert wird, obwohl lediglich ein Teil der Fassadenfläche für die Blendung verantwortlich ist. Alternativ dazu gibt es von unten nach oben ausrollbare Rollos. Oftmals wird auch der Sonnenschutz als Blendschutz verwendet. Die eintretende Verschlechterung des Tageslichteintrags hat je-

doch zur Folge, daß Kunstlicht benötigt wird (unnötiger Energieverbrauch, zusätzliche Wärmelasten und Beeinträchtigung des Nutzerkomforts durch Mangel an Tageslicht).

### Sichtschutz

Maßnahmen zum Sichtschutz betreffen die Art und den Ort der Tätigkeit im Raum, bezogen auf die Situation außerhalb des Gebäudes. Die Kombination von Blend- und Sichtschutz ist naheliegend. Elemente können analog zum Blend-

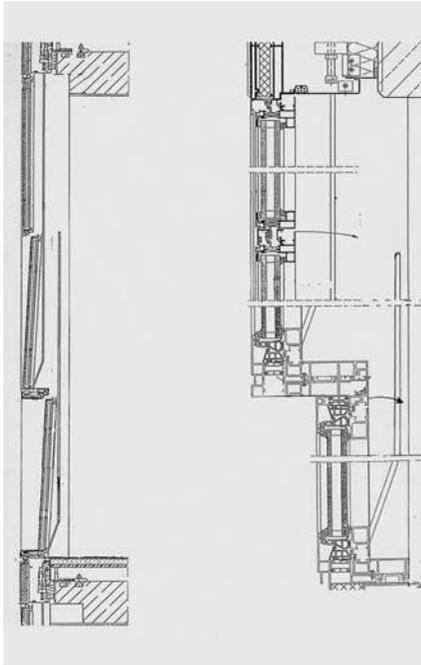


Abb. 7.06 Ideenskizze zu dreiteiligem Vertikalschiebefenster: Berücksichtigung vorhandener Konstruktionen (links Übersicht, rechts Detailpunkte; ohne Maßstab):  
 - oberer Teil: zweiteiliges VSF, System SCHÜCO, Modifikation: Flügel mit Gegengewicht statt gekoppelt  
 - unterer Teil / Brüstungsbereich: Sonderkonstruktion SCHÜCO für das Fraunhofer-Projekt in München

schutz im Rauminneren in den Brüstungsbereich verfahren werden.<sup>9</sup>

## 2.4 Auswahl der Komponenten

Das funktionale Leistungsprofil einer Fassade besteht aus einzelnen Parametern, die bei einem mehrschichtigen Fassadenaufbau die Grundlage für das spezifische Leistungsprofil der verschiedenen Schichten sind. Werden die einzelnen Schichten so ausgelegt, daß sie positive oder neutrale, zumindest aber keine negativen Eigen-

schaften für die jeweils nicht abzudeckenden Parameter aufweisen, so kann die Fassade durch die Kombination auf möglichst vielfältige Situationen reagieren. Werden Komponenten verwendet, die eine geschlossene Fläche aufweisen, so kann der Luftdurchgang an den seitlichen Rändern erreicht werden. Vorstellbar ist außerdem eine Aufteilung in der Vertikalen. Durch eine schuppenartige Überlappung könnte ein zusätzlicher Luftdurchgang ermöglicht werden.

Die Vielfältigkeit der Anordnungsmöglichkeiten darf nicht dadurch eingeschränkt werden, daß z.B. der Blendschutz die Lüftung verhindert. Diejenigen Komponenten aus der Tabelle mit den funktionalen Eigenschaften (Abb. 7.04 - 7.05) eignen sich am ehesten zur Kombination (miteinander), die in ihrem Bereich eine positive und in den anderen Bereichen eine möglichst positive - Bewertung aufweisen.

### Blendschutz

Als Blendschutz wird eine von unten nach oben ausrollbaren Rolllöscher-Konstruktion verwendet. Die anthrazitfarbene Folie mit spezieller Prägung (weniger anfällig gegen Knicken) ist auf der Außenseite mit einer hochreflektierenden Schicht versehen. Die visuelle Wahrnehmung des Außenraums von innen ist sehr eingeschränkt möglich.<sup>10</sup>

### Sonnenschutz

Als Sonnenschutz wird eine Lamellenstruktur gewählt. Die gebördel-

ten Aluminiumlamellen sind mit einer Mikroperforation versehen, durch die ein optischer Bezug zum Außenraum erhalten bleibt.

### Tageslichtnutzung

Da bei den Untersuchungen zu vertikalen Schiebemechanismen nicht die Wirkung der Elemente zur Tageslichtnutzung im Vordergrund steht, sondern die als Beispiel eingesetzten Elemente auch als Platzhalter zu verstehen sind, werden die diskutierten Alternativen (Spiegellamellen, lineare Prismen zur Lichtumlenkung) nicht weiter verfolgt.

Statt dessen werden Aluminiumlamellen ebenfalls mit einer Mikroperforation eingesetzt, die auf der nach oben konkaven Seite hochreflektierend beschichtet sind.

## 3 Entwicklung des mehrschichtigen Fassadenaufbaus

Die Schwierigkeit der Übertragung des im Modell beschriebenen Fassadenkonzepts liegt in der Umsetzung des Bewegungsprinzips im Maßstab 1:1. Ziel ist daher die Entwicklung eines Bewegungsmechanismus für die einzelnen Elemente. Im Vordergrund steht dabei die Fensterebene als thermisch trennende Hülle.

### 3.1 Anforderungen und Bedingungen

Vor der Entwicklung des Mechanismus werden zu einigen Punkten

Anforderungen und Bedingungen definiert, die für die weiteren Entscheidungsfindungen als Hilfestellung dienen.

#### 3.1.1 Gliederung der Fassade

Die Fassade mit vertikalen Schiebemechanismen soll in die vorhandene Öffnung der Meßbox auf der Südseite eingestellt werden. Die Fassadenfläche wird in zwei benachbarte Fassadenfelder unterteilt.

Das entstehende (Fenster-) Achsmaß liegt mit ca. 1,65 m innerhalb der üblichen Fassadenrasterbreiten bei Verwaltungsbauten.

In der Vertikalen wird die Fläche wie bereits in der Modellstudie in drei gleich große Felder gegliedert.

Die Lage der waagrechten Flügelrahmenprofile wird vorab zeichnerisch ermittelt: Bei einer im Raum stehenden Person (Größe: ca. 1,85 m) befinden sich die Profile der sich überlappenden Flügel (oberer und mittlerer Flügel) ungefähr in Augenhöhe.

Eine im Raum an einem Schreibtisch sitzende Person hat dagegen einen ungestörten Durchblick. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann die Beeinträchtigung des Ausblicks für stehende Personen (kritischer Punkt: waagrecht unterteilter Ausblick, der sich bei zwei- und dreiteiligen Vertikalschiebefenstern zwangsläufig ergibt) vor Ort untersucht werden. Je nach Nutzung ergeben sich aus diesem Punkt Konsequenzen für eine Modifikation der Unterteilung.

### 3.1.2 Schichten der Fassade

Auf der Innenseite der Konstruktion für die Fenster ist eine Schicht für den vertikal verschieblichen Blendschutz vorgesehen.

Die als thermische Hülle wirksame Schicht der Fensterkonstruktion besteht aufgrund der angestrebten Verschieblichkeit der Fensterflügel (siehe auch Punkt 3.1.4) aus einer Ebene für den mittleren Flügel und einer zweiten Ebene, in der sich der untere und obere Flügel befinden.

Auf der äußeren Seite der Fensterebene werden zusätzliche Schichten für die Tageslichtnutzung und den Sonnenschutz vorgesehen. Als Bedingung gilt dabei, daß die zusätzlichen Schichten auch nach Einbau verändert werden können. Damit soll sichergestellt sein, daß gewonnene Erkenntnisse (Zahl der Schichten, Ausführung der Elemente etc.) auch im Laufe der im Anschluß geplanten Untersuchungsreihe direkt vor Ort umgesetzt werden können.

Bei der Konstruktion für den Sonnenschutz wird ein Rahmen mit einer maximalen Tiefe von 100 mm zur Aufnahme der Elemente festgelegt; dieses Maß berücksichtigt ein bei Sonnenschutzlamellen übliches Maß von 80 mm und erlaubt auch den Einbau anderer Komponenten. Da die Konstruktionsstärke für die Tageslichtnutzung sich jedoch bei den in Betracht gezogenen Materialien stark unterscheidet, wird eine Änderung der Reihenfolge im Schichtenaufbau gegenüber dem theoretischen Konzept und gegen-

über dem Modell vorgenommen: Die Schicht für die Tageslichtnutzung wird nach außen gelegt; so ist gewährleistet, daß zu einem späteren Zeitpunkt auch der Einbau einer anderen Komponente möglich ist, die bei Bedarf über die jetzigen Maße hinausragen kann.

### 3.1.3 Materialwahl für die Konstruktion der Fenster

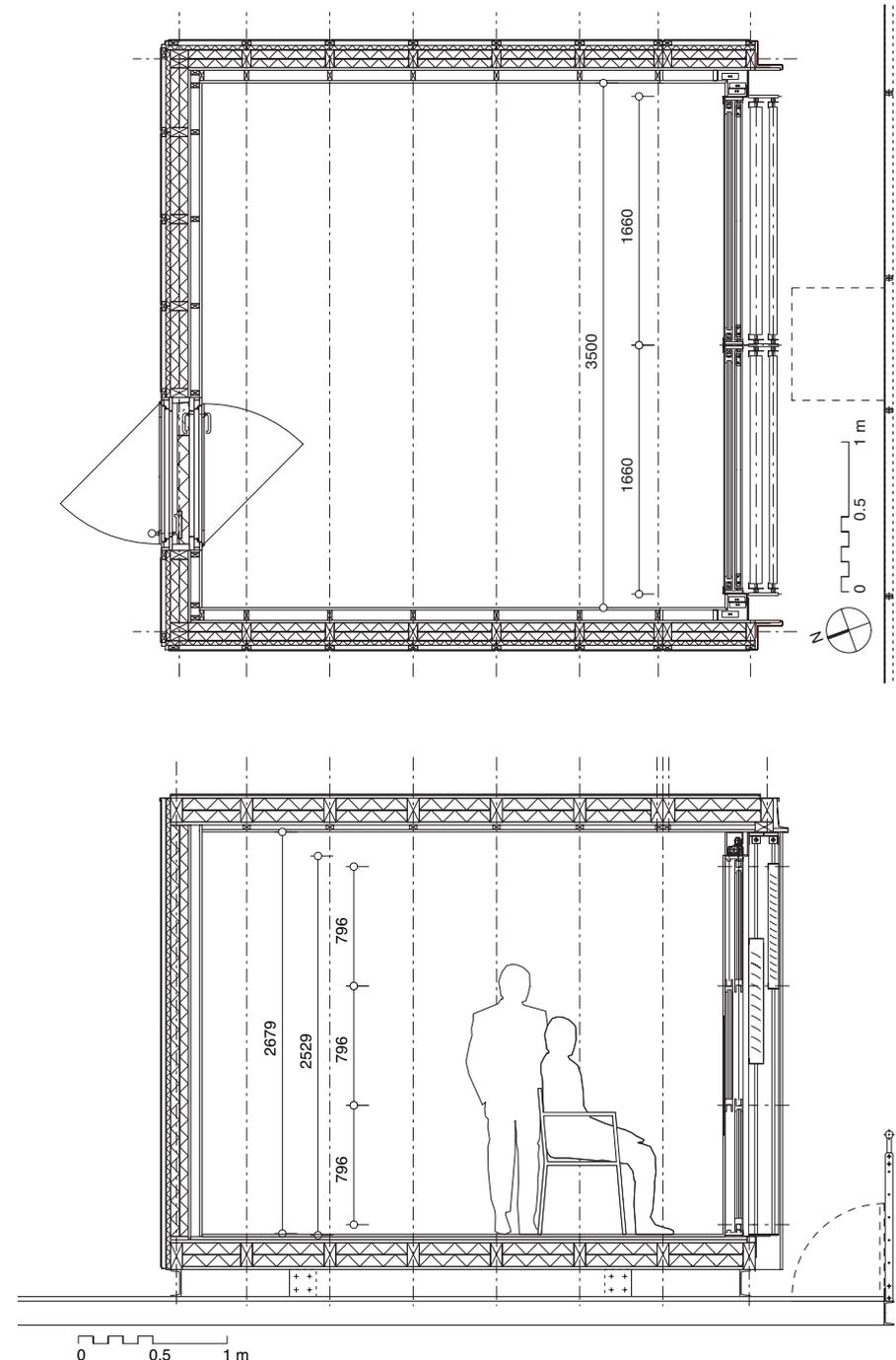
In Bezug auf die zu erwartenden Modifikationen bestehender Konstruktionen, Sonderanfertigungen für Beschläge etc., die in der Metallwerkstatt durchgeführt werden, erfolgt die Auswahl der möglichen Materialien für die Konstruktion der Fassadenelemente zugunsten von Aluminium.<sup>11</sup>

Zunächst wird erwogen, die Profile aus Vierkant- und L-Profilen nachzubilden. Dieses Vorgehen wird üblicherweise z.B. in den Entwicklungsabteilungen der Fassadensystem- und Beschlagshersteller für die Entwicklung neuer Bewegungsarten und Beschläge von Fenstern angewandt.<sup>12</sup>

Da bei den vorliegenden Untersuchungen die gestalterischen Aspekte ebenso von Bedeutung sind wie die funktionalen und konstruktiven Aspekte, wird festgelegt, daß die Konstruktion der Testfassade unter Verwendung existierender Profile

Abb. 7.07+08 Lehrstuhleigene Versuchseinrichtung zur Aufnahme der vertikalen Schiebemechanismen im Bereich der Südfassade:

- Grundriß (oben), M. 1:50
- Schnitt (unten), M. 1:50



für die Fensterflügel und die umlaufenden Rahmen erfolgen soll.

### 3.1.4 Verschieblichkeit der Fensterflügel

Die Beweglichkeit der Elemente ist bei den Untersuchungen von zentraler Bedeutung. Für die Ebene der Fenster wird festgelegt, daß sich das Brüstungsfeld und das obere Feld in der äußeren Ebene befinden. Durch die Anordnung des mittleren Flügels auf der inneren Ebene ist dieser nach oben vor das obere oder nach unten raumseitig vor das untere Feld verschiebbar. Dadurch lassen sich zwei verschiedenen angeordnete Lüftungsöffnungen zur Spaltlüftung erzeugen. Der Verschieblichkeit wird gegenüber der Abdichtung der Flügel untereinander und der Flügel zum Rahmen Priorität eingeräumt. (Zu dem sich daraus ergebenden Problem des Eindringens von Wasser aufgrund des Anordnungsprinzips siehe auch Punkt 3.3.5).

### 3.1.5 Sonnenschutz / Tageslichtnutzung / Blendschutz

Analog zu den Fenstern steht auch bei den anderen Schichten (Blendschutz, Sonnenschutz und Tageslichtnutzung) die Beweglichkeit im Vordergrund.

Für Sonnenschutz und Tageslichtlenkung wird eine Art Rahmenkonstruktion vorgesehen, die einen Austausch der Komponenten und Elemente, die als Füllung eingesetzt werden, ermöglicht. Für beide Schichten soll der gleiche Mechanismus verwendet werden.

Der Blendschutz soll von innen auf die Rahmenprofile der Fensterschicht montiert werden.

Durch eine möglichst leichte Konstruktion soll ein Ausgleich des Gewichts der beweglichen Elemente mit Gegengewichten möglichst vermieden werden, auch wenn damit bereits eine gewisse Einschränkung bei der Materialwahl vorweggenommen wird.

### 3.2 Vorhandene Bewegungsmechanismen

Die Basis der Entwicklung für die einzubauende Fassade bilden verfügbare Fassadenkonstruktionen mit Vertikalschiebefenstern. Angeboten werden sowohl solche Varianten, bei denen die Flügel miteinander verbunden sind und nur synchron bewegt werden können, als auch solche Varianten, bei denen das Eigengewicht der Flügel über Gewichte kompensiert wird. Die Gewichte werden separat seitlich geführt oder sind innerhalb der vertikalen Fassadenprofile angeordnet.<sup>13</sup>

In der Regel befinden sich die Flügel in geschlossenem Zustand in einer Ebene. Die Bewegung erfolgt durch einen Versatz der seitlichen verkröpften Führungsnuten.

Bei einem Versatz der Flügel in geschlossenem Zustand erfolgt die Dichtung mittels übergreifender / überlappender Elemente.

Einen nach oben und nach unten beweglichen mittleren Flügel weist keine Version auf.

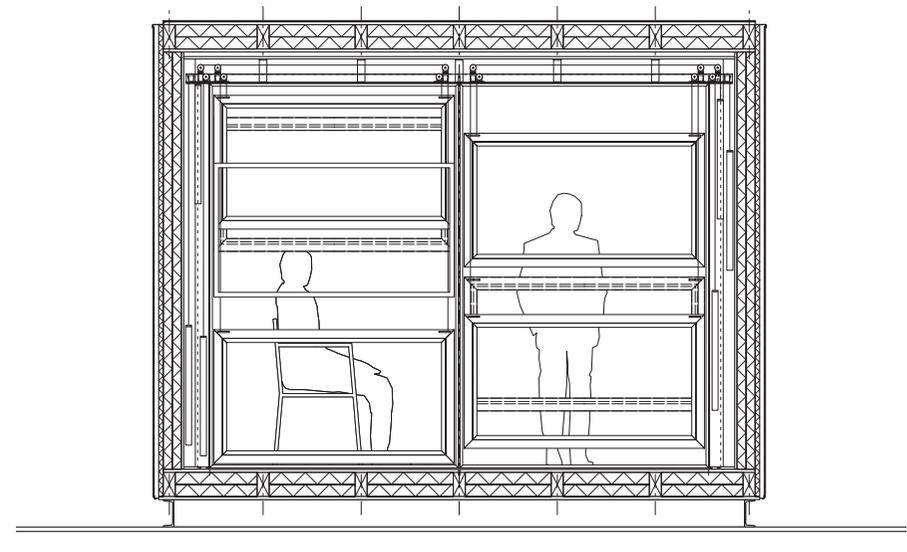
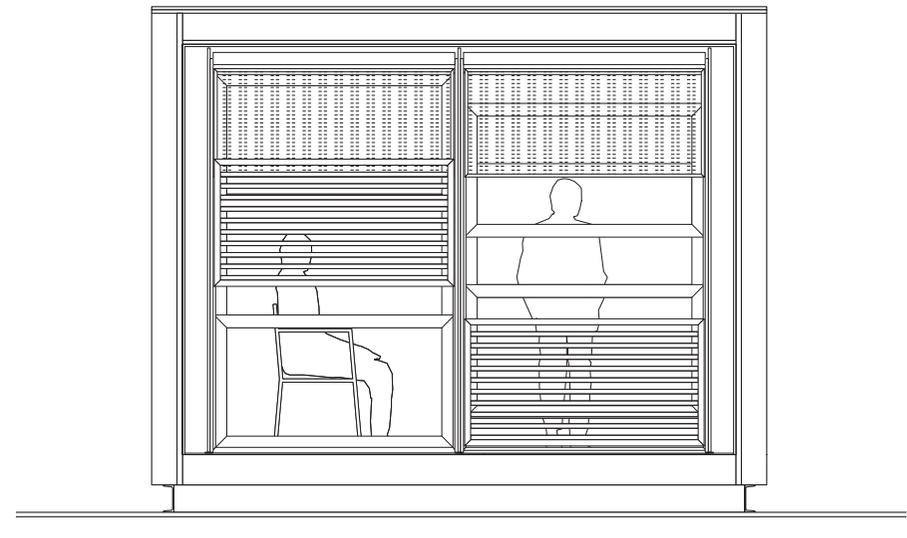


Abb. 7.09+10 Mehrschichtige Fassade  
- Ansicht Süd (Anordnung der Manipulatoren zufällig), M. 1:50 (oben)  
- Längsschnitt durch Fassade (Anordnung der Fenster zufällig), M. 1:50 (unten)

Dreiteilige Vertikalschiebefenster existieren nur als historische Variante und werden von den einschlägigen Firmen nicht angeboten. Die als einflügeliges Vertikalschiebefenster konzipierten Varianten für den Einsatz als Kiosk-Fenster oder Durchreiche kommen auf Grund der geringen Abmessungen nicht in Betracht.

### 3.3 Entwickeltes System

Da die realitätsnahe Entwicklung eines vertikalen Schiebefensters mit addierbaren Ebenen zur Aufnahme von Komponenten ohne die nötige Fachkompetenz aus der Industrie (z.B. Know-how zu Herstellung von Fassadenprofilen, Dichtungsproblematik, Ausbildung kinetischer Elemente in der Fassade, Vertrieb, Lieferung und Montage, betriebswirtschaftliche Aspekte, Marketing-Strategien etc.) nicht durchführbar ist, erfolgt die weitere Bearbeitung gemeinsam mit der Firma SCHÜCO International KG als Kooperationspartner. <sup>14</sup>

Im Rahmen der Arbeiten am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie sind Entwicklungen und Untersuchungen zur technischen Ausführung des Bewegungsmechanismus von Fensterelementen (Beschlagsteile, Profile etc.) zum Zeitpunkt dieser Untersuchung in ausreichender Form nicht möglich. Für die Entwicklung des Mechanismus wurde deshalb von SCHÜCO die Firma esco Metallbausysteme GmbH, Ditzingen, hinzugezogen. <sup>15</sup>

### Vorhandenes Profilsystem

Bei der zum Einsatz kommenden Konstruktion handelt es sich um das von SCHÜCO für Horizontalschiebefenster verwendete Profilsystem „Royal S“.

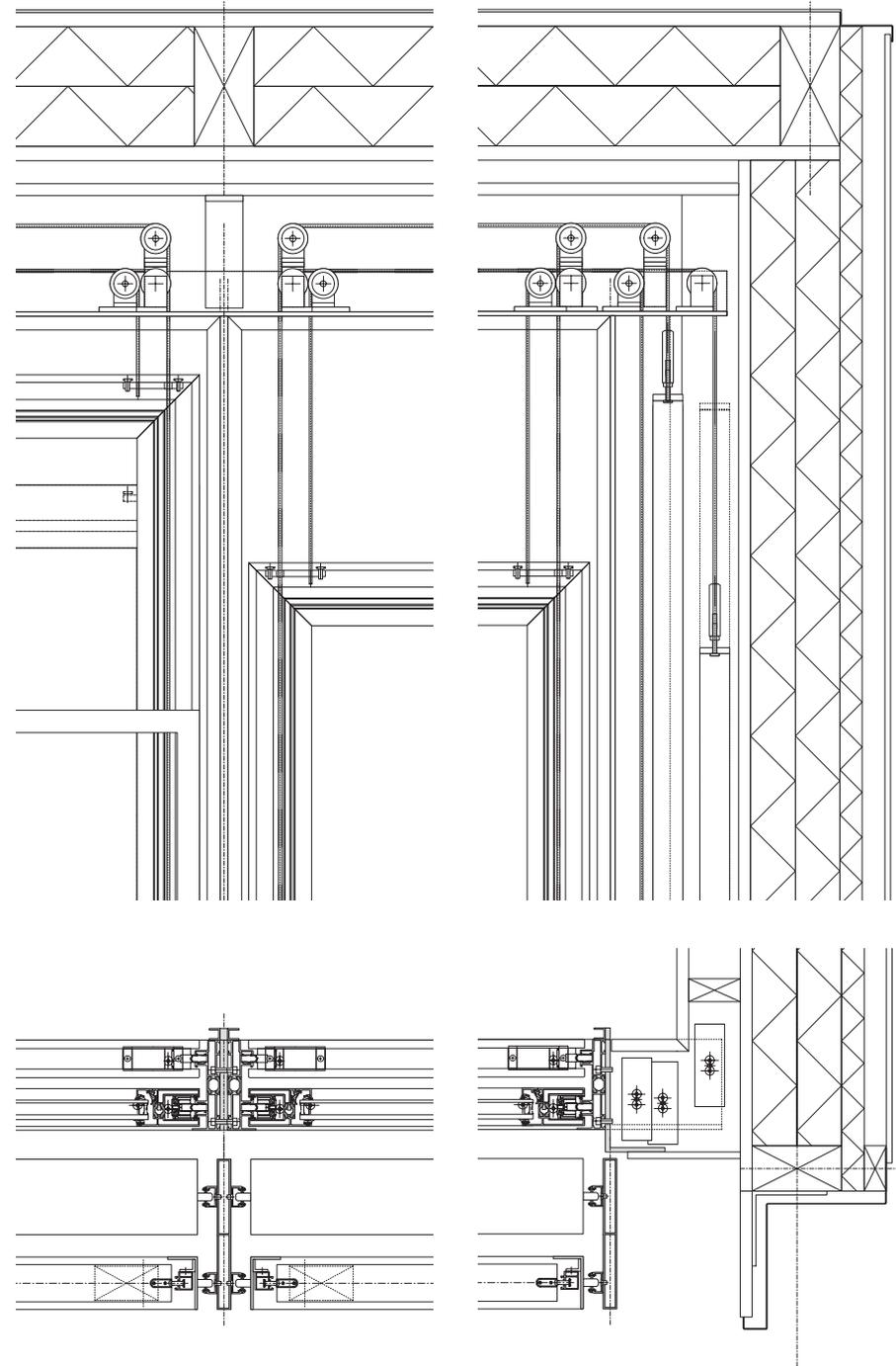
Die in einem horizontal verlaufenden Profil angeordneten Laufschieben aus Edelstahl sind um 90° in die Vertikale gedreht eingebaut. Die zur Aufnahme der Windlasten und zum Abführen des Flügelgewichts gedachte Konstruktion wird bei der entwickelten Konstruktion für Vertikalschiebefenster zur seitlichen (vertikalen) Führung der Flügel und zur Aufnahme der Windlasten verwendet.

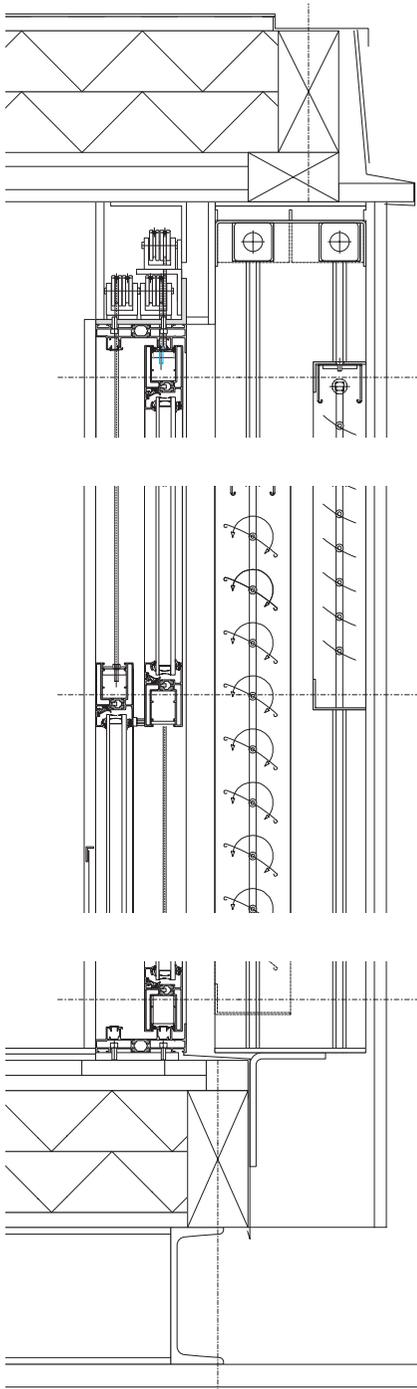
#### 3.3.1 Arbeitsschritte

Zunächst wird die Konstruktion der Vertikalschiebefenster in einer Zeichnung entwickelt. Darauf aufbauend wird die Konstruktion für Sonnenschutz und Tageslichtnutzung zeichnerisch entwickelt. Die Konstruktionszeichnungen werden auf ihre Umsetzbarkeit (bezogen auf den Herstellungs- und Modifikationsprozeß in der Metallwerkstatt und den Einbauvorgang in der Station für Solarforschung) überprüft und modifiziert. Dies erfolgt durch die Anfertigung einer Vielzahl von Proben und Mustern. An einigen Stellen, zu denen keine Erfahrungswerte vorliegen, werden zusätzlich Testversuche

Abb. 7.11 Vertikalschnitt längs: Seilführung: Mittelposten und Gegengewichte seitlich, M. 1:10

Abb. 7.12 Horizontalschnitt: Anschluß: Mittelposten und Anschluß seitlich, M. 1:10





durchgeführt (z.B. die Aufhängung der Gewichte). Die Modifikationen und Ergänzungen werden anschließend in die Zeichnung übertragen. Eine Dokumentation der eingebauten Konstruktion in Form von Zeichnungen findet sich im Anhang 2.

### 3.3.2 Vertikalschiebefenster

Bei der ursprünglichen Version für den Einsatz als Horizontalschiebefenster erfolgt die Einleitung des Eigengewichts über Rollen, die in das Profil eingeschoben sind. Diese Rollen werden bei der entwickelten Version des Vertikalschiebefensters zur seitlichen Führung verwendet. Zur Justierung befinden sich auf jeweils einer Seite der Flügel justierbare Rollen.

Die Aufhängung der Flügel erfolgt über eine in das Profil eingeschobene angefertigte Vorrichtung. Die Kraftübertragung erfolgt über die gleiche Nut wie bei der Version als Horizontalschiebefenster (nur mit umgekehrten Vorzeichen). Zur Sicherheit wurde ein Hängeversuch mit manuell simuliertem Bewegungsmoment durchgeführt (siehe Abb. 7.14 - 7.16).

Die Abtragung des Gewichts erfolgt mittels Edelstahlseilen über ein Rollensystem, das im Sturzbereich angeordnet ist (Abb. 7.17 - 7.18).

Abb. 7.13 Vertikalschnitt, M. 1:10  
 - Anschluß Dachbereich (oben)  
 - Bereich Anschluß oberer-mittlerer Fensterflügel (mitte)  
 - Anschluß Fußpunkt (unten)

Die seitlich angeordneten Gewichte bestehen aus Blei, um möglichst wenig Platz zu beanspruchen. Die Gewichte sind so dimensioniert, daß die Kraft, die für das Hinauf- und Hinabschieben aufgebracht werden muß, als gleich empfunden wird. Die gemessene Kraft für das Verschieben nach oben ist etwas geringer, was dem Gefühl entgegenwirkt, daß der Flügel nur sehr schwer anzuheben ist.

Für die Verglasung der Flügel wird der bereits bei vorherigen Arbeiten am Lehrstuhl für Gebäudetechnologie benutzte Typ Warmglas plus neutral S von INTERPANE verwendet. <sup>16, 17</sup>

### 3.3.3 Sonnenschutz, Tageslichtnutzung

Ähnlich wie bei der Entwicklung des Fenstermechanismus wird auch für den Sonnenschutz und die Nutzung des Tageslichts auf vorhandene Systeme zurückgegriffen. Die zur Anwendung kommenden Elemente werden jeweils in einem Rahmen montiert, der als Komponente vertikal verschoben werden kann. Als seitliche Führung dient die seitliche Führungsschiene von außenliegenden Sonnenschutzlamellen.

Die Rahmen werden über Seile abgehängt. Im Sturzbereich befindli-

Abb. 7.14 Anfertigung der Fassadenkonstruktion in der Montagehalle des Technischen Zentrums  
 Abb. 7.15 Hängeversuch für die Seilaufhängung am Flügel  
 Abb. 7.16 Unterschiedliche Seilaufhängungen der drei Flügel



che Motoren ermöglichen die Bewegung mittels einer Welle, auf der die Stahlseile auf- und abgewickelt werden können.

Die in den Motoren eingebauten Getriebe kompensieren das Eigengewicht der Komponenten für Sonnenschutz und Tageslichtlenkung.

Die ausgewählten Aluminiumlamellen werden innerhalb des Rahmens angeordnet. Durch die Verwendung einer normalen Behangkonstruktion und seitlicher Führungsschienen läßt sich der Einstellwinkel der Lamellen manuell verändern.

### 3.3.4 Blendschutz

Die Folie für den Blendschutz wird in einem Rahmen gehalten. Dieser wird an den beiden Seiten in einem Profil geführt. Die Lastabtragung des Eigengewichts der Komponente erfolgt über Reibung. Dazu wird ein Kunststoffprofil mittels Kugelschnapper gegen das Aluminiumprofil gedrückt.

Die Folie ist über einen Klettverschluss mit dem Aluminiumrahmenprofil verbunden und läßt sich dadurch problemlos austauschen.

### 3.3.5 Unberücksichtigte Punkte

Einige Anforderungen an die Fassadenkonstruktion werden bei der Entwicklung zugunsten der Umsetzbarkeit nicht berücksichtigt. Zu den maßgeblichen unberücksichtigten Punkten und Aspekten erfolgen stichwortartig einige Erläuterungen:

#### Dichtigkeit:

- Ausbildung einer ausreichenden Dichtung der beweglichen Elemente im geschlossenen Zustand (bezogen auf Schlagregen und Wind): Der erforderliche Anpreßdruck wird bei den verfügbaren zweiflügeligen Vertikalschiebefenstern durch verkröpfte seitliche Führungsnuten und durch in den Profilen umlaufende Kantengetriebe mit Rollzapfen und anderen Bändern erreicht. Bei den verwendeten Profilen können diese Treibstangen nicht eingesetzt werden.

Für den Fall, daß vor allem am Überlappungspunkt von mittlerem und unterem Flügel bei starkem Wind und gleichzeitigem Niederschlag Wasser eindringt, ist eine manuelle Abdichtung vorgesehen. Der Abstand der Flügel zueinander ist durch die Laufschiene des Systems Royal S vorgegeben.

#### Wärmebrücken:

- Thermische Trennung der Außen- und Innenseiten der Profile in geschlossenem Zustand: Dies hätte nur durch Anfertigung von Sonderprofilen erreicht werden können. Da die Bewegung und die Lüftungsmöglichkeiten im Vordergrund der Untersuchungen stehen, wird dieser Punkt für die vorliegende Arbeit als sekundär eingestuft.
- Wärmedämmung der seitlichen Bereiche für die Gegengewichte und des oberen Bereichs zur Aufnahme der Seile und Rollen



Abb. 7.17 Anordnung der Gegengewichte und Seilführung für die Flügel (seitliche und obere Abdeckung für linkes Fassadenfeld entfernt)

sowie des Mittelpostens: hierfür gilt Analoges.

