

Fassaden Atlas

HERZOG · KRIPPNER · LANG

Institut für internationale Architektur-Dokumentation · München

Das Buch wurde erarbeitet am Institut für Entwerfen und Bautechnik,
Fakultät für Architektur, Lehrstuhl für Gebäudetechnologie
Technische Universität München
www.gt.ar.tum.de

Autor

Thomas Herzog
O. Prof., Dr. (Univ. Rom), Dipl.-Ing. Architekt
Lehrstuhl für Gebäudetechnologie, TU München

Co-Autoren:

Roland Krippner
Dr.-Ing. Architekt
(Modulare Ordnung; Beton; Solartechnik)

Werner Lang
Dr.-Ing., M.Arch. (UCLA) Architekt
(Glas; Kunststoff; Mehrschalige Gebäudehüllen aus Glas)

Wissenschaftliche Mitarbeiter:
Peter Bonfig, Dipl.-Ing. Architekt (Flächen – Strukturelle Prinzipien)
Jan Cremers, Dipl.-Ing. Architekt (Außen- und Innenbedingungen; Metall)
András Reith, M.Sc.Arch. (Univ. Budapest), Gastwissenschaftler
(Naturstein; Tonstein)
Annegret Rieger, M.Arch. (Harvard University) Architektin
(organisatorische Koordination; Holz)
Daniel Westenberger, Dipl.-Ing. Architekt
(Ränder, Öffnungen; Manipulatoren)

Studentische Mitarbeiter:
Tina Baierl, Sebastian Fiedler, Elisabeth Walch, Xaver Wankel

Redaktion

Redaktion und Lektorat:
Steffi Lenzen, Dipl.-Ing. Architektin

Redaktionelle Mitarbeit:
Christine Fritzenwallner, Dipl.-Ing.

Susanne Bender-Grotzeck, Dipl.-Ing.; Carola Jacob-Ritz, M. A.;
Christina Reinhard, Dipl.-Ing.; Friedemann Zeitler, Dipl.-Ing.;
Christos Chantzaras, Manuel Zoller

Zeichnungen:
Marion Griesse, Dipl.-Ing.
Elisabeth Krammer, Dipl.-Ing.

Mitarbeit Zeichnungen:
Bettina Brecht, Dipl.-Ing.; Norbert Graeser, Dipl.-Ing.;
Christiane Haslberger, Dipl.-Ing.; Oliver Klein, Dipl.-Ing.;
Emese Köszegi, Dipl.-Ing.; Andrea Saiko, Dipl.-Ing.;
Beate Stingl, Dipl.-Ing.; Claudia Toepsch, Dipl.-Ing.

DTP & Produktion:
Peter Gensmantel, Cornelia Kohn,
Andrea Linke, Roswitha Siegl

Reproduktion:
Karl Dörfel Reproduktions-GmbH, München

Druck und Bindung:
Kösel GmbH & Co. KG, Altusried-Krugzell

Fachbeiträge:

Winfried Heusler, Dr.-Ing. (Bauphysikalische Planungshinweise)
Direktor Objekt-Engineering International, Bielefeld

Michael Volz, Prof. Dipl.-Ing. Architekt (Holz)
FH Frankfurt/Main

Fachberatung:

Gerhard Hausladen, o. Prof. Dr.-Ing. (Ränder, Öffnungen)
Institut für Entwerfen und Bautechnik
Lehrstuhl für Bauklimatik und Haustechnik, TU München

Stefan Heeß, Dipl.-Ing. (Beton)
Dyckerhoff Weiss, Wiesbaden

Reiner Letsch, Dr.-Ing. M.Sc. (Kunststoff)
Lehrstuhl für Baustoffkunde und Werkstoffprüfung,
MPA Bau, TU München

Volker Wittwer, Priv. Doz. Dr. (Solartechnik)
Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme, Freiburg

Herausgeber:
Institut für Internationale Architektur-Dokumentation
GmbH & Co. KG, München
www.detail.de

© 2004, erste Auflage

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechts.

Inhalt

Impressum	4
Inhaltsverzeichnis	5
Vorwort	6
Hülle, Wand, Fassade – ein Essay	8
Teil A Grundlagen	16
1 Außen- und Innenbedingungen	18
2 Allgemeine Konstruktionsgrundlagen	
2.1 Flächen – Strukturelle Prinzipien	26
2.2 Ränder, Öffnungen	38
2.3 Modulare Ordnung	46
3 Bauphysikalische Planungshinweise	52
Teil B Gebaute Beispiele im Detail	60
1 Materialspezifische Konstruktionen	
1.1 Naturstein	62
1.2 Tonstein	82
1.3 Beton	100
1.4 Holz	124
1.5 Metall	154
1.6 Glas	182
1.7 Kunststoff	210
2 Sonderthemen	
2.1 Mehrschalige Gebäudehüllen aus Glas	232
2.2 Manipulatoren	258
2.3 Solartechnik	286
Teil C Anhang	
Verordnungen, Richtlinien, Normen	312
Abbildungsnachweis	314
Personenregister	317
Sachregister	318

Vorwort

Rund 30 Jahre nach Erscheinen des ersten Konstruktionsatlasses liegt nun ein solcher über Fassaden vor.

Über Jahrhunderte konzentrierten sich die gestalterischen Leistungen der Architekten schwerpunktmäßig auf die Erarbeitung wohl gelungener Ansichtszeichnungen von Bauten – was oft Gegenstand heftiger Kontroversen über Fragen des zu wählenden Stils war oder auch Medium der Vermittlung neuer künstlerischer Positionen.

Dass Fassaden heute wieder zunehmend in den Blick gerückt sind, hat eine Ursache sicher in der wachsenden Bedeutung, die die Außenwände im Zusammenhang mit Fragen des Energieverbrauchs einnehmen sowie mit den Möglichkeiten Umweltenergie zu nutzen. Dazu kommt – meist kontrastierend – die Suche nach Selbstdarstellung und »Adressenbildung« solcher Auftraggeber, denen die »Verpackung« ihrer im Innern oft banalen Bauten längst zum Ersatz für qualitätvolle Architektur wurde. Die boomenden asiatischen Metropolen zeigen dies überdeutlich.

Was den Aufbau des Buches angeht, so orientiert sich die Folge der einzelnen Kapitel an einer sinnvollen Vorgehensweise bei Entwurf und Entwicklung einer Fassadenkonstruktion. Solche Aspekte, die für die Außenwand von Gebäuden generell gelten – also die an sie gestellten Anforderungen, ihre prinzipielle Funktionsweise oder ihren konstruktiven Aufbau betreffen – sind abgelöst von den Besonderheiten des Einzelfalles. Entsprechend handelt es sich nicht nur um eine Sammlung unterschiedlicher Bauten, was Standort und Kontext, Typus und Technik betrifft. Vielmehr sind die Spezifika nach den unterschiedlichen Werkstoffen für das Wandmaterial bzw. das ihrer Bekleidung sortiert.

Der erste Teil befasst sich mit den von innen heraus formulierten Anforderungen an eine Fassade, die sich aus dem Nutzungstyp des Gebäudes ableiten. Zwangsläufig werden diese konfrontiert mit den je nach Region natürlich sehr unterschiedlichen lokalen klimatischen Bedingungen. Aus dieser Gegen-

überstellung ergeben sich die funktionalen Anforderungen an die jeweilige Außenwand. Diese sind dann in Summe als Aufgabe formuliert und zunächst lösungsoffen. Entsprechend wird in diesem Teil auf die Darstellung von Ausführungsdetails verzichtet. Die maßgeblichen Aussagen erfolgen in Bildform über Diagramme und schematische Darstellungen zur Morphologie von Flächen und Öffnungen. Zudem steht die Hülle des Gebäudes in unmittelbarer Wechselwirkung mit den anderen Subsystemen: Tragwerk, Raumunterteilungen und technische Gebäudeausrüstung. Die hier bestehenden oder zu definierenden Wechselwirkungen bedürfen bei jedem baulichen System der geometrischen Koordination im Raum. Die maßlichen und modularen Bedingungen und die Proportionen müssen geklärt werden, damit das Gebäude überhaupt als Ganzes entwickelt werden kann. Führt man die genannten Aspekte zusammen, so hat man die Vorgaben für die materielle Umsetzung aus den zu wählenden Werkstoffen und Konstruktionsweisen erfasst.

Werden nun die Materialien und die zu ihrer Herstellung nötigen Technologien für die Ausformung der weiteren Einzelheiten maßgeblich, so sind die physikalischen, stofflichen, montagebedingten und ästhetischen Spezifika aufeinander abzustimmen.

Aus diesen Zusammenhängen leitet sich der Aufbau des zweiten Buchteils ab: Die hier wiederum allgemein zu betrachtenden Kapitel sind von den Beispielen abgetrennt und ihnen vorangestellt. Sie beginnen jeweils mit einem kurzen zivilisationsgeschichtlichen Exkurs in die historische Verwendung der jeweiligen Materialien und ihre werkstofflichen Spezifika. Dass wir hierbei den Bereich der Materialanwendung zunächst nicht auf Baukonstruktionen beschränken, hat den einfachen Grund, dass Technologie im Zuge der Entwicklung von Zivilisation auf ganz unterschiedliche Weise als Wechselwirkung mit den Werkstoffen entstand und Erstanwendungen häufig in ganz anderen Gebieten erfolgten. Die Bedeutung von Stein, Keramik und Metall beispielsweise reicht soweit, dass diese ganze Kulturepochen namentlich bezeichnen. Auch heute geschieht

ein wesentlicher Teil technischer Innovation im Bauwesen und gerade auch bei modernen Fassadenkonstruktionen durch den Transfer von Technologien aus ganz anderen Sektoren. Dies gilt für viele Bereiche wie z. B. Umformtechnik, Oberflächenbehandlung, Robotik u. a. Daran schließt die auf Materialien bezogene Auswahl von realisierten Beispielen an, die Einblick in das Spektrum der Möglichkeiten geben und zum Weiterentwickeln anregen sollen. Dass dies grundsätzlich über die Zeichnungen der maßgeblichen Fassadendetails mit Erläuterungen durch Legenden erfolgt, orientiert sich an der bei Architekten üblichen Informationsvermittlung über dieses Medium.

Ausgewählt wurden sowohl neue Projekte, die interessante Ausführungsformen ihrer Fassaden aufweisen, als auch »Klassiker«, die ihrer architektonischen Qualität wegen nach wie vor Maßstäbe setzen und im Hinblick auf das Detail auch im Zusammenhang mit der Arbeit innerhalb bestehender älterer Bausubstanz da und dort für Architekten und Ingenieure von praktischem Wert sein mögen. Die Darstellung der Projekte selbst zeigt nicht Bauten als Ganzes, sondern es erfolgt eine Beschränkung auf ihre Fassaden, weshalb neben den Architekten nur selten weitere Mitarbeiter bei den Projekten genannt sind, und auch Fachingenieure nur dann, wenn sie an den Fassadenkonstruktionen maßgeblich mitgewirkt haben.

Bei den konstruktiven Details wird man manchmal feststellen, dass von den in Deutschland üblichen Lösungen oder technischen Regeln abgewichen worden ist, was bei einem Buch mit internationalen Beispielen gerechtfertigt erscheint.

Gelegentlich mag der Wunsch entstehen, nähere Kenntnis über ein gezeigtes Projekt zu erhalten. Hierfür dienen die weiterführenden, mit »□□« angegebenen Literaturhinweise.

Sicherlich kann man einen Wert darin sehen, wenn sich Bauten als technische Großgegenstände nicht als diffiziles, eventuell kaum handhabbares und aus vielerlei Komponenten bestehendes System darstellen, sondern in

lapidarer Weise einfach, gleichermaßen kraftvoll wie sensibel gestaltet sind. Doch hat die Entwicklung der letzten Jahrzehnte mit den enorm gestiegenen Anforderungen an die Gebäudehülle als Folge zu mehrschichtigen Konstruktionen geführt, bei denen jede einzelne Lage spezifische Funktionen übernehmen muss. Dies ist inzwischen durchgängiges Merkmal moderner Konstruktionen in fast allen Werkstoffen. Über die materialspezifischen Konstruktionen hinaus werden daher auch Sonderthemen von Fassadenkonstruktionen behandelt.

Ein Jahrhunderte altes Prinzip zur Veränderung und individuellen Beeinflussung der Durchlässigkeit von Fassadenöffnungen – sei es aus Gründen des Energiehaushalts, des Innenraumklimas, der Lichtverhältnisse oder der Sicherheit – wird unter der Rubrik »Manipulatoren« in neuer Aktualität in vielfacher Variation abgehandelt. Die im vergangenen Jahrzehnt erfolgte Verbreitung von mehrschaligen oder Doppelfassaden bedarf nach unserer Auffassung eigener Erwähnung und Darstellung, weil noch große Unsicherheit bei Entwurf und Planung besteht und man leider nicht selten eher einem modischen Trend folgt, anstatt die prinzipiellen Vorteile richtig zum Einsatz kommen zu lassen. So werden häufig grundlegende Fehler gemacht, da die konstruktiven und energietechnischen Zusammenhänge sowie die einzelnen Varianten, die für die Ausführung verfügbar sind, nicht genügend bewusst sind.

Auch die Integration von direkt und indirekt wirkenden solaren Systemen in die Gebäudehülle ist nach wie vor für viele Neuland und die geglückte Verbindung aus Gebrauchswert, technisch-physikalischer Funktion sowie gestalterischer und konstruktiver Bewältigung nach wie vor eher die Ausnahme – obwohl erste Pionieranwendungen schon Jahrzehnte zurückliegen.

Wir danken allen Personen, Institutionen, Architekten, Fotografen und Firmen, die unsere Arbeit durch kompetente Mitwirkung unterstützt haben.

München, im Frühjahr 2004
Thomas Herzog



Hülle, Wand, Fassade – ein Essay

Dieses Buch über Fassadenkonstruktionen hat seinen Schwerpunkt im funktionalen und technischen Bereich. Dennoch sollen einige Betrachtungen vorangestellt werden, die darüber hinausgehen und mit denen versucht wird, das sehr komplexe, kulturspezifische Thema, das ja auch die Wahrnehmung von Architektur unmittelbar betrifft, in weitere Zusammenhänge ansatzweise einzubinden.

Die schützende Hülle

Die Hülle von Gebäuden mit ihrer Funktion als Schutz gegen Witterung und gegen Feinde sowie zur Unterbringung von Vorräten stellt den ersten und wichtigsten Grund zum Bauen dar. Im Gegensatz zu Bauwerken wie Brücken, Türmen, Dämmen oder Kränen enthalten Gebäude Räume, deren Entstehen und Nutzung als wesentlicher Teil der menschlichen Zivilisation in eng mit dem Klima zusammenhängenden Notwendigkeiten zu sehen sind.

Das zeigt sich schon darin, dass man sich dafür in solchen Regionen auf geringen Aufwand beschränken kann, wo die außenklimatischen Bedingungen mit den von Menschen als behaglich empfundenen Umweltbedingungen weitgehend korrespondieren. Je mehr aber äußeres Klima und innere raumklimatische Ansprüche auseinander liegen, desto größer wird der erforderliche technische Aufwand, um den Notwendigkeiten für den Aufenthalt im Innern zu entsprechen.

Entwicklungsgeschichtlich steht daher über lange Zeiträume hin zunächst die Suche nach für Mensch und Tier geeigneten, schon existierenden Räumen, wie dies z. B. Höhlen in der Erde, im Fels oder in sehr dichten Vegetationsmassen bieten – geschützte Orte also, wo sich zum Überleben taugliche Bedingungen fanden (Abb. 2).

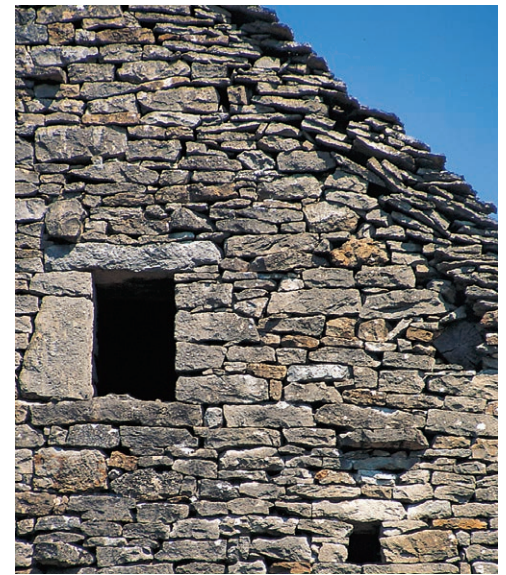
Mit dem Sesshaftwerden wird Raum durch Nutzung vorgefundener Materialien in Verbindung mit einem entsprechenden Bauvorgang künstlich erzeugt. Überdachung und Außenwände entstehen. So wird die Außenseite der gebauten Räume bedeutsam, die nun vielfache Funktionen übernehmen muss, die in erster Linie dem Witterungsschutz dienen (Abb. 3).

Die in der Natur existierende, Hohlräume umgebende Masse an Stein oder Erde ist nun reduziert auf eine relativ dünne Schicht, die als vom Menschen gemachte Konstruktion entsteht. Das Gebäude hat jetzt gleichermaßen eine Innen- und Außenseite.

Der Begriff »Außenwand« kennzeichnet dabei in seinen Bestandteilen sowohl die Lage, nämlich »außen«, als auch den Charakter dieses baulichen »Subsystems«, den der Wand. Wände sind aber in der Geschichte der baulichen Konstruktionen – jedenfalls bis ins



2



3

2 Höhlenwohnung

3 Außenwand aus örtlichem Naturstein, Auvergne (F)

20. Jh. – im weit überwiegenden Maß nicht nur Raumbegrenzung, sondern auch wesentlicher Teil des Tragwerks (indem sie die auftretenden Nutzlasten, ihr Eigengewicht und das der auf ihnen lastenden Decken sowie die Windkräfte über die aussteifende Wirkung des massiven Aufbaus in die Fundamente einleiten). Daher assoziiert man mit dem Begriff der Wand, zumal der Außenwand, auch das Stabile, Robuste, meist Schwere, ja sogar Abweisende, Privates und Öffentliches Abtrennende und auf diese Weise das Wesen des Gebäudes nach außen hin vorrangig Bestimmende.

