

# Dach Atlas

GENEIGTE DÄCHER

Edition **DETAIL**

SCHUNCK · OSTER · BARTHEL · KIESSL





# Dach Atlas

Geneigte Dächer

Eberhard Schunck  
Hans Jochen Oster  
Rainer Barthel  
Kurt Kießl

Autoren:

Eberhard Schunck, Prof. Dipl.-Ing., Architekt  
Lehrstuhl für Baukonstruktion, Technische Universität München

Hans Jochen Oster, Dipl.-Ing., Architekt

Rainer Barthel, Prof. Dr.-Ing.  
Lehrstuhl für Tragwerksplanung, Technische Universität München

Kurt Kießl, Prof. Dr. -Ing.  
Professur Bauklimatik, Fakultät Architektur, Bauhaus-Universität Weimar

Mitarbeiter:

Eva Bodemer mit  
Alexander Blank, Christian Brinkmeier, Ralf Elias, Oliver Grassmann,  
Christian Kovac, Robert Pawlowski, Frank Ressel, Christian Salz  
Tragwerk: Herbert Markert

Redaktion und Lektorat:

Heide Wessely  
Redaktionelle Mitarbeit: Claudia Fuchs, Heike Werner  
Zeichnungen: Nicola Kollmann  
Mitarbeit Zeichnungen: Markus Betz, Peter Lingenfeller, Isabel Mayer,  
Emese Köszegi, Elisabeth Krammer, Axel Müller-Engelhardt,  
Andrea Saiko, Linda Werner

Mitarbeiter früherer Auflagen:

Marc Gerhard, Albrecht Hanser, Hansjörg Kehnel, Harald Konsek,  
Svenja Nölting, Uli Rüb, Martin Schibel, Hubert Schmickler, Peter  
Schmidt, Matthias Stumpfl, Hubert Vollmer, Bettina Vismann, Markus  
Wacker, Thomas Ziegler

Herausgeber:

Institut für internationale Architektur-Dokumentation, München  
in Verbindung mit

Informationsdienst für neuzeitliches Bauen d-extrakt

© 1991, erste Auflage

© 1996, zweite Auflage, überarbeitet und aktualisiert

© 1999, dritte Auflage, überarbeitet und aktualisiert

© 2002, vierte Auflage, neu bearbeitet

Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH, München  
Alle Rechte vorbehalten, einschließlich das des auszugsweisen  
Abdrucks, der Übersetzung, der fotomechanischen Wiedergabe und  
der Mikrokopie. Die Übernahme des Inhalts und der Darstellung, ganz  
oder teilweise, in Datenbanken und Expertensysteme ist untersagt.

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

Reproduktion: Karl Dörfel Reproduktions-GmbH, München

Druck und Bindung: Kösel, Kempten (www.KoeselBuch.de)

Printed in Germany

Berater der Autoren:

Reet  
Holzschindeln Norbert Hofmann, Berend Meyer  
Gerhard Beyer, Bettina Horsch, Andreas Rapp,  
Eckart Schwab, Ludwig Weiss

Schiefer/  
Faserzement Heinrich Baum, Georg Guntermann, Ewald A.  
Hoppen, Karin Kirchner, Gaston Lemmé, Ulrich  
Lutter, Frank Rummel, Wolfgang Schinkel,  
Wolfgang Wagner, Franz Wierschem

Bitumenschindeln  
Ziegel Heinz Blaß, Ernst P. Giercke, Brigitte Ließ  
Leonhard Froschauer, Klaus Göbel,  
Heinz Zanger, Paul Zielinski

Beton  
Glas Heinrich Baum, Horst Pavel  
Georg Babioch, Edmund Hahn, Heinz Krewinkel  
Bitumen-Wellplatten  
Faserzement-  
Wellplatten Ulrich Franke  
Gaston Lemmé, Bernhard Rohde