#### Verschleißbarkeit:

- Verschleißbarkeit der Fenster: Bei der erhöht angeordneten Versuchseinrichtung ist ein Einbruchschutz nicht erforderlich. Auch können die Flügel durch Wind nicht bewegt (z.B. geöffnet) werden. Auf den zusätzlichen Verschlußmechanismus wird daher verzichtet.
- Bedienung der Flügel mittels eines üblichen Fenstergriffs: Die Flügel lassen sich auf Grund des sehr geringen Reibungswiderstands am Flügelrahmen anfassen und bewegen.

#### Gegengewichte:

- Führung der Gewichte in den Fassadenpfosten: Hierfür ist die genaue Kenntnis über die Eigenschaften der Seile und eine sehr



Abb. 7.18 Aufhängung der Bleigewichte und versetzt angeordnete Rollenpaare zur Führung der Edelstahlseile im Sturzbereich (seitliche und obere Abdeckung entfernt)

hohe Präzision bei der Anfertigung der Gewichte notwendig. Die Führung der Gewichte in den Fassadenpfosten ist bei der Addition mehrerer Felder von Bedeutung. Im vorliegenden Fall können die Gewichte problemlos seitlich untergebracht werden. Die Einschränkung der für die Fenster verfügbaren lichten Fläche ist minimal.

- Sichtbare Aufhängung der Flügel und sichtbare Seilführung: Da es sich um eine experimentelle Versuchsfassade handelt, wird davon abgesehen, die Edelstahlseile in den senkrechten Fassadenprofilen anzuordnen. Die Aufhängung der Flügel erfolgt in der Achse des Schwerpunkts, der auf Grund des Scheibenversatzes im Profil und der größeren Glasdicke der äußeren Glasscheibe außerhalb der geometrischen Mitte des Flügels liegt. Bei



Abb. 7.19 Station für Solarforschung: eingebaute Süd-Fassade

einer Seilführung in der (geometrischen) Mitte wäre der Schiebeprozess durch ungleichmäßige Kräfte auf den Laufschiene beeinträchtigt. Der deutlich sichtbare Versatz des Seils für den oberen Flügel ergibt sich aus der Überkreuzung der Seilführung und der Rollenordnung.

#### Geometrische Optimierung:

- Keine Optimierung der Fassadentiefe: Bei der Fensterkonstruktion ist der Abstand der beiden Ebenen zueinander durch die vorhandenen Laufschiene des Systems Royal S vorgegeben. Der Abstand von Sonnenschutz und Tageslichtlenkung wurde zugunsten der Austauschbarkeit konzipiert. In beiden Schichten ist der Einbau von anderen Elementen für Sonnenschutz und Tageslichtnutzung möglich.
- Ansichtsbreite der Flügelrahmenprofile: Da die Seilführung nicht

in vertikalen Fassadenprofilen erfolgt, konnte die Aufhängung des unteren Flügels, der sich unterhalb des oberen Flügels in gleicher Ebene befindet, nur dadurch erfolgen, daß das Seil seitlich zwischen Rollen und Glas geführt wird.

Die verfügbare schmalere Variante des Profils Royal S konnte nicht verwendet werden, da hier zwischen Rollenlager und Profil kein ausreichender Raum für die Durchführung der Abhängungen für den unteren Flügel vorhanden ist.

#### 4 Experimentelle Untersuchung

Durch den Einbau der entwickelten Fassade lassen sich verschiedene Aspekte des mehrschichtigen Fassadensystems untersuchen:

- Genauere Erkenntnisse über die prinzipiellen funktionalen und gestalterischen Eigenschaften des mehrschichtigen Fassadenaufbaus mit vertikal verschieblichen Komponenten im Maßstab 1:1;
- Realitätsnahe Anwendung zur Darstellung der spezifischen konstruktiven Zusammenhänge und zum Aufzeigen der gestalterischen Möglichkeiten;
- Überprüfung der Reagibilität der mehrschichtigen Fassade mit vertikalen Schiebemechanismen für alle Manipulatoren;
- Ermittlung der kritischen Bereiche und Erarbeitung von ersten Lösungsansätzen;



Abb. 7.20 Photographische Dokumentation der 36 Kombinationsmöglichkeiten, Teil 1

- Lüftungseigenschaften von Vertikalschiebefenstern - insbesondere des dreiflügeligen Typs - in Kombination mit anderen beweglichen Komponenten

#### 4.1 Gestalterische und funktionale Möglichkeiten

Analog zu den Modellstudien werden zunächst die 36 Kombinationsmöglichkeiten bei nahezu gleichen

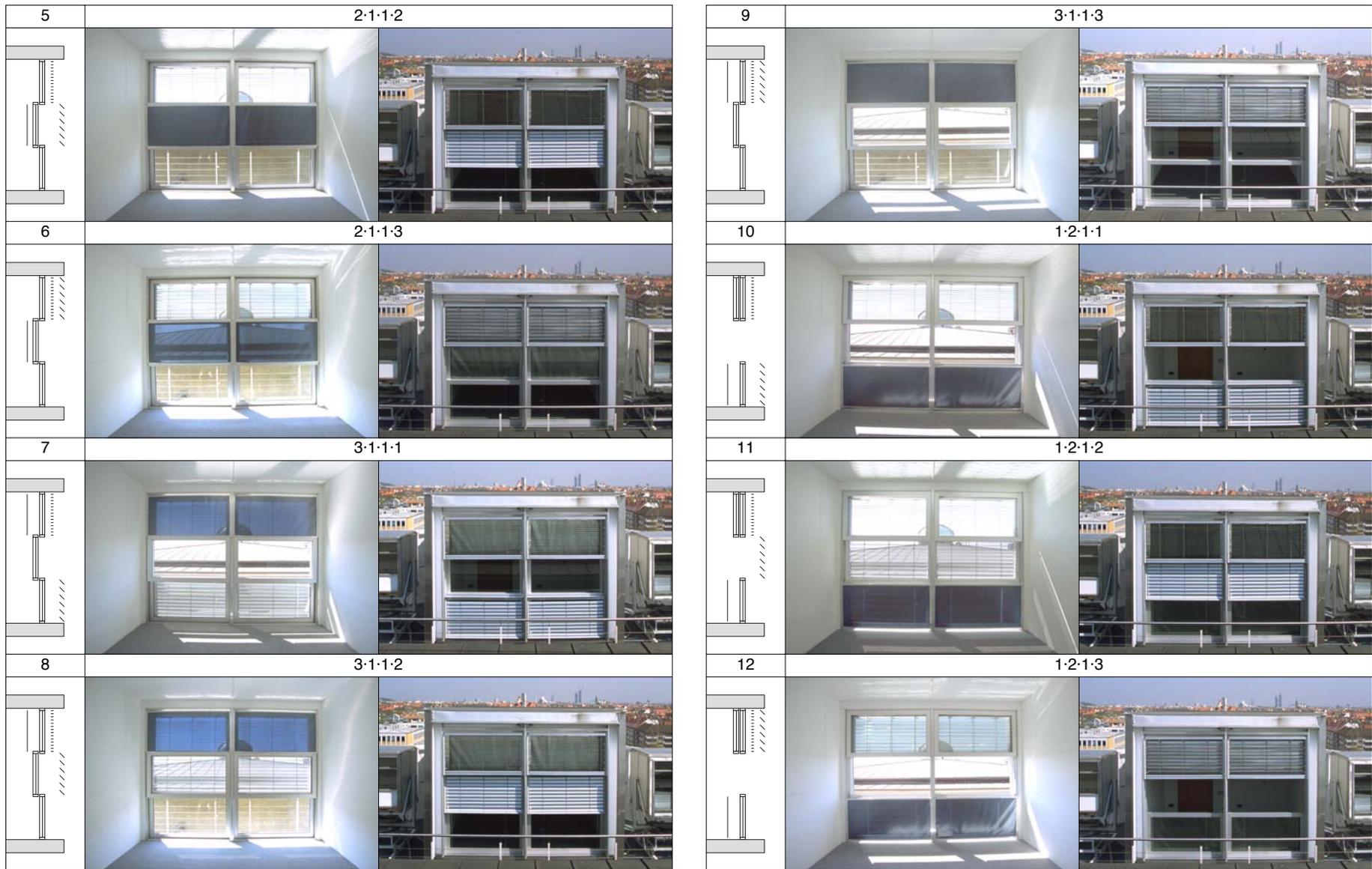


Abb. 7.21 Photographische Dokumentation der 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 2: Kombinationen 5 - 12)

äußeren Lichtverhältnissen dargestellt. Zusätzlich erfolgt eine Dokumentation freier Kombinationen.<sup>18</sup> Die Außen- und Innenaufnahmen der 36 Kombinationsmöglichkeiten

sind in Abb. 7.20 bis 7.24 gezeigt. Entsprechend den Modellstudien in Teil 7 befindet sich in der linken Spalte unter der fortlaufenden Nummerierung der Kombinationsmöglich-

lichkeiten die schematische Schnittzeichnung der Kombination. Unter der vierstelligen Bezeichnung für die Position der einzelnen Schichten sind links die Situation

im Innenraum der Meßbox und rechts das äußere Erscheinungsbild der Südfassade im Kontext mit der Station für Solarforschung dargestellt.

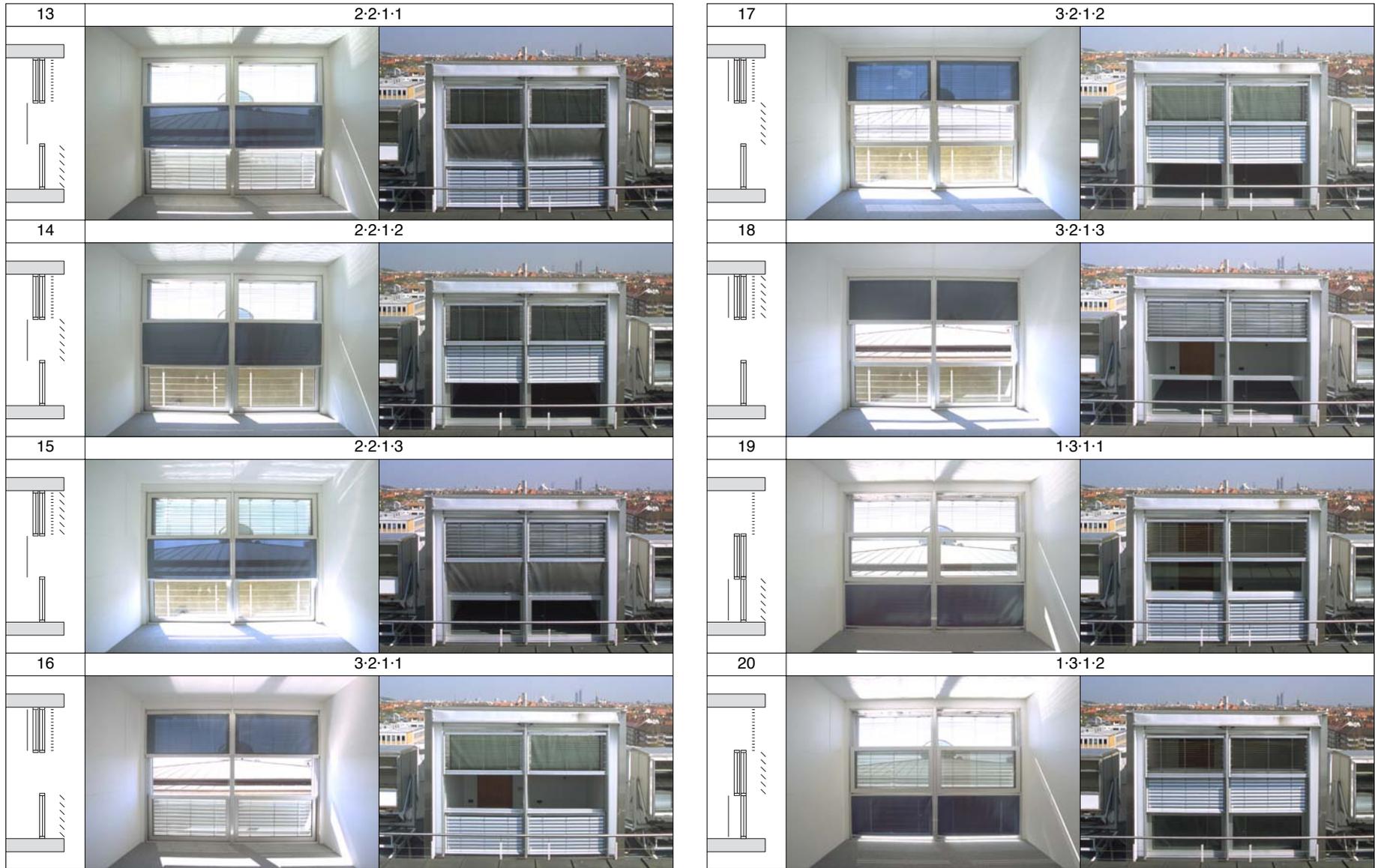


Abb. 7.22 Photographische Dokumentation der 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 3: Kombinationen 13 - 20)

Die Kombinationsmöglichkeit wird für beide Fassadenfelder angewendet. Die Anordnung der Manipulatoren nimmt keinen Bezug zu thermischer und visueller Behaglichkeit.

Im Anschluß an die Abbildung der 36 ausgewählten Kombinationsmöglichkeiten werden ein paar freie Kombinationen dokumentiert (siehe Abb. 7.25). Das Verschieben der

einzelnen Manipulatoren erfolgt für die beiden Fassadenfelder teilweise unterschiedlich. Die photographische Dokumentation der 36 Kombinationsmöglichkei-

ten zeigt deutlich die Veränderungen der Lichtverhältnisse im Innenraum. Die Aufnahmen verdeutlichen die Vielfältigkeit des Leistungsspek-

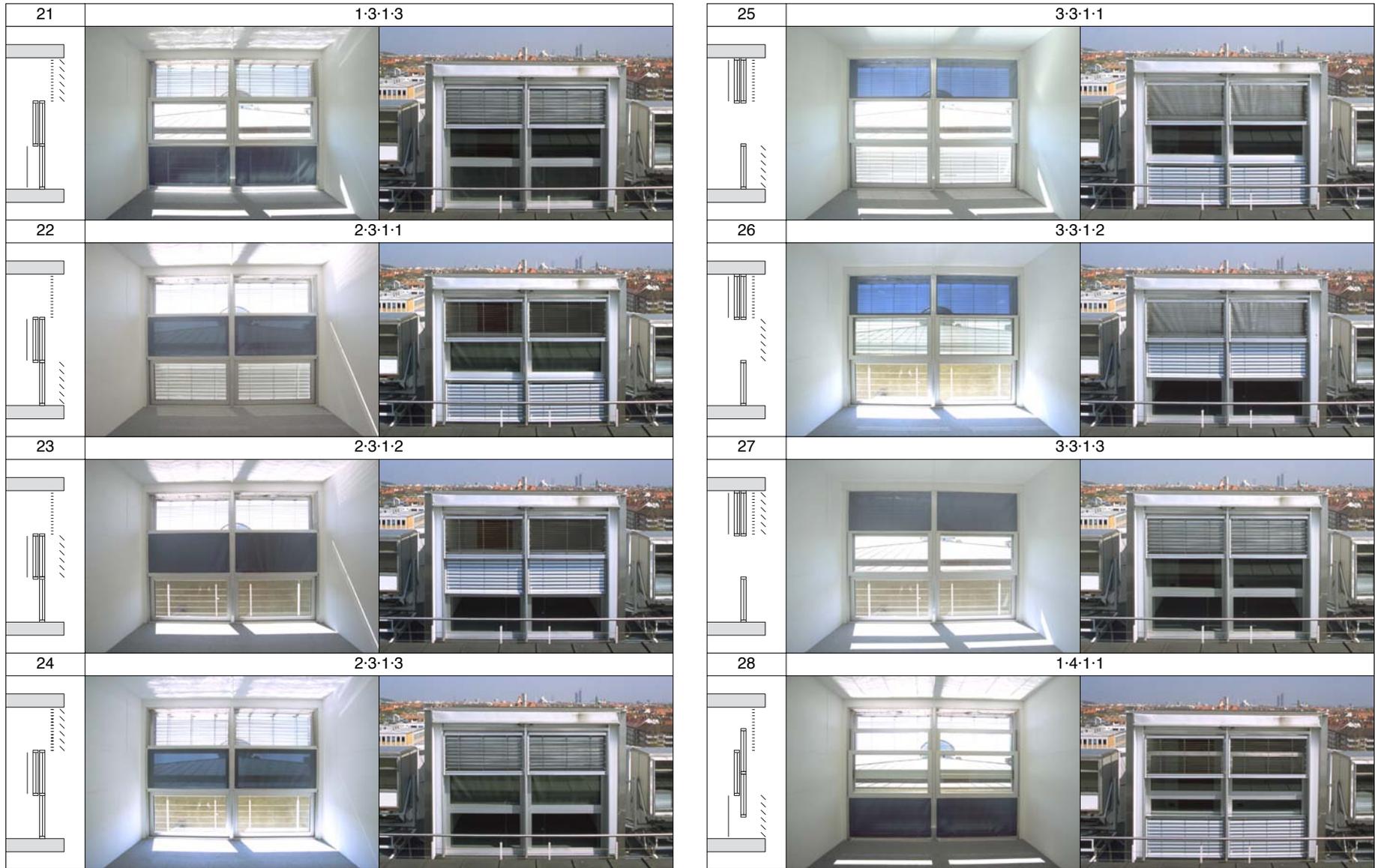


Abb. 7.23 Photographische Dokumentation der 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 4: Kombinationen 21 - 28)

trums des Fassadensystems. Neben dem funktionalen Spektrum zeigen die Studien auch das gestalterische Potential, das sich durch die Verwendung von vertikal ver-

schieblichen Manipulatoren ergibt. Neben den Veränderungen des äußeren Erscheinungsbilds ist auch die Veränderung des Fassadenbilds im Innenraum sichtbar.

Die Modellfassade zeigt die optische Wirkung der eingebauten Flächen im Maßstab 1:1. Die verwendeten Materialien sind als Anwendungsbeispiel für die jeweilige

Funktion zu betrachten. Trotz des durch die baulichen Gegebenheiten eingeschränkten Ausblicks zeigen die photographischen Studien des Innenraums auch die mögliche

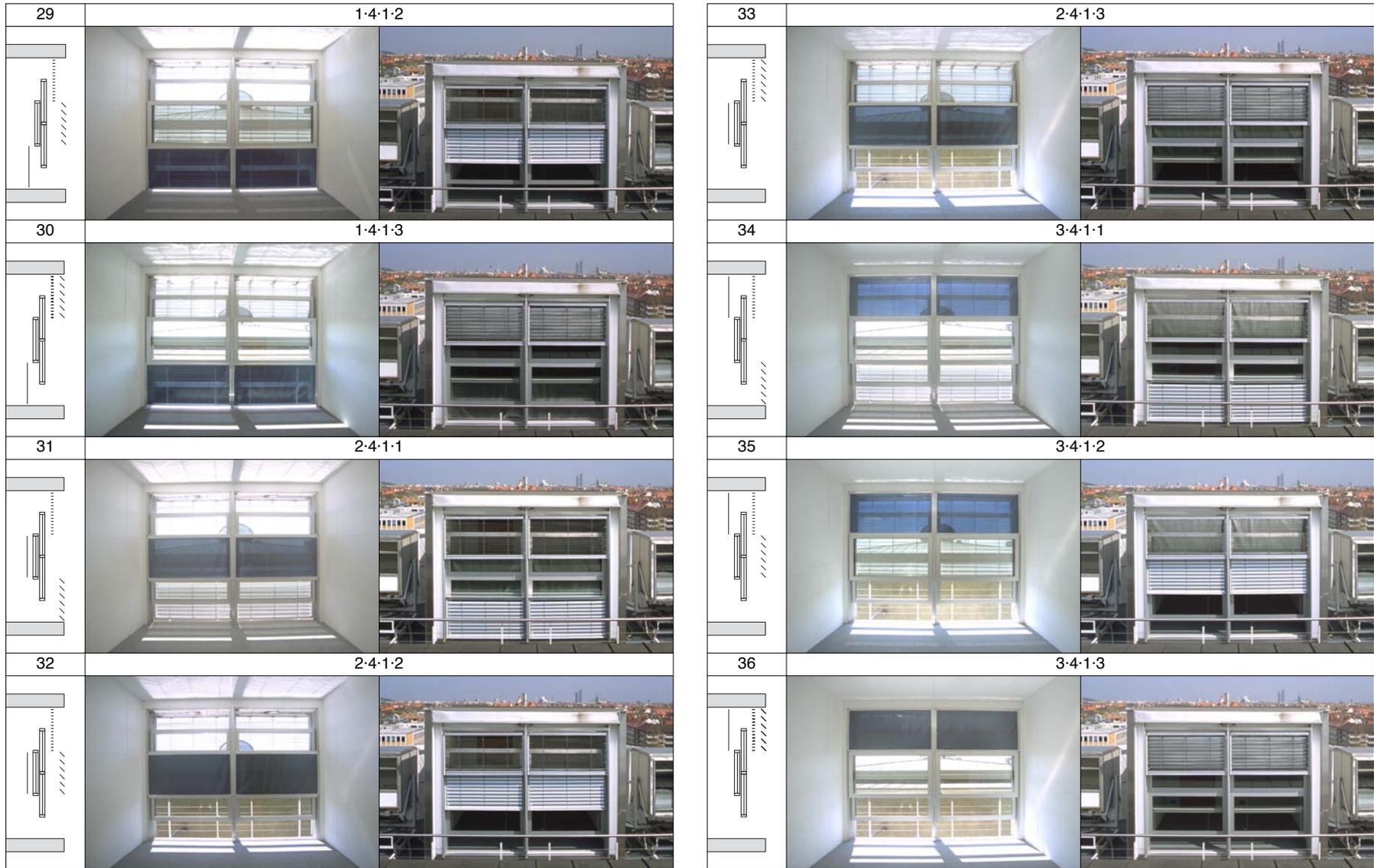


Abb. 7.24 Photographische Dokumentation der 36 Kombinationsmöglichkeiten: Schematische Schnittzeichnung / Innenraumaufnahme / Außenaufnahme (Teil 5: Kombinationen 29 - 36)

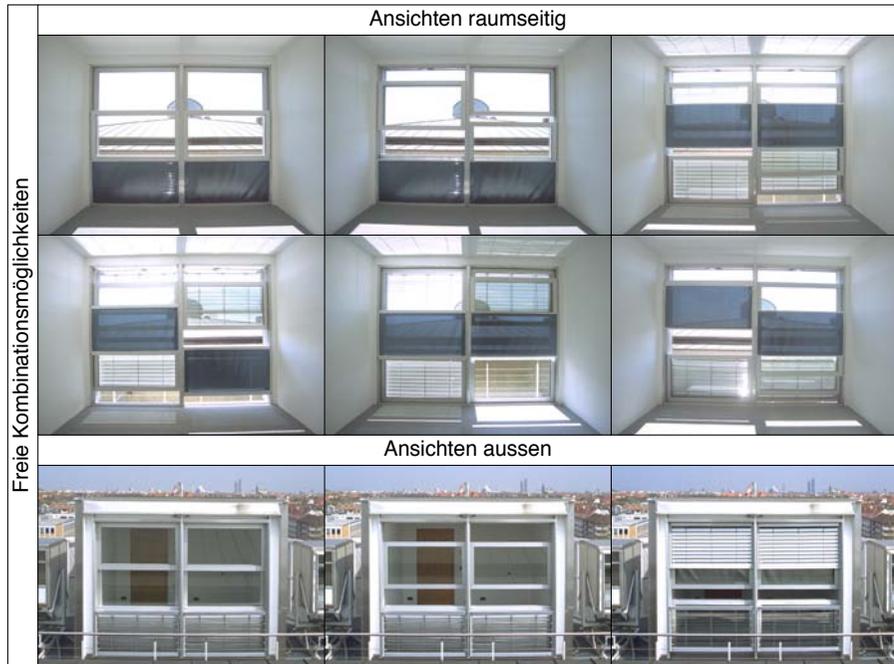
Überlagerung der einzelnen Schichten und die damit erzielbaren optischen Wirkungen. Durch den Bewegungsvorgang erfolgen die Überlagerungen der Flächen

stufenlos im Bereich des ganzen Fassadenfelds. Da es sich um ein Funktionsmodell handelt, können keine Aussagen über die gestalterischen Eigen-

schaften der Fassadenkonstruktion im Detail getroffen werden. Die bereits bei den Modellversuchen angedeutete Vielfalt des Erscheinungsbilds wird durch die

Photographien mit freien Kombinationen zusätzlich bestätigt.

Für die raumseitige Wirkung ist festzustellen, daß das offene Brü-



stungsfeld zunächst eher fremdartig wirkt. Durch das vertikale Verschieben der Komponenten werden die Zusammenhänge jedoch verständlich. Die Parkposition für die Komponenten zur Tageslichtnutzung im Brüstungsfeld zeigt ebenso wie die durch die Konstruktion bedingte mögliche Paketierung des Sonnenschutzes und der Tageslichtnutzung die grundsätzliche Möglichkeit der Erweiterung des Spektrums des Fassadensystems. Eine zusätzliche Erweiterung könnte dadurch erreicht werden, daß

Abb. 7.25 Photographische Dokumentation freier Kombinationsmöglichkeiten (Ansichten raumseitig und Ansichten außen)

der Blendschutz ähnlich wie der Sonnenschutz zusammengefahren werden kann. Hierzu ist ein aufrollbarer Blendschutz, dessen Rollmechanismus vertikal verschoben werden kann, denkbar. Die Folie wird dann je nach Bedarf ausgerollt.

#### 4.2 Konstruktive Aspekte

Die konstruktiven Aspekte werden bereits weiter oben im Zusammenhang mit der Entwicklung diskutiert. Der Einbau der Fassade zeigt für die beiden Aspekte

- Dichtigkeit

Abb. 7.26 Kombination 1111 (oben)  
Abb. 7.27 Mehrschichtiger Fassadenaufbau mit verschiedenen Komponenten, freie Kombination (unten)



#### - Seilführung

weiteren Entwicklungsbedarf im Hinblick auf eine prototypische Realisierung. Eine ausreichende Dichtigkeit ist mit versetzten Flügelebenen in geschlossenem Zustand nicht zu realisieren. Die in Teil 4 erwähnte Verwendung üblicher Profile von Drehkipfenstern für den Einsatz bei Vertikalschiebefenstern erscheint aussichtsreich. Als Lösungsansatz soll der in einer ersten Skizze (Abb. 7.06) zu Beginn der Entwicklung geäußerte Vorschlag wieder aufgegriffen und um eine doppelt verkröpfte Führungsnut für die Bewegung des mittleren Flügels nach unten ergänzt und auf dieser Basis mit einem Systemhersteller vor allem bezüglich der seitlichen Führungsschienen für den mittleren Flügel diskutiert werden.

Bei versetzten Bewegungsebenen muß die Seilführung außerhalb der Flügelprofile im Bereich von vertikalen Fassadenprofilen erfolgen, in denen auch die Gewichte geführt werden können. Die in Teil 4 gezeigten Lösungen müssen um die Seilführung und die Gewichte für den dritten Flügel ergänzt werden. Der Gewichtsausgleich des Blendschutzes ist für eine dauerhafte Nutzung nur bedingt anwendbar und bedarf einer Modifikation. Vorstellbar ist die Abhängung des Blendschutzes an einem dünnen, auf Zug beanspruchten Material, das im oberen Bereich ähnlich wie ein Rollo auf einer mit Federmechanismus ausgestatteten Rolle aufgewickelt wird.

### 4.3 Reagibilität

Die sich stetig verändernden Außenbedingungen führen ohne eine Reaktion der Fassade zu einem Spektrum an verschiedenen Innenraumbedingungen. Die Anpassungsfähigkeit des Fassadensystems zeigt sich analog zu den Modellaufnahmen. Das Wirkungsprinzip ist durch die Verwendung realitätsnaher Materialien gut erkennbar.

Die Möglichkeiten der gezielten Beeinflussung der Durchlässigkeit der Fassade teilen sich dem Nutzer unmittelbar mit - entsprechend der Forderung, daß technische Systeme für den Nutzer verständlich sein müssen. Die Reagibilität als grundlegende Eigenschaft des Fassadensystems ist für den Nutzer unmittelbar erkennbar.<sup>19</sup>

## 5 Zusammenfassung

Bereits die Entwicklung des Fassadensystems zeigt die kritischen Punkte des Mechanismus, vor allem im Bereich der Dichtigkeit. Die Anfertigung in der Metallwerkstatt des Technischen Zentrums erfolgt im Hinblick auf die zu untersuchenden Aspekte der Reagibilität, Mehrschichtigkeit und Lüftungseigen-

Abb. 7.28 Mehrschichtiger Fassadenaufbau (von innen nach außen):

- Blendschutz (hinter unterem Flügel)
- Fenster in zwei Ebenen (mittleres nach oben geschoben)
- Sonnenschutz (in unterer Position)
- Tageslichtnutzung (am oberen Bildrand ansatzweise zu sehen)



schaften des Fassadensystems. Die Dichtungsproblematik kann nur durch aufwendige Entwicklungsarbeit in enger Zusammenarbeit mit einem Fassadenhersteller zufriedenstellend gelöst werden; gleiches gilt für den Bereich der Seilführung.

Durch das Funktionsmodell wird die Art der Handhabung überprüfbar und der Nachweis der Funktionalität des mehrschichtigen Fassadensystems mit vertikal verschieblichen Komponenten erbracht. Da es sich bei der eingebauten Modellfassade ausdrücklich nicht um ein Anschauungsmodell handelt, ist eine detaillierte optische Beurteilung der Fassadenkonstruktion nicht zufriedenstellend möglich. Für eine solche Umsetzung wäre es notwendig, die Produktionstechnik, wie im Bereich des Industrial Designs üblich, in den Entwicklungsprozeß zu integrieren.

Die anwendungsbezogene Konstruktion einer Modellfassade im Maßstab 1:1 ermöglicht ein genaueres Verständnis des Bewegungsvorgangs und erlaubt grundsätzliche Aussagen zum Prinzip der Addition mehrerer funktionaler Schichten. Die verwendeten Materialien erlauben eine Kontrolle der Wirkung auf den Raum.

Die anhand der Modellstudien in Teil 6 gewonnen Erkenntnisse zur Reagibilität werden bestätigt: Die Fassade ist als System in der Lage, auf unterschiedliche Situationen und Anforderungen reagieren zu

können. Durch die Verwendung realitätsnaher Materialien und Oberflächen werden die optischen Effekte, die sich aus der Überlagerung der Komponenten der mehrschichtigen Fassade ergeben, sichtbar.

Der Einbau des Fassadensystems in der lehrstuhleigenen Station für Solarforschung zeigt neben den funktionalen Eigenschaften auch das gestalterische Potential, das die Anwendung des vertikalen Schiebemechanismus für alle beweglichen Komponenten der Fassade ermöglicht. Durch die Reaktion auf die sich ändernden äußeren Bedingungen ergibt sich - ähnlich wie bei dem in Teil 3 erwähnten Projekt 'Square Mozart' von Jean Prouvé - ein sich stetig änderndes Erscheinungsbild. Die Funktionalität der Fassade ist direkt ablesbar.