Die äußere Oberfläche entsteht nun zusätzlich als Pendant zu den längst als maßgebliches Kommunikationsmedium genutzten Innenoberflächen (wie z. B. im Fall der Höhlenmalereien). Sie dient fortan auch als Bildträger für profane und sakrale gesellschaftliche Strukturen und zur Vermittlung von Werthierarchie und Machtanspruch.

1 Moldau Kloster, Sucevita (RO) 16. Jh.



4



5

Material und Konstruktion

Der zwischen den äußeren Wänden geschaffene Raum hat nun die Ansprüche und Funktionen für den Gebrauch und Komfort zu erfüllen. Um dies zu erreichen, müssen die lokalen Bedingungen und gestellten Anforderungen näher erfasst, beeinflussbar und dann durch geeignete konstruktive Mittel erfüllbar werden.

Das technische Resultat entsteht im Kontext von Materialien, Konstruktion, Fügungen, den Abläufen der Herstellung, aber auch aus Ansprüchen, die aus der Gravitation und anderen äußeren und inneren physikalischen Einflüssen und Gegebenheiten resultieren. So spiegeln die Hüllen von Gebäuden die Entwicklung der Technologien einer Region und damit einen wesentlichen Teil der jeweiligen lokalen Kultur wider.

Die Entscheidung für ein bestimmtes Material etwa kann sich also nicht nur auf Beanspruchungen gründen, die von außen oder innen kommen, sondern es müssen die Regeln berücksichtigt werden, die sich auf den Herstellungsprozess der jeweiligen Gebäudehülle beziehen. Dabei bestimmen nicht allein die einzelnen Nutzungsanforderungen die Ausbildung der Fassade, sondern diese muss immer im Zusammenhang mit den Fragen der Fügung, der Konstruktion und damit der technischen Umsetzung im baulichen Gesamtsystem, der materiellen Gesetzmäßigkeit und geometrischen Ordnung betrachtet werden (Abb. 4). Vor allem auf diesem Feld muss die professionelle Kompetenz eines Architekten in seiner Rolle als »Baumeister« gesehen werden, denn er allein kennt alle Zusammenhänge und die vielfachen Wechselbeziehungen innerhalb und zwischen der architektonischen Komposition und der konstruktiven Logik.

Die Gestalt

Außenwände werden im allgemeinen Sprachgebrauch auch als »Fassaden« bezeichnet, wodurch nun gegenüber den genannten Grundfunktionen von Witterungsschutz und Bestimmung des Raumklimas ein anderer Aspekt in den Vordergrund rückt: der der Wahrnehmung des Baus über sein »Gesicht«, abgeleitet auf dem Umweg über das französische »façade« vom lateinischen »facies«. Gemeint ist also etwas Gebautes, das in seine Umgebung »hineinschaut« bzw. von dort aus als erste und maßgebliche semantische Botschaft wahrgenommen wird [1].

Oberflächen, die von Menschen gestaltet sind, haben stets auch als Informationsträger gedient. Abgebildet wurde, was das soziale Leben, was transzendente und religiöse Projektionen bestimmte, was Ziel oder Bericht war: Verehrung der Gottheit, Jagd oder Rituale, Kampf, Vermählung, Beute und Tod – lange bevor Schrift als abstrakte Form der Vermittlung verfügbar war (Abb. 5).

4 Bauerhausmuseum, Amerang (D)

5 Majolikafries am »Ospedale del Ceppo«, Pistoia (I)

6 Alhambra, Granada (E)

7 Dom, Lucca (I) 12. –15. Jh.

8 Casa Batlló, Barcelona (E) 1906, Antoni Gaudí

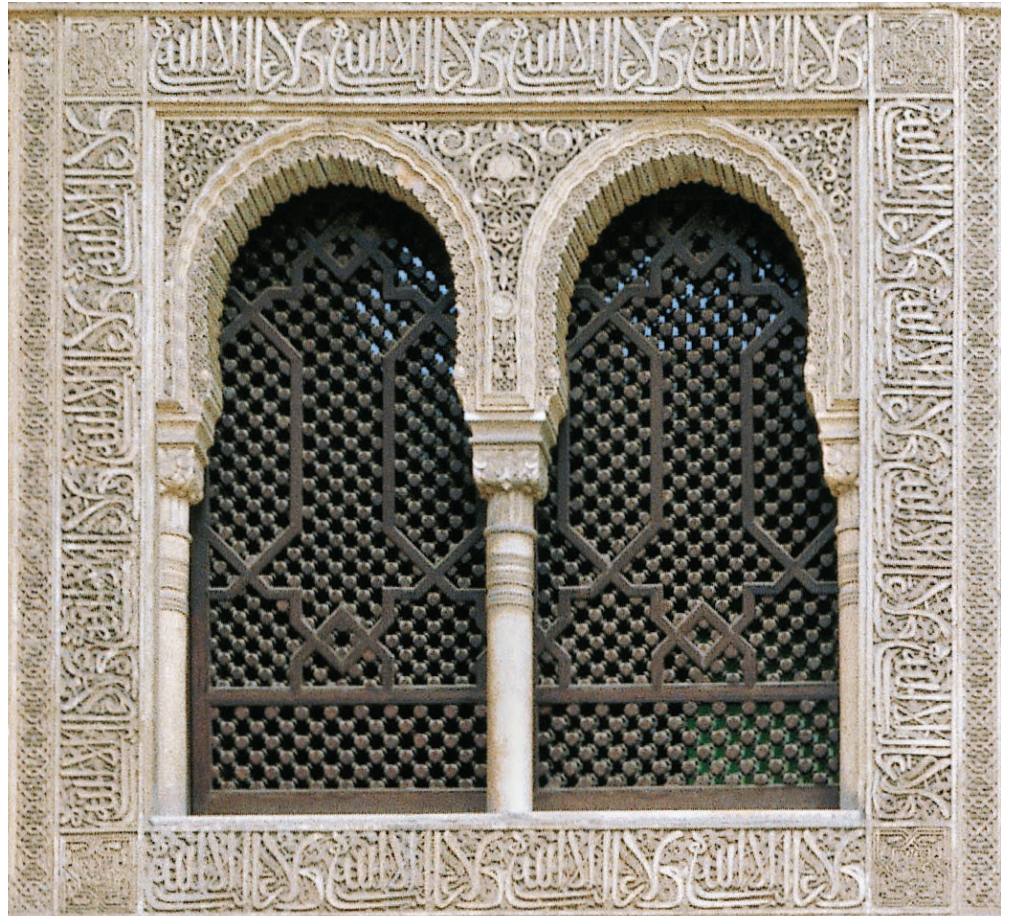
Die Qualitäten der Außenoberflächen sind in ihrer Bildwirkung ähnlich zu sehen wie die der erwähnten inneren Oberflächen hinsichtlich grafischer Merkmale, Strukturen, Farbgebungen, Gravuren und Reliefs, Mischungen von Informationen aus Schrift, Bild und Materialwirkung. Das ganze Spektrum wurde im Lauf der Geschichte in Bildform sichtbar – »der Schauer des Kreatürlichen und das Schauerliche des Todes« [2].

Man erzeugt erstmals Baukörper mit differenzierter eigener Gestalt, von außen auch in unterschiedlichen Einzelheiten wahrzunehmende dreidimensionale Objekte, die im Vergleich zur reinen Wandfläche weitere Merkmale aufweisen, beispielsweise durch räumliche Proportionen, Volumen und beides in Relation zur vorhandenen Umgebung.

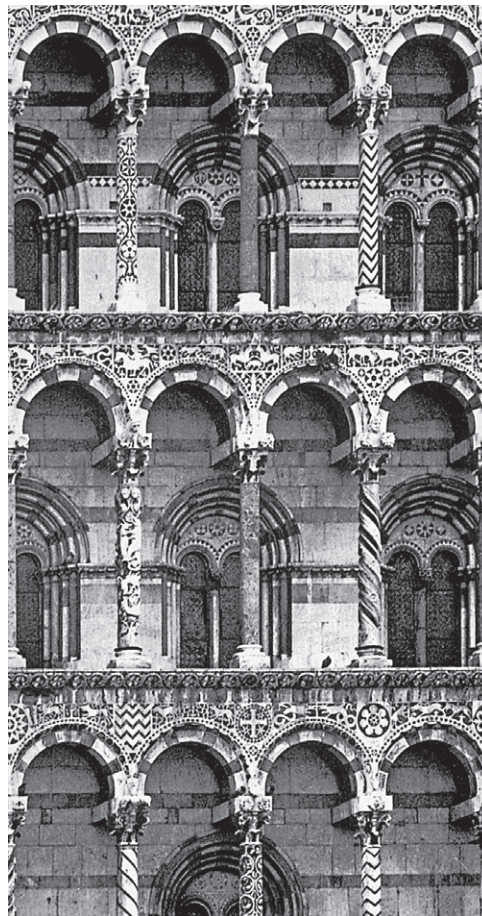
Wie sich gebaute Wände mit zunehmender Verfeinerung der Konstruktion differenzieren, so geschieht Analoges im Bereich der Öffnungen. Auch hier dominieren zunächst die Funktion und die technische Lösung ihrer Überbrückung in der Wand durch Sturz und Bogen aus gleichem oder anderem Material. Anforderungen an maximalen Lichteinlass bei minimaler Apertur durch seitliches Anstrahlen der Leibung von innen und außen, Lichtbrechung, Sichtschutz und Dosierung von Lüftung durch vor- oder eingesetzte Elemente werden durch die Art ihrer Ausformung und gestalterischen Überhöhung maßgebliche Bestandteile der architektonischen Gesamtwirkung (Abb. 6).

Wie für die Wände, so finden auch für die Ausstattung der Öffnungen mit starren oder beweglichen Teilen lokale Materialien vielfache Anwendung. Es entstehen regelrechte Preziosen, deren Seiten und Flächen mit enormem Aufwand gestaltet sind. Ein grandioses Wechselspiel von Wand und Öffnung ergibt sich bei der Komposition mehrlagiger Frontfassaden, wie sie beispielsweise an den Domen in Lucca und Ferrara durch den Aufbau räumlicher Tiefe und plastischer Ausformung aller Einzelheiten erreicht wird (Abb. 7).

Im Zuge dessen entstehen im Bereich der Fassade zusätzliche Wirkungen, die sich aus der Überlagerung oder Durchdringung, aus dem Wechsel der Exposition von Objekten ergeben. Es kommt zu unterschiedlichen oder wechselnden Helligkeiten, Licht-Schatten-Effekten auf dem Gesamtvolumen und auf seinen Teilen. Der Bereich stereometrischer Ordnungen wird verlassen zugunsten freier Formentwicklungen, es erfolgt Wechsel von gerundeten, einsinnig und gegensinnig gekrümmten Flächen im Verhältnis zu ebenen Bereichen, die liegend, stehend, oder geneigt, gefaltet, oder mit anderen Untergliederungen ausgeformt sind (Abb. 8).



6



7



8



9



10



11

Das sozio-kulturelle Umfeld

Zentralen Einfluss auf die Gestaltung der Gebäudehülle haben außerdem die lokalen Gegebenheiten, die Art der Gesellschaft, die in einer bestimmten Region lebt, ihre Geschichte und Ethnographie, ihre weltanschauliche Ausrichtung, das örtliche Klima (das schon auf kurze Distanz differieren kann) oder die Verfügbarkeit lokaler Ressourcen.

Solche Zusammenhänge beeinflussen regionale oder lokale Kulturen im Kern dessen, was Gesellschaften charakterisiert, sie stabilisiert, was Orientierung gibt und Basis ziviler Konvention ist. Koexistenz verlangt kulturelle Vereinbarungen. Auch das Erscheinungsbild von Gebäuden vermittelt sie als Zeitdokument auf Dauer [3].

Vor solchem Hintergrund haben die Außenseiten der Gebäude besondere Bedeutung, die über die Wirkung des Einzelgebäudes weit hinausgeht, denkt man an die Dimension von Straßenfronten, an Plätze oder Quartiere. Hier bestimmt die Summe der Außenwände den öffentlichen Raum.

Die Charakteristik der Fassaden bezüglich Materialwirkung, Farbe, Proportionen, Volumen und bildhafte Informationen signalisiert, welche Funktion die Dinge haben bzw. welche Bedeutung ihnen beigemessen wird.

Es besteht jedoch auch die Gefahr, dass durch willkürliche Applikationen oder Verfremdungen Häuser neue semantische Bedeutung erhalten, was dazu führen kann, dass sie von ihrem Wesen entfremdet werden und dabei jede »Würde« verlieren – sei es, dass dies aus überzogener Toleranz gegenüber präpotenter Selbstdarstellung geschieht, sei es als Folge falscher Zielsetzung.

Dies spricht nicht gegen rein modische Ausstattungen innerhalb von temporären Inszenierungen, wenn man dabei an Kunstformen denkt, bei denen Zeitablauf oder Zeitbegrenzung ein Merkmal ist, wie bei einem Theaterstück, bei Oper, Ballett oder Film. Bestimmen sie aber Architektur, so kommt es leicht zur Destabilisierung ästhetischer Identität, es kann sogar die Orientierung am kulturellen Zeugnis verloren gehen.

Gleichwohl darf die optische Wirkung nicht innerhalb eines geschlossenen Kanons bewertet werden. Denn das würde bedeuten, dass Kultur im Grunde dann vorherrscht, wenn sie eingefroren ist, sich also nicht mehr weiterentwickelt.

Deswegen ist es ein Merkmal kultureller Prozesse, dass man mit tradiertem baulichem Bestand schöpferisch umgeht (Abb. 12).

Das Bewusstsein um die Bedeutung der Außenseite eines Gebäudes in ihrer Wirkung im öffentlichen Raum sollte aber als wesentli-

cher, auf die Kommunikation in einem Gemeinwesen setzender Aspekt gesehen werden. Wer ein Bauwerk errichtet, teilt nach außen hin anderen mit, was seine eigenen Absichten sind, und kennzeichnet damit die eigene Identität, wie er auch das Maß der gewollten Zuordnung oder Einordnung in einen existierenden räumlichen und baulichen Kontext bestimmt. An dessen Weiterentwicklung ist man demnach in der Regel auch als Architekt beteiligt [4].

Wie sehr man in der Renaissance im Zuge des aufblühenden Humanismus und damit der wachsenden Wertschätzung des geistig unabhängigen Individuums die Wirkung der Außenwände als »Schauwände« betonte, zeigen zahlreiche Beispiele (z. B. Abb. 10). Noch gesteigert wird dies im Barock: In der Regel werden diese zum davor liegenden Straßen- oder Platzraum orientierten Fassaden im Gegensatz zu den übrigen Außenseiten mit gestalterisch großem Aufwand unter Einbeziehung edler Materialien und bedeutsamer künstlerischer Mittel fast losgelöst vom Baukörper als Ganzes zur anspruchsvollen Großkulisse. Viel mehr als technische oder utilitaristische Aspekte spielt dabei die Fassade als Medium für die architektonische Wirkung eine zentrale Rolle. Die Außenwand wird zum Bildträger unter Einbeziehung von Relief, Skulptur, Malerei, Mosaik und Schrift, wo alle primär funktionalen Teile Gegenstand höchster dekorativer Ausformung werden (Abb. 9).

Heutige so genannte Medienfassaden, wie sie weltweit durch die Integration neuer Gestaltungsmittel und Kommunikationstechnologien möglich werden, die in transparenten und transluzenten Glas- und Membranflächen grafische und farbliche Wirkungen neuer Art zeigen, stehen in der Tradition dieser Gebäude-

hüllen als Bildträger. Wie sehr dieser Wandel zu Kontrasten, ja zur Denaturierung führen kann, zeigt das Beispiel aus London (Abb. 11), bei dem sich zwei ursprünglich analoge bauliche Volumina gegenüberstehen. Sobald das in der Helligkeit konkurrierende Tageslicht hinreichend abnimmt und künstliches Licht dominieren kann, sind elektronisch gesteuerte LEDs und Videos längst die ästhetisch bestimmenden Faktoren von auf der Außenseite der Gebäude erfolgender Informationsvermittlung und architektonischer Wirkung (Abb. 13).

Wenn bei den historischen Vorläufern die eingesetzten Materialien und ihre grafische oder skulpturale Gestaltung zur Gänze die Wirkung der Fassade bestimmten, so intensivieren sie die Wahrnehmung gegenüber dem Gebäude selbst. Dessen eigene, originäre Bestandteile waren hierfür Ursache. Anders wenn die nicht gegenständliche semantische Botschaft über ein nicht selbst gestaltetes neutrales Medium wie ein Computerprogramm und Projektionstechnik transportiert wird. Über die variable Software besteht dort völlige Unabhängigkeit bezüglich der dargestellten Inhalte und weitgehend auch bezüglich der Form ihrer Präsentation.

Die solchermaßen äußerst intensive, von ständiger Abwechslung lebende Wirkung bei Fassaden ist Hauptursache für den Attraktionswert dieses städtischen Raumes. Diese Art Fassade stetiger Veränderung durch Integration immer wieder neuer Technologie zeigt sich etwa am Times Square in New York – eines unter zahllosen Beispielen. So entsteht ein völlig neuer, über andere Medien wirksam werdender intensiver kultureller Bezug, bei dem die ästhetische Bedeutung der Gebäudefassade selbst in den Hintergrund tritt (Abb. 13).



12

- 9 Straßenzug mit bemalter Fassade, Trento (I)
- 10 San Giorgio Maggiore, Venedig (I) 1610, Andrea Palladio
- 11 Picadilly Circus, London (GB)
- 12 Alt – Neu, Übergang im Detail
- 13 Times Square, New York (USA)

Fassadeninstallationen

In der europäischen Bautradition sind gebäudetechnische Anlagen als funktional wichtige Elemente auf vielfache Weise in Außenwände integriert: als Heizungskamine wie im Fall des südenglischen Wells, wo sich die gemauerten Außenwände als Rauchabzüge signifikant nach oben fortsetzen und in Europas erster Reihenhaussiedlung aus neuerer Zeit charakteristischer Bestandteil des Straßenbildes werden (Abb. 14).