Metallplatten  
Metallbänder Kunibert Breuer, Hubert Wittur  
Friedolin Behning, Kunibert Breuer, Gert Bröhl,  
Stephan Christensen, Rainer Schulze-Rettmer,  
Hermann Wenzel, Friedhelm Wiesel,  
Hans-Peter Wilbert

Pflanzen  
Membranen Roland Appl, Gerd Harzmann  
Carsten Moritz  
Unterdach  
Wasserableitung Gaston Lemmé, Hans Peter Raidt  
Friedolin Behning

# Inhalt

<b>Teil 1 · Das geneigte Dach in Geschichte und Gegenwart</b>		<b>Teil 2 · Grundlagen</b>	
		<b>Tragwerk</b>	<b>Bauphysik</b>
		Rainer Barthel	Kurt Kießl
Eberhard Schunck			
Dachmaterialien und Techniken im 19. Jahrhundert	11	Einwirkungen	45
		Eigenlasten	46
		Nutzlasten	46
Situation im Bauwesen	11	Windlasten	48
Veränderungen	11		
Bauwissenschaften	11	Schneelasten	50
		Aussteifung	52
Baustoffe	12		
Dachmaterialien, Dachtechniken	12	Von der Dachdeckung zum Tragwerk	54
		Schuppen auf Lattung	56
Neue Kriterien	15	Dachschalung aus Holz	57
		Dachschalung als Dachscheibe	58
Weiterentwicklung im 20. Jahrhundert	17	Trapezbleche	59
		Scheiben aus Stahltrapezblechen	60
Veränderungen	17	Massivholzplatten	61
Ökonomie	17	Holztafeln	61
Ökologie	19	Platten aus Porenbeton	61
Bauwissenschaften	21	Sandwichelemente	61
Industrialisierung und neue Baustoffe	21	Glas	61
Dachform und Materialien	22	Sparren- und Pfettendächer	62
		Sparren- und Kehlbalkendach	62
		Pfettendach	62
Nutzung und Form	30	Aussteifung des Sparren-/Pfettendachs	64
Nutzung und Dachform	30	Historische Dachtragwerke	65
Nutzung des Dachraums	31	Tragwerke für geneigte Dächer	66
Nutzung der Dachfläche	32	Ebene Dachflächen	67
Dachformen	33	Einfach gekrümmte Dachflächen	68
Teilbereiche	34	Doppelt gekrümmte Dachflächen	69
Dachform und Nutzung	37		
Dachform und Material	37		
Dachform und Baukörper	38		
Dachform und Umwelt	39		
			45
			46
			46
			48
			50
			52
			54
			56
			57
			58
			59
			60
			61
			61
			61
			61
			61
			62
			62
			62
			64
			65
			66
			67
			68
			69
			71
			71
			71
			73
			75
			75
			76
			77
			77
			77
			78
			82
			82
			82
			84
			85
			86
			88
			89
			90
			90
			90
			92
			93
			95

**Teil 3 · Konstruktionen im Detail****Teil 4 · Gebaute Beispiele im Detail****Konstruktion**

Eberhard Schunck und Hans Jochen Oster

Konstruktionsprinzipien	97
Belüftete Konstruktionsprinzipien	97
Nicht belüftete Konstruktionsprinzipien	97
Vorfertigung	100
Modulares Dach	102

**Schichten - Dachmaterialien**

Deckung	105
Deckende und dichtende Fügungen	105
Form und Materialien – Übersicht	106
Halme	108
Reet	108
Ebene Schuppen	111
Holz	111
Schiefer, Faserzement	119
Bitumen	132
Ziegel und Beton	137
Verformte Schuppen	149
Ziegel und Beton	149
Ebene Platten	158
Glas	158
Verformte Platten	173
Faserzement	173
Bitumen	181
Metall	184
Bänder	190
Metall	190
Bahnen	205
Bepflanztes Dach	205
Membranen	218
Energiegewinnung	228
Lüftung	232
Unterdach	239
Dampfsperre, Luftsperr	243
Wärmedämmung	246
Wasserableitung	250