Abb. 7.29 Einfluß des mehrschichtigen Fassadenaufbaus mit vertikal verschieblichen Komponenten auf den Innenraum (freie Kombination)

## Anmerkungen

- 1 In den vergangenen Jahren wurde an der Fakultät für Architektur das neu gegründete Technische Zentrum für experimentelle Forschung und Entwicklungsarbeiten eingerichtet. In unmittelbarer Nähe zur Station für Solarforschung befinden sich um eine zentrale Montagehalle herum angeordnet Werkstätten für Holz, Aluminium, Stahl und Kunststoff. Hier können Komponenten und Teile hergestellt, montiert und verändert werden. Die Metallwerkstatt wird vom Lehrstuhl für Gebäudetechnologie betreut.  
Eine nähere Beschreibung der Station für Solarforschung findet sich in: Herzog, Thomas; Westenberger, Daniel: Station für Solarforschung. In: Detail 6/2002, S. 796-798
- 2 Tabelle, Definitionen und Werte übernommen aus Lang 2000 und Lang 2002.
- 3 Die Gesamtheit der zur Regelung der Sonneneinstrahlung verwendeten technischen Einrichtungen bezeichnet man mit dem Begriff 'Tageslichtsystem'. (VDI-Richtlinie 6011)
- 4 Direktes Sonnenlicht bleibt dabei unberücksichtigt. (DIN 5034-1)
- 5 In DIN EN 13125 (S. 3ff.) werden Manipulatoren (dort Abschlüsse genannt) bezogen auf die Luftdurchlässigkeit in fünf Klassen eingeteilt: Abschlüsse mit höchster, hoher, mittlerer, und geringer Luftdurchlässigkeit sowie luftdichte Abschlüsse.
- 6 In der Physik wird in strahlungsdurchlässig (transparent) und strahlungsundurchlässig (opak) unterschieden. Zur Erfassung des physiologischen (visuellen) Aspekts wird in der Architektur für lichtdurchlässige Flächen in durchsichtig (transparent) und durchscheinend (transluzent) unterschieden. (Herzog 1991, S. 73)
- 7 Köster 2000, S. 72ff.
- 8 Vor allem bei Bildschirmarbeitsplätzen treten Direktblendung, Hintergrundblendung und Reflexblendung auf. (Köster 1999, S. 99ff.)
- 9 Der Vollständigkeit halber sei darauf hingewiesen, daß es in bestimmten Situationen erforderlich sein kann, den Raum abdunkeln zu können. Dies kann beispielsweise in Kombination mit dem Sichtschutz oder auch über eine Regelung des Sonnenschutzes erfolgen, wenn dieser entsprechend ausgebildet ist (z.B. dicht schließende Lamellen).
- 10 Der Folientyp kam auch beim Umbau des Lehrstuhls für Bauklimatik und Haustechnik, Prof. Hausladen, zum Einsatz.
- 11 Diese Entscheidung erfolgt auch vor dem Hintergrund des oftmals anzutreffende Vorurteils gegenüber vertikalen Schiebemechanismen, bei dem dieser Bewegungstyp in der Regel mit den in Großbritannien traditionell verwendeten Holzfenstern gleichgesetzt wird. In der Tat ist bei diesen Fenstern die Verschieblichkeit häufig aufgrund unsachgemäßer Wartung und Unterhaltsmaßnahmen eher ungenügend.
- 12 Z.B. bei Fa. Gartner oder Fa. esco.
- 13 Als einflügelige Variante existiert diese Version bei SCHÜCO lediglich in Form von Konstruktionszeichnungen zu einem Verwaltungsgebäude in München, bei dem dann doch ein anderer Fenstertyp zur Anwendung kam.
- 14 SCHÜCO International KG, 33609 Bielefeld. Dr. Winfried Heusler, Direktion Technik und Integralfassaden (Bereitstellung des Materials, Profilsystem, Tageslichtnutzung, Blend- und Sonnenschutz und Freistellung von Mitarbeitern)  
SCHÜCO Projektbüro Deutschland Süd, 86637 Wertingen. Helmut Lemer und Jörg Labus (Zusammenarbeit bei der Entwicklung der Fassadenkonstruktion), Günther Riffel (Anfertigung der Fassadenelemente)
- 15 Kooperationspartner von SCHÜCO für Sonderbeschläge: esco Metallbausysteme GmbH, Dieselstraße 2, 71254 Ditzingen. Marco Zannini, Marc Biller (Zusammenarbeit bei der Entwicklung des Bewegungsmechanismus und Bereitstellung des Materials)
- 16 Lang 2000
- 17 Die Verglasung wurde freundlicherweise zur Verfügung gestellt von: INTERPANE Glasgesellschaft mbH & Co KG, 94447 Plattling.
- 18 Die Dokumentation der 36 Kombinationsmöglichkeiten erfolgt für den Innenraum mit einer Spiegelreflexkamera mit einem 18 mm-Objektiv. (Der Fisheye-Effekt ist erkennbar an der leichten Krümmung.) Für die Außenaufnahmen werden ein 28 mm-Objektiv und ein Shift-Objektiv eingesetzt. Zusätzlich wird die lehrstuhleigene Mittelformatkamera (4x6) mit Shift-Objektiv eingesetzt.
- 19 „Technik - und damit auch Bautechnik - muß, wo immer es geht, verständlich sein. Man sollte in dieser immer komplizierter und durch Fragmentarisierung und Miniaturisierung in immer mehr Bereichen des Lebens unverständlicher werdenden Welt bemüht sein, das Wesen der Dinge erkennbar zu machen.“ (Thomas Herzog in: Flagge et al. 2001, S. 22)

## Teil 8 Zusammenfassung und Ausblick

### Vorbemerkung

Ausgangspunkt der Betrachtung von vertikal verschieblichen Systemen sind die verschiedenen Anforderungen und Aufgabenbereiche von Öffnungen in der Gebäudehülle, die untereinander in Wechselbeziehungen stehen. Damit die Gebäudehülle auf Veränderungen reagieren kann, werden für die Regelung der Durchlässigkeit Manipulatoren eingesetzt, von denen Fenster als Öffnungsschließende Elemente die zentrale Funktion übernehmen. Die Öffnungsmöglichkeiten - und damit das Leistungsspektrum eines offenbaren Elements in der Gebäudehülle - wird durch den verwendeten Mechanismus bestimmt.

### 1 Vertikalschiebefenster

Vergleicht man die Bewegungsarten von Fenstern, so ergibt sich für Vertikalschiebefenster ein sehr günstiges Leistungsprofil. Zwei Aspekte sind besonders auffallend:

- Vertikalschiebefenster eignen sich sowohl für Stoßlüftung als auch für Spaltlüftung.
- Vertikalschiebefenster können sehr gut mit innen- und außenliegenden Manipulatoren kombiniert werden.

Da die Anwendung von Vertikalschiebefenstern mit der ausrei-

chenden Kenntnis dieses Fenstertyps zusammenhängt, werden in der vorliegenden Arbeit neben dem Leistungsspektrum auch prinzipielle Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt.

Dem Mehraufwand für die Konstruktion von vertikal verschieblichen Systemen steht die Summe der Vorteile gegenüber. Hervorzuheben sind neben den Lüftungseigenschaften (von Vertikalschiebefenstern) und den Kombinationsmöglichkeiten mit innen- und außenliegenden Manipulatoren vor allem die sich daraus grundsätzlich ergebenden Einsparpotentiale des Energieverbrauchs und die Verbesserung des Nutzerkomforts. Die Entwicklung des mehrschichtigen Fassadensystems mit vertikal verschieblichen Komponenten versucht, Fenster nicht als einzelnes Bauteil in eine Wand einzusetzen, sondern Fenster in Zusammenhang mit den anderen Komponenten zu einem leistungsfähigen System zu kombinieren.

### 2 Dreiflügeliges Vertikalschiebefenster

Durch die Anwendung des Bewegungsmechanismus auf das gesamte Fassadenfeld ergibt sich ein dreiflügeliges Vertikalschiebefenster. Der nach oben und unten verschiebliche mittlere Flügel erweitert den Einsatz als Lüftungselement. Die gleichzeitig auftretenden Probleme der Abdichtung der Flügel untereinander werden für die vorlie-

genden Untersuchungen als sekundär eingestuft, da sich das Problem durch doppelt verkröpfte Führungsnuten beheben läßt. Vorstellbar ist auch die Anwendung des Konzepts der mehrschichtigen Fassade unter Verwendung des vertikalen Schiebemechanismus in Kombination mit einem zweiteiligen Vertikalschiebefenster. Die reduzierten Lüftungsmöglichkeiten ließen sich eventuell durch Zuluftöffnung im Brüstungsbereich kompensieren, um den Aufwand für die Erweiterung der Öffnungsmöglichkeiten zu minimieren.

### 3 Kombination mit anderen Manipulatoren

Die Anwendung des vertikalen Schiebemechanismus für alle beweglichen Komponenten (Manipulatoren) ergibt ein Fassadensystem, bei dem eine unabhängige Regelung der Durchlässigkeit für die einzelnen Parameter möglich ist. Die Konzeption eines mehrschichtigen Fassadensystems bedeutet ein reagibles System. Durch die Kombinationsmöglichkeiten wird das Leistungsspektrum von Vertikalschiebefenstern erweitert.

### 4 Einbau der Testfassade in der Station für Solarforschung

Durch die anwendungsbezogene Konstruktion einer Modellfassade

im Maßstab 1:1 ist ein genaueres Verständnis des Bewegungsvorgangs möglich. Bereits in der Entwicklung des Fassadensystems zur realitätsnahen Anwendung zeigen sich die kritischen Punkte des Mechanismus, vor allem im Bereich der Dichtigkeit.

Die aufgestellte These, daß die Fassade durch die Anwendung des Bewegungsprinzips des vertikalen Schiebens für alle beweglichen Komponenten in der Lage ist, auf verschiedene Zustände reagieren zu können, wird durch die Untersuchungen anhand der Modellfassade im Maßstab 1:1 bestätigt. Durch den Einbau des Fassadensystems wird neben den funktionalen Eigenschaften auch das gestalterische Potential angedeutet, das sich durch den vertikalen Schiebemechanismus ergibt.

### 5 Weitere experimentelle Untersuchungen

Da die Station für Solarforschung bisher nur für optische und thermische Messungen eingesetzt wurde und an der Fakultät für Architektur Meßeinrichtungen und entsprechende Experimentiermöglichkeiten zum Bereich der natürlichen Lüftung sich erst im Aufbau befinden, können im Rahmen der vorliegenden Arbeit keine weiteren Aussagen zu den Lüftungseigenschaften des Fassadensystems getroffen werden.

Im Anschluß an die vorliegende Arbeit soll die mehrschichtige Fassade mit vertikal verschieblichen Komponenten in der Meßeinrichtung zu weiterführenden Fragestellungen im Zusammenhang mit natürlicher Lüftung für lehrstuhlübergreifende Arbeiten des Lehrstuhls für Bauklimatik und Haustechnik verwendet werden. Die Realisierung der Modellfassade im Maßstab 1:1 und die zu einigen Punkten aufgeführten Fragestellungen und Lösungsansätze bieten hierfür den Ausgangspunkt.

## **6 Weiterführendes Ziel**

Die im Zusammenhang mit der Entwicklung und der Anfertigung des Fassadenmodells nicht berücksichtigten Teilaspekte und Problemstellungen können nur durch das Know-how und die Einbringung von Erfahrung eines Fassadenherstellers bewältigt werden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit können daher als Aufgabenstellung für die Entwicklung eines Fassadensystems mit vertikal verschieblichen Komponenten bis zur Marktreife verstanden werden. Ein weiterführender Ansatz ist außerdem die mögliche Entwicklung eines Baukastensystems für Fassaden auf der Basis des vertikalen Schiebemechanismus.

Aus einer Vielzahl von unterschiedlichen, aufeinander abgestimmten Komponenten könnten individuelle

Fassadenlösungen zusammengestellt werden. Die Zahl der Ebenen könnte je nach Anwendungsfall ebenso festgelegt werden, wie die Ausbildung der einzelnen Elemente. Das System ließe sich an verschiedene Achsmaße und Höhen in der Fassade anpassen. Durch die Erfassung der jeweiligen Situation in einer Tabelle (Ort / Nutzung / Ausrichtung der Fassaden / Haustechnik / Lüftungskonzept / Belichtungskonzept / Steuerbarkeit der Komponenten / Vorschriften, Vorgaben / Gestaltung / Material / etc.) könnten dann die Möglichkeiten für den Schichtaufbau und die Ausbildung der einzelnen Elemente entnommen werden.

**Anhang 1  
Anwendung von Vertikalschiebe-  
fenstern (Auswahl)**



Abb. A1.01 Amsterdam NL



Abb. A1.04 London UK



Abb. A1.07 Cambridge UK



Abb. A1.02 Rye, Kent UK



Abb. A1.05 London UK



Abb. A1.08 London UK

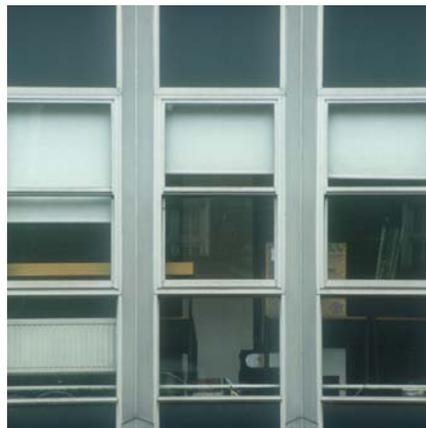


Abb. A1.03 London UK



Abb. A1.06 London UK



Abb. A1.09 London UK

**Anhang 2**  
**Dokumentation des mehrschichtigen Fassadenaufbaus mit vertikal verschieblichen Manipulatoren**

Auf den folgenden Seiten wird die für die realitätsnahe Anwendung im Maßstab 1:1 entwickelte Konstruktion des Fassadensystems durch Zeichnungen in verschiedenen Maßstäben dokumentiert.

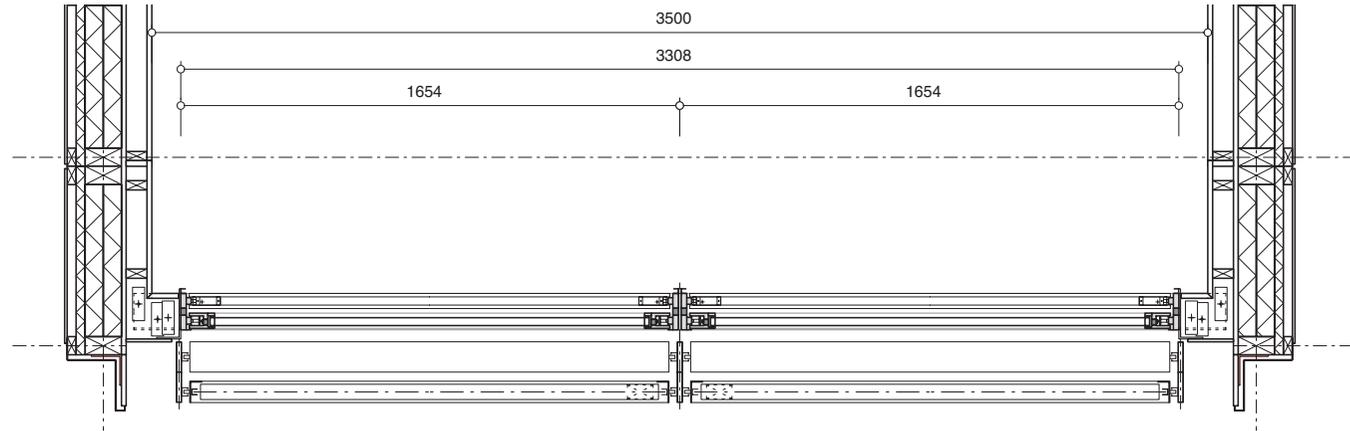


Abb. A2.01 Grundriß Meßbox, M. 1:25 Horizontalschnitt auf Höhe des oberen Fensters

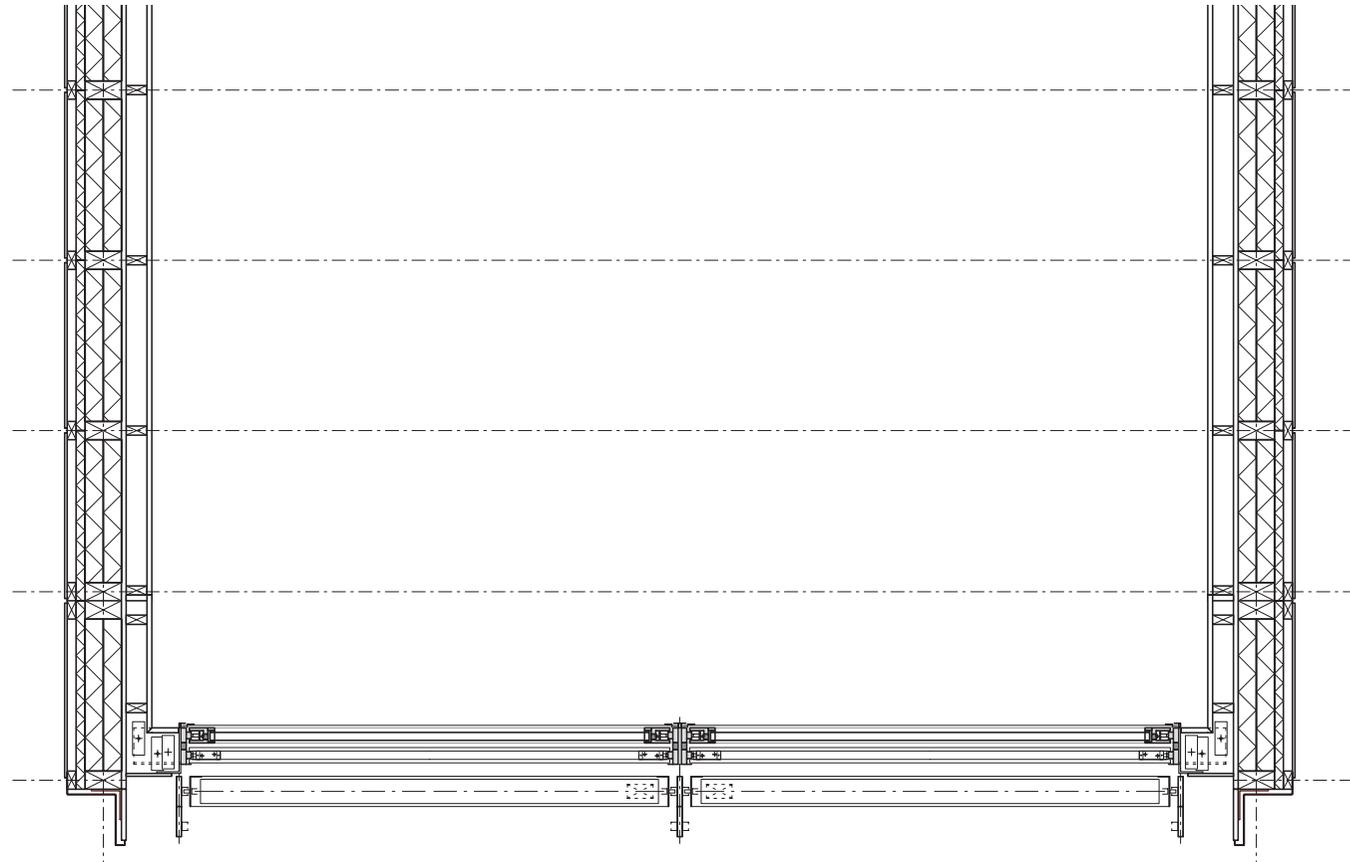


Abb. A2.02 Grundriß Meßbox, M. 1:25 Horizontalschnitt auf Höhe des mittleren Fensters

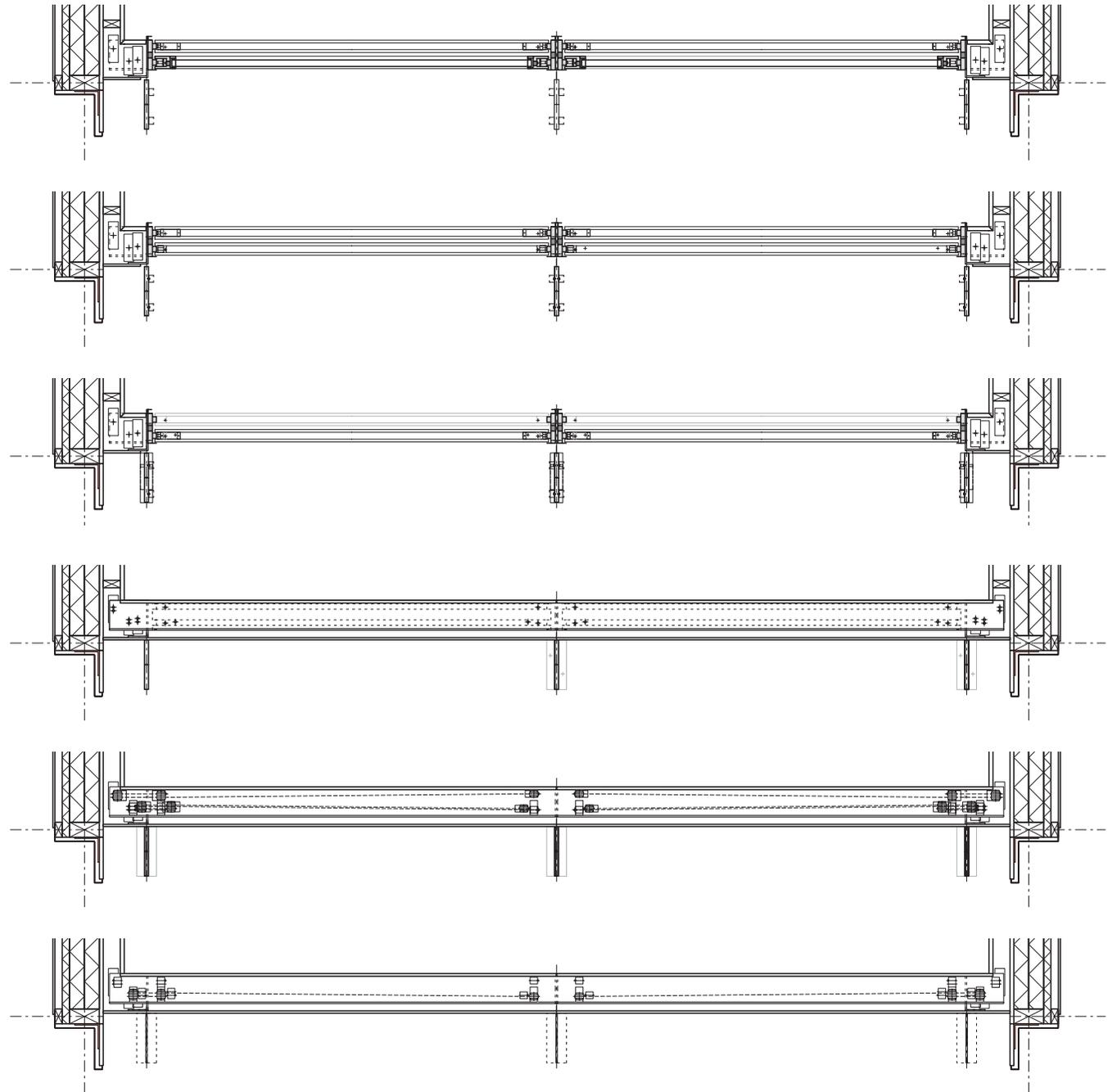


Abb. A2.03 Horizontalschnitte (M. 1:25):

- Fenster unten
- Fenster mitte (ohne Blendschutz, Sonnenschutz und Tageslichtnutzung)
- Fenster oben (ohne Blendschutz, Sonnenschutz und Tageslichtnutzung)
- Seildurchführungen in L-Profil im Sturz-bereich
- Anordnung der Rollen auf L-Profil
- Anordnung der aufgeständerten Rollen

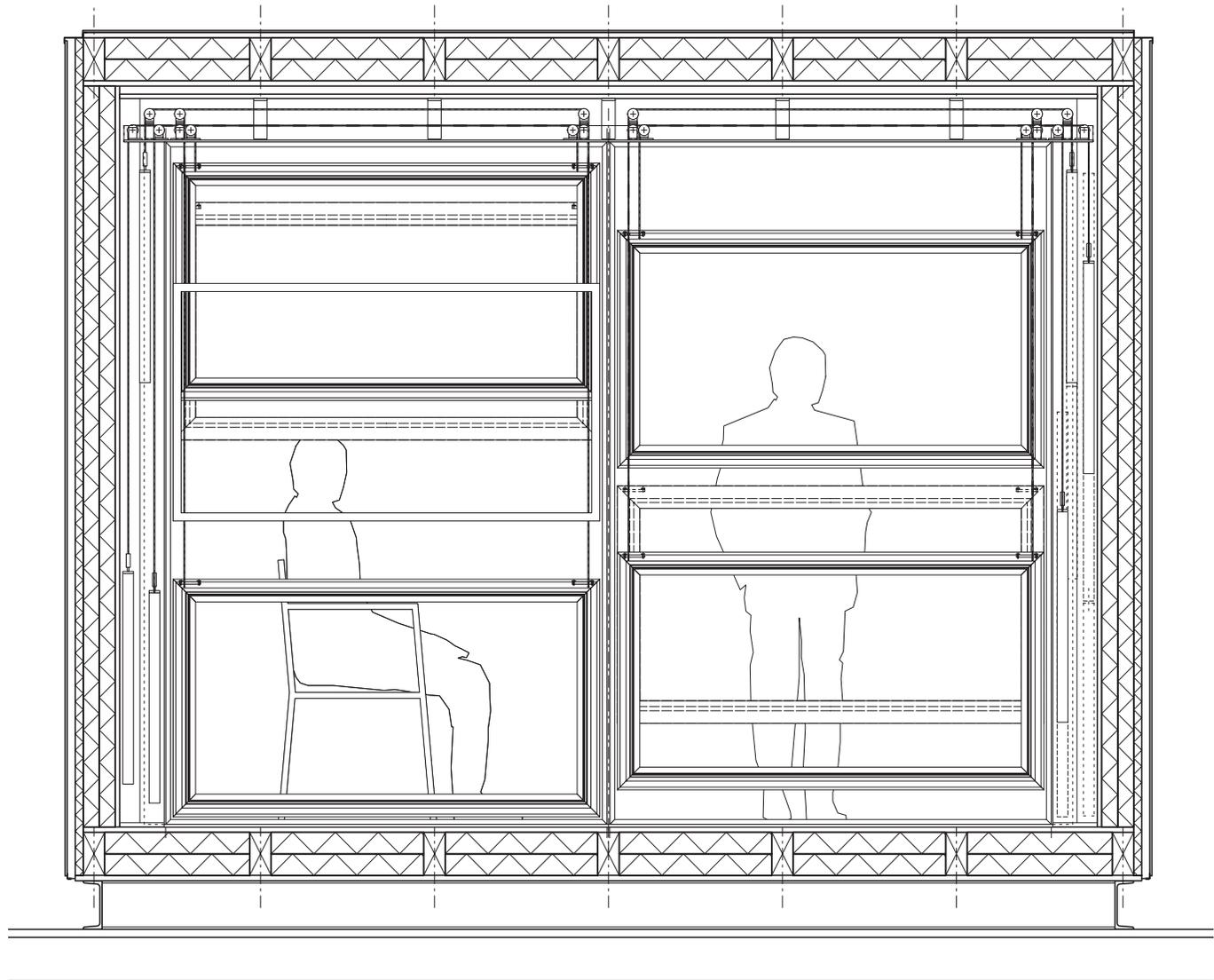


Abb. A2.04 Vertikalschnitt längs durch Südfassade, M. 1:25 (freie Anordnung der Fenster, teilweise in geöffneter Position)

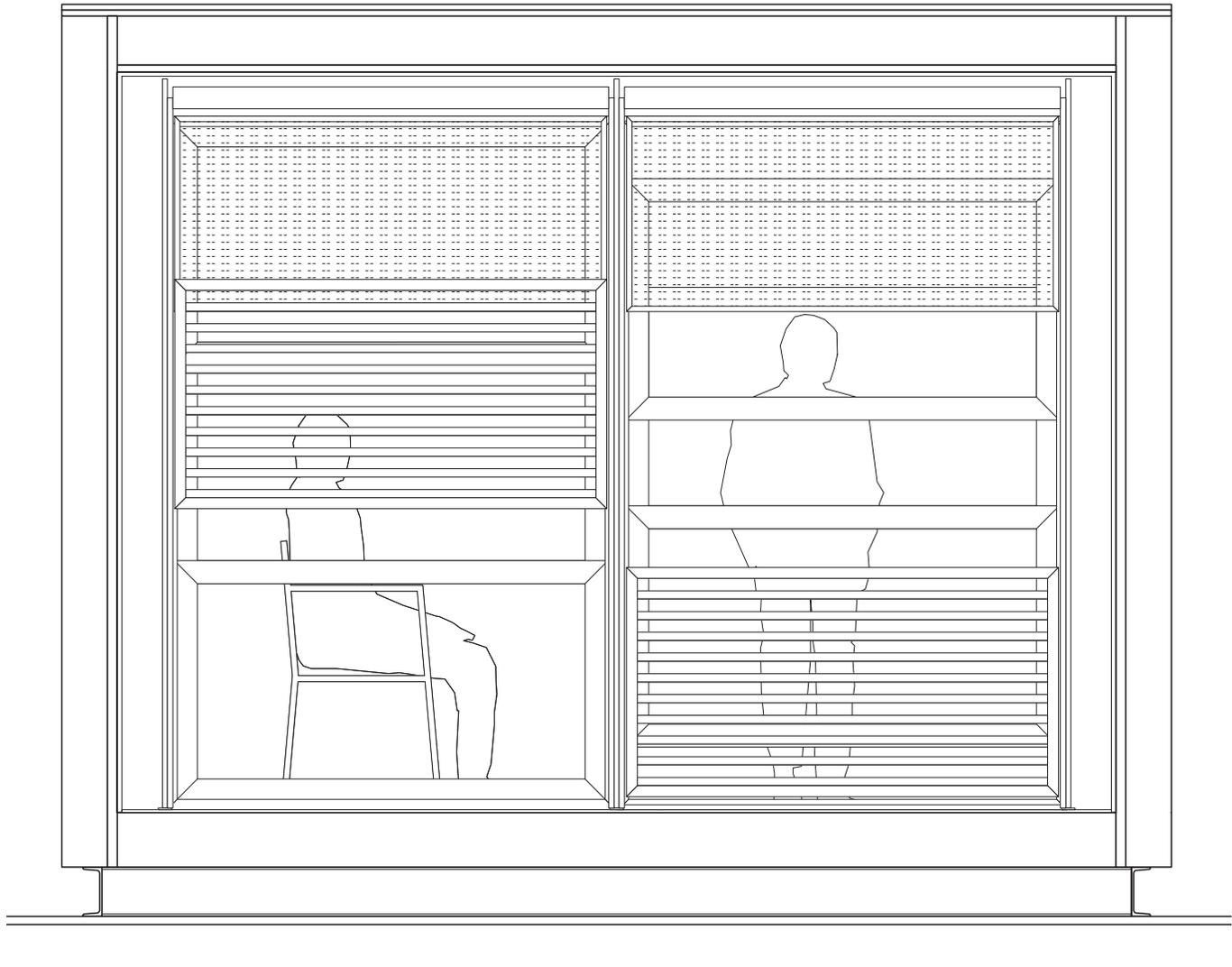


Abb. A2.05 Ansicht Süd, M. 1:25 (freie Anordnung der einzelnen Komponenten)

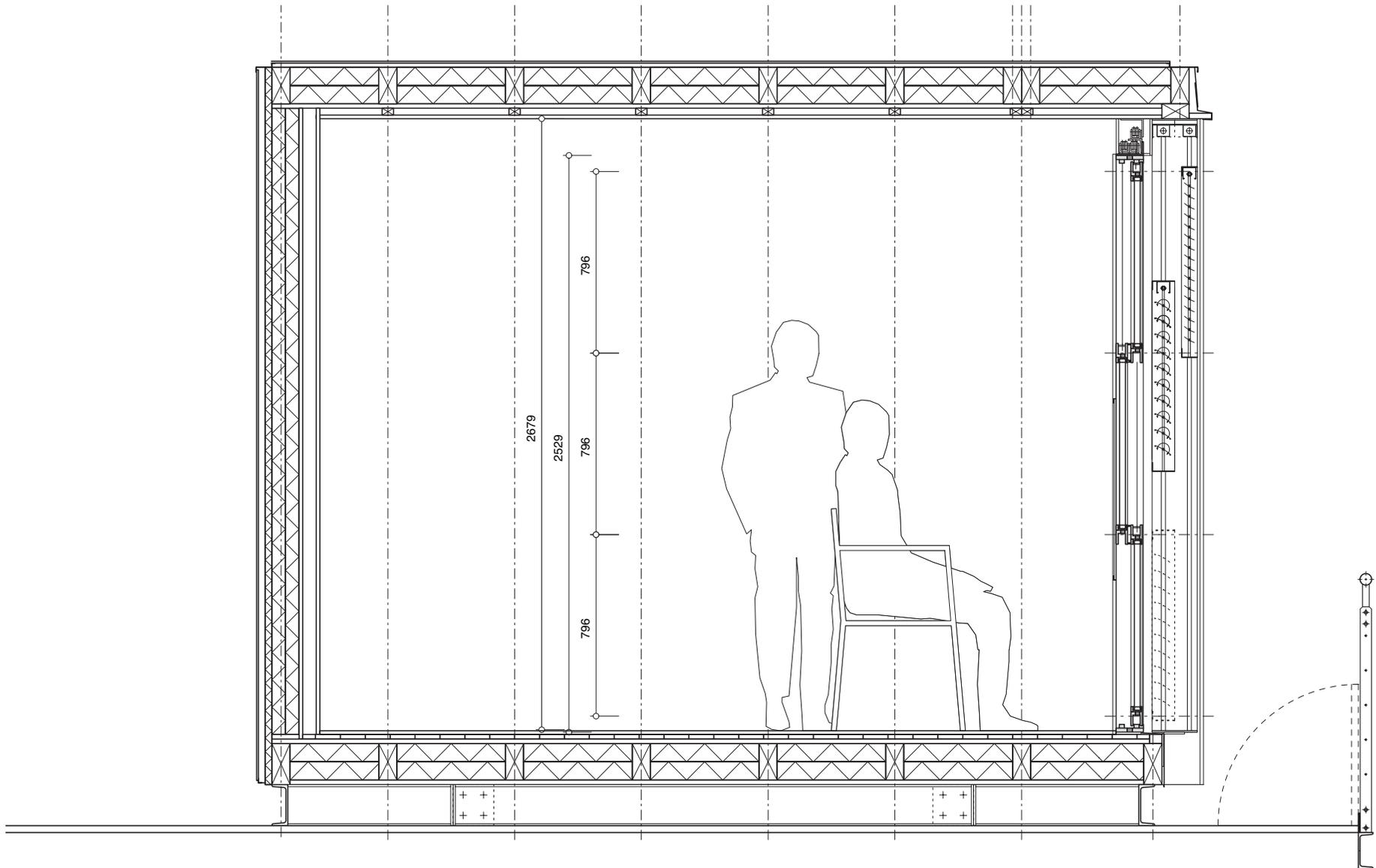


Abb. A2.06 Vertikalschnitt quer zur Südfassade: Schnitt durch Fensterfeld, M. 1:25 (freie Anordnung von Blendschutz und Sonnenschutz, Tageslichtnutzung in Position (1), Fenster in geschlossener Position)