Alltätlich ist die Anordnung von Radiatoren oder Konvektoren unter Fenstern auf der Innenraumseite oder – in heißen Klimaten – von dezentralen Raumklimageräten auf der Gebäudeaußenseite. Dass die Auflagerkon-



13

solen solcher technischer Geräte auch in elementierte Fassaden konstruktiv elegant einzubinden sind, zeigt das Beispiel des Halbleitermontagewerks in Wasserburg am Inn (siehe S. 168f.)

Vor allem um Innenräume großflächig freizuhalten, wie dies bei Produktions- und Ausstellungshallen gefordert ist, werden auch große Lüftungskanäle im Fassadenbereich angeordnet. Dies wurde als technisches Motiv in expressiver Weise und in großer Dimension beim Centre Pompidou in Paris (Renzo Piano, Richard Rogers, 1977) zum maßgeblichen architektonischen Ausdrucksmittel (Abb. 15). In ähnlicher Weise liegen die raumlufttechnischen Anlagen beim Sainsbury Centre of Visual Arts (siehe S. 172f.) an der Gebäudeperipherie – dort allerdings zwar in Teilen durch Verglasungen von außen sichtbar, aber auf Dauer wirkungsvoll gegen Witterungseinflüsse geschützt. Dass solche weitgehend aus dem Bereich des Maschinenbaus kommenden Elemente als wesentliches bauliches Subsystem und geradezu programmatisch in den »Schauseiten« von Gebäuden eingesetzt werden, stellt einen Paradigmenwechsel dar [5]. Deren Bedeutung im Zuge der Erzeugung eines künstlichen Gebäudeinnenklimas bei wachsender Unterstützung durch Energiezufuhr – und Abhängigkeit davon – ist indessen gerade aus heutiger Sicht wegen dieser Abhängigkeit zu überprüfen. Die betreffenden (groß-) technischen Installationen sind jedoch nach wie vor sinnvoll, wenn sie – wie beispielsweise durch den verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien – auch nach Kriterien der Ressourcenschonung verantwortbar sind. Ihre baukonstruktive Desintegration von Tragwerk

und schützender Gebäudehülle ist allemal schon aus Gründen der leichten Zugänglichkeit, Wartung und Erneuerbarkeit zweckmäßig.

Verzichtet man auf installierbare Hohlräume in Decken und Böden, um die Masse der tragenden Bauteile thermisch aktivieren zu können, und sollen gleichwohl – wie im Verwaltungsbau die Regel – Innenwände auf Dauer versetzbar sein, so muss die Außenwandkonstruktion geeignete Einrichtungen zur Verteilung und für die Zugänglichkeit von Stark- und Schwachstromleitungen sowie für die Versorgung mit Kälte, Wärme und Luftaustausch enthalten. In jüngerer Zeit werden zunehmend kleine, dezentrale Fassaden-Lüftungsgeräte entwickelt, welche zur Minderung von Lüftungswärmeverlusten als Gegenstromanlagen ausgebildet sind und so Wärmerückgewinnung in der Heizperiode effizient sicherstellen.

Bei den Neubauten der ZVK in Wiesbaden (siehe S. 282f.) ist dies durch einen Brüstungskanal, Installationsschränke, integrierte Evolventenleuchten, Kleinkonvektoren in allen Büroachsen und steuerbare Lüftungswalzen mit dahinter liegender Prallplatte verwirklicht.

Ganz andere, auf natürliche, organische Wirkungen setzende Effekte, solche die das Mikroklima an Fassaden beeinflussen, lassen sich mit dem gezielt funktionalen Einsatz von Vegetation erreichen (Abb. 16). Pflanzen haben, was Staubbindung, Feuchtehaushalt Verschattungswirkung und natürliche Kühlung angeht, gelegentlich – zumal in heißen Jahreszeiten und in südlichen Regionen – erhebliche Wirkung im Sinne natürlicher Kühlung. Hier kann sich also Funktionalität mit ästhetischer Absicht überzeugend verbinden [6].

Altern

Geht man davon aus, dass ein Gebäude ab dem Zeitpunkt seiner Fertigstellung Teil der Baugeschichte ist, so stellt sich die Frage nach dem Alterungsverhalten unmittelbar, speziell was das äußere Erscheinungsbild, also die gegenüber der Bewitterung am meisten exponierte Gebäudehülle betrifft.

Sie ist auf Dauer vielfachen Beanspruchungen ausgesetzt, mit der Folge, dass es im Laufe der Zeit nicht nur zu technisch und funktional relevanten Veränderungen kommt, sondern auch zu Veränderungen im Erscheinungsbild.

Es gibt Fassaden, die verrotten, verkommen, »schäbig« werden, die wegen ihrer Konstruktionsweise und Materialwahl schlecht altern. Und es gibt andere, die so gut wie gar nicht altern, was mit den gleichen, nämlich technischen Kriterien zusammenhängt. Gläser beispielsweise, u. U. seit Jahrhunderten eingebaut, sind vielleicht in ihrer Oberfläche leicht angegriffen, haben sich aber in ihrer stofflichen und ästhetischen Charakteristik wenig verändert.

Schließlich gibt es Materialien, die schon innerhalb kurzer Zeiträume trotz starker Veränderung auf akzeptable Weise altern und die dabei möglicherweise sogar schöner werden. Hier spricht man von Patinierung (Abb. 17). Den Gebrauchswert verlieren sie nicht, ebenso wenig die technische Tauglichkeit (etwa weil Teile faulen oder Querschnitte als Folge von Korrosion zu dünn werden).

Zur gestalterischen und technischen Konzeption und Ausarbeitung von Fassaden gehört es



14



15

also auch sicherzustellen, dass sie qualitativvoll altern können, ohne ihren Wert zu verlieren. Die allgemeine Bereitschaft in der Gesellschaft, solche ästhetische Veränderung zu akzeptieren, ggf. im Sinne baulicher Denkmäler und kostbarer Einzelheiten hoch zu bewerten, ist dann festzustellen, wenn Materialien aus ihrem natürlichen Zusammenhang heraus bekannt sind.

Dies gilt z. B. für Stein, Kupfer und Bronze. Das charakteristischste Beispiel dafür dürfte aber Holz sein, das Menschen dort, wo es heimisch ist, in unzähligen Varianten von klein auf kennen, und von dem man weiß, dass es sich bezogen auf sein Aussehen nie in einem Endzustand befindet, wie sich dies überzeugend am Beispiel des Erweiterungsbaus von Peter Zumthor in Versam (Graubünden, CH 1994) zeigt (Abb. 18).



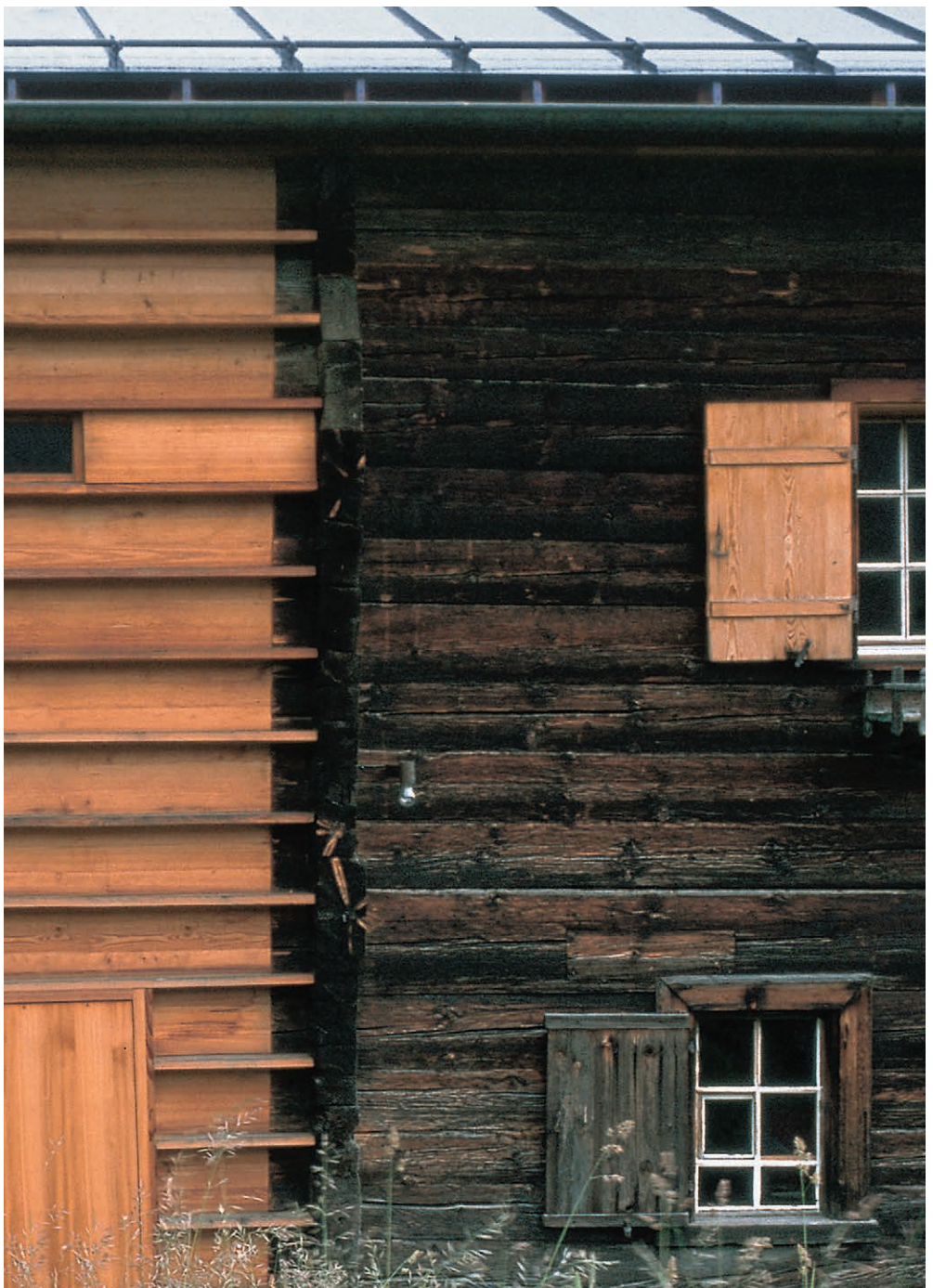
16



17

Anmerkungen:

- [1] Dass dies nicht immer als positiver Effekt gesehen wird, zeigt sich allerdings auch an Redewendungen wie: »Alles nur Fassade«, was meint, dass die tatsächliche Qualität einer Person oder Sache nicht ihrem Auftreten nach außen hin entspricht.
- [2] Wortprägung nach Jochen Wagner, Evangelische Akademie Tutzing, TV-Sendung 02/2004
- [3] Dies stabilisiert psychologisch beide: Individuum und Gesellschaft. Das bauliche Umfeld bildet einen wichtigen »Prospekt« für das Bewusstsein von Zugehörigkeit, Heimatgefühl und das Verständnis der eigenen Identität.
- [4] In seinem Aufsatz »Zukunft bauen« schreibt Manfred Sack: »... jede Fassade, ach, viel mehr: jedes Bauwerk ist eine öffentliche Angelegenheit – und zum Teufel mit dem Architekten, der sich damit leicht täte. Die Fassade gehört allen; nur was dahinter steckt, ist Sache derer, die damit zurechtkommen müssen. Und deshalb ist auch klar, dass die Fassade nicht eine Angelegenheit der Kosmetik sein darf. Denn eine als schön empfundene Stadt ist, was manch einer nicht vermutet, eine soziale, eine allgemeine, eine politische Aufgabe«. In: Sack, Manfred: Verlockungen der Architektur. Luzern 2003
- [5] Dies erstmals wissenschaftlich grundlegend untersucht zu haben, ist das Verdienst von Rudi Baumann, der im Rahmen seiner Dissertation zeigte, wie groß bei richtigem Einsatz von Vegetation das Potenzial der Klimaregulierung durch Rankgewächse in gemäßigten Zonen ist. Siehe auch: Begrünte Architektur. München 1983
- [6] Selbst wenn der »Paradigmenwechsel« in den letzten Jahren fast zu einem Modewort wurde, so ist doch im vorliegenden Fall festzuhalten, dass das παράδειγμα ursprünglich ein speziell für Wettbewerbszwecke angefertigtes Architekturmodell bezeichnet.



18

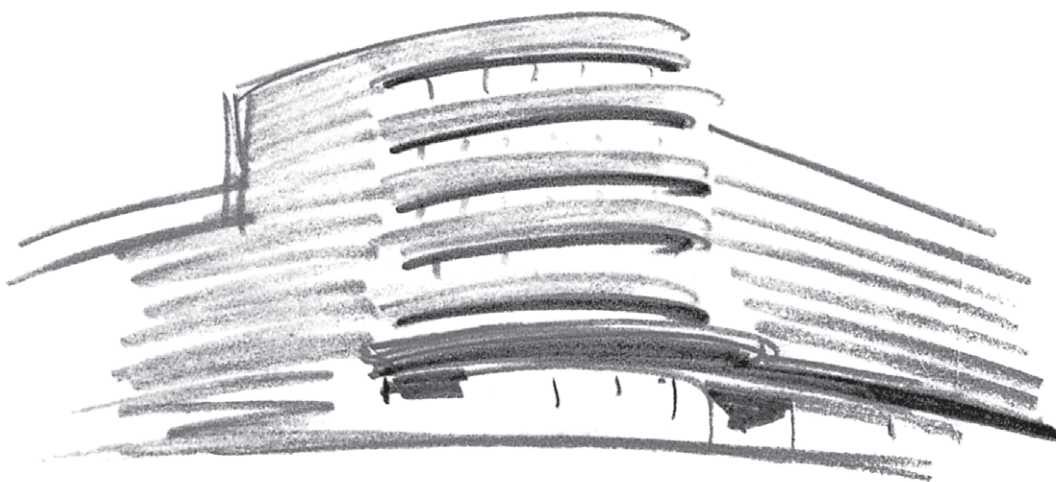
14 Vicar's Close, Wells (GB)

15 Centre Pompidou, Paris (F) 1977, Renzo Piano/Richard Rogers

16 berankte Fassade

17 patinierter Bronze-Erker, Boston (USA)

18 bewitterte Holzfassade, Graubünden (CH) 1994, Peter Zumthor



Teil A Grundlagen

- 1 Außen- und Innenbedingungen
- 2 Allgemeine Konstruktionsgrundlagen
 - 2.1 Flächen – Strukturelle Prinzipien
 - 2.2 Ränder, Öffnungen
 - 2.3 Modulare Ordnung
- 3 Bauphysikalische Planungshinweise



A 1 Außen- und Innenbedingungen

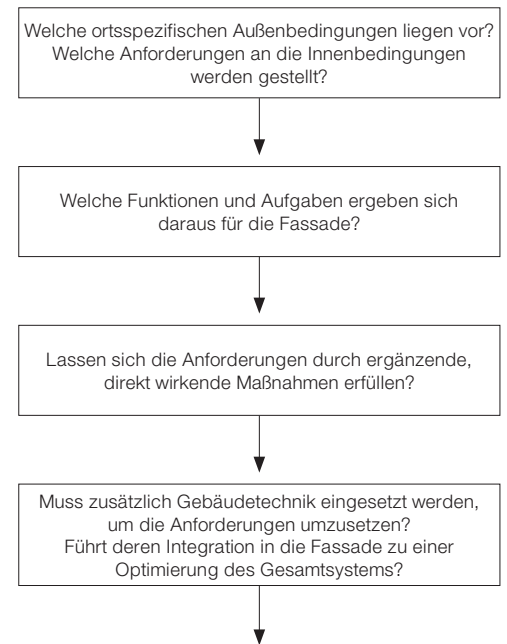
Die Fassade bildet die Trenn- und Filterschicht zwischen außen und innen, zwischen der Natur und Aufenthaltsräumen von Menschen. Historisch betrachtet, stellt der Wunsch nach Schutz vor der feindlichen Außenwelt und den Unbilden des Wetters den primären Anlass zur Schaffung eines wirksamen Raumabschlusses nach außen dar. Diese Schutzfunktionen werden durch diverse weitere Anforderungen ergänzt: Licht im Inneren, ausreichender Luftaustausch, Blickbeziehungen nach außen bei gleichzeitiger Abgrenzung der Privatsphäre vom öffentlichen Bereich etc. Besondere Maßnahmen machen die Regelbarkeit solcher Öffnungen möglich. Auf diese Weise treten zu den Schutzfunktionen Steuer- und Regelfunktionen hinzu.

All diese Anforderungen gliedern sich in zwei Gruppen, die sich aus der Betrachtungsrichtung auf die Fassade ergeben und die sich in zahlreiche Einzelaspekte unterteilen lassen: ortsspezifische Außenbedingungen und Anforderungen an die Innenbedingungen. Das umfassende Verständnis dieser Grundlagen und der Abhängigkeiten ihres Zusammenwirkens bilden die Basis für Entscheidungen bei der Planung und Realisierung einer Fassade.

Anforderungen an die Fassade von außen und innen

Außenbedingungen sind durch die Planung in der Regel nicht beeinflussbar. Sie stellen daher bereits bei der Suche und Auswahl eines Grundstücks ein wesentliches Kriterium dar. Jeder Standort bietet spezifische, einzigartige Außenbedingungen, die eine sorgfältige Analyse erfordern, da sie sich in Art und Intensität nach Gegend, Region, Land und Kontinent unterscheiden. Zudem nehmen das direkte Umfeld und Mikroklima deutlichen Einfluss. Neben dem ortsspezifischen Klima mit bestimmten, statistisch ermittelten Niederschlagsmengen und -verteilungen (Regen, Schnee und Hagel) veranlasst beispielsweise ein benachbartes Industriegebiet mit erhöhtem Schallpegel und starker Geruchsbelastung spezielle Maßnahmen bei der Fassadengestaltung.