Eberhard Schunck und Hans Jochen Oster

Konstruktionen im Detail	256
Halme	258
Reet und Stroh	258
Ebene Schuppen	260
Holz	260
Schiefer, Faserzement	264
Bitumen	270
Ziegel und Beton	274
Verformte Schuppen	284
Ziegel und Beton	284
Deckung über offenem Dachraum	284
Deckung mit Unterspannbahn	286
Deckung mit Unterdichtung	292
Ebene Platten	298
Glas	298
Verformte Platten	302
Faserzement	302
Metall	312
Bänder	316
Metall	316
Bahnen	322
Pflanzen	322
Wärmedämmung belüftet	322
Wärmedämmung nicht belüftet	324
Sanierung	327

Eberhard Schunck und Hans Jochen Oster

Gebaute Beispiele im Detail	336
Halme	338
Reet	338
Ebene Schuppen	340
Holz	340
Schiefer	344
Faserzement	346
Bitumen	348
Ziegel	350
Beton	352
Verformte Schuppen	360
Ziegel	360
Ebene Platten	366
Naturstein	366
Holz	368
Glas	372
Kunststoff	386
Verformte Platten	388
Faserzement	388
Metall	390
Kunststoff	400
Keramik	402
Bänder	405
Metall	405
Bahnen	412
Bitumen	412
Kunststoff	414
Gründach	419
Membranen	422
Textil	422
Beschichtete Gewebe	428
Kunststoff	433

**Anhang**

Legendenziffern- und bezeichnungen	438
Literatur	439
Personenregister	439
Sachregister · Glossar	440
Bildnachweis	448

---

## Vorwort

Der erste DachAtlas reicht in die Anfänge einer erfolgreichen Reihe von Konstruktionsatlanten, die inzwischen sieben Bände umfasst. Obwohl die völlige Neubearbeitung aus dem Jahr 1991 zweimal aktualisiert und ergänzt wurde, machten neue Gesetze, Verordnungen, Normen und Fachregeln sowie neue Konstruktionsprinzipien die jetzige, umfassende Überarbeitung notwendig. Alle vorhandenen Kapitel wurden dafür aktualisiert und manche völlig neu konzipiert. Bereits im einleitenden Kapitel zeigt sich die Aktualität des Themas – hier wird auf die derzeitige Situation im Bauwesen eingegangen. Auch das Tragwerkkapitel ist neu. Es beinhaltet nun die Einwirkungen auf das Dach ebenso wie die Lastabtragung von der Deckung in das Tragwerk und neben den wichtigsten traditionellen Dachstühlen auch einen Überblick über weit gespannte Dächer.

Im Bauphysik-Teil wird neben den unverzichtbaren naturwissenschaftlichen Grundlagen zum ersten Mal die Berechnungsmethode der neuen Energieeinsparverordnung mit allen darin enthaltenen Verweisen dargestellt. Alle Deckungsmaterialien aus dem alten Atlas tauchen auch in diesem Buch wieder auf. Sie bilden einen wichtigen Fundus im Bereich der traditionellen Deckungen und geben für diese den aktuellen Stand der technischen Voraussetzungen wieder.

Doch auch neuartige Dachmaterialien finden ihren Platz – so ist den Membranen erstmals ein eigenes Kapitel gewidmet. Es ist die erste uns bekannte Veröffentlichung, die Konstruktionsgrundlagen in dieser Form zeigt. Auch das Kapitel zur Energiegewinnung ist neu – denn es ist ein Thema, das auch am geneigten Dach eine immer größere Rolle spielt. In den Bereichen Produktion und Montage wird der derzeitige Stand der Vorfertigung gezeigt, womit Vorschläge für wirtschaftliche Lösungen am geneigten Dach angeboten werden. Darüber hinaus werden die funktionalen Grundlagen für den Aufbau eines modularen Daches dargestellt, die mit Anregungen zu Vorgehensweisen bei der Entwicklung modularer Systeme gekoppelt sind.