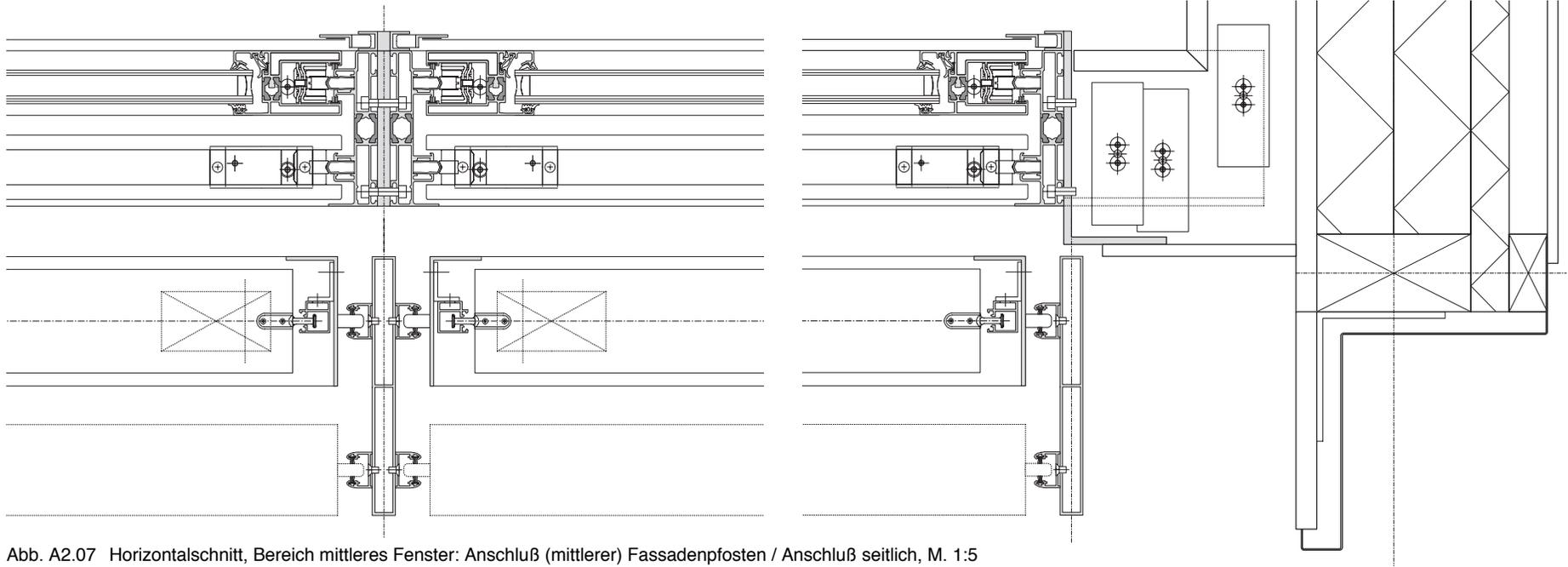


Abb. A2.07 Horizontalschnitt, Bereich mittleres Fenster: Anschluß (mittlerer) Fassadenpfosten / Anschluß seitlich, M. 1:5

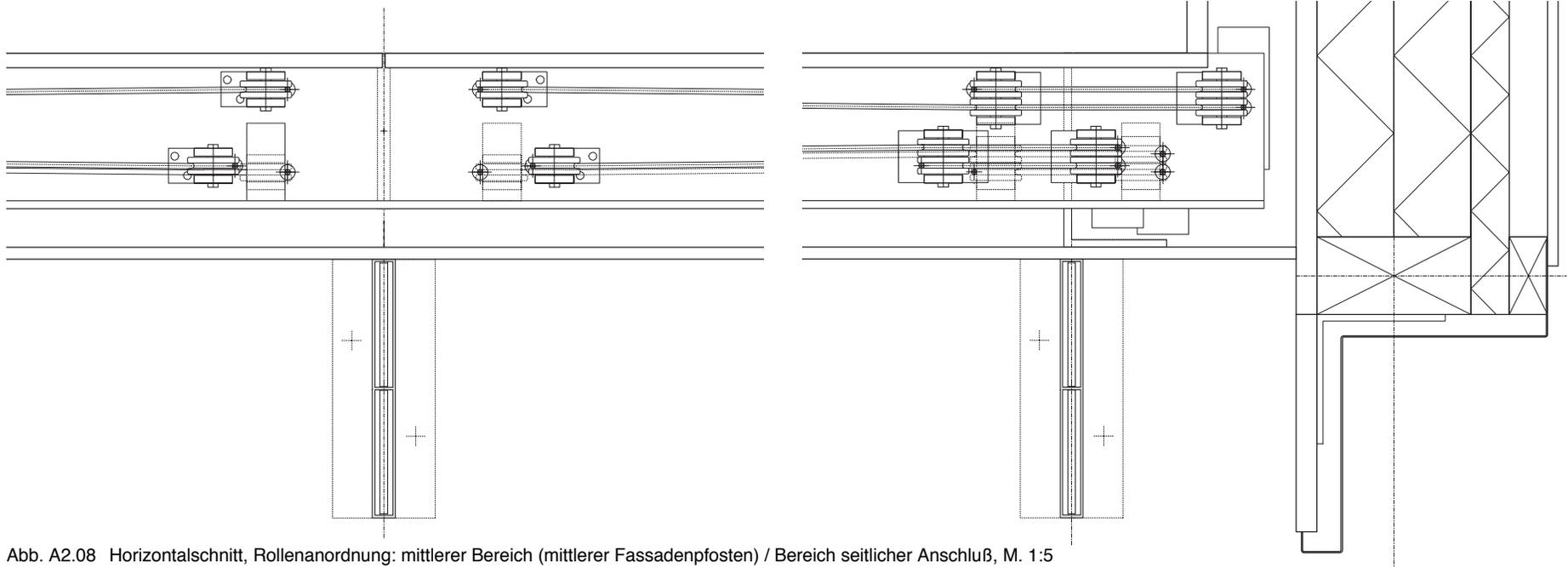


Abb. A2.08 Horizontalschnitt, Rollenordnung: mittlerer Bereich (mittlerer Fassadenpfosten) / Bereich seitlicher Anschluß, M. 1:5

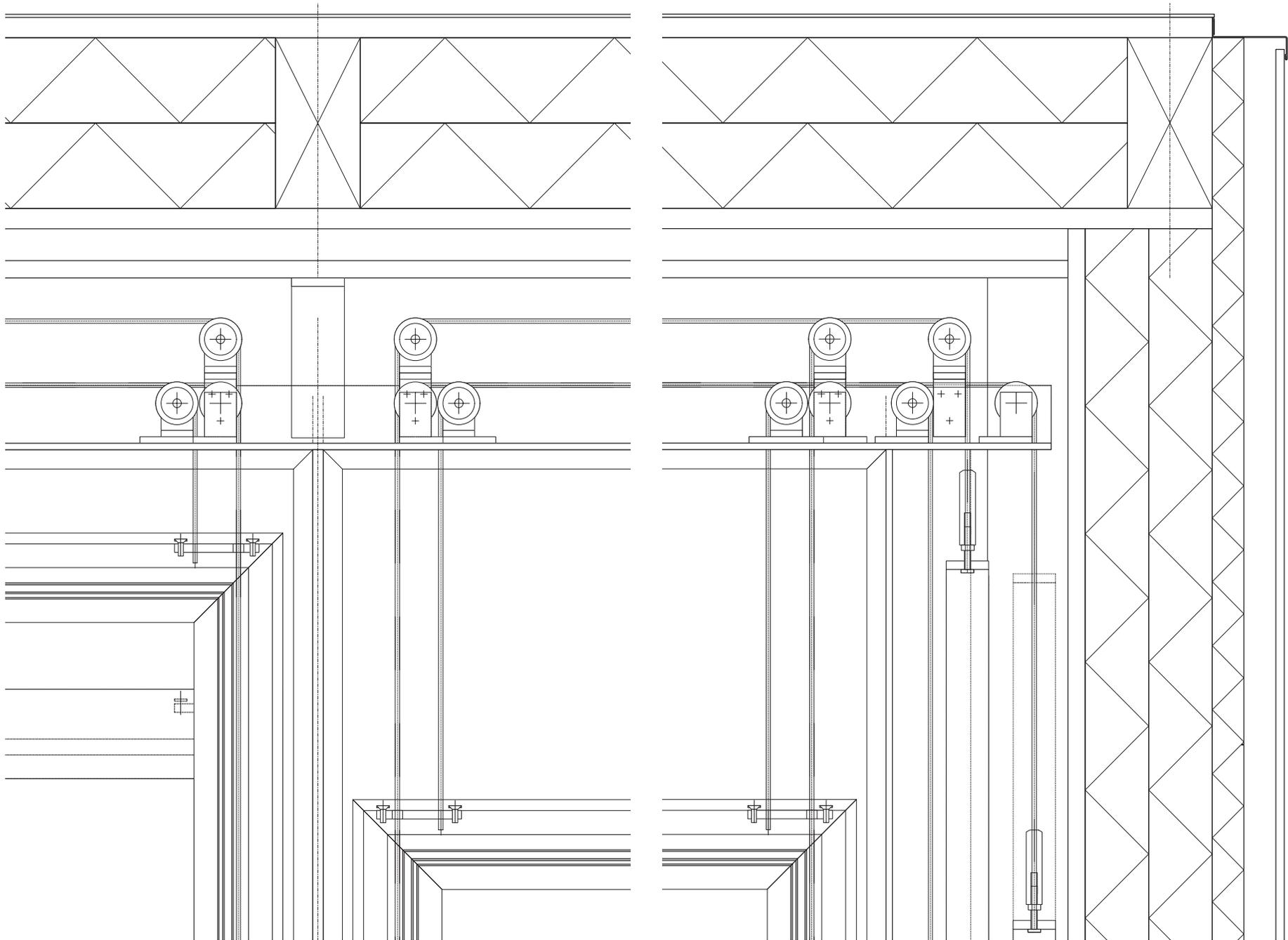


Abb. A2.09 Vertikalschnitt längs, Anschluß oben / Rollensystem: Anschluß (mittlerer) Fassadenpfosten / Anschluß seitlich, M. 1:5

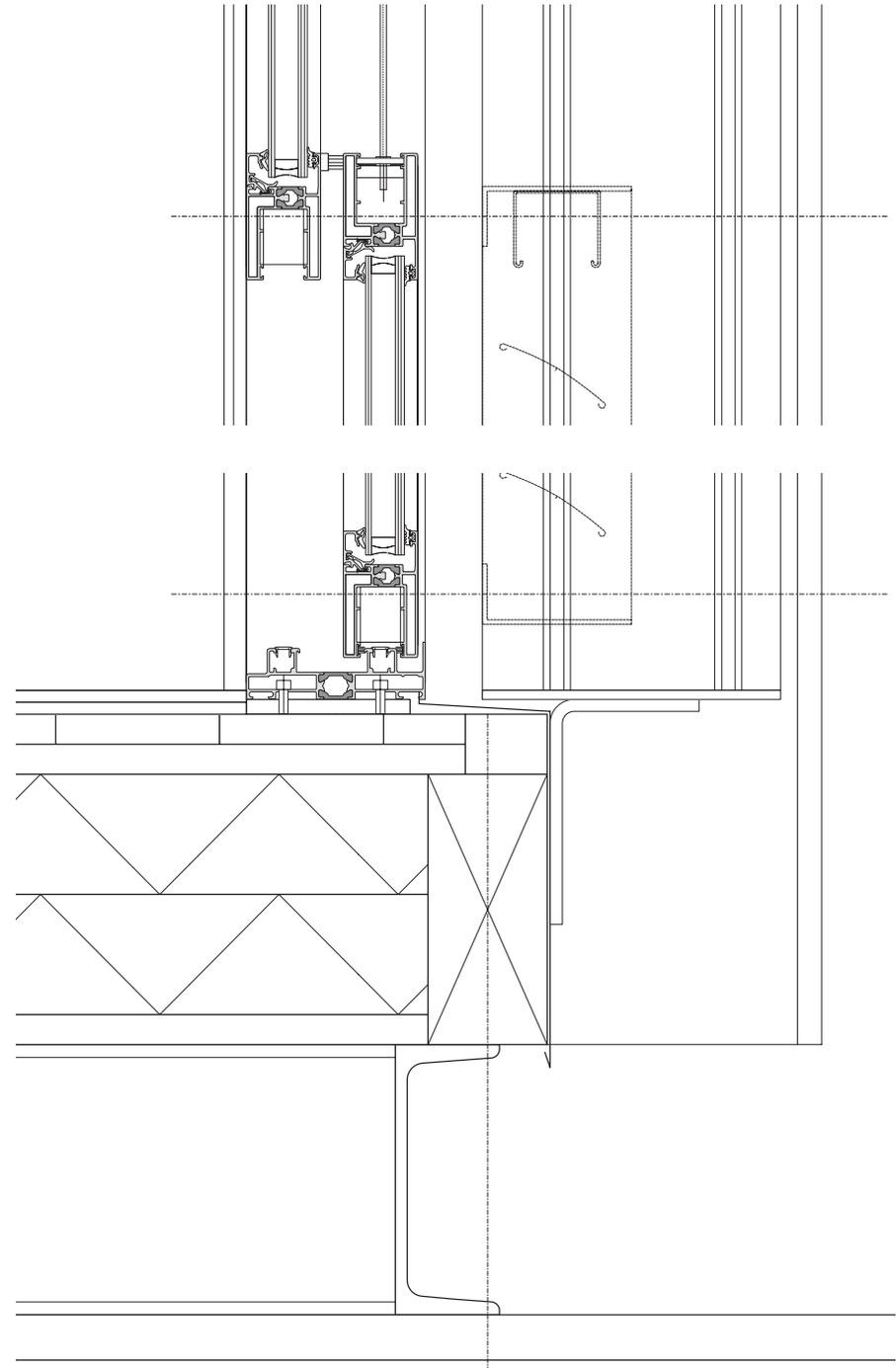
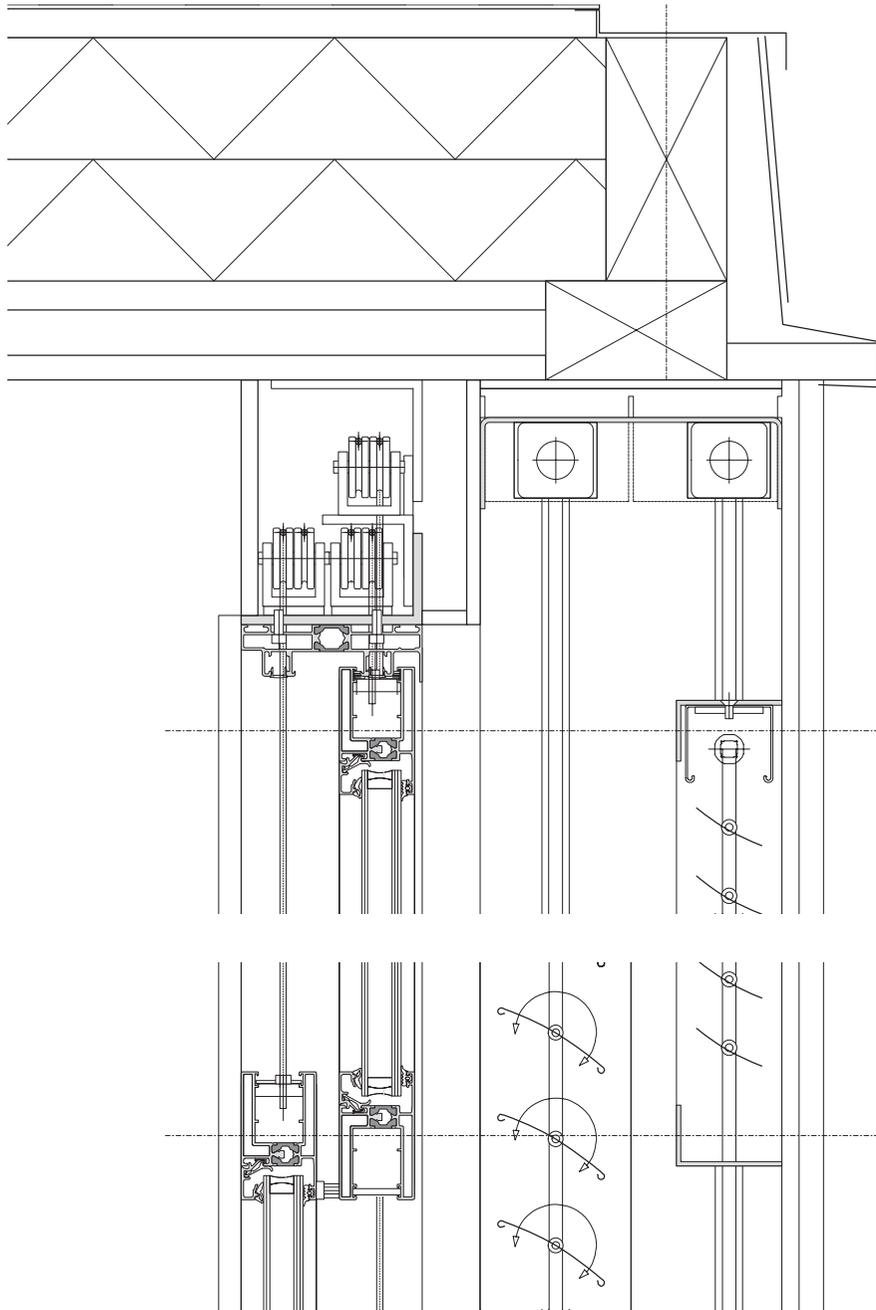


Abb. A2.10 Vertikalschnitt: Anschluß oben/Sturzbereich (links oben); Schnittpunkt Fenster oben/Fenster mitte (links unten); Schnittpunkt Fenster mitte/Fenster unten (rechts oben); Anschluß unten/Sockelbereich (rechts unten), M. 1:5

### Anhang 3 Zur Verwendung des Begriffs 'Fenster'

Wie in Teil 1 erwähnt, wird der Begriff 'Fenster' in der Literatur unterschiedlich und im allgemeinen Sprachgebrauch trotz der Bedeutung der Funktion nicht einheitlich verwendet. In Ergänzung zu Teil 1 erfolgt daher im folgenden Kapitel eine Zusammenstellung der verschiedenen Aussagen, aus denen die Definition - zumindest für die Verwendung im Rahmen dieser Arbeit - abgeleitet wurde.

Zusätzlich werden die in Teil 1 genannten Kriterien für eine Auswahl denkbarer Fälle angewandt.

Im Reallexikon zur Deutschen Kunstgeschichte (RDK) wird darauf hingewiesen, daß das Wort Fenster auch für die eigentlichen Elemente des Fensters verwendet wird, so für Fensteröffnung, Fensterrahmen oder Fensterverschluß. <sup>1</sup>

In Wasmuths Lexikon der Baukunst wird Fenster definiert als „1. eine Wandöffnung in Gebäuden, durch die den Räumen Licht zugeführt wird und die in der Regel einen verglasten Abschluß erhält, der meist so eingerichtet ist, daß er eine Regelung des Luftdurchlasses gestattet und nach innen oder außen zu öffnen ist; - 2. dann auch dieser Abschluß selbst, der aus Rahmen und den in sie eingesetzten lichtdurchlässigen Scheiben besteht.“ <sup>2</sup>

Die Aussage im RDK betont die gestalterischen Aspekte: „Die Fenster sind Architekturelemente, die durch ihre Anordnung, Größe, Proportion und Durchbildung die Erscheinung von Baukörpern und Räumen entscheidend mitbestimmen können. Räume werden von den Fenstern in doppelter Weise geprägt; durch die Fenster als Teil der Wandgliederung und durch das Licht, das durch die Anordnung und Größe der Fenster und durch die Art ihres Verschlusses bestimmt wird. (...) Fenster sind in der Regel durch einen Fensterverschluß abgeschlossen, doch ist dies nicht erforderlich, um eine Öffnung als Fenster zu charakterisieren.“ <sup>3</sup>

#### **Wandöffnung für Licht und Luft**

Mit Fenster bezeichnet man einerseits Öffnungen in der Wand, welche die primäre Funktion haben, den Innenraum mit (Tages-) Licht und Luft zu versorgen. Beides ist für die Nutzung des Raumes durch den Menschen erforderlich. In der Regel ermöglicht das Fenster auch eine Sichtverbindung von innen nach außen. <sup>4</sup>

#### **Bauteil zum Abschluß einer Wandöffnung**

Andererseits wird der Begriff Fenster auch für ein „Bauteil zum Abschluß einer Wandöffnung, die zur Belichtung und eventuell auch zur Belüftung dient“, verwendet. <sup>5</sup> Dieser Abschluß wird auch Fensterverschluß genannt. Er besteht in der Regel aus einem Flügelrahmen (Gerähme) als Halterung für

den lichtdurchlässigen Abschluß des Fensters, den notwendigen Beschlägen und dem lichtdurchlässigen Fensterabschluß. <sup>6</sup>

Da das hierfür verwendete Material in der Regel Glas ist, spricht man bei einem Fenster von der Verglasung. Es können aber auch andere Materialien zur Anwendung kommen (z.B. Kunststoff). <sup>7</sup>

Fenster sind also „öffnungsschließende“ Bauelemente. <sup>8</sup> Die Funktionen Belichtung und Belüftung können selbstverständlich auch getrennt voneinander erreicht werden. Die einfachste Form stellt eine Festverglasung mit einem separaten (opaken) Lüftungsflügel dar. <sup>9</sup>

#### **Großflächig verglaste Fassaden**

Die Definitionen des Begriffs Fenster beziehen sich in der Regel auf einen opaken Wandaufbau mit eingesetzten Öffnungen (Lochfassaden). Für Fassaden mit einem großen Anteil an verglasteter Fläche finden sich widersprüchliche Definitionen. Es ist daher naheliegend, abweichend zu Brockhaus, den Begriff Fenster auch auf moderne Bauweisen im Bereich der Fassaden zu übertragen. <sup>10, 11, 12</sup>

Mit dem Aufkommen von großflächig verglasten Fassaden (z.B. Gewächshäuser) im 18. Jahrhundert und der Errichtung von Bauwerken wie dem Kristallpalast in London, 1851, oder dem Glaspalast in München, 1854, vollzieht sich ein Übergang vom Fenster als transparentes Element in einer opaken Wand-

fläche zum transparenten Fenster als Öffnungselement in einer großflächig transparenten Fassade. <sup>13</sup> Der Eintrag von Licht erfolgt über die gesamte Fassadenfläche; zum Lüften werden bewegliche, in der Regel transparente Bauteile eingesetzt.

Bei der Anwendung des Begriffs der Öffnung für Fassaden, die vollständig verglast sind, ist man versucht, die ganze Fassadenfläche als Öffnung und damit auch als Fenster zu bezeichnen. Der Begriff der Öffnung läßt sich aber als relativer Begriff verwenden: Wenn sich in Relation zu benachbarten Bereichen die Eigenschaften der Durchlässigkeit für Energie- und Stoffströme ändern, ist die Fläche mit größerer Durchlässigkeit eine Öffnung im Verhältnis zu der benachbarten Fläche (mit geringerer Durchlässigkeit).

Für Bereiche unter- und oberhalb des Fensters finden sich die Begriffe Unter- und Oberlicht, die darauf verweisen, daß zwar ein Lichteintrag, jedoch nicht unbedingt ein Luftaustausch stattfindet. <sup>14</sup> Werden diese beweglich ausgebildet, wird der Begriff mit einem Zusatz versehen, aus dem die Beweglichkeit hervorgeht (z.B. Oberlichtflügel) oder der Begriff Fenster wird entsprechend ergänzt (z.B. Fenster im Brüstungsbereich).

Ein geschoßhohes Fenster wird auch als Fenstertür bezeichnet, wobei meistens auch tatsächlich ein

Durchgang von Personen (z.B. auf einen Balkon) möglich ist. <sup>15, 16, 17</sup>

### **Nichtbewegliche lichtdurchlässige Flächen**

Für nichtbewegliche, lichtdurchlässige Flächen in einer Öffnung findet sich die Unterscheidung in Fixverglasung und 'fixiertes Fenster'. <sup>18</sup> Fixverglasung bezeichnet einen dauerhaft in eine Öffnung eingesetzten lichtdurchlässigen Abschluß. <sup>19</sup> Eine Bewegung ist nicht möglich. Das fixierte Fenster (der fixierte Fensterflügel) gleicht in seinem konstruktiven Aufbau einem Fenster mit einem lichtdurchlässigen Abschluß in einem (Flügel-) Rahmen, der an einem umlaufenden Rahmen angeschlagen ist. Bei einem fixierten Fenster ist jedoch keine Bewegung möglich. Der in einen Rahmen eingesetzte Flügel erlaubt jedoch den temporären Ausbau (z.B. für Reinigungszwecke).

### **Relation zum Nutzer**

Die Verwendung von 'Fenster' bezieht sich in erster Linie auf die Funktionen und steht immer auch in Relation zum Benutzer: Für bewegliche lichtdurchlässige Bauteile kann 'Fenster' nur bis zu einer bestimmten Größe angewandt werden. <sup>20</sup>

Dieses allgemeine Verständnis steht auch im Zusammenhang mit der baukonstruktiven Entwicklung. Fensterflügel sind sowohl von der Betätigung (Gebrauch) als auch von der Herstellung in ihrer Dimension begrenzt.

### **Beispielhafte Anwendung der Definition**

Im Sinne der Definition gilt für folgende Fälle (Auswahl):

- Öffnung in opaker Wandfläche: Wenn kein zusätzlicher Abschluß vorhanden ist, liegt eine Öffnung einfachster Art vor, welche die primären Funktionen eines Fensters erfüllt (Versorgung des Raums mit Licht und Luft). Aufgrund des nicht vorhandenen Abschlusses handelt es sich bei einem um eine licht- und luftdurchlässige Wandöffnung.

- Öffnung in opaker Wandfläche mit beweglichem, opaken Abschluß: Für den Fall, daß die Öffnung für den Eintrag von Tageslicht in der Regel geöffnet ist, und der Abschluß zum Beispiel nur nachts geschlossen wird, handelt es sich um eine licht- und luftdurchlässige Wandöffnung mit einem opaken Abschluß. Wenn der bewegliche Abschluß nur zum Lüften geöffnet wird, handelt es sich um eine Lüftungsöffnung.

- Feststehende lichtdurchlässige Öffnung in opaker Wandfläche: Diese kann als Fixverglasung bezeichnet werden (siehe oben 'fixiertes Fenster'). Der Begriff Verglasung ist jedoch etwas irreführend, da neben Glas auch andere lichtdurchlässige Materialien zum Einsatz kommen können (siehe oben).

- Geschoßhohe Glasfassade mit lichtdurchlässigen beweglichen Elementen: Der bewegliche lichtdurchlässige Bereich stellt im Verhältnis

zur umliegenden verglasten Fassade eine Öffnung dar, da sich das Leistungsprofil ändert: Durch Öffnen wird ein Luftaustausch möglich. Der Bereich des beweglichen Bauteils ist ein Fenster, bestehend aus Fensterflügel und Fensterrahmen (oder einem angrenzenden Bauteil, das die Funktion eines Rahmens erfüllt).

- Geschoßhohe Glasfassade mit opaken Lüftungsflügeln: Die Funktionen eines Fensters werden zwar (getrennt) erfüllt, jedoch handelt es sich um eine Fassade mit Fixverglasung und Lüftungsflügel, also genau genommen um eine Fassade ohne Fenster.

Durch Zusätze kann der Begriff Fenster präziser und in gewisser Weise auch eingeschränkt angewandt werden, z.B. bedeutet Schaufenster, daß es sich um einen transparenten Abschluß einer Öffnung handelt, der nur der Sichtverbindung und nur in Ausnahmen der Lüftung dient.

Bei einem (gotischen) Kirchenfenster wird der Eintrag von Tageslicht von der Funktion der verglasten Fläche als Bildträger überlagert. Eine Sichtverbindung nach außen ist nicht gegeben. Die Versorgung des Kirchenraums mit Luft erfolgt im Bereich der großflächigen Verglasungen nur über kleine öffentbare Flächen. Dazu Klinkott: „Doch die so herrlich bemalten transparenten Flächen [Anm.: bei gotischen Kathedralen] sind ja eigentlich keine Fenster!“ <sup>21</sup>

### **Anmerkungen**

<sup>1</sup> Zentralinstitut für Kunstgeschichte München 1981, Band VII, Sp. 1255

<sup>2</sup> Wasmuth 1930, S. 433

<sup>3</sup> Zentralinstitut für Kunstgeschichte München 1981, Band VII, Sp. 1254

<sup>4</sup> Fenster: „Wandöffnung in Gebäuden, durch die den Räumen Licht zugeführt wird und die in der Regel einen verglasten Abschluß erhält, der meist so eingerichtet ist, daß er eine Regelung des Luftdurchlasses gestattet.“ (Wasmuth 1930, S. 433)

„Fenster: verglaste Wandöffnung zur Belichtung und Belüftung von Räumen“ (Lexikon der Technik, Band 1, S. 310)

Fenster: „althochdeutsch fenstar, von lateinisch fenestra; Öffnungen in einer Wand, die zur Belichtung und Belüftung eines geschlossenen Raumes dienen und eine Sichtverbindung zwischen Innen- und Außenraum herstellen.“ (Brockhaus 1996, Band 7, S. 199ff.)

Fenster: „(aus lat. fenestra) Lichtöffnung in Gebäuden, die meist gleichzeitig zur Lüftung dient.“ (dtv-Lexikon 1997, Band 5, S. 262)

Fenster: „meist verglaste Öffnung, die Licht (und Luft) in einen geschlossenen Raum dringen läßt.“ (Duden 1999, Band 3, S. 1203ff.)

Entsprechend ist auch der englische Begriff window definiert: „opening in the wall of a building for the admission of light and air“ (The New Encyclopaedia Britannica 1997, Band 12, S. 69; gleicher Wortlaut auch bei Collier's 1995, Band 23, S. 514)

Auch bei Webster's findet sich der Hinweis, daß der Eintrag von Licht nicht unbedingt gleichbedeutend mit Sichtverbindung ist: „window: an opening in a wall of a building to admit light usually through a transparent or translucent material (as

glass), usually to permit vision through the wall and often to admit air.“ (Webster's 1971, Band 3, S. 2620)

5 E DIN EN 12519, S. 15  
Fenster: „b) zum Verschließen der Fensteröffnung dienendes gerahmtes Glas“ (Duden 1999, Band 3, S. 1203ff.)

„Das Fenster wird in eine Öffnung am Bauwerk eingesetzt.“ (Klindt/Frehse 1984, S. 23)

„(...) dann auch dieser Abschluß selbst, der aus Rahmen und den in sie eingesetzten lichtdurchlässigen Scheiben besteht.“ (Wasmuth 1930, S. 433)

„Im Sinne seiner Wortbedeutung stellt das Fenster eine höherliegende Wandöffnung dar, die durch einen Fensterverschluß ihre gebräuchliche Funktion erhält, nämlich als verschließbare Öffnung zur Belichtung und / oder zur Belüftung.“ (Gerner/Gärtner 1996, S. 48)

Der englische Sprachgebrauch erfolgt analog: window: „b) the casement, sash with its fittings, or other framework that loses a window opening.“ (Webster's 1971, Band 3, S. 2620)

6 Neben der Betrachtung des Fensters als Bauteil, bestehend aus Rahmen und Flügel, gehören zum Fenster sowohl das Gewände und die Rahmenkonstruktion, in der sich der Fensterrahmen mit dem Fensterflügel befindet, sowie die mit dem Fensterverschluß eng verbundenen zusätzlichen Manipulatoren (Fensterläden, Vorhänge etc.). (Gerner/Gärtner 1996, S. 48)

7 Entsprechend ist auch die Definition für Verglasung formuliert, in der die funktionalen nicht aber die materiellen Eigenschaften beschrieben sind: „Verglasung: eine Füllung in einer Tür oder einem Fenster, welche Licht durchläßt, jedoch den Durchtritt von

Luft oder anderen Elementen verhindert.“ (DIN EN 12519, S. 8)

8 Dietze 1987, S. 18

9 Diese Trennung wurde zum Beispiel von Le Corbusier beim Kloster La Tourette, 1957, vorgenommen. Siehe dazu auch das in Abb. 1.07 gezeigte Projekt Zusatzversorgungskasse, Wiesbaden (Arch.: Herzog + Partner): Der Eintrag von Licht erfolgt durch eine feststehende Verglasung, der Luftaustausch erfolgt über automatisch gesteuerte Klappen in einem opaken Element, das sich zusätzlich manuell als Lüftungsflügel öffnen läßt.

10 „Bei der Verglasung ganzer Fassadenflächen spricht man nicht mehr von Fenstern, sondern von Glasfassaden.“ (Brockhaus 1996, Band 7 S. 199 ff.)

11 Window: „(...) In modern architecture (...) windows are often wall to wall and floor to ceiling, and frequently when the building is air-conditioned they no longer have opening sash members.“ (The New Encyclopaedia Britannica 1997, Band 12, S. 69)

12 „Fenster werden in der Form von Einzelfenstern, als Fensterbänder oder ganze Fensterwände geplant und eingebaut.“ (Klindt/Frehse 1984 S. 14)

13 „Lichtdurchlässige Wände sind Wände mit lichtdurchlässigen Flächen, die bis in die Nähe des Fußbodens reichen.“ (Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 8/4)

14 „Oberlicht: Kleinerer, oberer Abschnitt eines Fensters oder einer Tür, welcher geöffnet werden kann oder nicht.“ (E DIN EN 12519, S. 14) „Unterlichte: Unterer Bereich einer wandhohen Fensterkonstruktion.“ (E DIN EN 12519-Entwurf, S. 15)

15 „Fenstertür: Glastür mit Profilen ähnlich einem Fenster.“ (RWE Energie Bau-Handbuch 1994, S. 9/46)

16 Ist vor dem Fenster keine oder nur sehr kleine Austrittsfläche vorhanden, spricht man von einem 'französischen Fenster'. Dieser Begriff bezieht sich auf die in Frankreich sehr häufig anzutreffende Form des bis zum Boden reichenden Fensters ohne Balkon. Als Absturzsicherung sind außenliegende Balustraden oder Gitter angeordnet.

Bei Klinkott findet sich der Hinweis auf den Bautypus der Orangerie als Ursprung des bis zum Boden reichenden Fensters, bei dem die Pflanzenkübel im Erdgeschoß direkt ins Freie transportiert werden konnten. Als eine der ersten prägnanten Anwendungen nennt er den Schloßbau Grand Trianon im Park von Versailles, errichtet unter Ludwig XIV (Arch.: Jules Hardouin-Mansart). Die Verbreitung des französischen Fensters erfolgte ähnlich wie - ca. ein Jahrhundert vorher - beim Vertikalschiebefenster mit Gegengewicht in England, dessen Entwicklung in Teil 4 der vorliegenden Arbeit näher beschrieben wird. „So kommt das französische Fenster über die vornehmen Gartenschlösser und Villen schließlich in den mehrgeschossigen Mietwohnungsbau von Paris.“ (Klinkott 1994, S. 42)

17 An dieser Stelle sei auf den Begriff der Tür hingewiesen: Türen sind „bewegliche flächige Verschlusseinrichtungen für eine den Zutritt ermöglichende Öffnung in einer Wand.“ (Brockhaus 1996, Band 22, S. 427).