Die Anforderungen an die internen Bedingungen hingegen sind nicht von vorneherein determiniert, sondern werden in der Planungsphase über einen Anforderungskatalog bestimmt, der sich mit Blick auf die geplante Nutzung definiert. Eine genaue Kenntnis dieser Zielgrößen ist für den Planungserfolg von maßgeblicher Bedeutung, da sie die konstruktive Lösung unmittelbar beeinflussen. Sie bestimmen langfristig die erforderlichen Energie- und Stoffmengen, die für die Realisierung und den Betrieb benötigt werden. Neben den Anforderungen an das Innenklima, die im Wesentlichen durch den Begriff »Behaglichkeit« (siehe S. 22, Abb. 1.12) bestimmt werden, ergeben sich u. U. weitreichende Maßnahmen aus sonstigen verschie-



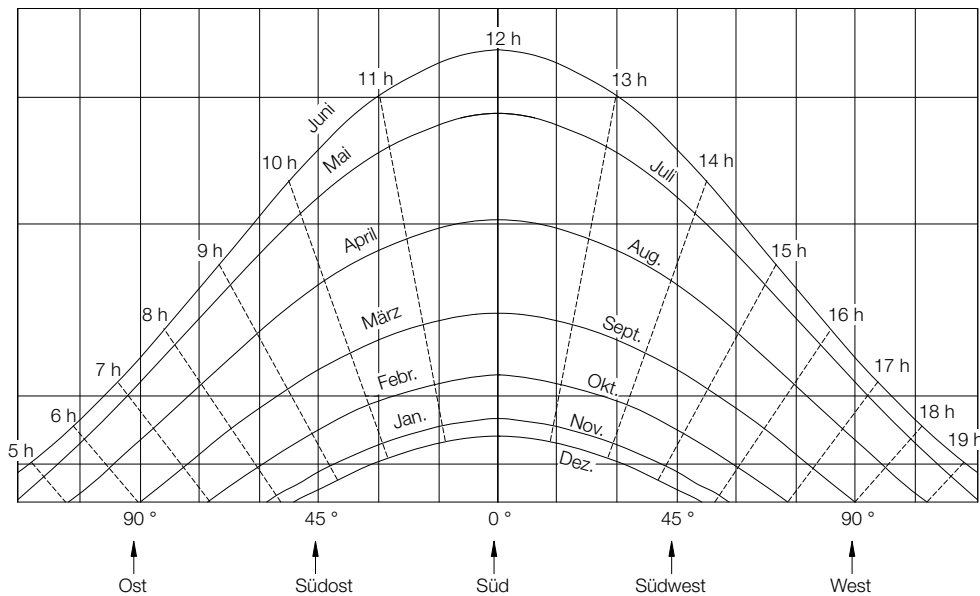
A 1.2

A 1.1 Anforderungen an die Fassade von außen und innen; Schutz-, Regel- und Kommunikationsfunktionen; ergänzende passive Maßnahmen und Gebäudetechnik

A 1.2 Schlüsselfragen/Vorgehensweise bei der Ermittlung der Randbedingungen und Anforderungen

denartigen qualitativen Erfordernissen – z. B. dem Wunsch nach einer hohen Gestaltqualität oder nach besonderem Einbruchschutz. Diese Bedingungen und Anforderungen, die Abb. A 1.1 graphisch darstellt, 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 verträgliches Maß mit dem Ziel der »thermischen Behaglichkeit« (siehe S. 22). Versteht man die Fassade als »dritte Haut« des Menschen (nach der des Körpers und der Kleidung), so wird die Analogie des Planungszieles deutlich: Die Schwankungsbreite der von außen einwirkenden Klimabedingungen ist in Richtung des Körperinneren durch jede dieser Funktionsebenen weiter zu reduzieren, um letztendlich eine konstante Körpertemperatur von ca. 37 °C sicherzustellen.

Aus den klimatischen Bedingungen ergeben sich jedoch auch Anforderungen, die keiner Seite allein zuzuordnen sind, sondern die aus dem Unterschied zwischen innen und außen resultieren. Sie führen zu mechanischen Beanspruchungen der Fassadenmaterialien sowie der konstruktiven Einzelheiten und entstehen vor allem aufgrund von Temperatur-, Feuchtigkeits- und Druckdifferenzen. Solche Beanspruchungen müssen durch geeignete Maßnahmen aufgenommen werden können (z. B. durch Dehnungsfugen, flexible Anschlüsse o. ä.).



A 1.3

Die Leistungsfähigkeit einer Fassade

Die klimabedingten Aufgaben sollten durch die Fassade möglichst umfassend bewältigt werden, weil auf diese Weise zusätzliche Maßnahmen wie z. B. weitere gebäudetechnische Einrichtungen zur Raumklimatisierung entsprechend gering gehalten bzw. vermieden werden können. Um dieses Planungsziel zu erreichen, sind Kenntnisse der relevanten physikalischen Grundprinzipien unerlässlich.

Ergänzende, direkt wirkende Maßnahmen können diese Aufgabe beidseitig der Fassade unterstützen. So ist es möglich, andere Bauteile im Gebäudeinneren in diesem Sinne zu »aktivieren«, z. B. durch Energiezwischenspeicherung in Wänden und Decken.

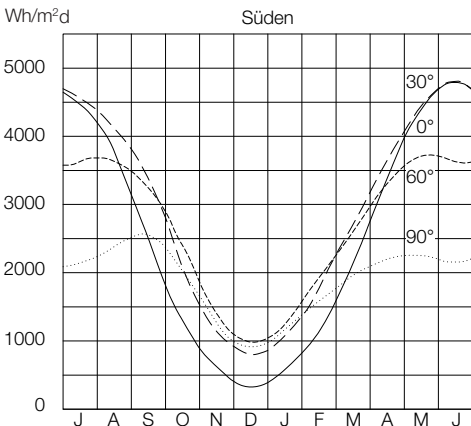
Im Außen- oder Zwischenbereich lassen sich offene Wasserflächen zur Kühlung (durch Verdunstung) oder zur Entfeuchtung (bei ausreichendem Temperaturunterschied Wasser – Raumluft) einsetzen. Durch geeignete Maßnahmen sind die abzufedernden Energiespitzen anderweitig nutzbar. Wärmestrahlung, vor der man das Gebäude schützen will, kann z. B. in Strom umgewandelt oder über Kollektoren absorbiert und zur Warmwasserbereitung genutzt werden. Ähnliches gilt für die Nutzung von erhöhten Außentemperaturen, von Wind und Niederschlägen.

Verbleibende Anforderungen, die durch bauliche Maßnahmen nicht ausreichend bewältigt wurden, müssen durch gebäudetechnische Anlagen erfüllt werden – sei es zur Temperierung, Belichtung, Luftreinigung, für einen ausreichenden Luftwechsel oder zur Be- oder Entfeuchtung. Solche ergänzenden, technischen Maßnahmen benötigen allerdings immer zusätzliche Energie und bedingen aufwändigen Medientransport, Wartung usw. Werden technische Einrichtungen dieser Art direkt in die Fassade integriert, spricht man von »installierten Fassaden« (siehe S. 13ff.). Werden gar Geräte nicht in haustechnischen Zentralen, sondern in der Fassade in direkter Nähe zu ihrem Wirkungsort untergebracht, so wird dies unter dem Begriff »dezentrale Fassadentechnik« zusammengefasst.

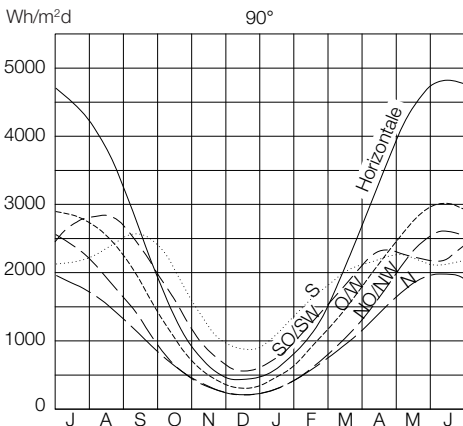
Abgesehen von den o. g. Einflussfaktoren sind in analoger Weise Bedingungen zu berücksichtigen, die sich aus dem baulichen Gesamtzusammenhang ergeben. Dazu gehören Maßordnung, konstruktive Abhängigkeiten, notwendige Toleranzen oder Montageabfolgen – Themen, denen sich die nachfolgenden Kapitel widmen.

Außenbedingungen: Solarstrahlung

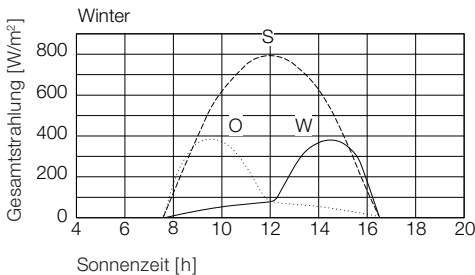
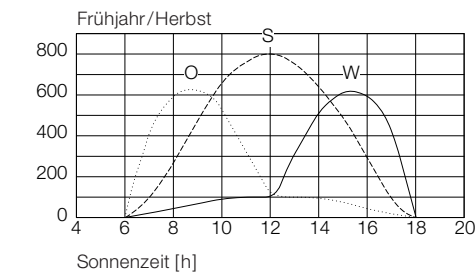
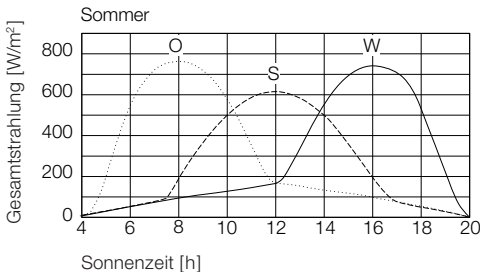
Unter den ortsspezifischen Außenbedingungen spielt die Sonne die zentrale und maßgebliche Rolle, sie ist die wichtigste direkte und indirekte Energiequelle und Grundlage allen Lebens. Die Energiemenge, die sie auf die Erde sendet,



A 1.4



A 1.5



A 1.6

A 1.3 Sonnenbahndiagramm (50° NB)
A 1.4 Einstrahlung auf Südfächen unterschiedlicher Neigung
A 1.5 Einstrahlung auf vertikale Flächen unterschiedlicher Himmelsrichtung
A 1.6 Gesamtstrahlung auf verschieden orientierte Wandflächen an Sonnentagen zu verschiedenen Jahreszeiten

entspricht ca. dem 10000-fachen des derzeitigen Weltenergieverbrauchs (auf jeden Quadratmeter der äußeren Erdatmosphäre trifft ein durchschnittlicher Energiestrom von 1353 W), und sie ist nach menschlichem Maßstab unerschöpflich, kostenlos und umweltfreundlich. Um dieses Energieangebot nutzen zu können, ist eine Betrachtung von Strahlungsintensität und -dauer in Abhängigkeit von Fassadenausrichtung und -neigung von maßgeblicher Bedeutung.

Die Planung von Fassaden erfordert außerdem eine umfassende Berücksichtigung folgender Zusammenhänge und Abhängigkeiten:

- Sonnenstandverlauf bezogen auf Standort, Tages- und Jahreszeit
- Strahlungsmenge je nach Flächenausrichtung und -neigung, Standort, Tages- und Jahreszeit
- verschiedene Arten an Strahlung (diffus, direkt und verschiedener Wellenlänge) und deren quantitatives Verhältnis in Abhängigkeit von Wetter, Ausrichtung, Standort, Tages- und Jahreszeit
- Wechselwirkungen mit Oberflächen und Materialien
- zu erwartende Energieeintragsmengen in Abhängigkeit von Wetter, Ausrichtung, Standort, Tages- und Jahreszeit
- Relation zum Wärmebedarf, wie er sich aus der vorgesehenen Nutzung ergibt

Eine Auswahl wesentlicher Zusammenhänge stellen die Abb. A 1.3–11 dar. Im Hinblick auf das solare Strahlungsangebot können für Deutschland folgende Werte als Grundlage angesetzt werden:

1400–2000 Sonnenstunden/Jahr
700–800 Sonnenstunden/Heizperiode

Der Anteil der diffusen Strahlung bezogen auf das Gesamtstrahlungsangebot eines Jahres beträgt circa:

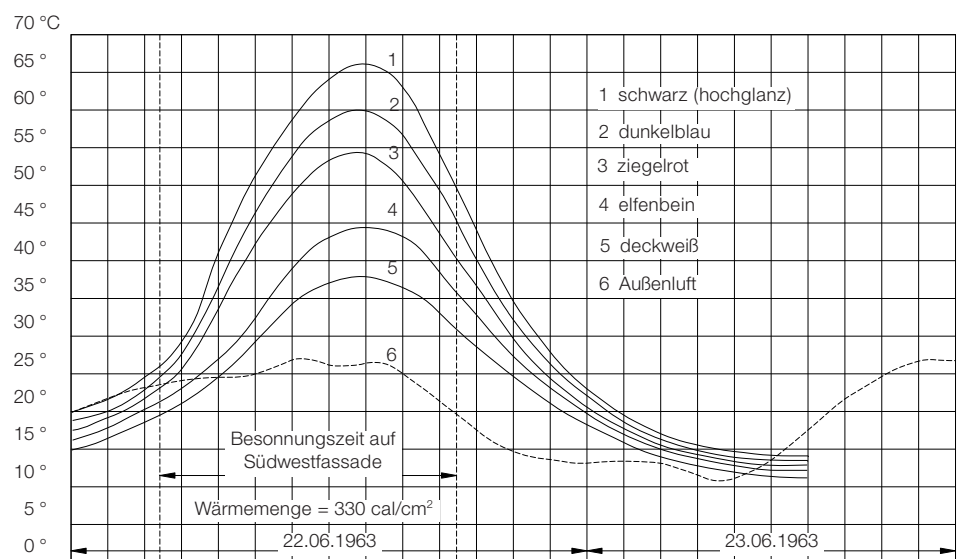
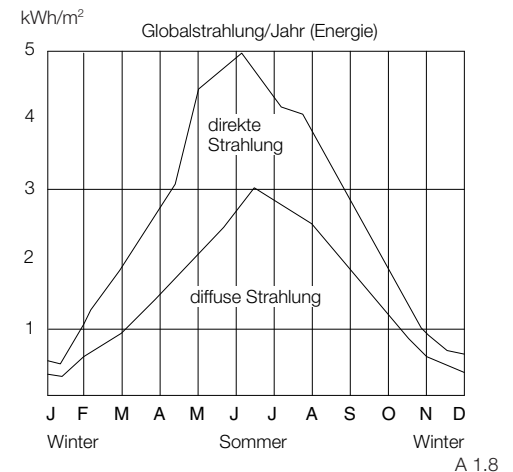
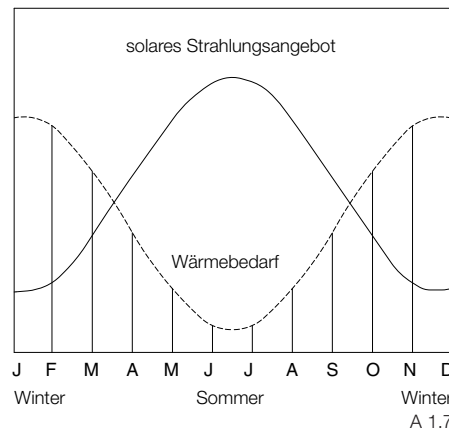
Südfassade 30 %
Ost- und Westfassade 60 %
Nordfassade 90 %
(Differenz zu 100 %: direkte Strahlung)

Das Strahlungsangebot der Sonne birgt aber auch Gefahren für den Menschen (Überhitzung, vorzeitige Hautalterung, Hautkrebs), vor denen er sich in geeigneter Weise schützen muss.

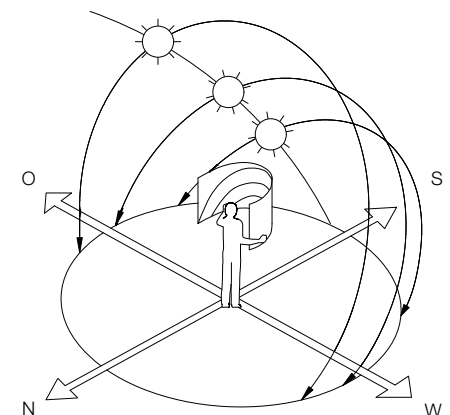
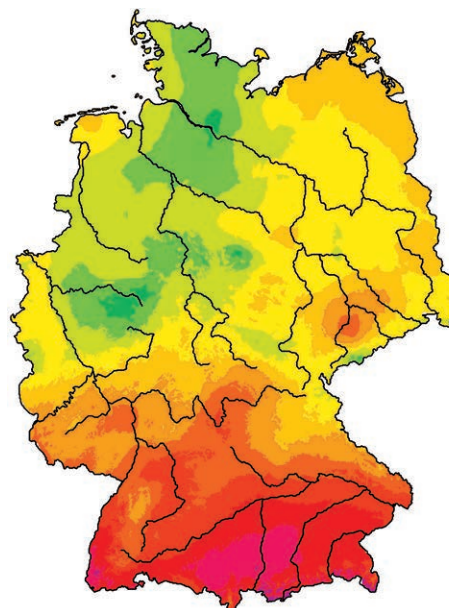
Thermischer Komfort/Behaglichkeit

Die Anforderungen an die klimatischen Innenbedingungen lassen sich unter dem Begriff der »thermischen Behaglichkeit« zusammenfassen.