Ergänzend zu 'Zutritt' findet sich auch der Begriff des Durchgangs: a) Tür: „Vorrichtung (...) zum Verschließen eines Durchgangs, eines Einstiegs“ (Duden 1999, Band 9, S. 3996). b) Tür: „Bauteil, der eine Öffnung in einer Wand abschließt, den Zutritt oder den Durchgang erlaubt und eventuell

in geschlossenem Zustand den Lichtzutritt ermöglicht.“ (DIN EN 12519, S. 16).

Den Bezug zur Funktion definiert Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 10/1: „Türen sind bewegliche Raumabschlüsse vorzugsweise für Fußgängerverkehr.“

18 DIN EN 12519, S. 26

19 Bei der Unterscheidung nach Bewegungsmöglichkeit nennt Wasmuths Lexikon der Baukunst als ersten Punkt: „Blinde, stehende oder tote Flügel lassen sich nicht öffnen.“ (Wasmuth, 2. Band, S. 435)  
Das Adjektiv blind bezieht sich nicht, wie man annehmen könnte, auf die Lichtdurchlässigkeit: „Ein 'blindes' Fenster nennt man in Süddeutschland ein flügelloses Fenster.“ (Rumpp 1954, S. 143)

20 Schlegel 1970, S. 609ff.

21 Klinkott 1994, S. 39

## Anhang 4 Zur Konstruktion von Fenstern

Im folgenden Kapitel werden in Ergänzung zu Teil 3 weitere konstruktive Merkmale von Fenstern aufgezeigt.

### 1 Rahmen- und Flügelbau von Fenstern

Neben der Ausbildung eines Flügels als Einfachflügel werden zur Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften Flügelkombinationen verwendet. Der konstruktive Verbund hat einen direkten Einfluß auf den Bewegungsmechanismus.

#### Entwicklungsstufen des Rahmens

Die Begriffe geben Auskunft über die Anzahl und den konstruktiven Verbund der Flügel, die wiederum mit verschiedenen Verglasungsarten ausgestattet sein können (siehe Abb. A3.01):

- Einfachfenster: 1 Flügel
- aufgedoppeltes Fenster / Einfaches Fenster mit Einsatzflügel (ein Hauptflügel, an den ein weiterer Flügel angehängt ist):
  - Einfachfenster mit saisonalem Vorsatzfenster
  - Einfachfenster mit dauerhaftem Vorsatzfenster
- Kastenfenster: Mehrere Flügel hintereinander mit unabhängiger Bewegung (z.B. verschiedene Drehpunkte), zwei getrennt an-

- geschlagene Fenster
- Doppelfenster: 2 Flügel hintereinander mit unabhängiger Bewegung (z.B. verschiedene Drehpunkte), an einer gemeinsamen Zarge angeschlagen
- Verbundfenster: 2 miteinander verbundene Flügel mit gemeinsamer Bewegung (z.B. gemeinsamer Drehpunkt)
- mehrschichtiger Fassadenaufbau (Zweite-Haut-Fassaden)

#### Konstruktionsprinzip des Rahmens

Fenster können auch durch die Angabe des Konstruktionsprinzips des Rahmens bezeichnet werden. Folgende Bezeichnungen werden verwendet:

- Zargenfenster
- Blockrahmenfenster
- Blendrahmenfenster

Diese Unterteilung ist dann sinnvoll, wenn sich die Fenster durch andere Merkmale wie Bewegungsart nicht unterscheiden oder wenn auf den konstruktiven Zusammenhang mit der Wandfläche eingegangen werden soll. <sup>1</sup>

#### Rahmenmaterial

Die Konstruktion von Flügel und Rahmen ist abhängig von den spezifischen Eigenschaften des verwendeten Materials. Auch die Ausbildung der Falze und Dichtungen geschieht in direkter Abhängigkeit vom Material. Als Material bei Fenstern werden verwendet:

- Holz
- Metalle:
  - Stahl

- Aluminium
  - Bronze und andere Legierungen
  - Kunststoffe
  - Verbundkonstruktionen
- Die Unterscheidung des Rahmenmaterials erfolgt vorwiegend im Zusammenhang mit Herstellung, Montage und Behandlung.

#### Anordnung des Rahmens in Bezug zur Wandkonstruktion

Die Fensterfläche kann in verschiedenen Positionen im Verhältnis zur Wandebene angeordnet werden:

- vor der Wandebene raumseitig
- bündig Innenseite
- Wandmitte
- bündig Außenseite
- vor der Wandebene außenseitig

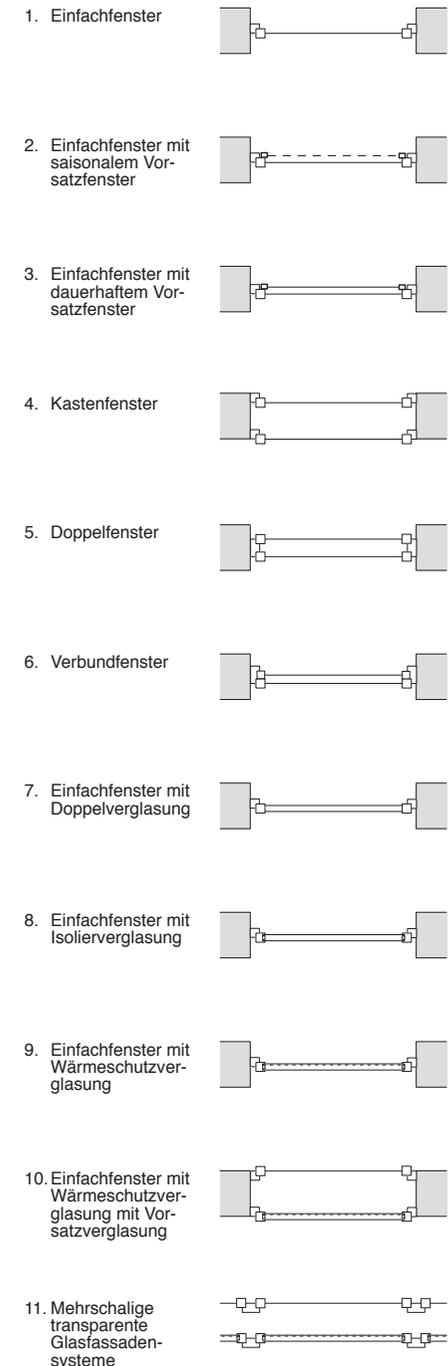
Die Anordnung des Fensters in der Wandöffnung, bezogen auf die Wandtiefe, bestimmt die Ausbeute von Tageslicht, den Bezug von Innen- und Außenraum sowie unter anderem die Ausbildung des Fassadenreliefs (Schlagschatten auf der Fensterfläche).

### 2 Entwicklung der Verglasungsarten bei Fenstern

Neben der Rahmenkonstruktion ist die Verglasung bestimmend für das bauphysikalische Leistungsprofil eines Fensters.

So kann eine weitere Unterscheidung durch die Angabe zur Vergla-

Abb. A3.01 Entwicklung des Rahmen- und Flügelbaus bei Fenstern



sungsart erfolgen. Das einzelne in den Rahmen eingesetzte Glaselement kann wie folgt aufgebaut sein:<sup>2</sup>

- Einfachverglasung
- Mehrfachverglasung ohne Scheibenverbund
- Mehrfachverglasung mit Scheibenverbund (Isolierglas, Wärmeschutzglas)

Bereits in der Barockzeit wurden zur Verbesserung der Wärmedämmung der Fenster sogenannte „Winterfenster“ entwickelt. In Monaten mit sehr tiefen Außentemperaturen wurden außen zusätzliche Fensterflügel temporär eingebaut. Zur Lüftung konnten diese saisonalen Vorsatzfenster geöffnet werden oder es waren kleine Lüftungsflügel eingebaut. (Interessant ist dabei die Verwendung von kleinen Schiebeflügeln.<sup>3</sup>) Das Einfachfenster mit saisonalem Vorsatzfenster ist den einteiligen Flügelrahmenkonstruktionen zuzuordnen.<sup>4</sup>

Die Verwendung von Einfachfenstern wurde in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts durch verschiedene Versionen des Doppelfensters ergänzt: Das außen temporär vor das Fenster gesetzte Vorsatzfenster oder das innere Vorsatzfenster, das als Vorgriff auf das Kastenfenster gesehen werden kann.<sup>5</sup>

Das nach 1880 aufkommende Verbundflügel Fenster weist bei einfacherer Handhabung zwei Einfachverglasungen auf.

Die Entwicklung der Verglasung und die Verbesserungen der Dichtungen und Anschläge führten im 20. Jahrhundert wieder zur Verwendung von Einfachfenstern als Standard.

Im Rahmen der historischen Betrachtungen ist auch die technische Entwicklung der Holzbearbeitung von Interesse. Die manuelle Bearbeitung der Hölzer ließ eine aufwendigere Ausbildung der Falze zu, wie zum Beispiel den sogenannten „Wolfsrachen“ oder den seitlichen Dichtfalz als „Kneiffalz“.<sup>6</sup>

Mit dem Aufkommen der maschinellen Holzbearbeitung mit Holzfräsen wurden die Profile einfacher und dadurch auch die Falze gradliniger. An dieser Stelle sei auf die Möglichkeiten der CNC-Bearbeitung hingewiesen, die am Ende des 20. Jahrhunderts wieder eine aufwendigere und dennoch wirtschaftliche Profilmontage erlaubt.

Parallel dazu entwickelten sich die erforderlichen Beschläge. Auch hier fand ein Wandel von den individuell angefertigten Beschlägen zur vorgefertigten und standardisierten Massenware statt. Im Zuge der Industrialisierung entwickelt sich auch das Normwesen im Baugewerbe. Einerseits ist das Fenster eine Massenware, andererseits wird ein Fenster jeweils in unterschiedlichen Situationen eingebaut. Ein optimiertes Zusammenspiel und dadurch erzielte hohe Leistung der Fenster bezogen auf den jewei-

ligen Anwendungsfall ist nur schwer erreichbar.

Im 20. Jahrhundert prägen Aspekte der Konstruktion und der Herstellung maßgeblich die Gestaltung. In den fünfziger Jahren wurde die bereits in den zwanziger Jahren angestrebte möglichst hohe Transparenz wieder aufgegriffen. Dies führte zu einer Reduktion der Fensterprofile und Erhöhung des Glasflächenanteils. In der Rahmenkonstruktion wurden verschiedene Neuerungen und Vereinfachungen durchgeführt. Die Entwicklung von Isolierverglasung führte zu größeren Scheiben und Flügelgewichten. Breite Verwendung fanden in den fünfziger Jahren Schwingfenster und Wendeflügel Fenster. Bei diesen beiden Konstruktionen ist die Belastung der Rahmen und der Beschläge geringer als bei Drehfenstern.

## Anmerkungen

- <sup>1</sup> Die angeführten Bezeichnungen werden insbesondere im Schreinerhandwerk für Holzfenster verwendet.
- <sup>2</sup> - Einfachverglasung: Im Rahmen befindet sich nur eine Glasebene (eine oder mehrere Glasschichten, z.B. VSG)
  - Mehrfachverglasung ohne Scheibenverbund: Im Rahmen befinden sich mehrere Glasebenen, die jeweils aus einer oder mehreren einzelnen Schichten Glas zusammengesetzt und nur über den Rahmen miteinander verbunden sind.
  - Mehrfachverglasung mit Scheibenverbund: Im Rahmen befinden sich mehrere Glasebenen, die jeweils aus einer oder mehreren einzelnen Schichten Glas zusammengesetzt und untereinander an allen umlaufenden Rändern miteinander verbunden sind. Der Zwischenraum enthält in der Regel eine spezielle Gasfüllung.
  - Isolierglas besteht aus zwei oder mehreren Glasscheiben, die durch einen oder mehrere luft- bzw. gasgefüllte Zwischenräume voneinander getrennt sind. An den Rändern sind die Scheiben luft- bzw. gasdicht und feuchtigkeitsdicht verbunden.
  - Wärmeschutzglas besteht aus Isolierglas, bei dem eine Beschichtung im Scheibenzwischenraum aufgebracht ist.
- <sup>3</sup> Gerner/Gärtner 1996, S. 32
- <sup>4</sup> Gerner/Gärtner 1996, S. 54
- <sup>5</sup> Als Grund für den Einbau von Kastenfenstern wird die Wärmeerhaltung angegeben. (Gieß 1990, S. 99ff.)
- <sup>6</sup> Gieß 1990, S. 96

## Anhang 5 Bemerkungen zur Lüftung

### Vorbemerkung

Im folgenden Teil wird zunächst versucht, die in der Literatur vorgefundenen Unterteilungen der verschiedenen Lüftungsarten zueinander in Beziehung zu setzen. Ergänzend zum Teil 5 (Einsatz von Vertikalschiebefenstern als Lüftungselement) werden zusätzlich noch einige Themenbereiche aufgeführt, die in direktem Zusammenhang mit Fenstern als Lüftungselement zu sehen sind.

Lüftung als zentrale Funktion der Gebäudehülle kann auf Grund der relevanten Zusammenhänge unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden, bei denen die Definitionen teilweise auf mehrere Betrachtungsebenen übergreifend erfolgen. <sup>1</sup> In Abb. A5.01 ist eine Übersicht zusammengestellt. Eine sinnvolle Einteilung läßt sich nach folgenden Betrachtungsweisen vornehmen:

- Unterteilung nach der Funktion
- Unterteilung nach den wirksamen Antriebskräften
- Unterteilung nach der Öffnung
- Unterteilung nach der Lüftungsstrategie

### 1 Unterteilung der Lüftung nach der Funktion

Lüftung kann in drei Ordnungskategorien unterschieden werden: <sup>2</sup>

- Mindestlüftung: Luftwechsel pro Stunde: 0,5 - 3 (abhängig von Raumbenutzung)
- Raumkühlung: Wärmelasten können einem Raum durch Lüftung entzogen werden. Luftwechsel pro Stunde: 5 - 25fach
- Kühlung durch Bewegung großer Luftmengen: Luftwechsel pro Stunde: > 50. Die Luftgeschwindigkeit erhöht sich auf 0,5 bis 3 m/s. (In der Praxis ist in der Regel ab einer Geschwindigkeit von 1,5 m/s mit Beeinträchtigungen zu rechnen, z.B. Bewegung von Papieren auf Tischen.)
- Luftverunreinigung: Wird für Nutzungen angewendet, bei denen eine außergewöhnliche Schadstoffbelastung der Raumluft bekannt ist (z.B. Garagen, Waschräume, Färbereien)
- Gütegrad der Lüftung (Lüftungseffektivität): Die Lüftung wird über den Austausch der Luft und die Schadstoffabfuhr definiert; dieser Begriff wird zunehmend anstelle der bisher verwendeten Angabe des stündlichen Luftwechsels benutzt. <sup>6</sup>

### Luftaustausch

Die Lüfterneuerung eines Raumes soll zum einen die hygienischen Anforderungen erfüllen und zum anderen auch eventuell vorhandene bauphysikalische Aspekte berücksichtigen.

Die gültigen Regelwerke sehen einen definierten Luftaustausch zur Gewährleistung der hygienischen und physiologischen Anforderungen vor. <sup>3</sup>

Der Luftaustausch kann über verschiedene Kenngrößen definiert werden: <sup>4</sup>

- stündlicher Außenluftwechsel: Basierend auf Erfahrungen, Angaben variierend <sup>5</sup>
- Lüfrate: Angabe pro Person, verwendet bei Versammlungsräumen
- Kühllast: Über Lüftung abzuführende Wärme bei meist gleichzeitiger Angabe von maximalen Luftgeschwindigkeiten

Ein hoher Luftwechsel kann zu Beeinträchtigungen der Benutzer führen:

- Zegerscheinungen
- Staubproblematik
- akustische Beeinträchtigungen durch zu hohe Luftgeschwindigkeiten im Bereich der Luftführung, besonders an Lüftungsöffnungen.

### 2 Unterteilung der Lüftung nach den wirksamen Antriebskräften

Wie bereits in Teil 5 erwähnt, unterscheidet man bei Lüftung auf Grund der Antriebskräfte grundsätzlich zwei Lüftungsarten: <sup>7, 8</sup>

- Mechanische Lüftung, auch als künstliche Lüftung, Zwangslüftung oder Ventilator-Lüftung bezeichnet: Antrieb der Luftbewegung durch mechanische Kräfte.
- Freie Lüftung, auch als natürliche Lüftung bezeichnet: Antrieb der Luftbewegung durch die sich

aus den natürlichen Bedingungen ergebenden Kräfte.

### 2.1 Mechanische Lüftung

Bei der mechanischen Lüftung erfolgt der Antrieb der Luftbewegung durch mechanische Kräfte, wie z.B. Ventilatoren. <sup>9</sup>

Mit dem Begriff mechanische Lüftung wird lediglich der Antrieb der Luftbewegung bezeichnet; damit sind noch keine Aussagen zur Konditionierung der Luft (Temperierung, Filtern, Be- und Entfeuchten) verbunden.

Im allgemeinen Sprachgebrauch wird unter dem Begriff Lüftungsanlagen meist die mechanische Lüftung verstanden, wodurch es zu einer Unschärfe der Aussagen kommen kann. <sup>10, 11</sup>

### 2.2 Freie Lüftung

Die Antriebskräfte bei freier Lüftung wurden bereits im Zusammenhang mit dem Einsatz von Vertikalschiebefenstern als Lüftungselement genannt (siehe Teil 5).

### Natürliche Lüftung

Für 'freie Lüftung' wird oftmals auch der Begriff 'natürliche Lüftung' verwendet. <sup>12</sup>

Parallel hierzu findet sich in der englischsprachigen Literatur der Terminus 'natural ventilation'. Die Übersetzung mit natürlicher Lüftung kann einerseits irreführender Weise zu der Vorstellung führen, es handelt sich ausschließlich um Fensterlüftung ohne die Möglichkeit der Luftkonditionierung. Andererseits verdeutlicht der Begriff die der frei-

<b>Lüftung: Zusammenstellung der möglichen Unterteilungen</b>				
Unterteilung der Lüftung nach:		Bezeichnung	nähere Erläuterung	in der Literatur vorkommende Bezeichnungen
Funktion		Mindestlüftung	Luftwechsel pro Stunde: 0.5 - 3	
		Raumkühlung: Wärmelasten können einem Raum durch Lüftung entzogen werden	Luftwechsel pro Stunde: 5 - 25	
		Kühlung durch Bewegung großer Luftmengen:	Luftwechsel pro Stunde: über 50	
Wirksame Antriebskräfte		Mechanische Lüftung	Antrieb der Luftbewegung durch mechanische Kräfte.	künstliche Lüftung / Zwangs-Lüftung / Ventilator-Lüftung
		freie Lüftung	Antrieb der Luftbewegung durch die sich aus den natürlichen Bedingungen ergebenden Kräfte (Windkräfte + Thermische Auftriebskräfte)	natürliche Lüftung / natural ventilation (engl.) / passive ventilation (engl.: Kräfte für den Antrieb der Luftbewegung resultieren aus der Einstrahlung solarer Energie)
		Kombination der beiden grundsätzlich verschiedenen Antriebskräfte		Kontrollierte natürliche Lüftung / Natürliche Klimatisierung / Unterstützende Lüftung (Konzept, vorwiegend natürliche Lüftung zur Be- und Entlüftung des Gebäudes zu verwenden) / Hybridlüftung
Öffnung		Fugenlüftung	bei Fenstern und Türen durch Undichtigkeiten	
		Fensterlüftung	Außenluftzufuhr durch Öffnen von Fenstern oder Schlitzen	
		Schachtlüftung	Außenluftzufuhr durch die Kaminwirkung eines Schachtes	
		Dachaufsatzlüftung	Außenluftzufuhr durch Auftriebs- und Windwirkung von Dachaufsätzen mit geeigneten Öffnungen	
Lüftungsstrategie	bezogen auf die Zeit	Grundlüftung	unumgänglicher Luftaustausch über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle (meist Fensterfugen)	Selbstlüftung / (freie) Fugenlüftung / Fensterfugenlüftung
		Dauerlüftung	Stetiger Luftaustausch mit meist geringer Luftwechselzahl bezogen auf eine Zeiteinheit, über geringe Öffnungsstellung der Fenster oder über undichte Stellen in der Gebäudehülle	
		Stoßlüftung	Zeitlich begrenzte intensive Zufuhr von Frischluft (Außenluft) mit hoher Luftwechselzahl bezogen auf eine Zeiteinheit	schocklüftung, Pulslüftung (Stoßlüftung in wiederkehrenden Abständen, meist zur Einhaltung der hygienischen Luftqualität)
	bezogen auf das Gebäude	einseitige Fensterlüftung		Einzelraumlüftung
		Querlüftung		
	bezogen auf die Luftführung im Raum	Durchströmung	Basierend auf den drei Extremfällen bei der Ausbildung der Strömung im Raum (Verdrängungsströmung, Mischströmung, Kurzschlußströmung) kann man für die Fensteröffnung diese vier verschiedenartigen physikalischen Strömungsvorgänge unterscheiden.	
		Wirbelbildung		
		Luftaustausch		
		Diffusionsvorgänge		

Abb. A5.01 Zusammenstellung der möglichen Unterteilungen der Lüftung

en Lüftung innewohnende Zufälligkeit, da die Umgebungsbedingungen nur schwer kontrollierbar sind.

### **Passive Lüftung**

Bei der Nutzung solarer Energie wird zwischen direkter (passiver) und indirekter (aktiver) Nutzung unterschieden.

Analog dazu findet sich in der englischsprachigen Literatur der Begriff 'passive ventilation', woraus hervorgeht, daß die Kräfte für den Antrieb der Luftbewegung aus der Einstrahlung solarer Energie resultieren (Temperaturschichtung durch Erwärmung der Luft und Wind als Resultat meteorologischer Prozesse, die sich durch Sonnenenergie ergeben).

Der Begriff verdeutlicht den Ansatz, durch freie Lüftung

- den Energieverbrauch eines Gebäudes zu Kühlzwecken zu reduzieren,
- die innenräumliche thermische Behaglichkeit zu erhöhen
- und die Luftqualität im Innenraum zu verbessern.

### **2.3 Kombination von freier und mechanischer Lüftung**

Da die freie Lüftung von natürlichen Antriebskräften abhängt, haben die äußeren Bedingungen einen direkten Einfluß auf die Wirksamkeit des Lüftungskonzepts.<sup>13</sup>

Um die Schwankungen der natürlichen Antriebskräfte der freien Lüftung abzufangen, ist eine Kombination mit mechanischen Antriebskräften sinnvoll. Stellvertretend soll

hier nur auf einige Konzepte verwiesen werden.

#### **2.3.1 Kontrollierte natürliche Lüftung**

Der Luftaustausch erfolgt wie bei der freien Lüftung durch windinduzierte Druckdifferenzen und / oder thermisch bedingte Auftriebseffekte. Die Lüftungsöffnungen in der Gebäudehülle sind in der Regel Klappen oder motorisierte Fenster, die nach Anforderungen gesteuert werden. Im Vergleich zur freien Lüftung über manuell öffnbare Fenster ist bei der kontrollierten natürlichen Lüftung eine größere Effizienz zu erreichen.

Die Einbindung der natürlich kontrollierten Lüftung erfolgt bereits in der Konzeptphase. Ein weiterer Aspekt der steuerbaren freien Lüftung ist der Brandschutz. Im Brandfall kann die Entrauchung über die steuerbaren Fassadenöffnungen erreicht werden.<sup>14</sup>

Kontrollierte natürliche Lüftung findet sich auch an historischen Gebäuden. Als Beispiel sollen hier die Bauten des spanischen Kolonialbarock genannt werden, die mit sogenannten 'ventanillas' ausgestattet waren: Kleine unverglaste Fenster mit Schiebevorrichtungen zur Regelung von Licht, Luft- und Energiedurchlaß.<sup>15</sup>

Für den Einsatz des gezielten Luftwechsels mit natürlich kontrollierter Lüftung muß das Gebäude eine hohe Dichtigkeit aufweisen. Die Fenster oder Lüftungsklappen werden über ein Steuerungssystem moto-

risch geöffnet.<sup>16</sup> Verschiedene Werte sollten bei der Lüftung vorgegeben sein. Der Nutzer sollte jedoch die Möglichkeit haben, auf seine eigenen Bedürfnisse individuell reagieren zu können. Ungünstige Korrelationen sollten ausgeschlossen werden (z.B. maschinelle Lüftung bei offenen Fenstern).

#### **Natürliche Klimatisierung**

Dieser von Fensterherstellern verwendete Begriff bezeichnet das Prinzip, Lüftung und Raumtemperatur über die Fenster zu regulieren, ohne Ventilations- oder Klimaanlage. In den Sommermonaten wird das Gebäude durch Nachtlüftung gekühlt. Dieses Konzept bedingt bestimmte Fensteranordnungen und Raumstrukturen.

#### **2.3.2 Unterstützende Lüftung**

Wird die mechanische Lüftung zur Ergänzung der natürlichen Lüftung verwendet, um die Gewährleistung behaglicher Raumzustände zu erreichen, spricht man auch von unterstützender Lüftung. Dieser Begriff verdeutlicht auch das Konzept, vorwiegend natürliche Lüftung zur Be- und Entlüftung des Gebäudes zu verwenden.<sup>17</sup>

#### **2.3.3 Hybridlüftung**

Bei natürlichen Lüftungsprozessen erfolgt die Lüftung durch natürliche Kräfte. Auf Grund der immanenten Unregelmäßigkeit und der fehlenden Möglichkeit einer direkten Steuerung der Antriebskräfte sind Strömungsrichtungen und Strömungsraten sehr variabel.

Mechanische Lüftungsanlagen bedingen eine hohe Investition und neben Unterhaltskosten auch Wartungs- und Reparaturarbeiten.

Wenn das System einen optimalen Wirkungsgrad und hohe Effizienz haben soll, kommt hinzu, daß der Benutzer keine direkte Regelungsmöglichkeit hat.

Durch eine sinnvolle Ergänzung von natürlicher mit mechanischer Lüftung entsteht ein hybrides Lüftungssystem<sup>18</sup>, das den Energieverbrauch dadurch optimiert, daß es automatisch zwischen den beiden Betriebsarten wechselt.

Bei Hybridlüftungssystemen kann es sinnvoll sein, die Kühlung des Gebäudes über Lüftung von der Luftqualitätssteuerung zu trennen, da sich die Anforderungen für beide Bereiche unterscheiden.

Verschiedene Lüftungsstrategien sind möglich:

- Abwechselnde natürliche und mechanische Lüftung
- Ventilatorgestützte natürliche Lüftung
- Schicht- und windunterstützte mechanische Lüftung

Bei Hybridlüftung ist das Fenster als Fassadenöffnung ein wesentliches Element zur Luftzufuhr und Luftabfuhr.

Bezogen auf den Einsatz bei Hybridlüftung wurden verschiedene Öffnungsarten von Fenstern mittels Rauchtest untersucht (Schwingflügel, Drehflügel, Fenster mit oberer Kippflügel). Hierbei wurde der thermische Komfort durch Messung der Strömungsbedingungen (Luftströmungsrichtung, Luftge-

schwindigkeit) bewertet. Beide sind verantwortlich für die Durchmischung der Frischluft mit der Raumluft. Es zeigte sich, daß Kipp- oder Schwingflügel ungünstig sind, da die Zunahme der Öffnungsfläche über den Öffnungswinkel nicht ausreichend genau zu steuern ist. (Vertikalschiebefenster wurden nicht untersucht.)

Der Verweis auf die mechanische Lüftung verdeutlicht die Notwendigkeit, auch bei der Lufteintrittsöffnung eines Fensters die „Fensterleistung“ zu ermitteln: „Der Öffnungstyp beeinflusst den thermischen Komfort wie ein Luftverteiler.“<sup>19</sup>

### 2.3.4 Bedarfsorientierte freie Lüftung mit mechanischer Unterstützung

Neue Entwicklungen im Bereich der Luftqualitätssensoren ermöglichen eine am Bedarf orientierte Lüftung durch Erfassung der für die Luftqualität bestimmenden Parameter. Neben dem Einsatz zum Betrieb von mechanischer Lüftung können diese neuen Sensoren auch zur Steuerung motorischer Fensterbeschläge eingesetzt werden. Bei ungenügender freier Lüftung kann gezielt mechanische Lüftung zur Unterstützung hinzugezogen werden.

Dadurch lassen sich Lüftungswärmeverluste reduzieren. Bei mechanischer Lüftung kommen Einsparungen beim Ventilatorbetrieb und bei der Luftaufbereitung hinzu.

## 2.4 Vergleich von mechanischer und freier Lüftung

Betrachtungen der Einsparmöglichkeiten beim Heizwärmebedarf von Wohngebäuden vergleichen oftmals freie Lüftung mit mechanischer Lüftung.

Dabei wird in der Regel die Akzeptanz des Nutzers nicht berücksichtigt; vorhandene Fenster werden auch bei mechanischer Lüftung geöffnet,<sup>20</sup> wodurch sich die Effizienz verschlechtert. In der Literatur finden sich Systemvergleiche, bei denen „nur mit angepaßtem, also stark reduziertem Fensterlüften“ Primärenergie eingespart werden kann.<sup>21</sup>

## 3 Unterteilung der Lüftung nach der Öffnung

Bei freier Lüftung über Öffnungen in der Gebäudehülle kann nach Art und Anordnung der Zu- und Abluftöffnungen und der daraus resultierenden Unterschiede in der Wirkungsweise unterschieden werden in:<sup>22</sup>

- Fugenlüftung: Bei Fenstern und Türen durch Undichtigkeiten
- Fensterlüftung: Außenluftzufuhr durch Öffnen von Fenstern oder Schlitzen
- Schachtlüftung: Abführen der Abluft durch die Kaminwirkung eines über Dach geführten Schachtes
- Dachaufsatzlüftung: Abführen der Abluft durch Auftriebs- und Windwirkung von Dachaufsätzen mit geeigneten Öffnungen

Die Unterteilung beinhaltet neben der Öffnungsunterscheidung auch eine Unterteilung nach den hauptsächlich wirksamen Antriebskräften. Mehrere Arten der Öffnungen können gleichzeitig zur Anwendung kommen.

### 3.1 Fugenlüftung

Fugenlüftung ist eine vom Nutzer unabhängige und nicht kontrollierbare Lüftung. Sie erfolgt über Undichtigkeiten der Gebäudehülle, vorwiegend der Fenster und Türen. Neben dem entstehenden Wärmeverlust wird durch die Fugenlüftung meist eine ausreichende Lüfterneuerung sichergestellt. Mit zunehmend dichter Gebäudehülle ist dies nicht mehr gewährleistet. Fugenlüftung steht in direkter Abhängigkeit zu vorhandenem Windanfall.

### Fugendurchlässigkeit

Je nach Fensterbauart und Güte der Ausführung kann es, bezogen auf die Fugenlänge, bei Druckunterschied zu unterschiedlicher Luftdurchlässigkeit kommen. Dieser Wert wird mit der Fugendurchlässigkeit  $a$  bezeichnet.<sup>23</sup> Die Fugendurchlässigkeit ist auch für das akustische Leistungsprofil eines Fensters von großer Bedeutung. Für schalldämmende Fenster ist ein  $a$ -Wert unter  $1 \text{ m}^3/\text{h}$  erforderlich. Akustische Aspekte sollen hier jedoch nicht weiter vertieft werden. Zusätzlich zur Fugendurchlässigkeit kommt es auch noch zu Luftdurchlässigkeit im Bereich des Anschlusses an die Konstruktion.

### Mindestlüftung: Ausreichender Luftaustausch

Neben der Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften des transparenten Teils wurden die Fugendurchlaßkoeffizienten der Rahmen verbessert. Die Funktionen Dichten und Dämmen verdrängen dabei den Bereich Lüften.

Die Verbesserungen der Fensterkonstruktionen im Bereich der Dichtungen führen dazu, daß bei freier Lüftung (ohne mechanische Unterstützung) im Fall von geschlossenen Fenstern ein ausreichender Luftaustausch nicht mehr gewährleistet ist. Die damit verbundenen bauphysikalischen Probleme lassen es sinnvoll erscheinen, eine Begrenzung des Fugendurchlaßkoeffizienten nach unten zu erwägen.<sup>24</sup>

Um die geforderte Mindestlüftung zu gewährleisten, müssen bei den modernen Fenstern auf Grund ihrer hohen Dichtigkeit zusätzliche Lüftungsöffnungen eingebaut werden, die den Luftwechsel garantieren und gleichzeitig hohe Anforderungen an den Schallschutz erfüllen.<sup>25</sup> Einfacher wäre jedoch eine genau dosierbare Spaltöffnung des Fensters. Eine Kompromißlösung ist die bereits in Teil 5 erwähnte Spaltluftstellung des Kippfensters.<sup>26</sup>

### 3.2 Fensterlüftung

Mit diesem Begriff wird die Lüftung eines Raumes durch Öffnen der Fenster bezeichnet. Der sich einstellende Luftwechsel ist dabei auf Grund der Abhängigkeit von Tem-

peraturdifferenzen und Windkräften nicht genau kontrollierbar. In der Regel wird die Fensterlüftung für einen kurzzeitigen und intensiven Luftaustausch eingesetzt. Bei manuell bedienbaren Fenstern steuert der Benutzer die sogenannte Stoßlüftung (siehe unten); automatisch mit Motoren betriebene Fenster sind verfügbar. Bei Fensterlüftung sind Zugerscheinung und Wärmeverlust besonders zu beachten.

### 3.3 Schachtlüftung

Bei der sogenannten Kaminwirkung entsteht ein Druckunterschied zwischen Raum und Umgebungsluft über Dach auf Grund der Temperaturdifferenz.

Bei gleicher Temperatur oder Umkehrung der Verhältnisse im Sommerfall ändert sich die Richtung der Luftbewegung. Durch Hilfsmittel läßt sich dem entgegenwirken. Hierzu wurden in der Vergangenheit zusätzliche Elemente entwickelt, welche die Wirkung der Auftriebshöhe unterstützen, z.B. Lüftungsaufsätze, die durch Windkräfte zusätzlichen Unterdruck erzeugen.<sup>27</sup>

### 3.4 Dachaufsatzlüftung

Die Dachaufsatzlüftung erfolgt mittels kurzer Schächte oder Aufsätze im Dachbereich. Der Luftaustausch wird analog zur Schachtlüftung durch Temperaturunterschiede zwischen dem Innenraum und dem Außenraum bewirkt. Diese Lüftung wird häufig zur Entlüftung großer

Hallen oder Industriebetriebe mit großem Wärmeeinfall verwendet.