Maßgebliche Einflussfaktoren, die in Zusammenhang mit der Ausbildung der Fassade stehen, sind (Abb. A 1.12):



A 1.9



A 1.10

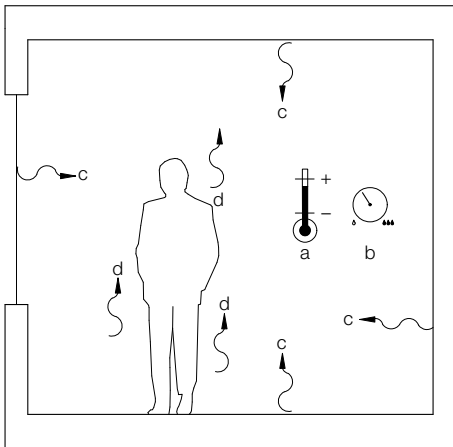
A 1.7 Wärmebedarf/Sonnenscheindauer (schematisch)

A 1.8 Strahlungsintensität im Tagesdurchschnitt am Beispiel von Mitteldeutschland (50°NB)

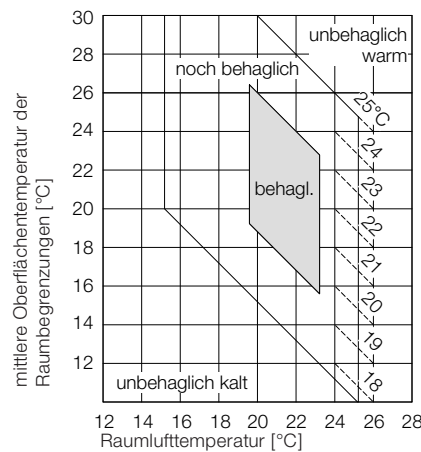
A 1.9 gemessene Oberflächentemperaturen an einem sonnigen Tag bei verschiedenen farbigen, südorientierten Fassadenoberflächen

A 1.10 Prinzip der Projektionsdiagramme der Sonnenbahnen

A 1.11 Deutschland – örtliche Verteilung der Jahresglobalstrahlung [kWh/m²]



A 1.12



A 1.13

A 1.12 thermische Behaglichkeit: Einflussfaktoren

- a Raumlufttemperatur
- b relative Raumluftfeuchte
- c Oberflächentemperatur
- d Luftströmung am Körper

A 1.13 Raum-/Oberflächentemperatur

Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von Raumluft- und mittlerer (wenig unterschiedlicher) Oberflächentemperatur der Raumbegrenzungen (nach Reiher und Frank)

A 1.14 Raumtemperatur/relative Luftfeuchtigkeit

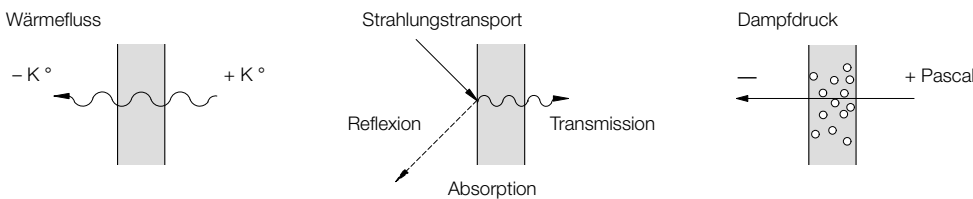
Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und relativer Luftfeuchte (nach Leusden und Freymark)

- Temperatur der Raumluft (a)
- Relative Raumluftfeuchte (b)
- Oberflächentemperatur der den Raum umgrenzenden Bauteile (c)
- Luftströmungen am Körper (d)

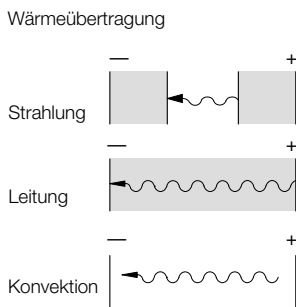
Diese messbaren Größen bestimmen in Abhängigkeit von Region, Gewohnheit, Kleidung, Tätigkeit und individuellem Empfinden die thermische Behaglichkeit. Die Bereiche, in denen sich die Werte der einzelnen Einflussfaktoren bewegen sollten, nennt man »Behaglichkeitsfelder« (Abb. A 1.13–15). Für keinen der genannten Werte gibt es verbindliche Zielgrößen, sondern alle stehen in gegenseitiger Abhängigkeit. Die »empfundene Raumtemperatur« setzt sich näherungsweise zu gleichen Teilen aus Raumlufttemperatur und mittlerer Strahlungstemperatur der Raumumschließungsflächen zusammen. Der Begriff der Behaglichkeit wird zunehmend über die rein klimatischen Anforderungen hinausgehend interpretiert:

- »Lichtmilieu« und »visuelle Behaglichkeit«: Lichtquantität, -qualität und Leuchtdichte-contrast (Blendschutz)
- hygienische Behaglichkeit (geringe Schad- und Geruchstoffbelastung)
- akustische Behaglichkeit (Geräusche)
- elektromagnetische Verträglichkeit

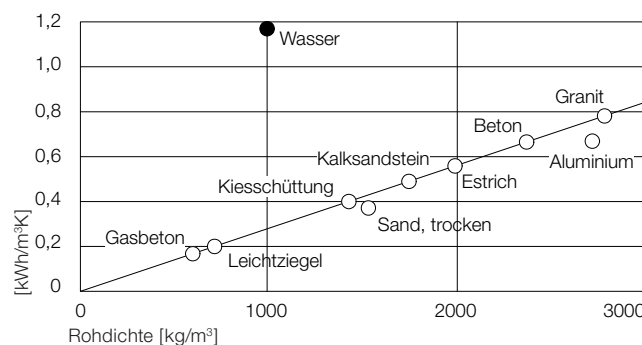
Auch psychologische Faktoren (z. B. Materialien, Farben) und kulturelle Aspekte stehen hiermit im Zusammenhang und sollten Berücksichtigung finden.



A 1.16



A 1.17



A 1.18

Physikalische Grundprinzipien

Für das Verständnis der Funktionen der Fassade ist die Kenntnis der bauphysikalischen Grundprinzipien von großer Bedeutung, z. B. von Wärmefluss, Wasserdampfdruck oder Strahlungstransport (Abb. A 1.16).

Wärmetransport

Wärmeenergie fließt grundsätzlich von der wärmeren (energiereichen) zur kälteren Seite. Es gibt drei Grundprinzipien des Wärmetransportes (Abb. A 1.17):

A 1.15 Raumtemperatur/Luftbewegung Behaglichkeitsfeld in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und Luftbewegung (nach Rietschel-Raiß)

Geltungsbereich für Abb. A 1.13–15

- relative Luftfeuchte von 30 bis 70 %
- Luftbewegung von 0 bis 20 cm/s
- weitgehende Temperaturgleichheit aller raumbegrenzenden Flächen von 19,5 bis 23 °C

A 1.16 bauphysikalische Grundprinzipien (Auswahl)

A 1.17 Grundprinzipien der Wärmeübertragung

A 1.18 volumenbezogene Wärmespeicherkapazität ausgewählter Materialien

- Wärmeleitung
- Wärmestrahlung
- Wärmekonvektion

Für flächige Bauteile lässt sich der Wärmedurchgangskoeffizient U-Wert [W/m²K] berechnen.

Wärmeleitfähigkeit und -speicherkapazität

Beide sind materialabhängige Werkstoffeigenschaften und nehmen im Allgemeinen mit der Rohdichte zu, wobei die Wärmespeicherkapazität von Wasser im Vergleich zu üblichen Baustoffen eine deutliche Ausnahme darstellt (Abb. A 1.18).

Relative Luftfeuchtigkeit

Luft kann Wasserdampf aufnehmen bis der Sättigungspunkt erreicht ist. Dieser ist von der Temperatur abhängig, daher spricht man von »relativer Luftfeuchtigkeit«. Bei gleicher Temperatur ist feuchte Luft geringfügig leichter als trockene.

Wasserdampfdruck

Wasserdampf strebt von der Seite mit größerem Dampfdruck (Partialdruck) zur Seite mit dem geringeren Druckniveau. Wird durch gleichzeitiges starkes Temperaturgefälle der Taupunkt unterschritten, kommt es zu Kondensaterscheinungen (und damit zum Risiko von Tauwasserbildung und Schimmel).

Strahlungstransport

Auf ein Bauteil auftreffende Strahlung wird reflektiert, absorbiert oder transmittiert (Abb. A 1.16 Mitte).

Die Wärmeabstrahlungseigenschaften sind im Wesentlichen von der Oberflächenbeschaffenheit eines Materials abhängig, insbesondere von dessen Farbe (Abb. A 1.9).

Wind, Thermik und natürliche Lüftung: Grundprinzipien

Luftströmungen in der Atmosphäre (Wind), die Wechselwirkungen über Öffnungen von außen und innen sowie thermische Effekte in den angrenzenden Luftschichten sind als Phänomene bei jedem Gebäude wirksam und stellen eine

A 1.19 warme Luft ist leichter und steigt auf

A 1.20 Winddruck und -sog bei Strömungen um ein Gebäude

A 1.21 Windgeschwindigkeiten nehmen in der Höhe zu

A 1.22 eine strahlendurchlässige Fassadenebene ermöglicht die Erwärmung der Zwischenluftschicht, die daraufhin aufsteigt (»Kamineffekt«)

A 1.23 Verstärkung der Luftabführung über geeignete geometrische Lösungen

A 1.24 Wind: regionale Häufigkeiten und Richtungen im Jahresmittel am Beispiel München

Windgeschwindigkeit:

- a bis 3 m/s
- b mehr als 3 m/s

weitere Außenbedingung dar. Da die wetter- und ortsspezifischen Windsituationen in Stärke und Richtung sehr unterschiedlich sind (Abb. A 1.24), können für die Planung nur statistische Werte zugrunde gelegt werden.

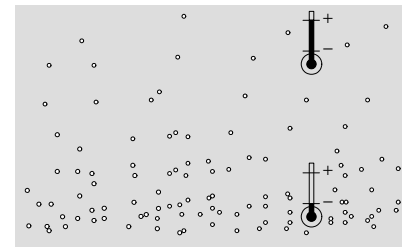
Die Luftströmungen, die sich aufgrund der geometrischen Eigenschaften von Körpern in speziellen Windsituationen einstellen, lassen sich in Windkanalversuchen und dynamischen, hochkomplexen Strömungssimulationen untersuchen. Daneben spielen grundsätzliche Überlegungen bei der Planung von Fassaden eine Rolle, die auf grundlegenden thermischen Prinzipien beruhen (Abb. A 1.19–23).

Bei der Ausbildung der Fassade sollte das Ziel verfolgt werden, eine weitgehend natürliche Be- und Durchlüftung des Gebäudes zu ermöglichen. Hierdurch können Risiken minimiert werden, die im Zusammenhang mit dem so genannten Sick-Building-Syndrom [1] stehen. Dabei sind folgende mit natürlicher Lüftung zusammenhängende Probleme so weit wie möglich zu vermeiden:

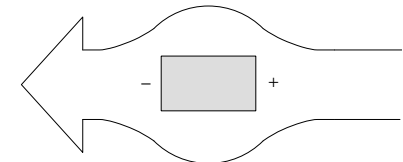
- erhöhter Wärmebedarf
- zu hohe Raumlufttemperatur im Sommer
- Zugerscheinungen im Inneren
- zu geringe Raumluftfeuchte im Winter
- zu geringe Lüftung bei Windstille

Je mehr sich Luft erwärmt (Energie aufnimmt), umso mehr bewegen sich die Gasmoleküle (Abb. A 1.19), der Luftdruck steigt, die Luft wird weniger dicht und damit pro Volumen leichter, sie steigt auf. In einem geschlossenen Raum kommt es daher zu unterschiedlichen Lufttemperaturen, einer Schichtung mit wärmerer Luft oben und kühlerer Luft unten. Körper bilden ein Hindernis in einer Luftströmung, was zu einer Aufteilung des Luftstromes führt, der den Körper umfließt (Abb. A 1.20). Auf diese Weise entsteht neben Verwirbelungen ein erhöhter Luftdruck vor dem Gebäude und ein relativ niedrigerer dahinter (Sog). Dabei ist zu beachten, dass die Windrichtung stark schwankt (Abb. A 1.24) und sich solche Effekte schnell verändern können.

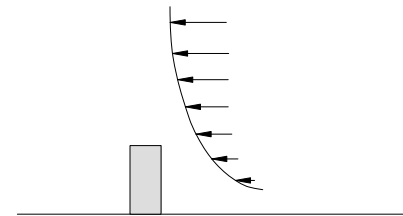
In Bodennähe treten durch Wechselwirkung mit der Oberfläche (Rauigkeit) und körperliche Hindernisse im Allgemeinen geringere Windge-



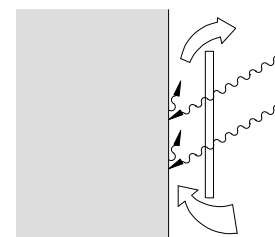
A 1.19



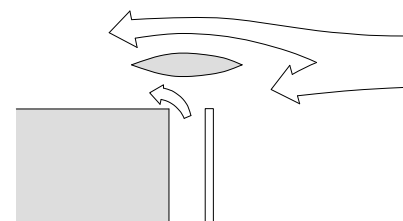
A 1.20



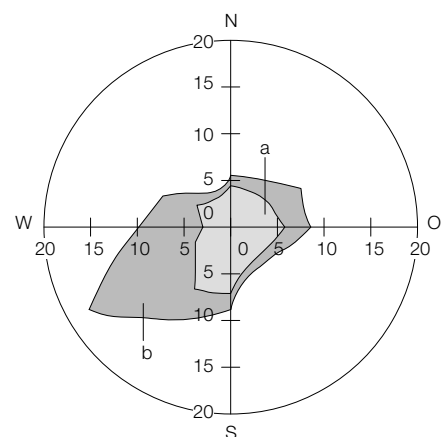
A 1.21



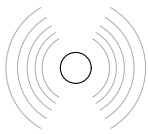
A 1.22



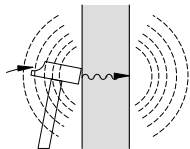
A 1.23



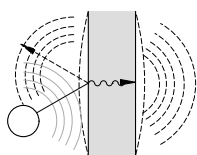
A 1.24



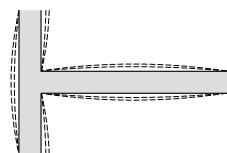
A 1.25



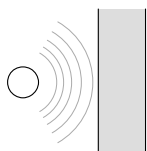
A 1.26



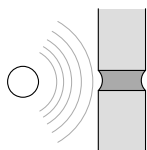
A 1.27



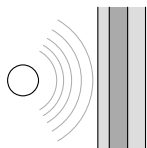
A 1.28



A 1.29



A 1.30



A 1.31

A 1.25 Schallquelle

A 1.26 Anregung von Masse durch mechanische Einflüsse

A 1.27 Anregung von Masse durch Luftschall, Weiterleitung im Material (Körperschall)

A 1.28 Übertragung von Schall in Bauteilen über weite Distanzen (auch »Schallängsleitung«)

A 1.29 Strategie 1 gegen Luftschallübertragung: Masse

A 1.30 Strategie 2: effiziente Fugenabdichtung

A 1.31 Strategie 3: Prinzip Masse – Feder – Masse

schwindigkeiten auf (Abb. A 1.21), die mit zunehmender Gebäudehöhe steigen. Damit werden auch Winddruck und -sog stärker. Tritt Strahlungsenergie durch eine transparente oder transluzente Schicht auf ein durch eine Luftschicht getrenntes Bauteil, so wird dieses durch Absorptionsvorgänge erwärmt (Abb. A 1.22). Es gibt einen Teil seiner Wärmeenergie an die angrenzende Luft im Zwischenraum ab, welche sich erwärmt und aufsteigt (Abb. A 1.19 analog); es entsteht Luftzirkulation. Dieser Effekt wird noch verstärkt, wenn die Luft oben entweichen und unten nachströmen kann. Durch Körper mit geeigneten Geometrien kann die vorhandene Anströmung an ein Gebäude zur Erzeugung von zusätzlichem Unterdruck genutzt werden (Abb. A 1.23), um den Kamineffekt zu verstärken oder auch, um warme Luft aus einem darunter befindlichen Raum beschleunigt abzuführen.

Schallübertragung: Grundprinzipien

Schall tritt im Bereich der Fassaden sowohl als externe Bedingung wie auch als Anforderung von innen (Schallschutz) auf, da sich die Schallquelle auf beiden Seiten der Fassade befinden kann.

Der Schallschutz stellt besonders hohe Anforderungen an sorgfältige Planung und Ausführung, da Schallübertragung schon über minimale Schallbrücken stattfinden kann. Schallwellen breiten sich von Schallquellen etwa kugelförmig durch das Medium Luft in den Raum aus (Luftschall, Abb. A 1.25). Sie werden von allen raumbegrenzenden Flächen und Objekten im Raum mehr oder weniger reflektiert. Je glatter und härter die Oberfläche, desto ungestörter und vollständiger erfolgt die Reflexion.

Wird ein festes Material in Schwingung versetzt, z. B. durch mechanische Einflüsse (Schritte auf dem Boden), so breiten sich auch über die Masse der Bauteile Schallwellen aus, die als Körperschall (Abb. A 1.26) bezeichnet werden. Wird ein Festkörper durch Luftschall angeregt, breitet sich in ihm Körperschall aus (Abb. A 1.27). Hierdurch kann die Luftschicht auf der anderen Seite angeregt werden, die auf diese Weise die Wellen wieder in Form von Luftschall weitertransportiert. Schallwellen können durch Körperschallübertragung sehr lange Wege zurücklegen (Abb. A 1.28). Hängen die »festen« Bauteile eines Gebäudes zusammen, breitet sich Schall auf diesem Weg u. U. durch das ganze Haus aus. Man spricht dann von »Flankenübertragung« und »Schallängsleitung«.

Eine mögliche Strategie gegen Luftschallübertragung besteht in der Erhöhung der Masse (Abb. A 1.29): Der Körper wird möglichst schwer und damit träge ausgebildet, d. h. er besteht aus einem Material mit hoher Dichte und lässt sich daher durch Luftschallwellen nur in geringem Maß in Schwingung versetzen.

Eine weitere Maßnahme gegen Luftschallübertragung ist eine möglichst effiziente Abdichtung (Abb. A 1.30), wodurch vermieden wird, dass sich Luftschall direkt durch Undichtigkeiten wie Fugen, Spalten und Ritzen ausbreitet. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, Luftschallübertragung durch eine zweischalige Konstruktion mit gedämmtem Zwischenraum zu dämpfen (Abb. A 1.31). Besonders effizient ist eine solche Maßnahme, wenn die beiden Schalen unterschiedlich dick und schwer sind und damit verschiedene Eigenfrequenzen aufweisen. Hierbei darf der Erfolg nicht durch starre Verbindungsmittel zwischen den beiden Schalen gefährdet werden (Prinzip: Masse – Feder – Masse). Weitere bauphysikalische Aspekte zum Thema Schallschutz behandelt das Kapitel A 3 Bauphysikalische Planungshinweise.

Bauliche Umsetzung

In direktem Zusammenhang zu den erläuterten Außen- und Innenbedingungen, den daraus abgeleiteten funktionalen Anforderungen und den zugrunde liegenden bauphysikalischen Grundprinzipien stehen Wechselwirkungen zwischen den Bauteilen, die sich aus der baulichen Umsetzung ergeben.

Über ein strahlungsdurchlässiges Bauteil kommt es z. B. durch Transmission zu einem Energieeintrag im Gebäudeinneren (Abb. A 1.32). Trifft die Strahlung auf Oberflächen im Rauminnern, wird ein Teil der Energie über Absorption auf das Material übertragen und von dort über Wärmeleitung weitertransportiert (Abb. A 1.33). Ein anderer Teil wird entsprechend der Wärmespeicherkapazität des Materials »eingelagert«. Dieses Potenzial wird als »thermische Speichermasse« bezeichnet. Die Energie wird mehr oder weniger zeitversetzt (u. a. abhängig von der ebenso materialspezifischen Wärmeleitfähigkeit) über Wärmestrahlung in den Raum zurückgeführt (Abb. A 1.34). Durch geeignete Materialwahl und Bauteildimensionierung kann dieser Effekt dazu genutzt werden, Temperaturspitzen auszugleichen, ohne dass neue Energiezufuhr (Heizen oder Kühlen) notwendig wird.

Über konvektive Vorgänge lässt sich durch geregelte bzw. kontrollierte Lüftung Energie zwischen innen und außen transportieren (Abb. A 1.35). Dies kann in beide Richtungen funktionieren. Durch die geschickte Ausnutzung thermischer Effekte (z. B. Abb. A 1.19, 22, 23) kann man ggf. auf mechanische Lüftung verzichten.

Treibhauseffekt

Trifft energiereiche, kurzwellige Sonnenstrahlung auf Oberflächen im Rauminneren, wird ein wesentlicher Anteil der Energie in Form von langwelliger Strahlung im Infrarotbereich diffus an das Rauminnere abgegeben (Abb. A 1.36 links), wo sie zur Erwärmung der Raumluft und anderer Oberflächen beiträgt. Die sehr geringe Strahlungsdurchlässigkeit der Außenwände im langwelligen Bereich (bei einfachen Gewächshäusern)

häusern z. B. Glas, vor allem aber Dämmschichten oder wärmedämmende Mehrschichtenverglasungen, u. U. mit zusätzlicher, wirkungssteigernder Beschichtung) verhindert einen Wiederaustritt der Strahlung und hält sie gleichsam im Raum »gefangen«. Man spricht vom »Treibhauseffekt«.

Ist dieser Effekt erwünscht, kann man über die Ausrichtung der strahlungsdurchlässigen Fläche zur Strahlungsquelle (also meist durch die Orientierung zur Sonne) und den damit verbundenen Eintrittswinkel der Strahlung den Wirkungsgrad maßgeblich beeinflussen (Abb. A 1.37):

Je flacher die Strahlung auftrifft, desto höher ist der reflektierte – und damit außen gehaltene – Strahlungsanteil (Abb. A 1.36). Beträgt der Einfallswinkel 90° , so wird ein minimaler Anteil zur Fläche reflektiert. Dessen genauer Umfang ist – wie der Absorptionsanteil – eine materialspezifische Größe und durch zusätzliche Maßnahmen modifizierbar, z. B. durch Beschichtungen (siehe B 1.6 Glas, S. 186).

Öffnung und Einstrahlungswinkel

Die durch eine gleich große und gleich orientierte Öffnung eintretende Strahlungsmenge ist je nach Einfallswinkel sehr unterschiedlich (Abb. A 1.37). Dieser Effekt spielt bei der Ausbildung von Öffnungen und Sonnenschutzsystemen im Zusammenhang mit den jahreszeitlichen Schwankungen des Sonnenstandes eine maßgebliche Rolle (siehe A 2.2 Ränder, Öffnungen, S. 40–42).

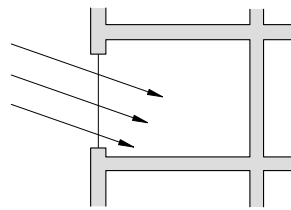
Konsequenzen für den Grundriss/Zonierung

Durch eine Anordnung der Räume nach dem Prinzip der »thermischen Zwiebel« können schon im Rahmen der Grundrissplanung Anforderungen an die Fassade beeinflusst werden: Räume mit höherem Temperaturniveau werden von Bereichen mit geringeren Anforderungen umgeben (Abb. A 1.38). Durch diese »Pufferzonen« sind Heiz- bzw. Kühllasten in der Regel wirkungsvoll reduzierbar.

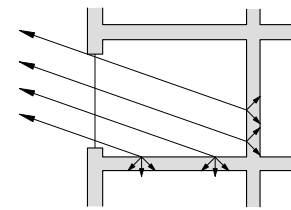
Als Konsequenz aus dem Sonnenverlauf kann es auch zur Gewinnung von solarer Wärme über den Treibhauseffekt sinnvoll sein, die Sonnenstrahlung über eine vorgelagerte Zone (entsprechend Abb. A 1.39) »einzufangen« und die Wärme durch die geeignete Ausbildung innen liegender Oberflächen zu speichern. Über die Nordseite sind in Mitteleuropa kaum solare Gewinne zu erzielen, daher ist diese entsprechend zu dämmen. Dieses Konzept führt allerdings vor allem im Sommer leicht zu Überhitzung und erfordert daher entsprechende Verschattungs- und Ablüftungsmöglichkeiten.

Anmerkungen:

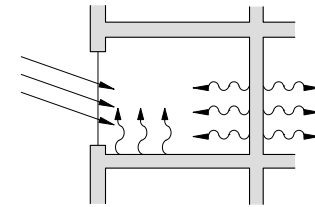
[1] Zum Begriff »Sick-Building-Syndrome« siehe: Dompke Mario, u. a. (Hrsg.): Sick Building Syndrome II. Dokumentation zum Workshop in Holzkirchen 1996 vom Fraunhofer Institut für Bauphysik und Bundesindustrieverband Heizungs-, Klima-, Sanitärtechnik e. V. Bonn 1996



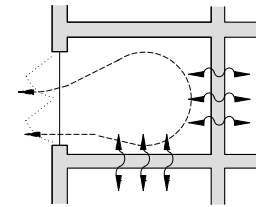
A 1.32



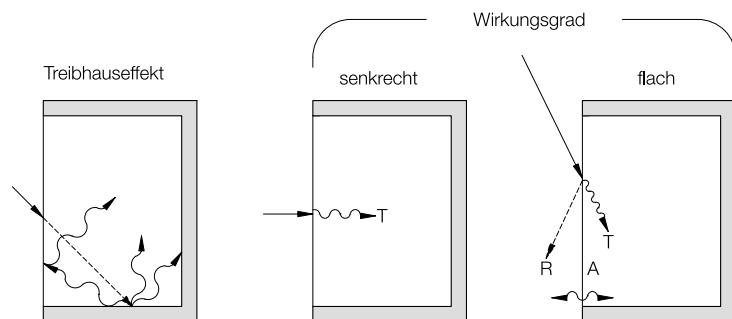
A 1.33



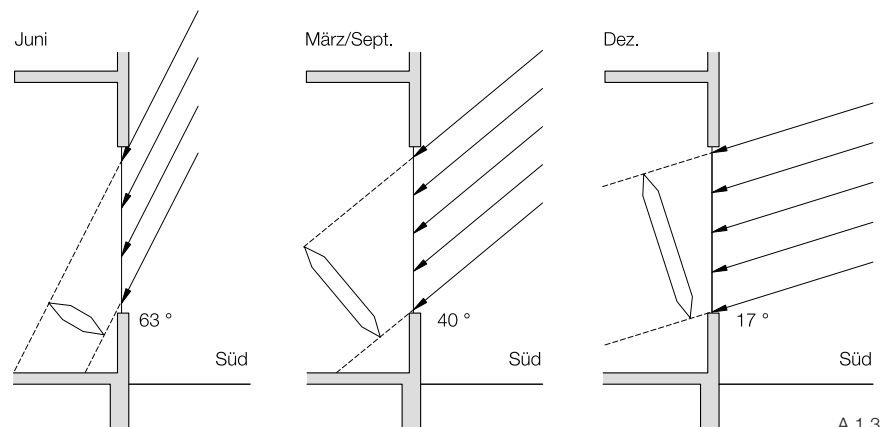
A 1.34



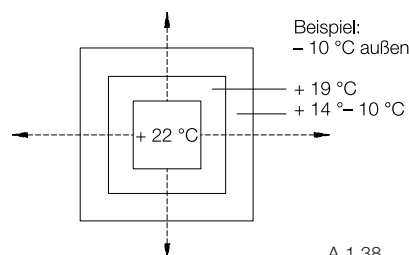
A 1.35



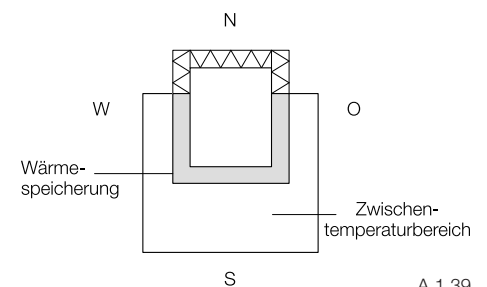
A 1.36



A 1.37



A 1.38



A 1.39

A 1.32 Transmission
A 1.33 Erwärmung – Wärmeleitung
A 1.34 Thermische Speichermassen – Wärmestrahlung
A 1.35 Konvektion – Verteilung – Regelungen
A 1.36 Treibhauseffekt – Ausnutzung

A 1.37 Einfallswinkel Solarstrahlung/Öffnungen
A 1.38 »Thermische Zwiebel« – temperaturbezogene Zonierung des Grundrisses
A 1.39 Gebäudeorientierung – Wärmespeicherung – Wärmedämmung



A 2.1 Flächen – Strukturelle Prinzipien

Fassaden sind vorwiegend senkrechte sowie flächige bauliche Strukturen zwischen Außen- und Innenraumklima. Unabhängig von ihrer materiellen Realisierung bestehen diverse allgemein gültige Merkmale und technische Lösungsprinzipien für Fassadenflächen, die nachfolgend beschrieben werden. Ihre Kenntnis erweist sich beim Konstruieren als hilfreich. Ein Lösungsprinzip zeigt eine grundsätzliche Umsetzung einer abgegrenzten Konstruktionsaufgabe für vorab definierte Funktionen auf [1]. Dabei werden physikalische, chemische und geometrische »Effekte« genutzt und ihr Zusammenwirken in einer geeigneten Struktur verknüpft [2]. Die Struktur der Fassade wird betrachtet:

- in der Fassadenebene
- senkrecht zur Fassadenebene

Gemäß den gestellten Funktionen und Anforderungen sind Fassaden bestimmte Leistungsprofile zuzuordnen, die in der Fläche variieren können. Ihre technische und materielle Umsetzung erfordert senkrecht zur Fassadenebene u. U. mehrere Funktions- und Konstruktionsebenen. Zusätzliche bauliche Strukturen, die selbst nicht Teil der raumabschließenden Hülle sind (wie z. B. horizontale Sonnenschutzvorrichtungen, Lichtlenksysteme, Wartungsstege etc.) können sich als sinnvoll erweisen.

Ziel sollte eine in ihren Komponenten effizient zusammenwirkende Struktur sein.

Klassifikation von Lösungsansätzen [3]

Funktionale Kriterien

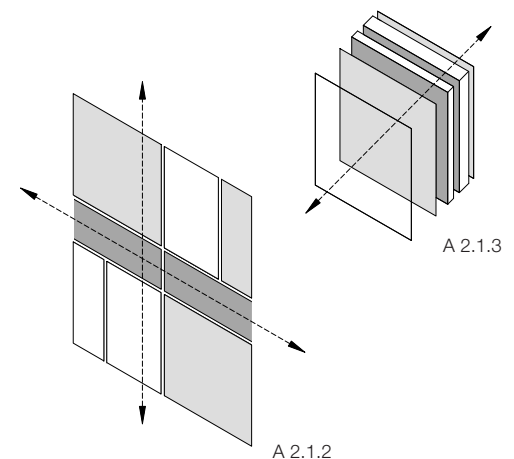
Leistungsprofile als Zielvorgabe für die Fassadenflächen definieren sich über die allgemeinen Schutzfunktionen wie Dämmen und Dichten hinaus, insbesondere über die Permeabilität bezüglich Luft und Licht bzw. Strahlung. Der Grad der Durchlässigkeit ist entscheidend für den Charakter der Hüllfläche, den Gebrauchswert und die Qualität der Innenräume. Er beeinflusst wesentlich die Energiebilanz eines Gebäudes. Wichtige Unterscheidungskriterien sind, inwieweit Fassadenflächen auf wechselnde Bedingungen reagieren können, ob sie veränderbar sind und sich ggf. sogar selbst regeln können.

Permeabilität bezüglich Luft

Natürliche Lüftungsstrategien erfordern veränder- und regelbare Durchlässigkeit für Luft. Aber auch die Abfuhr überschüssiger Wärme, von Wasserdampf sowie im Brandfall heißer und giftiger Gase kann eine entsprechende Durchlässigkeit erfordern.

Permeabilität bezüglich Licht

Qualität und Quantität der Licht- bzw. Strahlungsdurchlässigkeit bestimmen die natürliche Belichtung und den atmosphärischen Charakter eines Raumes, ermöglichen Sicht-



A 2.1.2 Betrachtung in der Fassadenebene

- Flächenart
- Zuordnung von Leistungsprofilen
- Lastabtragung
- Konstruktionsprinzip
- Fügung

A 2.1.3 Betrachtung senkrecht zur Fassadenebene

- Umsetzung Leistungsprofil
- Aufbau in Schichten und Schalen
- Kopplung von Schichten und Schalen

A 2.1.4 Klassifikation nach funktionalen Kriterien

A 2.1.5 Klassifikation nach konstruktiven Kriterien

Permeabilität – Luft	geschlossen
	teildurchlässig offen
Permeabilität – Licht	opak
	transluzent
	semitransparent
	transparent offen
Energiegewinn	keiner
	Wärme Strom
Veränderbarkeit	nicht veränderbar
	mechanisch phys. strukturell chem. substanzuell
Regelung	manuell direkt/indirekt »selbstregelnd« mit Regelkreistechnik

A 2.1.4

Teil des Tragwerks	nicht tragend
	tragend
Aufbau in Schichten	einschichtig
	mehrschichtig
Aufbau in Schalen	einschalig
	mehrschalig
Hinterlüftung	nicht hinterlüftet
	hinterlüftet
Vorfertigung	niedrig
	hoch

A 2.1.5

bezüge von innen nach außen und umgekehrt, Wärmeenergie wird ein- oder abgestrahlt.

Bei perforierten, semitransparenten Flächen können besondere wahrnehmungsspezifische Phänomene z. B. für Sonnen- und Blend-schutzeinrichtungen von Nutzen sein: Selbst Flächen mit sehr geringem Lochanteil sind bei kleinen und eng stehenden Perforationen für den Betrachter in Richtung des helleren Lichtmilieus blickdurchlässig (unsere Wahrnehmung »ergänzt« den Rest). In Richtung des dunkleren Lichtmilieus hingegen erscheint eine solche Fläche blickdicht, da das Auge eine Adaption an die geringere Helligkeit der kleinen Löcher nicht leisten kann.

Energiegewinn

Für Solarstrahlung durchlässige Flächen ermöglichen direkten Energiegewinn durch Erwärmung von Bauteilen wie Böden und Wände im Gebäudeinneren. Mit besonderen technische Einrichtungen (z. B. Photovoltaik, TWD-Absorberwand) lässt sich im Fassaden-aufbau selbst Wärme oder Strom für den Betrieb eines Gebäudes gewinnen.

Veränderbarkeit

Durch Änderung der Position oder der Eigenschaften von Bauteilen kann die Fassaden-fläche auf sich ändernde Außenbedingungen reagieren, z. B.:

- durch mechanische Bewegung von Fassadenteilen (Lamellenstellung, Öffnungs-grad von Klappläden etc.)
- durch elektrische, thermo- oder photosen-sitive Prozesse ausgelöste, reversible Ver-änderungen von Materialeigenschaften, die sich zum Beispiel auf die Durchlässigkeit von Lichtstrahlen auswirken. Die Verände-rungen selbst sind entweder physikalisch struktureller Natur (z. B. Wechsel des Aggregatzustands, andere Ausrichtung von Kristallstrukturen) oder chemisch sub-stanzieller (Änderung der chemischen Verbindung) [4].

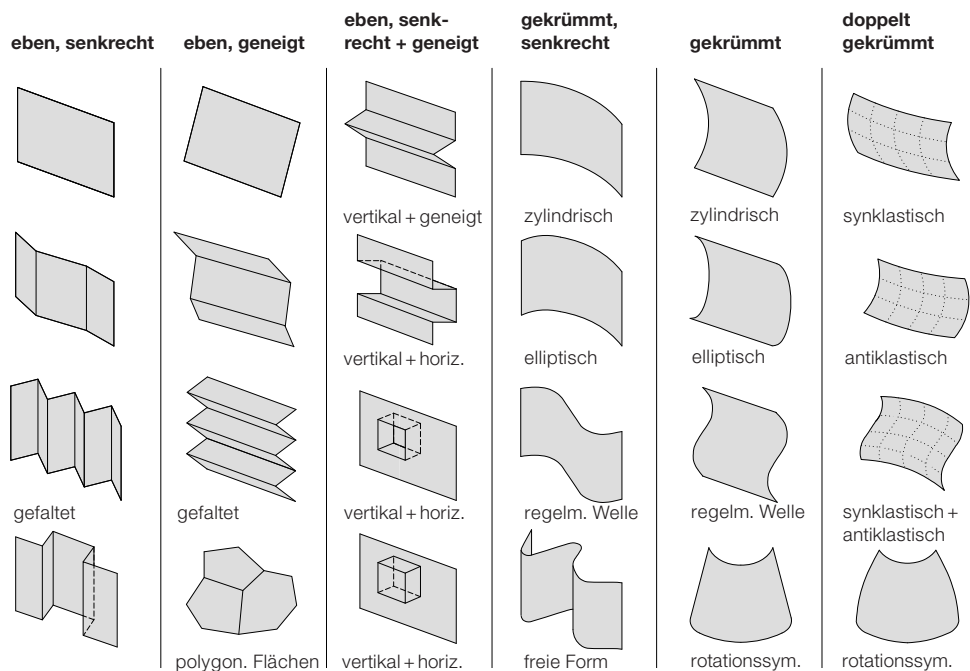
Regelung

Veränderbarkeit erfordert Regelung. Eine Nachführung an wechselnde Bedingungen ist wie folgt möglich:

- durch manuelle oder mechanische Betätigung, direkt oder indirekt, z. B. per »Knopfdruck«
- »selbst regelnd«, z. B. durch thermosen-sitive Prozesse veränderte Lichtdurchlässig-keit thermotroper Gläser
- nach dem Prinzip der Regelkreistechnik mit Sensoren und mikroprozessorgesteuerten Stellmotoren

Grundlegende konstruktive Kriterien

Die Klärung wichtiger konstruktiver Grund-satzentscheidungen bereitet die strukturelle und materielle Umsetzung vor.