## 4 Unterteilung der Lüftung nach der Lüftungsstrategie

Die Unterteilung erfolgt sowohl auf der Betrachtungsebene Raum bezogen auf das Gebäude als auch auf der Betrachtungsebene Raum bezogen auf die Zeit.

### 4.1 Lüftung bezogen auf die Zeit

Betrachtet man die Lüftung eines Raumes bezogen auf die Zeit, kann man zwischen folgenden Lüftungsarten unterscheiden:<sup>28</sup>

#### Grundlüftung

Unumgänglicher Luftaustausch über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle (meist Fensterfugen), auch als Selbstlüftung, (freie) Fugenlüftung oder Fensterfugenlüftung bezeichnet.

#### Dauerlüftung

Stetiger Luftaustausch mit meist geringer Luftwechselzahl bezogen auf eine Zeiteinheit, über geringe Öffnungsstellung der Fenster oder über undichte Stellen in der Gebäudehülle. Die Dauerlüftung dient dem stetigen, kontrollierten Luftwechsel.

Neben der notwendigen Versorgung mit Frischluft wird die Dauerlüftung auch zur Abführung von Wärmelasten aus dem Raum benutzt. Bei Gebäuden mit modernem

Wärmedämmstandard erfolgt die Dauerlüftung meist in den Übergangszeiten und im Sommer.

Für die Dauerlüftung werden kontrollierbare kleine Öffnungsquerschnitte benötigt. Frischluftzufuhr oberhalb des Fußbodens und eine Abluftöffnung im oberen Deckenbereich der Fassade zur Abfuhr der erwärmten Luft unterstützt den effektiven Luftaustausch.

#### Stoßlüftung

Zeitlich begrenzte intensive Zufuhr von Frischluft (Außenluft) mit hoher Luftwechselzahl (bezogen auf eine Zeiteinheit), auf Grund vermehrten Bedarfs nach Außenluft (auch als Schocklüftung bezeichnet). Die Stoßlüftung erfolgt meist manuell über Öffnungsflügel. Wird die Stoßlüftung in wiederkehrenden Abständen (meist zur Einhaltung der hygienischen Luftqualität) durchgeführt, spricht man auch von Pulslüftung.

### 4.2 Lüftung bezogen auf das Gebäude

Betrachtet man die Lüftung eines Raumes im Zusammenhang mit dem Gebäude, kann man zwischen zwei Lüftungsarten unterscheiden:

- Einseitige Fensterlüftung: Auch Einzelraumlüftung genannt; Luftwechsel am günstigsten bei oben und unten angeordneten Fassadenöffnungen.
- Querlüftung: Für eine möglichst hohe Effizienz ist eine modulare Anpassung an Windrichtung und Windgeschwindigkeit sinnvoll.<sup>29</sup>

### 4.3 Lüftung bezogen auf die Luftführung im Raum

Die Wirksamkeit der Lüftung ist abhängig von der Luftführung im Raum. Für die Fensteröffnung kann man vier verschiedenartige physikalische Strömungsvorgänge unterscheiden:<sup>30</sup>

- Durchströmung
- Wirbelbildung
- Luftaustausch
- Diffusionsvorgänge

Hanel unterscheidet bei den Zuluftmasseströmen zwischen:<sup>31</sup>

- Lüftung nach Mischprinzip
- Verdrängungslüftung
- freie Lüftung

Detzer unterscheidet bei Fenstervarianten zwischen großflächig eintretender Luft bei Schiebe- oder Drehflügeln und über spaltförmige Öffnungen eintretende Luft bei Kippflügeln.<sup>32</sup>

#### Raumströmungsformen

Drei Extremfälle können bei der Ausbildung der Strömung im Raum beobachtet werden:<sup>33</sup>

- Verdrängungsströmung
- Mischströmung
- Kurzschlußströmung

## 5 Einflußgrößen der Raumlüftung

Die Raumlüftung ist von verschiedenen Parametern abhängig, die in einem komplexen Zusammenhang zueinander stehen. Hanel unterscheidet analog zu Moog folgende Einflußgrößen:<sup>34</sup>

### 5.1 Einflußparameter Mensch

Hier sind zu nennen:

- Nutzung (Art der Tätigkeit, Nutzungszeit, Nutzerverhalten)
- Aktivitätsgrad (Gesamtstoffwechsel)
- Bekleidung
- Dauer des Aufenthalts im Raum
- psychische und physische Verfassung
- Geschlecht und Lebensalter

### Benutzerverhalten

Für den Bereich Wohnungslüftung existiert die Forderung nach Lüftungsanlagen zur Reduzierung der Lüftungswärmeverluste. Dem steht jedoch das Benutzerverhalten entgegen. Über längere Zeiträume gekippte Fenster über Heizkörpern sind im Winter keine Seltenheit.<sup>35</sup> Als wichtigen Faktor nennt Estrich die Bereitschaft des Fensterbenutzers, „die Zusammenhänge zu verstehen.“<sup>36</sup>

### Raummanagement

Wird die Lüftung ausschließlich durch den Benutzer gesteuert, sind optimale Raumbedingungen nur schwer zu erlangen.

Durch automatische Steuerung der freien Lüftung über Lüftungsöffnungen in der Fassade in Abhängigkeit von äußeren und inneren Zustandsgrößen kann der gewünschte Zustand mit großer Präzision und hoher Effizienz und gleichzeitigem minimalem Energieeinsatz erreicht werden.

Bei Büro- und Verwaltungsbauten werden die Betriebsanlagen eines Gebäudes über ein Leitsystem au-

tomatisch gesteuert, um durch einen rationellen Energieeinsatz die Betriebskosten zu minimieren. Da die vorgegebenen Raumzustände nicht für alle Benutzer zutreffen, ist es notwendig, daß der Nutzer das Raumklima in gegebenen Grenzwerten über individuelle Regelungsmöglichkeiten verändern kann.<sup>37</sup>

### 5.2 Einflußparameter Raum

Diese bestehen aus:

- Grundrißdisposition (Lage des Raumes, Raumaufteilung)
- vertikale Disposition (Gebäudeschnitt)
- innere und äußere Geometrie, architektonische Gestaltung
- bauphysikalische Eigenschaften der Bauhülle, bauphysikalische Risiken (Kondensations- und Frostbildung)
- mittlere Oberflächentemperatur
- Beleuchtungsverhältnisse
- Raumakustische Eigenschaften
- Anordnung und Intensität von Wärme- und Schadstoffquellen
- Bauform und Bauausführung
- Zuluftführung
- Produktionsprozeß

### 5.3 Einflußparameter Lufttechnische Anlage

Die einzelnen Aspekte sind:

- Lufttemperatur
- Luftgeschwindigkeit nach Betrag und Richtung
- Luftfeuchte
- Luftreinheit
- Außenluftmenge, Abluftmenge
- Lage der Luftdurchlässe (Zuluft- und Abluftöffnungen)

- Druckverlust in den Strömungswegen
- Geräusche durch Luftführung

### 5.4 Einflußparameter äußere Bedingungen

Hier sind zu nennen:

- Außenklima
- Standort des Gebäudes
- Gebäudeform und architektonische Gestaltungsvorgaben
- Sicherheits- und Brandschutzauflagen<sup>38</sup>

## 6 (Thermische) Behaglichkeit des Raumklimas

Die einschlägigen Vorschriften fordern für Aufenthaltsräume von Menschen bestimmte Eigenschaften. Neben ausreichender Belichtung entsprechen der Tätigkeit werden auch bestimmte Luftwechselfzahlen und Lufttemperaturen gefordert.

Im Englischen wird hierfür der Begriff "comfort standards" benutzt. Im Deutschen wird der Begriff Behaglichkeit verwendet.<sup>39, 40</sup>

Die Empfindung von Behaglichkeit erfolgt durch die Wahrnehmung verschiedener Umgebungsbedingungen<sup>41</sup> durch die verschiedenen Sinne:

- Thermische Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Luftbewegung)
- Eigenschaften der Luft (Zusammensetzung, Gerüche, Schad- und Schwebstoffbelastung etc.)
- Lichttechnische Bedingungen (Helligkeit, Kontraste, Farbge-

- bungen, Leuchtdichteverteilung etc.)
- Akustische Bedingungen (Art der Geräusche, Lautstärkepegel etc.)

Aus einer Definition zur thermischen Behaglichkeit bei RLT-Anlagen läßt sich für freie Lüftung ableiten, daß auch hier die Beurteilung der thermischen Behaglichkeit grundlegend von der subjektiven Wärmeempfindung (individuelle Empfindung) abhängt.<sup>42</sup>

Wenn eine manuelle Regelung möglich ist, besteht bei freier Lüftung jedoch eine höhere Toleranz gegenüber Schwankungen der einzelnen Parameter (zum Beispiel bei geöffneten Fenstern).

### 6.1 Parameter

Die (thermische) Behaglichkeit wird durch eine Anzahl an Faktoren aus zwei Bereichen bestimmt.

Neben individuellen sind vor allem die klimatischen Parameter zu beachten. Die maßgeblichen Parameter für den Aufenthaltsbereich des Menschen im Gebäudeinneren sind die klimatischen Einflußgrößen, die sich im direkten Zusammenhang mit baulichen Maßnahmen beeinflussen lassen:<sup>43</sup>

- Lufttemperatur und deren Gleichmäßigkeit<sup>44</sup>
- Luftfeuchte
- Luftbewegung
- Temperatur der Umgebungsflächen (Strahlungstemperatur)
- Reinheit der Luft (Staubgehalt, Gase, Dämpfe, Gerüche/Geruchsbelastung)

- elektrischer Zustand der Luft
- Pufferung von Schwankungen der Lufttemperatur und Luftfeuchte
- Jahreszeitliche Schwankungen der oben genannten Größen

### 6.1.1 Empfundene Temperatur

Aus Raumlufttemperatur und Temperatur der Umgebungsflächen ergibt sich die „empfundene Temperatur“. <sup>45</sup>

Die Temperatur der Umgebungsflächen ist eine der bestimmenden Einflußgrößen der thermischen Behaglichkeit. <sup>46</sup>

Die Temperatur der Umgebungsflächen ist für die Betrachtung der Lüftung von Bedeutung, da auf Grund des konvektiven Wärmeübergangs ein direkter Zusammenhang besteht. Die durch Lüftung zugeführte Luft kann durch Vorbeistreichen an Umgebungsflächen temperiert werden, bevor sie sich mit der Raumluft vermischt oder mit dem Nutzer in Kontakt kommt. <sup>47</sup>

### 6.1.2 Luftfeuchte

Für das Innenraumklima ist neben der Lufttemperatur auch die relative Luftfeuchtigkeit bestimmend. Die Wärmeabgabe des menschlichen Körpers geschieht teilweise auch über Verdunstung über die Hautflächen. Die Verdunstung hängt von dem Verhältnis der Dampfdruckunterschiede der Luft und der Hautoberfläche ab. Die Werte der als behaglich empfundenen Luftfeuchte können je nach Raumlufttemperatur zwischen 30 und 70% schwanken. <sup>48</sup>

### 6.1.3 Luftgeschwindigkeit

Bezogen auf die Behaglichkeit wurde anfangs nur die Luftwechselzahl betrachtet. Da diese nur global erfolgt, ist für die Betrachtung von Lüftungswirkungsgrad, Schadstoffabfuhrwirkungsgrad, Alter der Luft etc. erforderlich, genauere Aussagen über die Luftbewegungen treffen zu können. Von Relevanz sind dabei: <sup>49</sup>

- Luftgeschwindigkeit an Lufteintrittsstelle
- maximale im Raum auftretende Luftgeschwindigkeiten
- Durchschnittsgeschwindigkeit der Luft im Raum
- Durchschnittsgeschwindigkeit der Luft in Ebene des Nutzers (ca. 1 m über Fußboden)

Als oberster Grenzwert für Behaglichkeit kann für die Luftgeschwindigkeit ein Wert von 0,2 m/s angenommen werden. <sup>50, 51</sup> Dieser Wert erhöht sich mit steigender Raumlufttemperatur. <sup>52</sup> Der empfohlene Maximalwert für Luftbewegung im Raum wird bei Allard mit 0,8 m/s angegeben. <sup>53</sup>

Vor allem bei Büro- und Verwaltungsbauten ist ab einer Luftgeschwindigkeit von 1,5 m/s mit dem Aufwirbeln von Papier zu rechnen. <sup>54, 55</sup>

### Zugluft

Als Zugluft wird die durch einen Luftstrom „unerwünschte lokale Abkühlung des menschlichen Körpers“ bezeichnet. <sup>56, 57</sup>

Hieraus ist ersichtlich, daß es sich bei Zugluft nicht um einen absolu-

ten Wert handelt. Man spricht deshalb auch von einem Zugluftrisiko. <sup>58</sup> Zugluft ist besonders bei Arbeitsplätzen zu beachten. <sup>59</sup>

### 6.2 Sick-Building-Syndrom

Unter dem Begriff Sick-Building-Syndrom (SBS) versteht man Behaglichkeits- und Gesundheitsstörungen. <sup>60</sup>

Im Rahmen der Untersuchungen zu freier Lüftung über Öffnungen in der Fassade ist das Sick-Building-Syndrom deswegen von Interesse, da es meist bei Gebäuden auftritt, die nicht über freie Lüftung verfügen. <sup>61, 62</sup>

Das Sick-Building-Syndrom kann als einer der Gründe angesehen werden, warum bei der Klimatisierung von Gebäuden Alternativen zur rein mechanischen Lüftung gesucht werden. Im Zusammenhang mit Überlegungen zur Vermeidung des Sick-Building-Syndroms findet sich die Forderung nach öffnungsfähigen Fenstern. <sup>63</sup>

Auf Grund energetischer und vor allem nutzerbedingter Aspekte (Erkenntnisse im Zusammenhang mit dem Sick-Building-Syndrom) wird die Lüftung über Öffnungen in der Fassade neu bewertet. <sup>64</sup>

### Facility Management: Raummanagement

Bei der Minimierung der Unterhaltskosten im Rahmen des Facility Managements sollten die wirtschaftlichen Auswirkungen des Sick-Building-Syndroms in die Betrachtungen zur Wirtschaftlichkeit der Fensterlüftung bei Büro- und Verwal-

tungsgebäuden einbezogen werden. <sup>65</sup>

### 6.3 Bewertung

Die Bewertung der Behaglichkeit unterliegt immer einer gewissen Unschärfe. Dies ist größtenteils damit verbunden, daß die Bewertung der Zustände auf Grund der subjektiven Empfindung unterschiedlich erfolgt.

An die sich ändernden Zustände der ihn umgebenden Luft kann der Mensch sich anpassen. Für die Zustandswerte der Luft läßt sich daher ein sogenannter Behaglichkeitsbereich angeben. <sup>66</sup>

Behaglichkeit ist immer ein individuell unterschiedlich bewertetes Kriterium für die Qualität eines Raumklimas. Im Rahmen definierter Grenzwerte sollte es daher möglich sein, individuell Anpassungen vorzunehmen. <sup>67</sup>

Die Zustandsgrößen der Luft umfassen einen großen Teil der Parameter der Innenraumbedingungen. Lüftung kann daher bei gezieltem Einsatz zu einer Verbesserung der Behaglichkeit führen. <sup>68</sup>

## 7 Gütegrad der Lüftung

Analog zur mechanischen Lüftung läßt sich die freie Lüftung eines Raumes nach ihrer Wirksamkeit (Effektivität) beurteilen. <sup>69</sup> Vorstellbar ist auch eine Bewertung der Lüftung bezüglich der Wirtschaftlichkeit (Effizienz). Dies bietet sich jedoch eher für mechanische Lüftung an. <sup>70</sup>

### Luftwechselrate

Für Aufenthaltsräume wird während der Arbeitszeit eine mindestens 1,1-fache Luftwechselrate pro Stunde pro Person gefordert. Dieser Wert entspricht einem erforderlichen Außenluftstrom von 40 - 60 m<sup>3</sup>/h pro Person. <sup>71</sup>

### Lüftungseffektivität

Die Fähigkeit der Lüftung, alte Raumluft in der Aufenthaltszone durch frische Außenluft zu ersetzen und Schadstoffe abzuführen, wird als Lüftungseffektivität bezeichnet. Diese ist abhängig von der Verweilzeit der Luft und der Verweilzeit der Schadstoffe im Raum. <sup>72</sup>

Die Lüftungseffektivität kann in Ergänzung zur Luftwechselrate als Planungskriterium genannt werden. Bei Richter findet sich der Hinweis auf den Zusammenhang mit Fensteröffnungen. <sup>73</sup>

### Luftaustauschwirkungsgrad

Die Qualität des Gesamtluftaustausches im Raum wird, bezogen auf den Idealfall der Verdrängungsströmung, mit dem Luftaustauschwirkungsgrad (air exchange efficiency) beschrieben.

### Lüftungswirksamkeit

Für die Güte eines Systems bezüglich der Schadstoffabfuhr vergleicht man das lokale Luftalter mit dem Durchschnittsalter der Luft des ganzen Raums.

Hierfür verwendet man den Begriff Lüftungswirksamkeit (ventilation effectiveness), oder auch lokale Luftaustauschkennzahl.

### Lüftungswirkungsgrad

Zur Vermeidung von Werten größer als 1 bei der Lüftungswirksamkeit wird der Lüftungswirkungsgrad (ventilation efficiency) verwendet (Lüftungswirkungsgrad = Lüftungswirksamkeit / (1 + Lüftungswirksamkeit)).

## 8 Energetische Aspekte: Transport von Wärmeenergie

Luftwechsel bedeutet immer auch gleichzeitig Transport und damit Austausch der in der Luft enthaltenen Wärmeenergie. Der Austausch erfolgt über den Wärmeenergiegehalt der Luft und mittels Konvektion der umgebenden Bauteile. Ausschlaggebend ist dabei die Konstruktion der den Raum umgebenden Bauteile, da diese unmittelbar an die Raumluft angrenzen. Man kann unterscheiden in schwere Bauart (Massivbau; Gebäude mit einem extrem großen Wärmebeharrungsvermögen) und leichte Bauart (Leichtbau; Gebäude, die ein kleines Wärmebeharrungsvermögen haben).

Die Verbesserung der Gebäudehülle hinsichtlich der Wärmedurchgangskoeffizienten führt dazu, daß der Wärmeverlust im gesamten reduziert wird. Dabei wird einerseits der Transmissionswärmeverlust reduziert, andererseits erhöht sich gleichzeitig der Anteil des Lüftungswärmeverlusts. Daraus folgt, daß das Thema Lüftung verstärkt beachtet werden muß.

### 8.1 Lüftungswärmebedarf

Den Anteil der Wärmeenergie, der über die Lüftung vom Gebäude an die Außenluft abgegeben wird, und der zur Erwärmung der zugeführten Luft während der Heizperiode notwendig ist, bezeichnet man mit Lüftungswärmebedarf. <sup>74</sup>

Die Verbesserung der Wärmeschutzeigenschaften der Gebäudehülle (Wände inkl. Verglasung, Dach) führt zu einer Verringerung des Transmissionswärmebedarfs. Der Lüftungswärmebedarf reduziert sich dadurch nicht. <sup>75, 76</sup>

### Wärmerückgewinnung

In der Literatur zu Raumlüftung wird als wichtiges Argument für eine mechanische Lüftung der unkontrollierte Wärmeverlust über Fensterlüftung genannt. Eine Maßnahme ist die mechanische Be- und Entlüftung des Gebäudes. Hierbei kann über Wärmerückgewinnungssysteme die in der Abluft enthaltene Wärmeenergie der Zuluft wiederzugeführt werden. Durch Rückgewinnung der an die Umwelt abgegebenen Energie (Lüftungswärmeverlust, Transmissionswärmeverlust und Energieverlust über abgeführte Medien) läßt sich der Energiebedarf eines Gebäudes reduzieren. Der hierfür erforderliche konstruktive und technische Aufwand ist immer am Einzelfall zu bestimmen und dem Nutzen gegenüber zu stellen.

Wenn der Anteil der Betriebszeiten, zu denen Wärmeenergie abgeführt werden muß, bedeutend größer ist

als der Anteil der Betriebszeiten, zu denen Wärmeenergie zugeführt werden muß, reduziert sich die Bedeutung von Wärmerückgewinnungsanlagen. Bei der Wärmerückgewinnung sind immer die Verhältnismäßigkeit und die Formen der benötigten Energie zu beachten.

### 8.2 Direkte Abfuhr von Wärmeenergie durch Lüftung

Die Reduzierung der Wärmeverluste über Transmission durch Glasflächen führt dazu, daß auf Grund solaren Energieeintrags in das Gebäude und interner Wärmelasten vor allem Verwaltungsgebäude teilweise einen größeren Kühlbedarf als Heizbedarf aufweisen. Mit zunehmenden Wärmelasten einerseits und abnehmenden Transmissionswärmeverlusten über die Gebäude andererseits kommt dem energetischen Aufwand zur Bereitstellung der nötigen Kälteenergie eine verstärkte Bedeutung zu. <sup>77</sup>

Der Abtransport von Wärmeenergie geschieht in der Regel über die temporäre Einlagerung der Wärme in einen Trägerstoff. Dies können bei geringen Wärmemengen die raumbegrenzenden Massen sein, die zeitversetzt die Wärme wieder abgeben. Bei größeren Wärmemengen kann die Wärme direkt über Luft oder indirekt über Flüssigkeiten als Medium (geschlossener Kreislauf, Wärmetauscher) abgeführt werden.

Die direkte Lüftung über die Fassade stellt ein einfaches und kosten-

günstiges Prinzip dar, ungewünschte Wärmeenergie aus dem Raum abzuführen und so den Energiebedarf für Kühlung zu reduzieren.

Wärmetransport mittels Abluft hat den Vorteil, daß dies dezentral über die Fassade erfolgen kann. <sup>78</sup>

Im Zusammenhang mit der Einsparung fossiler Energieträger wird dieser Aspekt zunehmend wichtiger. Kühlung durch Lüftung erfolgt durch:

- Konvektiver Wärmeabtransport: Die kühlere Luft erwärmt sich beim Vorbeistreichen an den wärmeren Oberflächen und entzieht ihnen Wärmeenergie.
- Kühlung durch Verdunstung: Die beim Verdunstungsvorgang von Wasser entstehende Kälte wird z.B. vom menschlichen Körper dann zu Kühlzwecken eingesetzt, wenn der konvektive Wärmeabtransport durch die Luft nicht ausreicht, sodaß zusätzliche Kühlung durch Verdunstung erforderlich ist. Dies ist vor allem bei Außentemperaturen über der gewünschten Innenraumlufttemperatur im Hochsommer der Fall. Die Zuführung von Luft mit eigentlich außerhalb des Normbereichs liegender Temperatur kann dann noch einen Kühlungseffekt hervorrufen. Außerdem ist an Tagen mit sehr hohen Außenlufttemperaturen die Toleranzschwelle der Benutzer erfahrungsgemäß höher als an normalen Sommertagen. <sup>79</sup> Für sehr heiße Tage gilt, daß freie Lüftung nur dann zu akzeptablen Raum-

bedingungen führen kann, wenn die Außentemperatur nicht über bestimmten Grenzwerten liegt. <sup>80</sup>

### 8.2.1 Thermische Speicherfähigkeit

Zwischen Raumluft und angrenzenden Bauteilen findet ein Austausch von Wärmeenergie statt. Je nach Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherkapazität (in Relation zur Dichte) kann über Konvektion Wärmeenergie der Luft an die umgebenden Hüllflächen abgegeben werden und umgekehrt. Man spricht hierbei auch von einem Puffer-Effekt, da thermische Spitzen abgefangen und zeitversetzt wieder abgegeben werden. <sup>81</sup>

Bei Leichtbauten ist auf Grund der geringeren Masse die thermische Speicherfähigkeit geringer. Das Abführen von anfallender Wärmeenergie sollte daher direkt über die Lüftung geschehen. Analog dazu führt die Zuführung von Außenluft an kalten Tagen (z.B. zur Versorgung mit ausreichender Luftqualität) zu einer raschen Absenkung der Raumtemperatur, da die thermische Speicherfähigkeit gering ist; damit steigt der Bedarf an Wärmeenergie zur Einhaltung der Raumtemperatur. Bei schwerer Bauart ist der Anteil der abgeführten Wärme geringer, da die umgebenden Massen als Puffer wirken.

Wie groß der Einfluß des Luftwechsels auf den Wärmehaushalt des Raumes ist, wird durch den Aufbau der Umgebungsflächen bestimmt. Bei massiven, schweren, also als

thermische Masse wirkenden Flächen ist der Abkühlungseffekt gering.

### 8.2.2 Nachtauskühlung

Durch thermische Speicherfähigkeit kann Wärmeenergie in der Gebäudemasse eingelagert werden und zeitlich versetzt durch Nachtauskühlung abgeführt werden. Thermisch aktive Speichermassen (Wirksamkeit bis zu einer Tiefe von ca. 10 cm) entziehen der Raumluft tagsüber Wärmeenergie und geben diese an die auf Grund des Temperaturabfalls nachts kühlere Raumluft wieder ab.

Wirksam ist die Nachtauskühlung bereits ab einer Differenz von 5K zwischen den Außentemperaturen tags und nachts. <sup>82</sup>

Die Nachtauskühlung der Gebäudestruktur kann über einen integrierten Kreislauf und Wärmetauscher oder direkt über eine Nachtlüftung geschehen. Dazu sind effizient wirkende Öffnungen in der Fassade notwendig, die genau regelbar, schlagregendicht und außerdem einbruchsicher sind.

Neben dem Einsatz zur Pufferung von Temperaturspitzen kann die Nachtlüftung auch bei Gebäuden eingesetzt werden, bei denen die Luftgeschwindigkeit während der Betriebszeiten limitiert ist. Während der Betriebszeiten können so tagsüber limitierte Luftgeschwindigkeiten eingehalten werden, wenn die Luftwechselzahlen außerhalb der Betriebsstunden entsprechend erhöht werden.

Das Prinzip der Nachtauskühlung kann außerdem bei zu hoher Außentemperatur zur Verbesserung des Raumklimas (Kühlung der Raumtemperatur) herangezogen werden.

### 8.3 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Gebäude-  
lüftung kann nicht nur an den Investitions- und Betriebskosten gemessen werden. Einflüsse auf den Nutzer - so schwer diese auch objektiv zu bestimmen sind - müssen umfassend mit einbezogen werden. Bei einem Vergleich von Fensterlüftung und mechanischer Lüftung müssen energetische und funktionelle Aspekte gleichermaßen berücksichtigt werden. Das Verhalten des Nutzers ist dafür ausschlaggebend. Entsprechend unterschiedlich und gegensätzlich sind die Ergebnisse der Untersuchungen.

#### 8.3.1 Konditionierung der Zuluft

Die Konditionierung der zugeführten Luft ist bei Lüftung über Öffnungen in der Fassade mit zusätzlichen Einbauten oder regelungstechnischen Anlagen im Bereich der Fassade möglich. <sup>83</sup>

Eine andere Strategie liegt darin, die zugeführte Luft über einen genau dosierbaren und fein abgestimmten Lufteintritt so in den Raum zu leiten, daß durch die sich einstellende Durchmischung eine Konditionierung der Zuluft entfallen kann. Hierzu ist ein genaueres Verständnis der Fensteröffnungsart und der aerodynamischen Ausbildung der Öffnungen notwendig.

### 8.3.2 Optimierung der Energiekosten

Bei Büro- und Verwaltungsbauten werden oftmals die Betriebsanlagen eines Gebäudes über ein Leitsystem automatisch gesteuert, um durch einen rationellen Energieeinsatz die Betriebskosten zu minimieren.

Durch automatische Regelung der freien Lüftung über Lüftungsöffnungen in der Fassade in Abhängigkeit von äußeren und inneren Zustandsgrößen kann der gewünschte Zustand mit großer Präzision und hoher Effizienz und gleichzeitigem minimalen Energieeinsatz erreicht werden. Bei einer Planung ist das Lüftungskonzept auf die Situation abzustimmen. Die am Ort vorhandenen klimatischen Verhältnisse sind dabei von großer Bedeutung. Durch den Einsatz der vorhandenen Umweltenergien lassen sich die Betriebskosten minimieren.

## 9 Zusammenfassung

Aus der Darstellung der verschiedenen Aspekte zum Thema Lüftung wird deutlich, daß bisherige Betrachtungen und Untersuchungen sich auf Grund der besseren Voraussagbarkeit der Wirkung mechanischer Lüftung gegenüber den Schwankungen der äußeren Bedingungen oftmals primär auf mechanische Lüftung beziehen.

Bei mechanischer Lüftung lassen sich die physikalischen Größen für die Durchführung experimenteller

Untersuchungen und Simulationen einfacher erfassen.

Die Abbildung der schwankenden Bedingungen bei freier Lüftung ist erheblich schwieriger. Erst in den letzten Jahren sind vermehrt Ansätze zu verzeichnen, dies auch in Simulationen und Messungen zu berücksichtigen. Mit zunehmender Erkenntnis zu natürlicher Lüftung und der Bedeutung der Nutzung der in der Umwelt verfügbaren Energie kommt der Fensterlüftung wieder Bedeutung zu.

## Anmerkungen

- <sup>1</sup> Die noch heute geltenden maßgeblichen Grundlagen wurden Mitte des 19. Jahrhunderts von Max von Pettenkofer (1818-1901) erarbeitet. Die ersten Luftwechsellmessungen unter Verwendung von Kohlendioxid als Indikator wurden von Pettenkofer durchgeführt. Daraus ergab sich die Pettenkofer-Zahl (0,1 % Kohlensäuregehalt als Richtwert), die für die Beurteilung des Kohlendioxidgehalts der Luft verwendet wird. Heute verwendet man einen MAK-Wert 0,5 % als Grenz-Zielwert (die oberste Grenze, bei der gesundheitliche Schäden vermieden werden, liegt bei 2,5 %).
- <sup>2</sup> Baker/Steemers 2000, S. 54ff.
- <sup>3</sup> Für freie Lüftung findet sich in DIN 1949-6 als allgemeine Anforderung: „Die Anzahl, Ausführung und Anordnung der Fenster, die Durchlässigkeit der Gebäudehülle und die Bemessung der Außenwand-Luftdurchlässe eine ausreichende Wohnungslüftung ermöglichen.“  
Für Arbeitsräume ist in Arbeitsstättenverordnung, § 5 Lüftung definiert: „In Arbeitsräumen muß (...) während der Arbeitszeit ausreichend gesundheitlich zuträgliche Atemluft vorhanden sein.“
- <sup>4</sup> Recknagel et al. 2001, S. 1458ff.
- <sup>5</sup> Der Luftwechsel sowie die Lüftungsrate werden durch Normen je nach Land mit verschiedenen Werten vorgeschrieben, z.B. (für Nichtraucher) Deutschland: 40 m<sup>3</sup>/h/Person; Schweiz: 25 - 30 m<sup>3</sup>/h/Person; England: 18 m<sup>3</sup>/h/Person; USA 36 m<sup>3</sup>/h/Person. (Miloni 2001, S. 35)
- <sup>6</sup> Mit dem Gütegrad der Lüftung lassen sich genauere Aussagen zur Lüftung treffen, da Aspekte wie Belastungsgrad, Spülgrad, Lüftungseffektivität, Alter der Luft etc. betrachtet werden. (Recknagel et al. 2001, S. 1463)