A 2.1.6

Bezug zum Tragwerk

»Nicht tragende« Fassaden übernehmen keine Lasten oder Aufgaben des Tragwerks für die Standsicherheit des Gebäudes.

Aufbau in »Schichten« und »Schalen«

Ebenen unterschiedlicher Stofflichkeit, Stärke und Struktur können auf bestimmte Teilaufgaben hin optimiert und nach bauphysikalischen und konstruktiven Prinzipien zu einer funktionel-len Einheit – dem Fassadenaufbau – addiert werden. Es lassen sich zahlreiche Kombina-tionsmöglichkeiten mit entsprechenden Leis-tungsprofilen erzielen. Konstruktionsstärken der einzelnen Funktionsebenen können von Bruchteilen von Millimetern (z. B. Low-E-Beschichtung einer Wärmeschutzverglasung) bis zu einigen Metern (z. B. Luftschicht bei mehrschaligen Glasfassaden) variieren. Die Richtigkeit der Reihenfolge ist maßgeblich für eine effiziente Funktion und die Vermeidung von Bauschäden.

Bezüglich der Lastabtragung unbedeutende oder untergeordnete Funktionsebenen lassen sich als »Schichten« oder »Lagen«, statisch beanspruchbare und räumlich freigestellte als »Schalen« klassifizieren (siehe Seite 36) [5].

Hinterlüftung

Hinterlüftete Fassadenaufbauten besitzen ein oder mehrere Luftschichten, die mittels thermi-scher Auftriebskräfte Kondensat und/oder Wärme wirkungsvoll abführen. Solche Systeme sind definitionsgemäß immer mehrschalig.

Vorfertigung

Der angestrebte Grad der Vorfertigung prägt maßgeblich das Konstruktionsprinzip, die Art der Elementierung, die absolute Größe der ein-zelnen Bauteile und die Bedingungen, unter denen die Fassade montiert und evtl. wieder demontiert werden kann.

Struktur in der Fassadenebene

Flächenarten

Bei der Festlegung der Außengeometrie des Gebäudevolumens sind Eigengesetzmäßig-keiten der umgebenden Hülle von Belang. Jede Fassade setzt sich aus mehreren ebenen oder gekrümmten Flächenanteilen zusammen, die sich untereinander und mit den Dach-flächen in Linien (Kanten) schneiden bzw. berühren. Wie die Flächen geformt und im Raum angeordnet sind, ob senkrecht oder geneigt bis nahezu horizontal, hat entschei-denden Einfluss auf die gestalterische und kon-struktive Detaillierung der Fassade. Beachtung erfordern Schnittkanten und insbesondere »Ecken«, in denen drei Flächen zusammen-treffen.

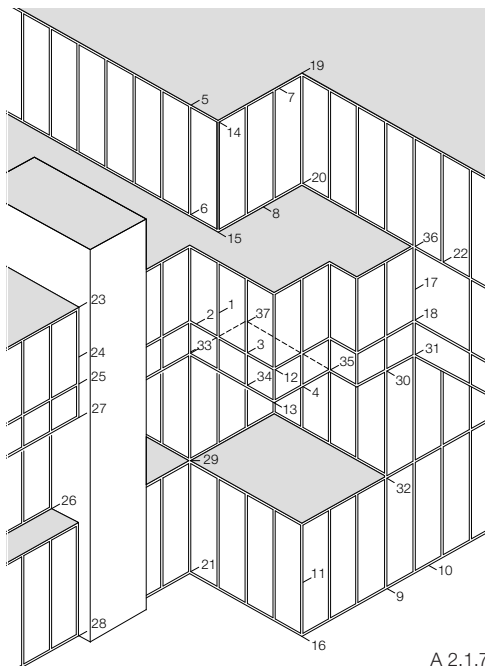
Die räumliche Konzeption der Flächenanord-nung wird von diversen Faktoren bestimmt, die selten ausschließlich, meist kombiniert mit unterschiedlicher Gewichtung zum Tragen kommen, z. B.:

- Grund- und Aufrissgeometrie des Gebäude-volumens
- Nutzungsaspekte (z. B. Schaffung von Nischen für nicht einsehbare Freiräume)
- Tragwerkskonzept der Hüllfläche selbst (z. B. Faltwerk)
- Aspekte des Wärmeschutzes (z. B. Minimie-rung des Verhältnisses Hüllfläche/Volumen A/V)
- konstruktive Aspekte (z. B. Wasserführung)
- materialspezifische Aspekte
- gestalterische Absichten

Einschätzung unterschiedlicher Flächenarten

Senkrechte Flächen

Die Wasserführung ist nicht erschwert, Faltun-gen und Versprünge erhöhen die Außenfläche, zusätzlich müssen Innenkanten konstruktiv und



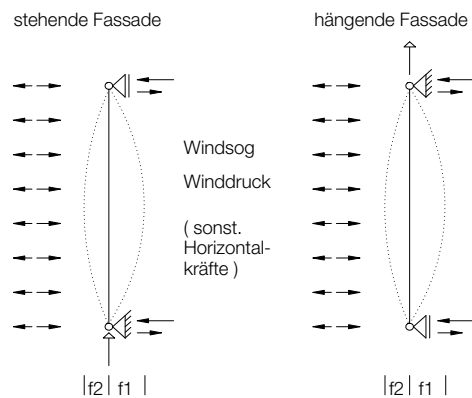
A 2.1.7

geometrisch bewältigt werden. Im spitzen Winkel aufeinander treffende Flächen verursachen u. U. in der Herstellung und in der Nutzung Probleme. Bei der konstruktiven Ausbildung vertikal verlaufender Kanten erweist sich der Umstand als günstig, dass sie in Fließrichtung des Fassadenwassers verlaufen. Gefaltete Flächen lassen sich als statisch wirksame Faltwerke ausbilden.

Abb. A 2.1.7 zeigt 37 unterschiedliche geometrische Fälle auf, bei denen sich Fassadenflächen untereinander oder mit Boden- bzw. Dachflächen in Kanten und Ecken schneiden. Jeder dieser markierten Punkte erfordert eine eigene konstruktive Detaillierung und Ausführung. Punkte, in denen mehr als drei unterschiedliche Flächen zusammentreffen (wie bei Nr. 29), sind konstruktiv und gestalterisch kaum zu bewältigen. Spielen zugleich unterschiedliche Neigungen oder gar Krümmungen eine Rolle, wird die Anzahl der geometrischen und somit konstruktiven Fallbeispiele deutlich größer.

Geneigte Flächen

Bei jeder Neigung aus der Vertikalen, insbesondere bei Vor- und Rücksprüngen in stark geneigte Flächen, treten zusätzliche Beanspruchungen bzw. Aspekte auf: Die Wasserführung wird erschwert, Schnee und Eisbildung verursachen weitere Beanspruchungen, größere horizontale Flächen sind wie Dachflächen zu behandeln und kontrolliert zu entwässern, die Oberfläche vergrößert sich, Dichtungs- und Dämmebenen »verspringen« und provozieren an den Knicklinien konstruktive Schwachstellen. Jede Fensterleibung, jeder Erker, jede Loggia o. ä. bedeutet Flächenversprünge sowohl in der Vertikalen als auch in der Horizontalen. Zusätzlich entstehen Innen- bzw. Außenkanten und -ecken.



A 2.1.8

A 2.1.6 Schemata typischer Flächenarten, die zu zahlreichen Varianten kombiniert werden können

A 2.1.7 Fallbeispiele unterschiedlicher Anschlussdetails bei senkrechtem, orthogonalem Fassadensystem

A 2.1.8 Schema stehende/hängende Fassade

Gekrümmte Flächen

Sofern sie senkrecht verlaufen, ist die Wasserführung nicht erschwert. Meistens können Krümmungen nicht kontinuierlich, sondern wegen der Ausgangsgeometrie der Materialien und Halbzeuge nur als Polygonzüge konstruktiv umgesetzt werden.

Doppelt gekrümmte Flächen

Solche Flächen sind nicht zwingend an Membrankonstruktionen gekoppelt. Oft werden solche Geometrien als Translationsflächen erzeugt, die eine bauliche Umsetzung mit ebenen polygonalen Einzelflächen ermöglichen.

Prinzipien der Lastabtragung

Einwirkende Lasten

Die Fassade muss die einwirkenden Lasten sicher aufnehmen und an das Tragwerk (Primärtragwerk) weitergeben. Jede Fassadenkonstruktion, auch eine »nicht tragende«, ist als Sekundärtragwerk für folgende Beanspruchungen zu konzipieren und zu dimensionieren:

- Vertikallasten: Eigenlast, Sonderlasten (z. B. Sonnenschutzvorrichtungen, Pflanzen, temporäre Gerüste), Verkehrslasten (z. B. Personenlast), Schnee- und Eislasten (z. B. an Fassadenbegrünungen für jeden Einzelfall zu ermitteln)
- Horizontallasten: Windlast (Druck und Sog stehen im Allgemeinen im Verhältnis 8:5, in Randbereichen teils erheblich höhere Soglasten), Verkehrslasten (z. B. Anpralllasten)
- Belastungen aus Zwangskräften, verursacht durch thermisch oder hygrisch bedingte Volumenänderungen

Üblicherweise werden die Lasten aus der Fassadenfläche in Deckenkonstruktionen, Wände und Stützen des Tragwerks eingeleitet. Die Abtragung bzw. Einleitung von Vertikal- und Horizontallasten kann dabei getrennt voneinander in unterschiedliche Bauteile des Tragwerks erfolgen.

Stehende und hängende Fassade

Eine grundlegende Unterscheidung bezüglich des Tragverhaltens ergibt sich aus der Frage, ob die Fassade »hängt« oder »steht«, ob die flächigen oder linearen Bauteile auf Zug und Biegung oder auf Druck und Biegung und damit zusätzlich auf Knicken (Stabilitätsproblematik) zu bemessen sind.

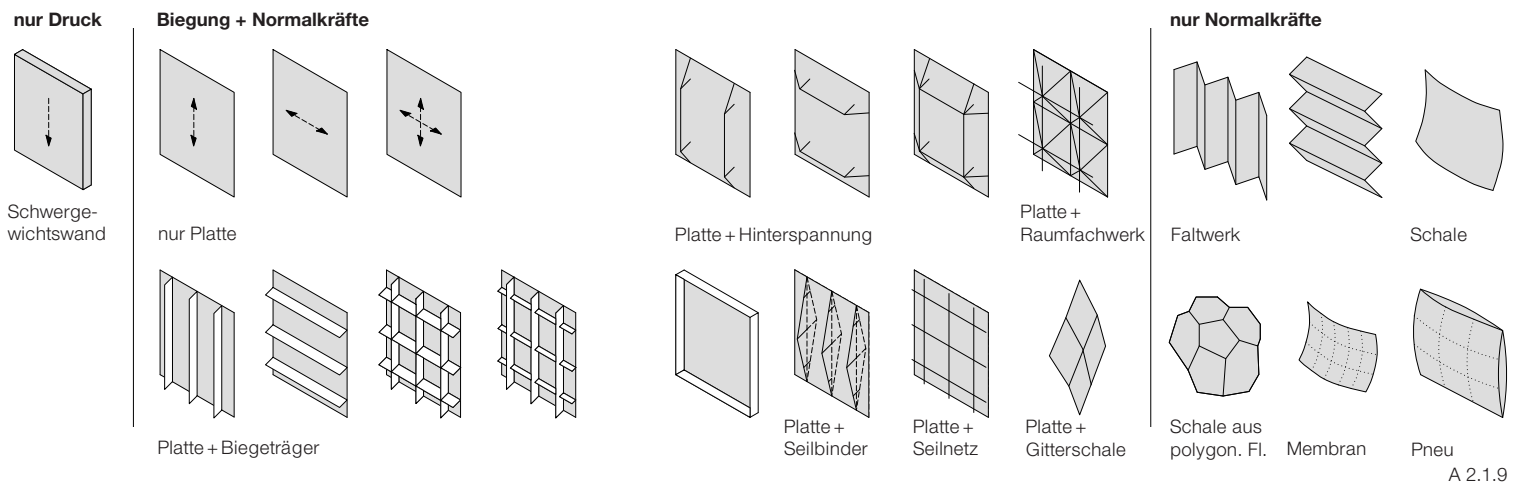
Die hängende Montage, bei der das Eigengewicht am Fassadenbauteil oben in das Tragwerk (z. B. in die Deckenplatte) eingeleitet wird, hat sich der prinzipiellen Vorteile wegen weltweit durchgesetzt:

- Sofort nach dem Einhängen befindet sich das Bauteil in stabiler Position (im Gegensatz zur labilen Position des stehenden Bauteils), was bezüglich der Sicherheit auf der Baustelle – zumal bei höheren Gebäuden – von erheblicher Bedeutung ist.
- Das Eigengewicht wirkt als Zugkraft in der Längsachse des Bauteils. Die damit erzielte Vorspannung wirkt »stabilisierend« (= Reduzierung der Knickbeanspruchung). Die ungünstige Überlagerung von Knicken aus Druck und Biegeknicken wird vermieden.

Gerade bei großen Spannweiten erweisen sich die Aspekte der hängenden Lagerung gegenüber der stehenden als besonders vorteilhaft. Verformungen senkrecht zur Fassadenebene werden allerdings nicht in nennenswertem Umfang reduziert.

Fixpunkt, Gleitpunkt

Fassade und Tragwerk unterliegen – soweit es sich um getrennte Systeme handelt – unterschiedlichen Temperaturschwankungen und Belastungen sowie daraus resultierenden Formänderungen. Dies macht eine zwangungsfreie Kopplung mit Fix- und Gleitpunkten notwendig. Dabei müssen Relativbewegungen in beiden Richtungen aufgenommen werden können (Plus- und Minustoleranzen). An den Schnittstellen der beiden Subsysteme treffen meist unterschiedliche Gewerke, Bauweisen und Baulösungen zusammen, weshalb hier ausreichend Justiermöglichkeiten bei der Befestigung in allen Richtungen notwendig sind. Ebenso sind Anschlüsse von Fassadenbauteilen untereinander mit unterschiedlichen Längenausdehnungen (aus Belastung, thermischen und hygrischen Gründen) zwangungsfrei zu gestalten, um Schäden vorzubeugen.



A 2.1.9

Tragstrukturen

Dem Wesen von raumabschließenden Hüllen entspricht es, dass flächige Bauteile zentraler Bestandteil jeder Fassadenstruktur sind: Je nach Tragwerk (Abb. A 2.1.9 und 10) werden diese nur mit Normalkräften (Zug und/oder Druck) in ihrer Ebene oder zusätzlich auf Biegung senkrecht zu ihrer Ebene beansprucht. Den flächigen Elementen können lineare Tragstrukturen wie Hinterspannungen, Biegeträger etc. zu- bzw. übergeordnet werden. Kombinationen untereinander ermöglichen hierarchisch gegliederte Systeme mit Haupt- und Nebentraggliedern.

Flächige und lineare Elemente wirken entweder als konstruktive Einheit (z. B. Plattenbalken, hinterspannte Platten) oder sie sind diesbezüglich getrennt, wodurch sich Flächenbauteile besser lösen und austauschen lassen.

Die Logik solcher Strukturen ist nicht nur aus der Effizienz des Materialeinsatzes zur Lastabtragung im eingebauten Zustand ableitbar. Auch Fragen der Vorfertigung und Montage werden berührt. Transport- und Montagevorgänge können andere Lastfälle verursachen, die ihrerseits aufgenommen werden müssen. Bei der Dimensionierung sind oft nicht die zulässigen Biegespannungen, sondern Durchbiegungsbeschränkungen – insbesondere bei Glaskonstruktionen – maßgeblich.

Schwergewichtswand

Bei Wänden, deren Gefüge keine Zugkräfte übertragen können, muss die Resultierende aus Vertikal- und Horizontalkraft im »Kernbereich« der Grundfläche der Wand liegen, um die Standsicherheit zu gewährleisten und keine klaffenden Fugen entstehen zu lassen. Die Horizontalkräfte werden durch Vertikallasten »überdrückt«. In diesem Fall kann es von Vorteil sein, wenn das Bauteil neben dem Eigengewicht zusätzlich Vertikallasten aus Deckenkonstruktionen erhält, d. h. Teil des Primärtragwerks ist (= »tragende« Fassade). Jede gemauerte Außenwand entspricht für gewöhnlich diesem Prinzip.

Platten

Das Flächentragwerk »Platte« leitet Horizontallasten über Biegebeanspruchungen (einachsig

oder zweiachsig) senkrecht zu seiner Ebene ab. Biegesteifigkeit und Stabilität (bei Überlagerung mit Druckkräften) definieren sich wesentlich durch die »statische Höhe« des Bauteils (demnach die Bauteiltiefe senkrecht zur Fassadenebene). Die Querschnittsform, mit Konzentration des Materials im Randbereich, ist auf die Belastung entsprechend einzustellen. Durchlaufwirkungen sind geeignet, die Biegemomente zu reduzieren. Die Gleichzeitigkeit von Beanspruchungen aus Horizontal- und Vertikallasten bringt in jedem Fall eine Überlagerung von Biegemomenten und Normalkräften mit sich. Vertikalkräfte können auch über Biegung in der Ebene des Flächenbauteils horizontal zu den Seiten hin abgetragen werden.

Platten + Hinterspannungen

Durch Hinterspannungen, die mit den Platten eine kraftschlüssige konstruktive Einheit bilden, lässt sich materialsparend die statische Höhe vergrößern. Hinterspannungen sind ein- oder zweiseitig möglich. Die Platten werden zusätzlich in ihrer Ebene durch Druckkräfte beansprucht. Der konstruktive Anschluss der Druck- und Zugstäbe mit ihren angreifenden Punktlasten erfordert die Beachtung der Durchstanzproblematik. Aus der Hinterspannung entstehen keine zusätzlichen Auflagerreaktionen, die durch das Primärtragwerk aufgenommen werden müssen.

Platten + Biegeträger

Auf Biegung und ggf. Druck beanspruchbare lineare Tragstrukturen reduzieren die Spannweiten der flächigen Bauteile. Die Träger sammeln die Punkt- und/oder Linienlasten der Flächenbauteile (Platten) und geben sie unter Biegebeanspruchung als Einzellasten an hierarchisch höher stehende Bauteile ab. Im Fall von reinen Windlasten erfolgt die Biegebeanspruchung einachsig, jedoch für beide Richtungen (Windsog und Winddruck). Überlagerung von Druck und Biegung verstärkt die Stabilitätsproblematik, Knickgefahr besteht besonders in Richtung der schwachen Profilachse. Zwängungsfrei gekoppelt lassen sich einzelne Biegeträger zu großflächigen, auch gekrümmten oder in Polygonzügen verlaufenden Tragstrukturen addieren (z. B. Pfosten-

Riegel-Fassaden). Herstellung, Transport und Montage begrenzen die Abmessungen von Rahmenkonstruktionen. Sie sind jedoch mit anderen Strukturen oder untereinander zu Elementfassaden kombinierbar.

Platten + lineare Strukturen, nur durch Normalkräfte beansprucht

Zu den linearen Tragstrukturen gehören:

- Raumfachwerke: räumliche Struktur aus Druck- und Zugstäben, geeignet für große Spannweiten
- Seilbinder, Seilnetze: vorgespannte, nur auf Zug beanspruchbare Strukturen, die dann sinnvoll sind, wenn die hohen Zugkräfte für die Vorspannung ohne aufwändige Zusatzmaßnahmen vom Tragwerk des Gebäudes aufgenommen werden können. Solch filigrane Strukturen eignen sich besonders, wenn Flächen sehr transparent wirken sollen.
- Gitterschalen

Faltwerke, Schalen, Membranen

Die nur in ihrer Ebene zug- und/oder druckbeanspruchbaren Flächentragwerke eignen sich besonders zur Aufnahme gleichmäßiger Flächenlasten. Diese Systeme werden bei wechselnden Flächen- und/oder Einzellasten zusätzlich auf Biegung beansprucht. Entsprechende Vorspannungen gewährleisten, dass auch für wechselnde Lastfälle Formänderungen von ausschließlich zugbeanspruchbaren Membranen gering ausfallen.

Strukturen flächiger Fassadenbauteile

Bei flächigen Bauteilen lassen sich grundlegende Strukturen unterscheiden, die mit unterschiedlichen Materialien umsetzbar und häufig miteinander kombinierbar sind. Die Varianten der Abb. A 2.1.11 zeigen nicht den gesamten Fassadenaufbau, sondern nur Konstruktionsweisen für Schichten oder Schalen. Eine auf Biegung beanspruchte Platte aus Vollmaterial kann dabei entweder bereits das gesamte System einer geschosshohen, einschaligen und einschichtigen Konstruktion darstellen oder auch nur ein kleinformatiges Teil einer Außenwandbekleidung sein. Entscheidungskriterien bei der Auswahl eines geeigneten Prinzips sind:

Beanspruchung im Bauteil

Tragwerkprinzip

vorw. nur Normalkräfte

nur Druck

Schwerkheits-
prinzip

Druck + Zug

Faltwerk

Druck + ggf. Zug

Schale

nur Zug

Pneu
Membrankonstruktion

Biegung und Normalkräfte

Biegung + Druck

Platte, »stehend«

Biegung + Zug

Platte, »hängend«

A 2.1.10

- Beanspruchbarkeit gemäß den statischen Erfordernissen (Abb. A 2.1.10)
- baukonstruktiver Zusammenhang: Bauteilgröße, Bearbeitbarkeit, Befestigungsmöglichkeiten, Fügung, Verformungen, Längenänderungen, Vorfertigungsgrad, Resistenz gegenüber Feuchtigkeit und Frost etc.
- bauphysikalische Eigenschaften: spezifisches Gewicht, Wärmeleitfähigkeit, Wärmespeicherefähigkeit, Dampfdiffusionswiderstand, Lichtdurchlässigkeit etc.
- visuelle Wirkung

»Durchgängiges« Gefüge

Darunter versteht man in diesem Zusammenhang Vollquerschnitte mit gerichteter oder ungerichteter Struktur (isotrop oder anisotrop). Die Flächenbauteile werden werkseitig vorgefertigt oder vor Ort z. B. in Schalungen mit Arbeitsfugen als Schnittstellen der einzelnen Fertigungsschritte erstellt. Größe und Form der Bauteile sind material- und herstellungsabhängig. Die Bauteile können als Verbundwerkstoffe mit zug- und/oder druckfesten Bewehrungen (Metallstäbe, Glasfasern, Naturfasern, Kunststofffasern etc.) spezifische Tragfähigkeiten erfahren. Das Prinzip lässt sich beispielsweise gleichermaßen in einer auf Biegung beanspruchbaren Platte aus Vollmaterial oder einer nur auf Zug beanspruchbaren Membran aus einem Verbundwerkstoff wiederfinden.

Gefüge mit hohem Luftanteil oder Hohlräumen
Verschiedene Fertigungstechnologien können den Luftanteil in Bauteilen mit folgenden Zielsetzungen erhöhen:

- Reduzierung von Gewicht und Material
- Herabsetzung der Wärmeleitfähigkeit (= Erhöhung der Wärmedämmwirkung)
- Schaffung von Hohlräumen für Installationen

Gelingt es, das Material im Randbereich zu konzentrieren, so sind zumindest bezüglich der Biegebeanspruchbarkeit nur geringe Einbußen gegenüber Vollquerschnitten zu erwarten. Große Materialausdünnung führt zu zug- oder druckbeanspruchten Randzonen und schubbeanspruchten Stegen.

»durchgängiges« Gefüge (Vollmaterial)

- a Grundmaterial
- b Materialgemisch, Verbundwerkstoff
- c Verbundwerkstoff armiert/faserverstärkt

Gefüge mit hohem Luftanteil

- d porosiert, geschäumt
- e Kugelstruktur
- f räumliches Gitter/Netz

Gefüge mit Hohlräumen

- g Hohlkörper, Kammern (punktuell, linear)
- h versetzte Hohlkörper
- i Stegplatten

geschichtetes Gefüge, reib- und/oder formschlüssig

- j unregelmäßige Einheiten, reibschlüssig
- k regelmäßige Einheiten, form- und reibschlüssig
- l regelmäßige Einheiten, reibschlüssig

geschichtetes Gefüge, stoffschlüssig

- m stabförmige Einheiten
- n flächige Einheiten
- o stabförmige und flächige Einheiten

»Sandwich«

- p mit geschlossenem zellulärem Kern
- q offen, zellartige Struktur als Kern (Waben, Stege etc.)
- r mit profilierten Strukturen im Kern

Rippen/Rahmen und Platten

- s Rippen und beidseitige Beplankung als konstruktive Einheit
- t Rahmen und beidseitige Beplankung als konstruktive Einheit
- u Rahmen und konstruktiv entkoppelte Füllung

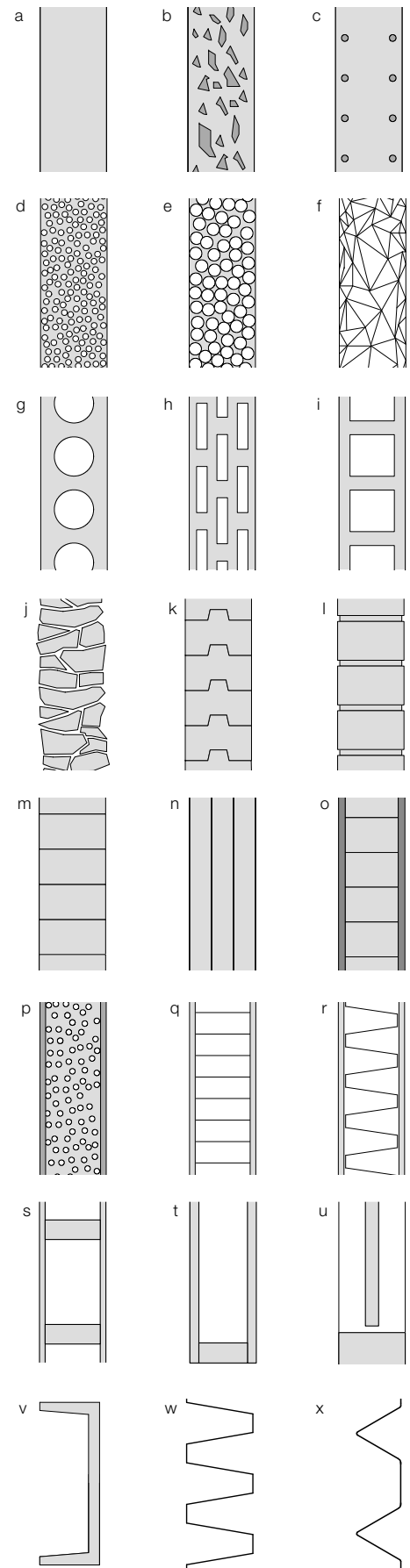
profilierte Strukturen

- v Einzelprofil
- w trapezartige Profilierung
- x Sicken

A 2.1.9 Tragstrukturen für Fassaden

A 2.1.10 Beanspruchungen in flächigen Fassadenbauteilen bei Belastung durch Vertikal- und Horizontallasten

A 2.1.11 Überblick konstruktiver Aufbauten für flächige Fassadenbauteile



A 2.1.11

Geschichtetes Gefüge, reib- und/oder formschlüssig

Die Schichtung von kleinteiligen, unregelmäßigen Einheiten ohne Bindemittel gilt als traditionelle Bauart, die für Vorsatzschalen immer noch angewandt wird. Eine abschnittsweise Zusammenfassung in Metallgittern (Gabionen) erbringt wesentlich höhere Stabilität. In Form und Abmessung regelmäßige, modular koordinierte Einheiten sind reib- und/oder formschlüssig (z. B. über Klebeflächen) zu plattenartigen größeren Einheiten addierbar. Kleine modulare Schritte ermöglichen eine gute Anpassungsfähigkeit.

Geschichtetes Gefüge, stoffschlüssig

Stabförmige, flächige oder räumliche Strukturen (z. B. Waben, Gitter) lassen sich stoffschlüssig (z. B. über Klebeflächen) zu plattenartigen größeren Einheiten addieren. Eine Sonderform stellt die Sandwichbauweise dar.

»Sandwich«

Die stoffschlüssige Kopplung dünnwandiger zug- und druckfester Deckschichten mit einer schubfesten Mittellage (meist in hohem Maße aufgelöste oder porosierte Struktur) ergibt eine konstruktive Einheit mit großer Biegesteifigkeit bei geringem Materialaufwand. Aufbauten mit gut wärmedämmenden Zwischenlagen eignen sich generell für leichte, opake Fassadenpaneele.

Beplankte Rippen oder Rahmen

Durch gegenseitige Stabilisierung von Rippen/Rahmen und flächiger Beplankung bzw. Füllung entstehen sehr tragfähige und Material sparende Flächenbauteile. Hohlräume können mit wärmedämmenden Materialien gefüllt werden.

Profilierte Strukturen

Das Prinzip ermöglicht bei geringem Materialeinsatz hohe Steifigkeit. Schon ein U- oder Z-förmiges Element stellt eine profilierte Struktur dar, es lässt sich zu größeren Flächeneinheiten addieren. Profilierte Strukturen können aus sehr vielen zug- und gleichzeitig druckfesten Materialien z. B. durch Umformen, Strangpressen oder mittels Gusstechniken erzeugt werden.

Fügung von Fassadenbauteilen

Nahezu jede Fassade besteht aus einem Gefüge von Einzelbauteilen und enthält somit eine Vielzahl von Fugen. Diese bedeuten »Unterbrechungen« in Schichten und Schalen (z. B. Wetterschale) und in vielen Fällen potentielle »Schwachstellen«, die bestmöglich gedichtet werden müssen. In anderen Fällen bleiben Fugen »offen«, damit:

- sich Dampfdruck entspannt
- Luft nachströmt bzw. abgeführt wird (für Hinterlüftung)
- eingedrungenes Fassadenwasser oder entstandenes Kondensat abfließt

- Relativ-Bewegungen möglich sind
- Lichtstrahlung passiert

So unterschiedlich die »Nahtstellen« der Bauteile ausfallen, sie verlangen besondere Betrachtung, da sich hier u. U. viele Aspekte konzentrieren, die beim Konstruieren relevant sind (Abb. A 2.1.12). Neben den funktionalen und technischen Gesichtspunkten tragen Fugen zur Gliederung einzelner Bauteile und von Fassaden als Ganzes bei (innen wie außen), sie spiegeln geometrische und konstruktive Ordnungen wider.

Fugen auf außenseitigen Fassadenflächen sind der Witterung in vollem Umfang ausgesetzt. Mit zunehmender Gebäudehöhe steigt die Windbeanspruchung. An Gebäudekanten kommt es zu Konzentrationen der Strömung und somit zu höheren Windgeschwindigkeiten, bei Regen zu einer Verdichtung des »Fassadenwassers«, das sich zudem über die Höhe des Gebäudes nach unten hin addiert. Die Lage der Fugen zur Bewegungsrichtung von Niederschlags- und Fassadenwasser, welche durch Schwerkraft und Wind bestimmt wird, ist ein wichtiger Faktor für ihre Beanspruchung. Weitgehend parallel zur Fließrichtung des Fassadenwassers angeordnete Fugen (Vertikalfugen) sind im Regelfall weniger beansprucht als solche, die vorwiegend quer dazu liegen. Volumen- bzw. Längenänderungen der angrenzenden Bauteile durch Last, Temperaturschwankungen und Wasseraufnahme bzw. -abgabe beanspruchen zusätzlich jede Art von Fuge. Dies ist bei elementierten Fassadenkonstruktionen am offensichtlichsten, aber auch Nass-in-Nass-Bauweisen sind keine starren Gefüge.

Prinzipien bei der Ausbildung von Fugendichtungen

Es ist Aufgabe einer Fugendichtung [6], das Gemisch aus Luft und Wasser (Fluid) im Fugenraum zu bremsen oder zu stoppen. Da Dichtelemente an den Grenzflächen der Fassadenbauteile nie völlig spaltlos anliegen, ist die Dichtungswirkung immer nur relativ. Nur die stoffschlüssige Form ermöglicht völlige Dichtigkeit. Falls eine Fuge mit einem Dichtungselement in einer Ebene nicht ausreichend »geschlossen« werden kann, sind andere Strategien nötig. Die Dichtung über mehrere Ebenen und ggf. unterschiedliche Dichtungselemente haben sich dabei bewährt (mehrstufiges Dichtungssystem). Man kann die Ausbildung von Fugendichtungen auf wenige Grundprinzipien zurückführen, die auf vielfache Weise umsetzbar sind (Abb. A 2.1.13). Bei der Wahl des Dichtungssystems ist es entscheidend, in welchem Maß und in welcher Richtung Bewegungen der Bauteile stattfinden sollen oder zu erwarten sind.

Berührungsfreie Dichtungssysteme

Bauteile werden bewusst in Abstand zueinander gehalten und die Flanken so ausgebildet,

Feuchtigkeit	Regen-/Fassadenwasser Kapillarwasser Wasserdampf/Kondensat Eisbildung, Schnee
Luft/Winddruck	Luft-/Winddichtigkeit Abbau von Winddruck/-sog Zu-/Abluftöffnungen
Schall	Luftschall Körperschall
Licht	Belichtung UV-Beständigkeit Fugematerial
Übertragung Kräfte	Element – Element Unterkonstruktion – Element
Ausgleich Toleranzen	Fertigungstoleranzen Montagetoleranzen Bewegungstoleranzen
Montage	Justierbarkeit, Fixierung Abfolge Witterungsabhängigkeit
Wartung	Erforderlichkeit Möglichkeit/Zugänglichkeit
Demontage	Lösbarkeit Recycling Wiederverwendbarkeit
Fugenbild	Überlappung Schattenfuge Hinterschneidung Profilierung Materialwechsel Farbigkeit

A 2.1.12

dass die Strömung durch Verwirbelung im Fugenraum gehemmt wird. Dieses Prinzip erlaubt große Relativbewegungen und eignet sich besonders als erste Stufe eines mehrstufigen Dichtungssystems. Bei einer »Labyrinthdichtung« ist der Fugenverlauf zusätzlich nach dem Prinzip der Überlappung abgewinkelt.

Der stumpfe Stoß

Der in Abb. A 2.1.13 nicht dargestellte stumpfe Stoß zweier Bauteilflanken ohne weiteres Dichtelement wäre die ursprünglichste Form aller Berührungsdichtungen. Selbst durch Aufbringung einer Kraft kann aufgrund der Unebenheiten der Oberflächen der Spalt nur reduziert, jedoch selbst bei elastischen oder plastischen Werkstoffen nicht ganz geschlossen werden.

Überlappung

Hierbei handelt es sich um das wohl einfachste, ursprünglichste und wirkungsvollste Prinzip, das sich in vielen Dichtungssystemen wiederfindet. Die Anordnung der Überlappung muss sich an der Fließrichtung des Fassadenwassers ausrichten. Abb. A 2.1.14 zeigt Beispiele, bei denen das Fassadenwasser ohne Dichtelemente vornehmlich nach Prinzipien der Überlappung sicher über die horizontale Fuge geleitet wird. Einige Varianten lassen horizontale Bewegun-