- 7 „Lüftung ist die Erneuerung der Raumluft durch direkte oder indirekte Zuführung von Außenluft. Die Lüftung erfolgt durch freie Lüftung und Lüftungstechnische Anlagen.“ (Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 5)
- 8 Im Zusammenhang mit Raumlufttechnik unterscheidet man die Lufttechnik generell in:
- Raumlufttechnik, unterteilt in:
    - freie Lüftung
    - RLT-Anlagen
  - Prozeßlufttechnik (Trockner, Späneabsaugung etc.). (Recknagel et al. 2001, S. 1060)
- 9 Für die mechanische Lüftung findet sich auch der Begriff „erzwungene Lüftung“. (Ehrenfried 2000)
- 10 Raumlufttechnische Anlagen können unterteilt werden in:
- Lüftungsanlagen zur Sicherstellung des notwendigen Luftwechsels
  - Teilklimaanlagen zur Temperierung der dem Raum zugeführten Luft
  - Klimaanlagen zur Temperierung, Reinigung (Filter) und befeuchten der dem Raum zugeführten Luft
- 11 Mechanische Lüftung ist mit hohen Kosten verbunden, die sich in vier Bereiche gliedern lassen:
- Investitionskosten
  - Unterhaltskosten (Wartung, Verschleiß etc.)
  - Betriebskosten
  - Gebäudevolumen für Installation
- 12 Abweichend findet sich der Begriff bei Hausladen (Hausladen 1980, S. 1) bei der Einteilung des Luftaustauschs einer Wohnung in:
- Natürliche Lüftung (Fugen- und Schachtlüftung)
  - Öffnen der Fenster
  - besondere Lüftungseinrichtungen
- Analog dazu verwendet Zürcher (Zürcher/Frank 1998, S. 77):
- Natürlicher Luftwechsel: Unkontrollierter Luftaustausch über Undichtigkeiten in der Gebäudehülle
  - Lüftung kontrolliert über Lüftungseinrichtungen (Fenster, mechanische Lüftungsanlagen etc.).
- 13 Zu den durch ein Fenster bei einseitiger Fensterlüftung und Querlüftung auftretenden Luftströmungen wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Bei Querlüftung ist die Windgeschwindigkeit der bedeutende Faktor für eine Erhöhung des Volumenstroms; Temperaturdifferenzen wirken sich im Vergleich vernachlässigbar aus. In diesem Punkt unterscheidet sich Querlüftung von einseitiger Fensterlüftung, bei der thermische Aspekte sehr wohl von Bedeutung sind. Zusätzlich konnte festgestellt werden, daß - wie bei einseitiger Fensterlüftung - Unterschiede bei der Windrichtung nur einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Größe des Luftaustauschs hat. (Maas et al. 2000)
- 14 Hierzu haben die Fenster- und Beschlagshersteller z.B. Fensterantriebe entwickelt, die im Blend- und Flügelrahmen integriert sind und von der Gebäudeleittechnik entsprechend angesteuert werden können.
- 15 Miloni 2001, S. 29ff.
- 16 Als Projektierungsgröße nennt R. Miloni einen Anteil der Öffnungsfläche von 5 % der Nutzfläche eines Raumes. (Miloni 2001, S. 29ff.)
- 17 Im Fall eines idealisierten Bürogebäudes beträgt die tägliche Betriebszeit der mechanischen Belüftung ca. 35 % in Addition zur natürlichen Lüftung zur Gewährleistung behaglicher Raumzustände. (Daniels 1994, S. 39)
- 18 Heiselberg 2000, S. 13ff.
- 19 ebd, S. 18
- 20 „Interessant ist, daß trotz Lüftungsanlage die Nutzer offensichtlich ein großes Bedürfnis haben, das Fenster zu öffnen.“ (Reiß et al. 2001)
- 21 Hartmann 1999
- 22 Recknagel et al. 2001, S. 1061ff.
- 23 Der Fugendurchlaßkoeffizient  $a$  ist ein Maß für das pro Sekunde und Meter Fugenlänge bei einer Luftdruckdifferenz von 10 Pa durch die Fuge ausgetauschte Luftvolumen (moderne Fenster  $a \sim 0,3$ , ältere Fenster  $a \sim 2,0$ ).
- 24 Spörrli 1993, S. 73
- 25 In diesem Zusammenhang ist die DIN 4108, Ausgabe von 1960, interessant. Hier wird für besonders dicht schließende Fenster empfohlen, Lüftungsmöglichkeiten durch Lüftungsklappen vorzusehen. (Frölich 1992)
- 26 Neben der „Spar,-Kippstellung von 3-5 mm nennt Estrich auch eine Spaltluftstellung von ca. 10 mm Kippöffnung, bei der ein Luftaustausch von 50 m<sup>3</sup> je Stunde erreicht werden kann. (Estrich 5/1987, S. 14ff.)
- 27 Eine Kombination mit frei drehenden Rotoren gewährleistet den Luftaustausch auch bei ungünstigen klimatischen Verhältnissen. (Beispiel: Verwaltungsgebäude Deutsche Messe AG, Hannover, Arch.: Herzog + Partner)
- 28 Bei Seifert findet sich die Auflistung von Selbstlüftung (Lüftung über geschlossenen Fenster und Türen, Fugen und sonstigen Öffnungen in den raumabschließenden Bauteilen), Fensterlüftung (durch Öffnen der Fenster) und Durchzugs- oder Stoßlüftung (ermöglicht hohe Luftwechselzahlen). (Seifert 1985, S. 134ff.)
- 29 Miloni 2001, S. 35
- 30 Detzer 1986, S. 347
- 31 Hanel 1994, S. 13
- 32 Bei spaltförmigen Öffnungen sind die auftretenden Verwirbelungen und die sich einstellenden Luftwalzen im Raum für den Grad der Durchlüftung ausschlaggebend. Die Messungen wurden an Gebäudemodellen durchgeführt. Gemessen wurden Temperaturen mit Thermoelementen und Raumluftgeschwindigkeiten mit Anemometern. Die Luftwechselzahlen wurden mittels Konzentrationsabnahme von Stickoxid gemessen. Der Lage und Ausbildung des offenbaren Fensterteils bei Kippflügeln wird eine untergeordnete Bedeutung zugewiesen. (Detzer 1986, S. 347ff.)
- 33 Recknagel et al. 2001, S. 1449
- 34 Hanel 1994, S. 5ff. Moog 1978, S. 11
- 35 Aufgrund der verbesserten Wärmedämmeigenschaften der Wände und der damit verringerten Strahlungssymmetrie ist die Anordnung von Heizkörpern unter Drehkippenfenstern nicht mehr erforderlich.
- 36 Estrich 5/1987, S. 14ff.
- 37 Als statistischer Wert gilt, daß auf den individuellen thermischen Komfort bezogen ca. 5 % der Benutzer von den ermittelten Größen abweichen. (Miloni 2001, S. 33)
- 38 Die in DIN 5034-4 angegebenen Tabellen zur Bestimmung der Mindestgrößen für Fenster im Zusammenhang mit Wohnräumen beziehen sich auf die ausreichende Versorgung der Räume mit Tageslicht. Eine Größe der Lüftungsöffnung läßt sich daraus jedoch nicht ableiten.
- 39 Da die thermische Empfindung die maßgebliche Größe für das Wohlfühlen eines Raumklimas ist, wird die Behaglichkeit oftmals auch nur mit „thermischer Behaglichkeit“ bezeichnet.
- 40 Der in den USA gültige Standard wurde hauptsächlich für die Verwendung von Klimaanlagen entwickelt, wird aber auch für andere Zwecke verwendet. Entsprechend sind die dort getroffenen Definitionen für

- Raumeigenschaften nicht ausreichend. (Givoni 1994, S. 39)
- 41 Die Behaglichkeitsfaktoren können dabei nicht als einzelne Größen betrachtet werden, sondern müssen immer im Zusammenhang gesehen werden. Werden alle Behaglichkeits-Aspekte durch die Bedingungen erfüllt, spricht man im Englischen von „total comfort“. (Santamouris 1996, S. 129)
- 42 „Thermische Behaglichkeit ist gegeben, wenn eine Person in einem (mit einer RLT-Anlage ausgerüsteten) Raum mit der Temperatur, der Feuchte und der Luftbewegung in ihrer Umgebung zufrieden ist und weder wärmere noch kältere, weder trockenere noch feuchtere Raumluft wünscht.“ (Mürmann 1994, S. 24)
- 43 Im Zusammenhang mit den Zustandsgrößen der Luft stehen Niederschläge, Sonnenstrahlung, Wind etc. Die verschiedenen klimatischen Parameter ergeben zusammen das Wetter. Die Beobachtung während eines längeren Zeitraums wird als Klima bezeichnet. (Recknagel et al. 2001, S. 10)
- 44 Für Arbeitsplätze geregelt in Arbeitsstättenverordnung, § 6 Raumtemperaturen: „In Arbeitsräumen muß während der Arbeitszeit eine (...) gesundheitlich zuträgliche Raumtemperatur vorhanden sein.“
- 45 Die empfundene Temperatur setzt sich zusammen aus: Oberflächentemperatur, Strahlungstemperatur, Lufttemperatur.  
Die empfundene Temperatur wird in Frankreich und der Schweiz als „resultierende Temperatur“, in den USA und Italien als „wirksame Temperatur“ bezeichnet. (Labohm 1963)
- 46 Die Entwärmung des Menschen geschieht neben dem konvektiven Wärmetransport über die Luft auch über die Wärme(ab)strahlung an die Umgebungsflächen. Dies sollte möglichst gleichmäßig erfolgen, da Unterschiede bei den Temperaturen der Umgebungsflächen zu Unbehaglichkeit führen. Von Fanger wurde hierfür der Begriff „Asymmetrie der Strahlungstemperatur“ verwendet. Der Unterschied zwischen Mittel aus Lufttemperatur und mittlerer Temperatur der Umgebungsflächen sollte maximal 3K betragen. Als Mittelwert lassen sich 20 - 22 °C angeben. (Recknagel et al. 2001, S. 56)
- 47 Im modernen Fassadenbau ist es mittlerweile möglich, Konstruktionen so auszuführen, daß sie bei Verwendung entsprechender Wärmeschutzverglasungen mit niedrigem U-Wert eine hohe innere Oberflächentemperatur aufweisen. Diese wirkt sich günstig auf die thermische Behaglichkeit aus, da die Strahlungsasymmetrie verringert wird.
- 48 Zu der Angabe von Werten zu Luftfeuchte sei darauf hingewiesen, daß die relative Luftfeuchte im Bereich 30 % bis 70 % subjektiv nicht unterschieden werden kann. Bei ca. 20 °C ist der Anteil der Verdunstung an der Wärmeabgabe gering. Auch bei höheren Temperaturen kann der Mensch in der Wahrnehmung der Luftfeuchte nicht genau differenzieren. (Recknagel et al. 2001, S. 57)
- 49 Givoni 1994, S. 42
- 50 „Bis zu einer Temperatur von 20 °C tritt bei einer Luftgeschwindigkeit unter 0,2 m/s üblicherweise keine Zugluft auf.“ (Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 5)
- 51 In der Literatur findet sich abweichend dazu auch die Angabe von 0,15 m/s als Wert für maximale Luftgeschwindigkeiten für Bereiche, in denen sich Personen aufhalten. (RWE Energie Bau-Handbuch 1993, S. 16/7)
- 52 Bei Neufert wird z.B. für eine Raumlufttemperatur von 27 °C eine Raumluftgeschwindigkeit von über 0,3 m/s angegeben. (Neufert 2000, S. 119)
- 53 Allard 1998, S. 5
- 54 Hausladen 2003, S. 20
- 55 Zu der Angabe von Werten zu Luftgeschwindigkeiten sei darauf hingewiesen, daß Luftgeschwindigkeiten kleiner als 0,15 m/s subjektiv nicht unterschieden werden können. (Hanel 1994, S. 6)  
Dazu abweichend gibt Daniels an, daß Luftgeschwindigkeiten über 0,12 m/s im Aufenthaltsbereich als störend empfunden werden. (Daniels 1994, S. 53)
- 56 Fanger 1994, S. 217
- 57 Je größer die Untertemperatur der zugeführten Luft gegenüber der Raumluft ist, desto größer ist das Zugluftisiko. Ein Vorwärmen der in den Raum eintretenden Außenluft kann durch die Anordnung der Zuluftöffnungen in Kombination mit Wärmequellen erfolgen. Im Zuge der Überlegungen zur sehr hohen Dichtigkeit von Fenstern wurden daher die Zuluftöffnungen zur Gewährleistung der Mindestluftzufuhr über Heizkörpern angebracht.
- 58 Zugluft gilt neben Geräuschbelastung als eine der hauptsächlichen Gründe für Unzufriedenheit mit Klima- und Lüftungsanlagen. (Recknagel et al. 2001, S. 59)
- 59 „Die Beschäftigten dürfen keiner vermeidbaren Zugluft ausgesetzt sein.“ (Arbeitsstätten-Richtlinie ASR 6)
- 60 Zentralnervöse Symptome: Müdigkeit, Konzentrationsstörungen, Benommenheit, Kopfschmerzen  
Schleimhautirritationen: Jucken und Brennen der Augen, Augenreizungen bei Kontaktlinsenträgern, verstopfte und/oder laufende Nase, trockener Hals, Hustenreiz, Heiserkeit
- Haut: Trockenheit, Entzündungen (Recknagel et al. 2001, S. 84ff.)
- 61 In der Literatur findet sich dazu der Verweis auf „fehlende Fensterlüftung“ und höhere Luftwechselraten als bei konventionellen Gebäuden mit Spaltlüftung (über Öffnungsflügel). (Recknagel et al. 2001, S. 84ff.)
- 62 Blum nennt als eine der Primärmaßnahmen die kontrollierte Lüfterneuerung durch Fensterlüftung. (Blum 1994, S. 132ff.)
- 63 Bei der Erfassung der Beeinträchtigungen durch diverse Umgebungsbedingungen ist die fehlende Fensterlüftung eine der am meisten genannten Punkte. Stoßlüftung über Fensterlüftung kann zur „spontanen, kräftigen Wärmeabfuhr bei Streß, Ermüdung etc.“ benutzt werden. (Kröling 1993, S. 22ff.)
- 64 Im Rahmen des ProKlima-Projekts wurde durch umfangreiche Untersuchungen festgestellt, daß natürlich belüftbare Arbeitsplätze im Vergleich zu mechanisch belüfteten Räumen vom Nutzer als positiver bewertet wurden, als dies durch die Meßwerte bestätigt wurde. Mechanisch belüftete Räume wurden in Bezug zu den Meßwerten schlechter bewertet, obwohl die gemessenen Parameter des Raumklimas und der Raumluftqualität in den mechanisch belüfteten Gebäuden geringere Belastungen zeigten. (Bischof et al. 2003, S. 174 ff. und S. 207)
- 65 Als Anhaltswert gelten eine Erhöhung der Abwesenheitsrate um 1% und Minderung der Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter um 2-8 %. (Recknagel et al. 2001, S. 85)
- 66 Recknagel et al. 2001, S. 50ff.
- 67 Mürmann 1994, S. 26
- 68 Santamouris 1996, S. 27
- 69 Recknagel et al. 2001, S. 1449ff.

- 70 Effektivität:  
 - Wirksamkeit, Leistungsfähigkeit (Brockhaus 1996, Band 6, S. 105)  
 - Wirksamkeit, Wirkung, Leistung (Duden 1999, Band 2, S. 918)  
 Effizienz:  
 - Bildungssprachlich für Wirksamkeit, Wirtschaftlichkeit (Brockhaus 1996, Band 6)  
 Zum besseren Verständnis sei hier auf die Verwendung der englischen Begriffe verwiesen (De Vries 1972):  
 - effective: nutzbar, tatsächlich, wirksam, wirkungsvoll  
 - effectiveness: Wirksamkeit, Wirkung, Wirkungsgrad  
 - efficiency: Ausbeute, Ausnutzung, Güteverhältnis, Nutzeffekt, Wirksamkeit, Wirkungsgrad  
 - efficient: betriebswirtschaftlich, leistungsfähig
- 71 Daniels 1995, S. 39
- 72 Raatschen 1988
- 73 „Neben der Bestimmung der an den Fensteröffnungen auftretenden Luftwechselraten gewinnt auch die Unterscheidung der Effektivität der betrachteten Lüftungsvariante immer mehr an Bedeutung.“ (S. 10)  
 „Die Lüftungseffektivität ist mit von der Fensterlüftung abhängig, also dem sich einstellenden Strömungsmuster.“ (Richter et al. 2003 S. 10 bzw. S. 73)
- 74 Dauer- und Stoßlüftung lassen sich bezogen auf den entstehenden Wärmebedarf dann vergleichen, wenn in beiden Fällen die gleiche Luftmenge ausgetauscht wird. Hierbei ist die Bauart entscheidend (schwere und leichte Bauart). Bei schwerer Bauart liegt ein thermisches Speicherverhalten mit großer Trägheit zugrunde. Bei leichter Bauart wird weniger thermische Masse aktiviert. (siehe auch Gertis/Hauser 1979, S. 89ff.)
- 75 Bei Niedrigenergiehäusern beträgt der Anteil des Lüftungswärmebedarfs 60 - 75 %. (Hausladen/Springl 1994, S. 10)
- 76 Der Wärmeverlust durch Lüftung bei einem Dämmstandard nach der WSVO von 1995 beträgt bei einem Einfamilienhaus 23 %, bei einer Mittelwohnung 50 %. (Radtke 1994)
- 77 Zur Absenkung der Raumtemperatur um 1K ist ca. die dreifache Menge an Energie notwendig im Vergleich zu einer Erhöhung der Raumtemperatur um 1K.
- 78 Für Richter ist die Fensterlüftung die „billigste und wirksamste Bedarfslüftungsart, um diskontinuierliche Lastspitzen abzufangen und parallel dazu die durchschnittliche Lüftungsrate den individuellen Gewohnheiten der Wohnungsnutzer anzupassen. Die Möglichkeit des Fensteröffnens hat außerdem ein psychologisches Moment“. Gleichzeitig verweist er jedoch auch darauf, daß mangelnde Justiermöglichkeiten zu erhöhten Wärmeverlusten bei Dauerlüftung führen und die Fensterlüftung daher nicht als regelbare Dauerlüftung geeignet sei. (Richter, W. 1983, S. 33)
- 79 An sehr warmen Tagen mit erhöhter Außenlufttemperatur kann bei einer Luftgeschwindigkeit von 0,8 m/s und einer relativen Luftfeuchte von 60 % durch freie Lüftung und der damit verbundenen Kühlung durch Verdunstung der Grenzwert zur Einhaltung der thermischen Behaglichkeit um 2 °C nach oben verschoben werden. (Allard 1998, S. 5)  
 Ein anderer Wert hierzu findet sich bei Santamouris: Bei Lüftung an warmen Tagen kann aufgrund der zunehmenden Verdunstungskälte durch eine Erhöhung der Luftgeschwindigkeit um 0,15 cm/s bei 75 % Luftfeuchte eine um 1° C höhere Lufttemperatur kompensiert werden. (Santamouris 1996, S. 28)
- 80 Diese vor allem im Mittelmeerraum vorkommenden Verhältnisse sollen an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden. (Givoni 1994, S. 5)
- 81 Analog zu der thermischen gibt es auch eine hygrische Speicherfähigkeit: Die Schwankungen in der Luftfeuchtigkeit wird analog den Temperaturschwankungen von den Umgebungsflächen durch Speicherung nachvollzogen und gedämpft. Die hygrischen Speicherwirkungen erfolgen bei Lastfällen in einer nur geringen Dicke der Konstruktion (Tagesgang nur wenige mm). Die Dicke der thermischen Speicherwirkung liegt dagegen im Tagesgang bei 6 bis 10 cm. Für das Raumklima wird aufgrund der unterschiedlichen Ergiebigkeit die hygrische Speicherwirkung an dieser Stelle nicht weiter betrachtet. (Petzold/Martin 2000)
- 82 Zu beachten ist dabei, daß der Taupunkt der Luft unter der tiefsten Temperatur der Flächen im Raum liegt, damit keine Kondensation eintritt. Für ein Standardbürogebäude läßt sich angeben, daß die Nachtlüftung im Hochsommer das Kühllastmaximum um ca. 10 % reduziert; niedrigere Außenlufttemperaturen können bis zu einer Reduktion von 30 % führen. (Konradt/Güttler 1997, S. 75)
- 83 Bei mechanischer Lüftung wird die Zuluft je nach Anforderung konditioniert (Erwärmen, Kühlen, Be- und Entfeuchten, Filter, Reinigen u.a.). Bei freier Lüftung über Fenster hingegen tritt die Außenluft direkt in den Raum ein und vermischt sich mit der Raumluft. Die Nachteile liegen dabei in der mangelnden Steuerbarkeit der Parameter der Zuluft.

## Anhang 6 Glossar

### 1 Im Zusammenhang mit Fenstern verwendete Bezeichnungen (Auswahl)

Die Begriffe beziehen sich auf die Bewegung des Flügels, die Anordnung (und Konstruktion) der Flügel oder die Art des festen Rahmens (= konstruktiver Anschlag).<sup>1</sup>

Abstellfenster: siehe Parallelabstellfenster

Beschlag: Beschläge sind für Fenster und Türen notwendig zur beweglichen Verbindung der Flügel- mit den Blendrahmen sowie zum Schließen und Verriegeln der Fenster- und Türflügel.

Blendrahmen(fenster): bezieht sich auf den konstruktiven Anschlag der Rahmenkonstruktion: Rahmen im Mauerfalz (von innen oder außen) eingesetzt

Blockrahmen(fenster): bezieht sich auf den konstruktiven Anschlag der Rahmenkonstruktion: Rahmen stumpf in das Gewände eingesetzt

Doppel(rahmen)fenster: bezieht sich auf die Konstruktion und Anordnung der Flügel: Fenstersystem mit zwei Verglasungsebenen, die an einen gemeinsamen Stockrahmen (Zarge) angeschlagen sind, äußerer Flügel nach außen und innerer nach innen öffnend, vorwiegend für Drehfenster

Drehfenster: Fenster mit seitlicher

senkrechter Bewegungsachse, Öffnungen nach innen oder außen

Drehkippenfenster: Fenster mit seitlicher senkrechter und unterer horizontaler Bewegungsachse, per Betätigung Wechsel zwischen beiden Achsen in geschlossenem Zustand, bei älteren Modellen erfolgt der Wechsel zwischen beiden Bewegungsachsen in geschlossenem Zustand mittels separater Beschlagsteile, Öffnungen nach innen

Faltfenster (Faltschiebefenster): Fenster aus mehreren Segmenten mit seitlichen vertikalen Bewegungsachsen, von denen jede zweite oben und unten in einer horizontalen Schiene gelagert seitlich verschoben werden kann, die anderen Achsen werden durch Bewegung aus der Fassadenebene (nach außen oder innen) bewegt.

Hebefenster: siehe Vertikalschiebefenster

Hebeschiebefenster: Horizontalschiebefenster, bei dem der Flügel aus der geschlossenen Stellung angehoben werden muß, um verschoben werden zu können

Horizontalschiebefenster: Fenster, bei dem die Flügel seitlich verschoben werden können

Kastenfenster: bezieht sich auf die Konstruktion und Anordnung der Flügel: Fenstersystem mit zwei Verglasungsebenen, getrennt angeschlagene Flügel, beide nach innen öffnend, vorwiegend für Drehfenster

Kippenfenster: Fenster mit horizontaler unterer Bewegungsachse, Öffnungen nach innen

Klappenfenster: Fenster mit horizontaler oberer Bewegungsachse, Öffnungen nach außen (und innen)

Schiebefenster: Fenster, bei dem die Flügel durch Schieben geöffnet werden können; in der Regel für Horizontalschiebefenster

Schwingfenster: Fenster mit horizontaler mittlerer Bewegungsachse, die obere Hälfte öffnet mittels Kippen nach innen, die untere Hälfte öffnet mittels Klappen nach außen, zum Reinigen auch in umgekehrter Richtung bewegbar mittels lösbarer Beschlagsteile

Senkklappenfenster: Fenster mit horizontaler Bewegungsachse, die in seitlicher Führung beim Öffnen etwas nach unten bewegt wird, so daß eine zusätzliche obere Öffnung entsteht, nach außen öffnend, in Großbritannien als 'Italian window' bekannt

Parallelabstellfenster: Flügel wird über Scherenmechanismus parallel zur Fassadenebene nach außen oder innen bewegt

Vertikalschiebefenster: Fenster, bei dem die Flügel senkrecht durch Schieben bewegt werden

Verbundfenster: bezieht sich auf die Konstruktion des Flügels: Fenstersystem mit zwei Verglasungsebenen, die lösbar (Reinigung) miteinander zu einem Flügel verbunden sind, (gemeinsame) Bewegung um einen Drehpunkt

Versenkfenster: Fenster, bei dem der Flügel senkrecht durch Schieben in einen Bereich unterhalb der Öffnung bewegt wird

Vorfenster: Fenstersystem in einer Außenwandkonstruktion (Lochfassade), welchem während der kalten Jahreszeit ein zweiter Fensterrahmen (Vorfenster) von außen vorgesetzt wird

Wendefenster: Fenster mit vertikaler mittlerer Bewegungsachse, die eine Hälfte öffnet nach außen, die andere nach innen, zum Reinigen auch in umgekehrter Richtung bewegbar mittels lösbarer Beschlagsteile

Wagnerfenster: siehe Verbundfenster

Winterfenster: umgangssprachlich verwendet für Vorfenster

Zargenfenster: bezieht sich auf den konstruktiven Anschlag der Rahmenkonstruktion: In das stumpfe Gewände ist eine umlaufende Zarge eingesetzt, an die der (Fenster-) Rahmen als Blockrahmen oder Blendrahmen angeschlagen wird.

## 2 Grundbegriffe zur Lüftung

Der Überblick erfolgt auf der Basis von DIN 1946. <sup>2</sup>

**Abluft:** die aus einem Raum (in der Regel durch raumluftechnische Anlagen oder durch ein freies Lüftungssystem) abgeführte / abgezogene / abströmende Luft

**Absaugung:** durch Ventilatoren abgeführte Raumluft, örtliche Luftabführung zur Senkung des Raumbelastungsgrades

**Aerophysik:** beschäftigt sich mit allen Fragen, welche die Luftströmung an, um und in Gebäuden betreffen, beinhaltet Thermodynamik und Aerodynamik

**Anlage:** im Sinne dieser Norm eine für sich funktionsfähige Einheit zur Erfüllung einer technischen Aufgabe

**Auftriebslüftung:** freie Lüftung; Luftförderung, bewirkt durch Temperaturunterschied zwischen außen und innen

**Außenluft:** Luft, die aus dem Freien dem Raum zugeführt wird

**Bedarfslüftung:** Lüftung, die sich dem jeweiligen Bedarf (Nutzung des Raumes) anpassen kann

**Belüftung:** Zuführung aufbereiteter Außenluft

**Dauerlüftung:** ununterbrochen wirkende Lüftung eines Raumes

**Entlüftung:** Begriff für Absaugen von Raumluft; irreführend, da hiermit eigentlich die vollständige Beseitigung von Luft gemeint ist.

**Exfiltration:** Raumluft, die durch Fugen aus der thermischen Hülle des Gebäudes austritt

**Fensterlüftung:** erzielter Luftwechsel eines Raumes mittels freier Lüftung durch Öffnen eines Fensters

**Fortluft:** die ins Freie (in der Regel durch raumluftechnische Anlagen oder durch ein freies Lüftungssystem) abgeführte Luft

**Freie Lüftung:** siehe „Lüftung, freie“

**Freies Lüftungssystem:** Lüftungssystem ohne maschinelle Luftförderung

**Frischluft:** frühere Bezeichnung für Außenluft (Dieser Begriff sollte nicht mehr Verwendung finden, da irreführend.)

**Fugenlüftung:** unkontrollierter Luftwechsel durch Undichtigkeit über baulich bedingte Fugen, z.B. an Fenstern und Türen

**Grundlüftung:** Lüftung, die den notwendigen Mindestaußenluftstrom gewährleistet

**Infiltration:** bezeichnet Außenluft, die durch Fugen von außerhalb der thermischen Hülle des Gebäudes in einen Raum eintritt

**Kühlung, freie:** Kühlung direkt oder indirekt mittels Außenluft, deren Temperatur unterhalb der Raumlufttemperatur liegt

**Lüftung:** Austausch von Raumluft gegen Außenluft

**Lüftung, freie:** Förderung der Luft durch Druckunterschiede infolge Wind und/oder Temperaturdifferenzen zwischen außen und innen (ohne Ventilatorbetrieb), z.B. Querlüftung, Schwerkraftlüftung, Schachtlüftung

**Lüftung, maschinelle:** Förderung der Luft durch Strömungsmaschinen

**Lüftungseffektivität:** Gütegrad der Lüftung, Fähigkeit der Lüftung, alte Raumluft in der Aufenthaltszone durch frische Außenluft zu ersetzen und Schadstoffe abzuführen

**Lüftungswirksamkeit, relative:** Vergleich des lokalen Luftalters mit dem Durchschnittsalter des ganzen Raums (auch als lokale Luftaustauschkennzahl bezeichnet), beschreibt die Güte eines Systems bezüglich der Schadstoffabfuhr

**Lüftungswirkungsgrad:** Zur Vermeidung von Werten größer als 1 bei der Lüftungswirksamkeit (z.B. Verdrängungsströmung) wird der Lüftungswirkungsgrad verwendet (= Lüftungswirksamkeit / (1+ Lüftungswirksamkeit) ).

**Luftaustauschwirkungsgrad:** Aussage zur Qualität des Gesamtluftaustausches im Raum, bezogen auf den Idealfall der Verdrängungsströmung

**Luftdurchlaß:** Einrichtung (Gitter oder Ventil), durch die dem Raum aufbereitete Luft zugeführt (Zuluftdurchlaß) oder aus dem Raum abgeführt wird (Abluftdurchlaß)

**Luftführung:** gewählte Art der Luftströmung in einem zwangsbelüfteten Raum

**Luftmassenstrom:** pro Zeiteinheit transportierte Luftmasse

**Luftqualitätsindex:** Verhältnis von Schadstoffkonzentration in der Abluft zur Schadstoffkonzentration in der Aufenthaltszone bei stationären Bedingungen

**Luftrate:** bezogener Luftvolumen-

strom (oft auch: Mindestaußenluftanteil je Person zur Aufrechterhaltung der Raumlufthygiene)

**Luftströmung:** Druckdifferenzen, denen Strömungswiderstände entgegen wirken, bewirken Luftströmung, die sich aus Luftgeschwindigkeit und Luftdurchsatz zusammensetzt.

**Luftvolumenstrom:** pro Zeiteinheit transportiertes Luftvolumen

**Luftwechsel (-rate):** Luftvolumenstrom für einen Raum bezogen auf das Raumvolumen; diese Zahl dient zur Beurteilung einer ausreichenden Lüftung und des Schwierigkeitsgrades der Luftverteilung

**Luftzug:** die als unbehaglich empfundene oder unerwünschte Abkühlung des Körpers durch Luftbewegung

**Mischluft:** Mischung von Luft verschiedenen Ursprungs, verschiedener Art oder verschiedenen Zustandes, meistens Gemisch von Umluft (Raumluft) und Außenluft

**Primärluft, allgemein:** Treibluft (aus einem Zuluftdurchlaß austretende Luftmenge) bei einem Induktionsvorgang

**Quelllüftung:** Zuführung der Zuluft mit Untertemperatur in eine bodennahe Schicht, thermischer Auftrieb an internen Wärmequellen (nach oben gerichtete Verdrängungsströmung) saugt die nachströmende Luft aus der Zuluftschicht an, Abführen der Abluft im Deckenbereich (räumliche Trennung von Zuluft und belasteter Luft), in der Regel im Zusam-

menhang mit mechanischer Lüftung verwendet

Querlüftung: Öffnungen für Zu- und Abluft liegen sich gegenüber, freie Lüftung von einer Seite eines Gebäudes zu einer anderen, vorwiegend durch Winddruck hervorgerufen (auch spezielle Form der Tunnellüftung)

Raumumluft: Raumluft, die zum Zwecke der Luftbehandlung im Raum über ein Gerät geführt wird

Schachtlüftung: freie Lüftung über Luftschächte

Schlitzlüftung: Lüftung durch Nachströmen von Luft durch schlitzförmige Öffnungen, z.B. in der Außenwand

Sekundärluft, allgemein: mitgenommene Luft (durch den aus einem Zuluftauslaß austretenden Luftstrahl) bei einem Induktionsvorgang

Spaltlüftung: Lüftung, bei der das Fenster nur teilweise geöffnet wird

Stoßlüftung: die freie Lüftung, die durch das volle Öffnen des Öffnungsflügels (z.B. Fenster) zustande kommt

Umluft: Abluft, die in derselben Anlage als Zuluft wiederverwendet wird

Verdrängungsströmung, ideale: idealisierte Form der Raumluftströmung, bei der eine gleichmäßige Ausbreitung ohne Mischvorgänge geschieht

Verdrängungsströmung, reale: reale Form der Raumluftströmung, bei welcher der Raum nahezu ohne Mischvorgänge geschieht

Volumenstrom: Luftmenge in  $m^3$  je Stunde, die in Abhängigkeit der Lüftungsstellung am Fenster dem Raum zugeführt werden kann

Wärmerückgewinnung: Maßnahme zur Wiedernutzung von thermischer Energie in der Luft, die einen Versorgungsbereich verläßt.

Windlüftung: freie Lüftung; Luftförderung, bewirkt durch Winddruckdifferenzen am Gebäude

Zone: Volumen, in welchem die chemische Zusammensetzung (auf Grund von Durchmischung) der Luft konstant ist

Zufallslüftung: siehe Fugenlüftung (freie Lüftung, abhängig von den zufälligen Undichtigkeiten der Fenster (Fugen) und den Windverhältnissen)

Zuluft: die einem Raum (in der Regel durch raumlufotechnische Anlagen oder durch ein freies Lüftungssystem) zuströmende Luft

Zuluftdurchlaß: Einrichtung (Gitter oder Ventil), durch die dem Raum aufbereitete Luft zugeführt und verteilt wird

Zusätze zu den Definitionen:

- Menge oder -Masse: Masse der betreffenden Luft
- Volumen: Volumen der betreffenden Größe
- Strom: Zeitableitung der betreffenden Größe
- Rate: Verhältnis des Stroms zur aktuell vorliegenden Zustandsgröße innerhalb der Grenzen des betrachteten Raums, in der Regel als Volumenstromrate

## Anmerkungen

- 1 - Estrich 1959
  - Lang 2000 (insbesondere Verwendung des Begriffs 'Fenstersystem')
  - Reitmayer 1967
  - RWE Energie Bau-Handbuch 1994
  - Schneck 1963
  - Wickop 1949
- 2 DIN 1946-1
 

Außerdem wurde folgende Literatur hinzugezogen:

  - Feist 1994, S. 240
  - Künzel 1986, S. 13
  - Meyringer/Trepte 1987, S. 121ff.
  - Mürmann 1994, S. 18ff.
  - Oesterle et al. 1999
  - RWE Energie Bau-Handbuch 1994

## Anhang 7 Literaturverzeichnis

- ABC Technik und Naturwissenschaft, Band 2. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt/Main und Zürich 1970
- Air Infiltration and Ventilation Centre; IEA Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme (Hrsg.); Irving, Steve: The Role of Ventilation in cooling non-domestic buildings. AIVC, Coventry 1996
- Allard, Francis: Natural ventilation in buildings - a design handbook. James & James, London 1998
- American National Standard: Voluntary Specifications for aluminium, vinyl (PVC) and wood windows and glass doors. Schaumburg, Illinois, 1997
- Arbeitsstätten-Richtlinien ASR, Stand: Mai 2000. In: Opfermann, Rainer: Arbeitsstätten. Forkel Verlag, Heidelberg 2003, S. 105 ff.
- Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV), 1975. In: Arbeitsschutzgesetze. 28. Auflage, C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München 1985, S. 208ff.
- Arntzen, Detlef: Fenster im Wohnungsbau, Nutzwert, Kosten, Wirtschaftlichkeit. Bauverlag GmbH, Wiesbaden und Berlin 1964
- Aumüller, Thomas: Schloß Murnau - Ein Bauwerk der Stauferzeit und seine Geschichte. In: Koldewey-Gesellschaft (Hrsg.): Bericht über die 37. Tagung für Ausgrabungswissenschaft und Bauforschung. Duderstadt 1992
- Bäckmann, Reinhard: Sonnenschutz - Systeme, Technik und Anwendung, Automation. Kleffmann Verlag, Bochum 1998
- Baker, Nick; Steemers, Koen: Energy and environment in architecture - a technical design guide. Taylor & Francis, London 2000
- Bansal, Narendra K.; Hauser, Gerd; Minke, Gernot: Passive Building Design - A Handbook of Natural Climate. Elsevier Science B.V., Amsterdam und London und New York und Tokio 1994
- Bayerische Bauordnung und ergänzende Bestimmungen. 37. Auflage, Verlag C.H. Beck, München 2003
- Biasin, Karl (Bearbeiter); RWE (Hrsg.): RWE Energie Bau-Handbuch. 11. Ausgabe, Energie-Verlag, Heidelberg 1993
- Bibliographisches Institut: Meyers Lexikon der Technik und exakten Naturwissenschaften. Mannheim/Wien/Zürich 1969
- Bischof, Wolfgang; Bullinger-Naber; Kruppa, Boris; Müller, Bernd Hans; Schwab, Rudolf: Expositionen und gesundheitliche Beeinträchtigungen in Bürogebäuden - Ergebnisse des ProKlimA-Projektes. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2003
- Bloch, Oscar; Wartburg, Walther: Dictionnaire etymologique de la langue française. Presse Universitaire de France. Paris 1932
- Blum, Hans-Jürgen: Raumklimaverbesserungen bei günstigen Betriebskosten - ein Zukunftskonzept. In: Gesundheitsingenieur - Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik. Jg.115, Nr.3. Oldenbourg Verlag, München 1994, S. 132ff.
- Bregulla, Ute: Fenster und Fenstersysteme - ein Informationspaket. Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.), Gesellschaft für Wissenschaftlich-Technische Information mbH. Verlag TÜV Rheinland, Köln 1993
- Brockhaus - Die Enzyklopädie. 19. Auflage. Brockhaus, Leipzig Mannheim 1988
- Brockhaus - Die Enzyklopädie. 20. Auflage. Brockhaus, Leipzig Mannheim 1996
- Bucksch, Herbert: Dictionary of Architecture Building Construction and Materials, Band 2. Bauverlag, Wiesbaden und Berlin 1976
- Buddeberg, Paul: Das Zargenfenster im norddeutschen Backsteinbau (Dissertation). Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin 1913
- Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (Hrsg.); Schmidtke, Heinz: Handbuch der Ergonomie (HdE). Band 1-5. 2. Auflage. Luftfahrt-Verlag Zuerl, Steinebach/Wörthsee 1989
- Bundesminister für Raumordnung und Städtebau (Hrsg.): Handbuch Passive Nutzung der Sonnenenergie. H. Fuck Verlag, Koblenz 1990
- Button, David; Pye, Brian: Glass in Building. Reed International Books, Oxford et al. 1993
- Collier's Encyclopedia. Collier & Son Limited, New York et al. 1995
- Daniels, Klaus: Gebäudetechnik für die Zukunft - „weniger ist mehr“. In: HL-Technik (Hrsg.): Werkbericht 12. Selbstverlag 1994
- Daniels, Klaus: Technologie des Ökologischen Bauens. Birkhäuser Verlag, Basel et. al 1995
- Daniels, Klaus: Gebäudetechnik - ein Leitfaden für Architekten und Ingenieure. 2. Auflage, R. Oldenbourg Verlag; vdf Hochschulverlag an der ETHZ, Zürich 1996
- Danner, Dietmar; Dassler, Friedrich H.; Krause, Jan R.: Die klima-aktive Fassade. Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden-Echterdingen 1999
- De Vries, Louis; Herrmann, Theo: English-German Technical and Engineering Dictionary. Oskar Brandstetter Verlag KG, Wiesbaden 1972
- Detzer, Rüdiger: Raumlufttechnik in der Diskussion. Kombination von Fensterlüftung mit Klimaanlage im Alternativbetrieb. In: HLH Heizung Lüftung Klima Haustechnik. Jg. 37, Nr. 7, 1986, S. 347ff.
- Dietze, Lothar: Freie Lüftung von Industriegebäuden. VEB Verlag für das Bauwesen, Berlin 1987

- DIN 107:1974-04 Bezeichnung mit links oder rechts im Bauwesen
- E DIN 1311-1:2000-02 Schwingungen und schwingungsfähige Systeme: Grundbegriffe, Einteilung (Entwurf)
- E DIN 1311-3:2000-02 Schwingungen und schwingungsfähige Systeme, Teil 3: Lineare, zeitinvariante schwingungsfähige Systeme mit endlich vielen Freiheitsgraden (Entwurf)
- DIN 1946-1:1988-10 Raumluftechnik, Terminologie und Symbole
- DIN 1946-2:1994-01 Raumluftechnik, Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln)
- DIN 1946-6:1998-10 Raumluftechnik Teil 6, Lüftung von Wohnungen, Anforderungen, Ausführung, Abnahme (VDI-Lüftungsregeln)
- DIN 4108-1:1981-08 Wärmeschutz im Hochbau, Größen und Einheiten
- DIN 4108-2:2003-07 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden im Hochbau Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- DIN 5034-1:1999-10 Tageslicht in Innenräumen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- DIN 5034-2:1985-02 Tageslicht in Innenräumen, Grundlagen
- DIN 5034-4:1994-09 Tageslicht in Innenräumen, Teil 1: Allgemeine Anforderungen
- E DIN EN ISO 7730:2003-10 Ergonomie des Umgebungsklimas, Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit (...) (Entwurf)
- DIN EN 12207:2000-06 Fenster und Türen, Luftdurchlässigkeit, Klassifizierung
- DIN EN 12208:2000-06 Fenster und Türen, Schlagregendichtheit, Klassifizierung
- DIN EN 12216:2002-11 Abschlüsse, Terminologie, Benennungen und Definitionen
- DIN EN 12464-1:2003-03 Licht und Beleuchtung, Beleuchtung von Arbeitsstätten, Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen
- E DIN EN 12519:1996-11 Türen und Fenster, Terminologie (Entwurf)
- DIN EN 12519:2004-06 Türen und Fenster, Terminologie
- DIN EN 12665:2002-09 Licht und Beleuchtung - Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung
- E DIN EN 13120:1998-03 Innenliegende zusätzliche Abschlüsse an Fenstern und Türen, Leistungsanforderungen (Entwurf)
- DIN EN 13125:2001-10 Abschlüsse, Zusätzlicher Wärmedurchlaßwiderstand, Zuordnung einer Luftdurchlässigkeitsklasse zu einem Produkt
- E DIN 13126-1:1998-04 Beschläge für Fenster und Fenstertüren Anforderungen und Prüfverfahren (Entwurf)
- DIN 13317:1983-03 Mechanik starrer Körper, Begriffe, Größen, Formelzeichen
- E DIN EN 13659:1999-10 Abschlüsse, Anforderungen und Klassifizierung (Entwurf)
- E DIN EN ISO 13792:1997-10 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden, Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik (Entwurf)
- E DIN EN 14238: 2001-10 Krane, Handgeführte Manipulatoren (Entwurf)
- E DIN EN 14501:2002-08 Abschlüsse, Thermisches und visuelles Verhalten (Entwurf)
- DIN 18055:1981-10 Fenster, Fugendurchlässigkeit, Schlagregendichtheit und mechanische Beanspruchung
- DIN 19226-1:1994-02 Leittechnik, Regelungstechnik und Steuerungstechnik, Allgemeine Grundbegriffe
- DIN 25409-Beiblatt 1:1993-03 Fernbedienungsgeräte zum Arbeiten hinter Schutzwänden
- DIN 33417:1987-08 Beschreibung von Ort, Lage und Bewegungsrichtung von Gegenständen
- dtv-Lexikon. Deutscher Taschenbuch Verlag, München 1997
- Ehrenfried, Heinz: Kontrollierte Wohnungslüftung. Verlag Bauwesen, Berlin 2000
- EnEV Energieeinsparverordnung (Verordnung über energieeinsparenden Wärmeschutz und energieeinsparende Anlagentechnik bei Gebäuden)
- English Heritage (Hrsg.): Timber sash windows. In: Framing options Leaflet 4, London 1997
- Ernout, Alfred; Meillet, Antoine: Dictionnaire étymologique de la langue latine. Klincksieck, Paris 1985
- Esdorn, Horst (Hrsg.); Rietschel, Hermann: Raumklimatechnik. Band 1 Grundlagen. 16. Auflage. Springer Verlag, Berlin et al. 1994
- Estrich, Jürgen: Beschläge für Fenster, Türen und Möbel. Konradin-Verlag Robert Kohlhammer, Stuttgart 1959
- Estrich, Jürgen: „Wie dicht - und doch zu lüften, Luftwechseleinrichtungen im Fenster. In: Glaswelt, Jg. 39, Nr. 9, Gentner Verlag, Stuttgart 1986, S. 66ff.
- Estrich, Jürgen: Das Fenster der Zukunft muß anders aussehen. In: Glaswelt, Jg. 40, Nr. 2, Gentner Verlag, Stuttgart 1987
- Estrich, Jürgen: Die andere Art an frische Luft zu kommen. Dämmen plus Lüften - ein Widerspruch? In: Glaswelt, Jg. 40, Nr. 5, Gentner Verlag, Stuttgart 1987, S. 14ff.
- Fanger, Ole: Behagliche Innenwelt. In: Uhlig et al. 1994
- Feist, Wolfgang: Thermische Gebäudesimulation - kritische Prüfung unterschiedlicher Modellansätze. Verlag C.F. Müller, Heidelberg 1994
- Flagge, Ingeborg (Hrsg.) et al.: Thomas Herzog - Architektur + Technologie. Prestel Verlag, München London New York 2001

- Förster, Hans-Joachim: Technische Mechanik, Band 3: Kinematik, Kinetik. Carl Hanser Verlag, München 1972
- Fraunhofer IRB Verlag (Hrsg.): Bauphysik der Außenwände - Schlußbericht DFG-Forschungsschwerpunktprogramm. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2000
- Frölich, Hans: Wertewandel, Wertermittlung - das Fenster im Blickpunkt von Wärmeschutz und Energieeinsparung. In: Glaswelt Nr. 3, Jg. 45, 1992
- Frölich, Hans; Hepp, Bernhard; Schmid, Josef: Zusammenstellung der konstruktiven Merkmale unter Beachtung der Entscheidungskriterien zur Auswahl von Fenstern. In: Bauphysik, Nr. 4, Jg. 8. 1986, S. 120ff.
- Georgiou, Marina Panayiotis: The transformation of the timber counter-balanced boxframed sash window in London: From manual to mechanical production. Diplomarbeit an der University of Greenwich 1997
- Gerlach, Christoph: Fenster aus Westfalen - Zur Konstruktion und Entwicklung des Fensters im Fachwerkbau. Band 5 der Schriften des Westfälischen Freilichtmuseums Detmold - Landesmuseum für Völkerkunde, Detmold 1987
- Gerner, Manfred; Gärtner, Dieter: Historische Fenster. DVA, Stuttgart 1996
- Gertis, Karl; Hauser, Gerd: Energieeinsparung durch Stoßlüftung? In: Heizung Lüftung Klima Haustechnik, Jg. 30, Nr. 3, 1979, S. 89ff.
- Gieß, Harald: Fensterarchitektur und Fensterkonstruktion in Bayern zwischen 1780 und 1910. Arbeitsheft 39 Bayerische Landesamt für Denkmalpflege (Hrsg. Petzelt, Michael). Karl M. Lipp Verlag, München 1990
- Givoni, Baruchi: Passive and Low Energy Cooling of Buildings. Van Nostrand Reinhold, New York und London und Bonn et al. 1994
- Grimoldi, Alberto: La cultura del dettaglio architettonico - serramenti in legno. In: Domus no. 681, 1987, S. 65ff.
- Hanel, Bernd M.: Raumluftrömung. C.F. Müller Verlag, Heidelberg 1994
- Hartmann, Thomas: Energetische Effizienz von Wohnungslüftungsanlagen. In: HLH, 3/1999
- Hartwig, Helge: Konzepte für die Integration selbstregelnder, thermotroper Schichten in moderne Gebäudehüllen zur passiven Nutzung der Sonnenenergie (Dissertation). Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ.Rom) Thomas Herzog, Technische Universität München, München 2003
- Hauger, Werner; Schnell, Walter; Gross, Dietmar: Technische Mechanik, Band 3: Kinetik. 7. Auflage, Springer Verlag, Berlin et al. 2002
- Hauser, Walter (Red.): Bauhandbuch. 84 Jg., Ausgabe 1963. Schweizer Druck- und Verlagshaus AG, Zürich 1963
- Hausladen, Gerhard: Wohnungslüftung- Untersuchung der verschiedenen Lüftungsarten bzw. Lüftungspraktiken unter hygienischen, bauphysikalischen und energetischen Gesichtspunkten. VDI Verlag, Düsseldorf 1980
- Hausladen, Gerhard; Springl, Peter: Heizung und Lüftung im Niedrigenergiehaus. IRB Verlag, Stuttgart 1994
- Hausladen, Gerhard; Saldanha, Michael: Climadesign. Katalog zur Veranstaltung auf der Messe BAU 2003. Callwey, München 2003
- Heiselberg, Per: Hybridlüftung - Auswirkungen auf die Entwicklung von Fassaden. In: Fassade 4/00. Schweizerische Zentralstelle für Fenster und Fassadenbau SZFF, Dietikon 2000, S. 13ff.
- Hermansen, Lars; DesignGroup: Vinduer - nicht veröffentlichter Forschungsbericht. Kopenhagen 2000, S. 50: Skydevindue med Glaskodder
- Herzog, Thomas: Kurze Anmerkungen zur Terminologie. In: arcus 14 Energiehaushalt von Bauten. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln 1991, S. 73
- Herzog, Thomas: Energien gestalten. Gespräch mit Nikolaus Kuhnert und Angelika Schnell. In: Arch+ Zeitschrift für Architektur und Städtebau, Nr. 126, 1995, S. 34-42
- Herzog, Thomas: Solar Energy in Architecture and Urban Planning. Prestel Verlag, München London New York 1996
- Herzog, Thomas: Solar Design. In: Detail 3/1999. München 1999, S. 359-362
- Herzog, Thomas (Autor); Krippner, Roland; Lang, Werner: Fassaden Atlas. Institut für internationale Architektur-Dokumentation. München 2004
- Herzog, Thomas; Natterer, Julius: Habiller de verre et de bois / Gebäudehüllen aus Glas und Holz. Presse Polytechniques romandes, Lausanne 1984
- Heusler, Winfried: Energie- und komfortoptimierte Fassaden. In: Fassade 4/1996, S. 48ff.
- Ihle, Claus: Lüftung und Luftheizung. Band 3 der Schriftenreihe Der Heizungstechniker. 5. Auflage. Werner Verlag, Düsseldorf 1991
- Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken (Hrsg.): Fenster - Sanierung und Modernisierung. IRB Verlag, Stuttgart 1996
- Institut für Fenstertechnik (Hrsg.): Zusammenstellung der konstruktiven Merkmale unter Beachtung der Entscheidungskriterien zur Auswahl von Fenstern. Rosenheim 1986
- Internationale Patentklassifikation, 7. Ausgabe, Band 5, Sektion E. Carl Heymanns Verlag KG, München et al. 1999
- Jaensch, Waldemar: Veränderbare Oberflächen - Verfahren zur Beurteilung kinetischer Manipulatoren im Bereich der Gebäudehülle als Maßnahme zu Regulierung des Gebäudeklimas. Dissertation bei Prof. Herzog, Prof. Gärtner, Kassel 1981
- Klindt, Ludwig; Frehse, Helmut: Fensterkonstruktionen. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld 1984
- Klinkott, Manfred: Fenstergeschichte im Hausbau. In: Uhlig et al. 1994

- Kluge, Friedrich: Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache. Walter de Gruyter. Berlin New York 1989
- Knox, Gerald M.: Your windows & doors - Better Homes and Gardens. Des Moines, Iowa 1983
- Koch, Hugo: Fenster, Türen und andere bewegliche Wandverschlüsse. 3. Band, Heft 1, in Hochbau-Constructionen des Handbuches der Architektur. Verlag von Arnold Bergsträsser, Darmstadt 1896
- Kohler, Nikolaus: Vom Fenster zum Interface + retour? In: Uhlig et al. 1994
- Konradt, Oliver; Güttler, Gerhard: Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen eines Bürogebäudes und Untersuchung der Wirtschaftlichkeit bei Einsatz von Solarenergie. In: Bauphysik 3/1997
- Köster, Helmut: Grundlagen der Tageslichtlenkung. In: DBZ 9/1999, S. 99ff.
- Köster, Helmut: Grundlagen und Systeme einer Tageslichtarchitektur (2). In: Baumeister 6/2000, S. 72ff.
- Krauth, Theodor (Hrsg.): Das Schreinerbuch. 1. Band. Verlag von E.A. Seemann. Leipzig 1890
- Krippner, Roland: Entwicklung beweglicher Manipulatoren im Bereich der Außenwände mit wärmedämmenden und weiteren Funktionen. In: Abschlußbericht ISOTEG. Unveröffentlichter Abschlußbericht, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ.Rom) Thomas Herzog, Technische Universität München, München 2001
- Krippner, Roland: Architektonische Aspekte solarer Energietechnik. In: Schölkopf, Wolfgang (Hrsg.): Endbericht SOLEG - Solar gestützte Energieversorgung von Gebäuden. LK-Verlag, Baldham 2002, S. 3.12-1ff.
- Kröling, Peter: Das Sick-Building-Syndrom in klimatisierten Gebäuden: Symptome, Ursachen und Prophylaxe. In: Diel, Friedhelm (Hrsg.): Innenraum Belastungen - erkennen bewerten sanieren. Bauverlag GmbH. Wiesbaden und Berlin 1993
- Künzel, H.: Richtiges Heizen und Lüften in Wohnungen. Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Bauphysik. IRB Verlag, Stuttgart 1986
- Labohm, Gerd: Ein Beitrag zum Problem der Messung der Lüftung von Wohn-, Arbeits- und Aufenthaltsräumen. Dissertation Technische Hochschule Stuttgart 1963
- Lang, Werner: Zur Typologie mehrschaliger Gebäudehüllen aus Glas. In: Detail 7/1998, S. 1225ff.
- Lang, Werner: Wärme- und Sonnenschutzsysteme aus Holz für Doppelfassaden (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 (Dissertation). Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, Prof. Dr. (Univ.Rom) Thomas Herzog, Technische Universität München, München 2000
- Lang, Werner: Die Gebäudehülle der Zukunft - Tendenzen und Umsetzung. In: Tagungsband Rosenheimer Fenstertage 2002
- Langdon, William K.: Movable Insulation. Rodale Press, Emmaus, Pa. 1980
- Larousse de la langue francaise. Larousse, Paris 1977
- Lexikon der Technik. Lexigraphisches Institut (Hrsg.), München 1986
- Lietz, Sabine: Das Fenster des Barock -Fenster und Fensterzubehör in der fürstlichen Profanarchitektur zwischen 1680 u. 1780. Deutscher Kunstverlag, München 1982
- Louw, H.: The origin of the sash window. In: Architectural history, Band 26. London 1983
- Louw, H.; Crayford, R.: A constructional history of the sash-window c.1670-c.1725 - Part one: Industrial Organization. In: Architectural history, Band 41. London 1998
- Louw, H.; Crayford, R.: A constructional history of the sash-window c.1670-c.1725 - Part Two: Fabric & Technique. In: Architectural history, Band 42. London 1999
- Maas, Anton: Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung. (Dissertation). Kassel 1995
- Maas, Anton; Schmidt, Dietrich; Hauser, Gerd: Experimentelle Untersuchungen zum Luftaustausch bei Querlüftung. TAB Technik am Bau, Jg. 30, Nr. 11, Bertelsmann 1999, S. 57ff.
- Maas, Anton; Schmidt, Dietrich; Hauser, Gerd: Meßtechnische und theoretische Untersuchungen zum Luftaustausch in Gebäuden. In: Schlußbericht DFG-Forschungsschwerpunktprogramm. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2000
- Macchi, Vladimiro: Dizionario delle lingue italiana e tedesca. Erster Teil. 2. Auflage. Sansoni und Brandstetter Verlag, Florenz/Wiesbaden 1989
- Maier, H.: Die Schiebefenster in Amerika. In: Deutsche Bauzeitung, Nr. 78, Jg. 29, Berlin 1895, S. 484 ff.
- Meck, Hans; Seifert, Erich: Neue Fenster für alte Fassaden. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln-Braunsfeld 1986
- Meyer, Franz S.: Die gesamte Bauschreinerei. In: Krauth, Theodor (Hrsg.): Das Schreinerbuch. 1. Band Verlag von E.A. Seemann. Leipzig 1890
- Meyer, Otto: Türen und Fenster. Ihre Gestaltung nach alten und neuen Handwerkstechniken. Verlag Karl Ulrich & Co., Berlin 1939
- Meyer-Bohe, Walter: Fenster - Funktionen, Konstruktionen, Anforderungen. Aus der Reihe: Elemente des Bauens. Verlagsanstalt Alexander Koch, Stuttgart 1973
- Meyers Lexikon der Technik und exakten Naturwissenschaften. Bibliographisches Institut, Mannheim et al. 1969
- Meyringer, Volker; Trepte, Lutz: Lüftung im Wohnungsbau. Hrsg.: Bundesministerium für Forschung und Technologie. Verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe 1987

- Miloni, Reto: Frische Luft auf gesunden Pfaden - natürliche Lüftung in Tradition und Moderne. ABC der Natürlichen Lüftung. In: Fassade/Façade 1/2001. Schweizerische Zentralstelle für Fenster- und Fassadenbau SZFF (Hrsg.), Verlag SZFF, Dietikon 2001
- Moog, Walter: Dimensionierung von Luftführungssystemen. VDI Verlag, Düsseldorf 1978
- Mürmann, Herbert: Wohnungslüftung: kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung: Systeme - Planung - Ausführung. Verlag C.F. Müller, Heidelberg 1994
- Neufert, Ernst: Bauentwurfslehre. 36. Auflage. Vieweg Verlagsgesellschaft, Braunschweig und Wiesbaden 2000
- Neumann, Dietrich; Weinbrenner, Ulrich; (Frick/Knöll/Neumann/Weinbrenner: Baukonstruktionslehre Teil 2. 28. Auflage. B.G. Teubner, Stuttgart 1988
- Noky, Thomas: Terminologie für historische Fenster in Sachsen bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts. In: Das Fenster im Profanbau in Sachsen. Schriftenreihe für Baukultur, Architektur, Denkmalpflege - Baukonstruktive Blätter. Freistaat Sachsen, Staatsministerium des Innern (Hrsg.). Dresden 1996, S. 45ff.
- Oesterle, Eberhard (Hrsg.); Lieb, Rolf Dieter; Lutz, Martin; Heusler, Winfried: Doppelschalige Fassaden - ganzheitliche Planung. Callwey Verlag, München 1999
- Opfermann, Rainer: Arbeitsstätten. Forkel Verlag, Heidelberg 2003
- Petzold, Karl; Martin, Roland: Wechselwirkung zwischen Außenwandkonstruktion und sich frei einstellendem Raumklima. In: Bauphysik der Außenwände. Schlußbericht DFG-Forschungsschwerpunktprogramm. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2000.
- Pevsner, Nikolaus: The Best Buildings of England. Viking Penguin Inc., New York 1986
- Pracht, Klaus: Fenster - Planung, Gestaltung und Konstruktion. Deutsche Verlagsanstalt, Stuttgart 1982
- Raatschen, Willigert: Was ist Lüftungseffektivität? 3-teilige Veröffentlichung In: ki Kälte Klima Heizung. Heft 5/6/7/88. Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1988
- Radtke, Wolfgang: Haustechnik der Fassaden. In: Uhlig et al. 1994
- Ragonesi, Marco: Bautechnik und Gebäudehülle. Erschienen in der Reihe Bau und Energie von Zürcher, Christoph. vdf Verlag der Fachvereine an den schweizerischen Hochschulen und Techniken AG, Zürich und B.G. Teubner Verlag, Stuttgart. 1993
- Recknagel, Hermann; Sprenger, Eberhard; Schramek, Ernst-Rudolf (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschl. Warmwasser- u. Kältetechnik. 70. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, München 2001
- Reichel, Dirk: Kritische Anmerkungen zur Zuluftversorgung von Etagenwohnungen. In: TAB 12/1998
- Reiher, Christine; Schäfer, Gerd: Fenster und Türen - von Butzenscheibe, Gratleiste, Schiebefenster und Füllungstür. Begleitheft zur Ausstellung von historischen Fenstern und Türen im Hohenlander Freilandmuseum, 1993
- Reiß, Johann; Erhorn, Hans; Ohl, Jochen: Klassifizierung des Nutzerverhaltens bei der Fensterlüftung. In: HLH 52, 2001, S. 22-26
- Reitmayer, Ulrich: Holzfenster. 6. Auflage Julius Hoffmann Verlag, Stuttgart 1967
- Richter, Klaus: Environmental evaluation of window systems. In: EUROSOLAR e.V. (Ed.): Building a New Century, 5th European Conference Solar Energy in Architecture and Urban Planning. Eurosolar-Verlag, Bonn 1998
- Richter, Wolfgang: Lüftung im Wohnungsbau: Lüftung von Wohngebäuden und artverwandten Einrichtungen. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1983
- Richter, Wolfgang; Seifert, Joachim; Gritzki, Ralf; Rösler, Markus: Bestimmung des realen Luftwechsels bei Fensterlüftung aus energetischer und bauphysikalischer Sicht. TU Dresden, Institut für Thermodynamik und Technische Gebäudeausrüstung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2003
- Robert, Paul: Dictionnaire alphabetique de la langue francaise. Le Robert, Paris 1966
- Ronner, Heinz: Öffnungen. Birkhäuser Verlag, Basel und Boston und Berlin 1991
- RWE Energie Aktiengesellschaft (Hrsg.): RWE Energie Bau-Handbuch. 11. Auflage. Energie Verlag, Heidelberg 1994
- Rumpp, Hermann: Neuzeitlicher Fensterbau in Holz und Metall. Holland & Josenhans, Stuttgart 1954
- Santamouris, Matheos; Asimakopoulos: Passive Cooling of Buildings. James & James, London 1996
- Schlegel, Werner: Die Tür, das Fenster und das unbewußte Verhalten des Menschen. In: Der Deutsche Baumeister, Heft 7/1970, Stuttgart 1970, S. 609-614
- Schneck, Adolf: Fenster aus Holz und Metall. 7. Auflage. Julius Hoffmann Verlag, Stuttgart 1963
- Schroll, Karl-Georg; Arbeitskreis Baugestaltung (Hrsg.): Baudetails in alten und neuen Häusern. Verlag Ostfriesische Landschaft, Aurich 1987
- Schuler, Matthias; Lechner, Thomas. In: Danner, Dietmar; Dassler, Friedrich H.; Krause, Jan R. (Ed.): Die klima-aktive Fassade. Verlagsanstalt Alexander Koch, Leinfelden-Echterdingen 1999
- Seifert, Erich: Das Fenster als Lüftungselement. In: AIT Architektur, Innenarchitektur, technischer Ausbau. Nr.3, Jg. 1985, S. 134ff.
- Siccardsburg, August von; Gugitz, G.; Paulick, F.; Storck, J. (Hrsg.): Die Thür- und Fensterverschlüsse. Lehmann & Wentzel Verlag, Wien 1876
- Sigwart, K.: Luftdurchlässigkeit von Holz- und Stahlfenstern. In: Gesundheitsingenieur, 55. Jg., Nr. 43, 1932, S. 515ff,

- Spörri, René: Fenster - Kapitel 2.6. In: Ragonesi, Marco: Bautechnik und Gebäudehülle. Erschienen in der Reihe Bau und Energie von Zürcher, Christoph. vdf Verlag der Fachvereine an den schweizerischen Hochschulen und Techniken AG, Zürich und B.G. Teubner Verlag, Stuttgart. 1993
- Sulzer, Peter: Highlights 1917-1944, Birkhäuser 2002
- Sulzer, Peter: Jean Prouvé Oeuvre complète / Complete Works, Vol. 1: 1917-1933; Birkhäuser 1999
- Sulzer, Peter: Jean Prouvé Oeuvre complète / Complete Works, Vol. 2: 1934-1944; Birkhäuser 1999
- The New Encyclopaedia Britannica. Encyclopaedia Britannica Inc., Chicago 1997
- Thesaurus Linguae Latinae. Band 6, erster Teil F-Gytus. Teubner, Lipsiae 1912-1926
- Uhlig, Günther; Kohler, Nikolaus; Schneider, Lothar: Fenster - Architektur und Technologie im Dialog. Vieweg Verlagsgesellschaft, Braunschweig und Wiesbaden 1994
- VDI-Richtlinie 'Optimierung von Tageslichtnutzung und künstlicher Beleuchtung' (VDI 6011 Entwurf), 02/2001
- Verhoeven, A.C.: Die hohe Effektivität der Stoßlüftung von Quer-Schiebefenstern ist schon bei der Planung zu berechnen. In: Detail 4/1976, S. 475ff.
- Wagner, Andreas: Energieeffiziente Fenster und Verglasungen - ein Informationspaket. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Büro Bonn (Hrsg.), 2., erweiterte und völlig überarbeitete Auflage. Verlag TÜV Rheinland, Köln 2000
- Walde, Alois: Lateinisches etymologisches Wörterbuch, 1. Band 4. Auflage, Carl Winter Universitätsverlag, Heidelberg 1965
- Walde, Hermann: Der praktische Tischler - Handbuch für Bau- und Möbeltischler. Verlag von J.J. Arnd, Leipzig 1905
- Wartburg, Walther: Französisches Etymologisches Wörterbuch. 17. Band. Zbinden Verlag, Basel 1966
- Warth, Otto: Die Konstruktionen in Holz. 6. Auflage, J.M. Gebhardt's Verlag, Leipzig 1900
- Wasmuth, Günther (Hrsg.): Wasmuths Lexikon der Baukunst. Verlag Ernst Wasmuth AG, Berlin 1929 (1. Band), 1930 (2. Band), 1931 (3. Band), 1932 (4. Band), 1937 (5. Band)
- Watts, Andrew: Moderne Baukonstruktion, Neue Gebäude - Neue Techniken. Springer-Verlag, Wien 2001
- Webster's Third New International Dictionary. Encyclopaedia Britannica Inc., Chicago 1971
- Weis, Erich (Hrsg.): Langenscheidts Großwörterbuch Französisch, Teil 1. 10. Auflage, Langenscheidt, Berlin et al. 1999
- Westenberger, Daniel; Herzog, Thomas: Station für Solarforschung. In: Detail 6/2002, München 2002, S. 796ff.
- Wickop, Walther: Fenster, Türen, Tore aus Holz und Eisen. 3. Auflage. Walter de Gruyter & Co., Berlin 1949
- Wissenschaftlicher Rat der Dudenredaktion (Hrsg.): Der Duden - das Standardwerk zur deutschen Sprache. Band 7: Etymologie - Herkunftswörterbuch der deutschen Sprache. 2. Auflage, Dudenverlag Mannheim Leipzig Wien Zürich 1989
- Wissenschaftlicher Rat der Dudenredaktion (Hrsg.): Duden - Das große Wörterbuch der deutschen Sprache. 3. Auflage, Dudenverlag Mannheim Leipzig Wien Zürich 1999
- Wittrick, Andy: Palace House Mansion, Palace Street, Newmarket, Suffolk. Analysis and interpretation of a late 17th century, solid-frame, counterbalanced, sash window. English Heritage (Hrsg.), 1998
- Wolff, Jan: Architektur und Technologie im Dialog. In: Uhlig et al. 1994
- Zapke, Wilfried; Ebert, Horst, Friedrich, Horst; Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (Hrsg.): Die temporäre Verbesserung des Wärmeschutzes im Fensterbereich durch Rolläden und andere Vorkehrungen. IRB Verlag, Stuttgart 1982
- Zeidler, Olaf: Freie Lüftung in Bürogebäuden. In: HLH, Band 51/2000, Nr. 7, S. 71ff.
- Zentralinstitut für Kunstgeschichte München (Hrsg.); begonnen von Schmitt, Otto: Reallexikon zur Deutschen Kunstgeschichte RDK. C.H. Beck'sche Verlagsbuchhandlung, München 1981
- Zentralinstitut für Sprachwissenschaft Akademie der Wissenschaften der DDR (Hrsg.): Etymologisches Wörterbuch des Deutschen. Akademie-Verlag, Berlin 1989
- Zimmermann, Markus: Fenster im Fenster. In: Detail 4/1996
- Zürcher, Christoph; Frank, Thomas: Bauphysik. Band 2 Bau und Energie - Leitfaden für Planung und Praxis. vdf, Hochschulverlag an der ETH und B.G. Teubner, Stuttgart 1998

## Anhang 8 Verzeichnis übernommener Abbildungen

(Die übrigen Abbildungen stammen vom Autor.)

Abb.-Nr.	Quelle / Photograph
1.01	Werner Lang; München
1.04	Flagge, Ingeborg (Hrsg.) et al.: Thomas Herzog - Architektur + Technologie. Prestel Verlag, München London New York 2001, S. 147, Photo: Robertino Nikolic / artur
2.07	Jan Cremers; München
3.04	English Heritage (Hrsg.): Timber sash windows. In: Framing options Leaflet 4 (Broschüre). London 1997
3.07	Jan Cremers; München
3.08	Zeichnung nach: Louw, H.; Crayford R.: A constructional history of the sash-window c.1670-c.1725 - Part Two: Fabric & Technique. In: Architectural history, Band 42. London 1999, S. 84
3.11-12	Fa. SCHÜCO, Bielefeld, Firmenunterlagen
3.13	Thomas Herzog; München
3.14	Huber, Benedikt; Steinegger, Jean-Claude: Jean Prouvé - Prefabrication: Structures and Elements. Pall Mall Press, London 1971, S. 88
4.03	Baker, Nick; Steemers, Koen: Energy and environment in architecture - a technical design guide. Taylor & Francis, London 2000, S. 15
4.06	Fa. Hartmann + Co., Biel CH, Firmenunterlagen
4.07	Fa. Hawa, Mettmenstetten CH, Firmenunterlagen
4.10	Fa. Kurt Steiner GU, Zürich CH, Firmenunterlagen
4.11	Doppelseitige Anzeige der Firma Cardinal IG (775 Prairie Center Drive, Eden Prairie, MN 55344, USA) in: Windows & Door, Ausgabe Mai 2003
6.20 ff.	Skyline von Frankfurt am Main entnommen aus: Herzog, Thomas: Solar Energy in Architecture and Urban Planning. Prestel Verlag, München London New York 1996, S. 109, Photo: Richard Davis
6.37	Bundesminister für Raumordnung und Städtebau (Hrsg.): Handbuch Passive Nutzung der Sonnenenergie. H. Fuck Verlag, Koblenz 1990, S. 77
A1.02	Jan Cremers; München