Eine Bauaufgabe, die in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen wird, ist die Sanierung. Deshalb wurde sie unter Berücksichtigung unterschiedlicher Schadensfälle und entsprechender Sanierungsmöglichkeiten hinzugenommen.

Im Beispielteil finden sich viele zeitgenössische

Bauten, die den Stand der Dachtechnik und das ästhetische Spektrum in der heutigen Architektur zeigen. Doch auch einige Klassiker sind dokumentiert, mit Details, die nur selten und meist unvollständig veröffentlicht wurden. Erstmals ergänzt ein Glossar für häufig verwendete Fachausdrücke das Stichwortverzeichnis.

Das Anliegen des DachAtlas ist es, nicht nur fertige Konstruktionsvorlagen zu präsentieren, sondern die Grundlagen für Konstruktion und Gestalt des Daches als Klimahülle anzubieten. Hierzu gehören:

- Grundwissen über die Tragwerke und ihre Zusammenhänge mit der Deckung,
- Wissenschaftliche Grundlagen in der Bauphysik im Zusammenhang mit den neuen Ausgaben der DIN-Normen und Gesetze,
- Kenntnis der Konstruktionsprinzipien am geneigten Dach mit der Problematik belüfteter und unbelüfteter Konstruktionen,
- Vertieftes Wissen über die Deckungsmaterialien und ihre Fügungsmöglichkeiten,
- Überblick über die Möglichkeiten der Energiegewinnung und ihrer Integration in das geneigte Dach,
- Verständnis für die spezielle Feuchteproblematik und für ihre Bewältigung auf der Basis aktueller Erkenntnisse,
- Bewusstsein über die Strömungsmechanik am Dach und die Folgen für die Luftsperrung und ihre Ausführung,
- Kenntnis der Dämmmaterialien mit ihren physikalischen Eigenschaften und ihrer Anbringung,
- und schließlich ein Einblick in die Materialien, Formen und Bemessung der Wasserableitung.

Um diese Grundlagen zu veranschaulichen, zeigen Konstruktionszeichnungen ihre einfache Anwendung. Sie werden durch entsprechende Ausführungsbeispiele ergänzt.

Herausgeber und Autoren wünschen sich, dass das in diesem Buch zusammengetragene Wissen dazu dient, das konstruktive Verständnis und das gestalterische Können für die komplexen Aufgaben der Dachkonstruktionen zu erweitern.

Herausgeber und Autoren



---

# Teil 1 Das geneigte Dach in Geschichte und Gegenwart

## Eine Standortbestimmung

Die Ursprünge des geneigten Daches reichen bis in die Anfänge menschlicher Kultur zurück. Seine Vorzüge sind unbestritten. Es erfüllt die Aufgabe des oberen Gebäudeabschlusses in idealer Weise. Seine geneigten Flächen leiten die Niederschläge schnell und sicher ab. Die kleinteilige Struktur ist für den Unterhalt gut geeignet und die Deckungsteile haben zum überwiegenden Teil eine lange Lebensdauer.

Nur kurzzeitig wurde die Vorrangstellung des geneigten Daches in Frage gestellt, als das Flachdach mit der Entwicklung der modernen Architektur in den 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts stark an Bedeutung gewann und das geneigte Dach zu verdrängen drohte. Heute hat das geneigte Dach seine Vorrangstellung wieder erreicht. Ein großer Teil unserer Gesellschaft sieht heute im geneigten Dach den Inbegriff des Daches, das seinen Sehgehnheiten entspricht.

Im ersten Teil dieses Buches soll versucht werden, durch die Darstellung der Dachtechnik in der Geschichte Verständnis für Formen und Verfahrensweisen zu wecken.

Am Beginn steht ein Rückblick ins 19. Jahrhundert, in dem die Industrialisierung alle Produktionsbereiche revolutioniert hat. Es soll der Frage nachgegangen werden, inwieweit die Bautechnik zu dieser Zeit dem Stand der übrigen Produktionsbereiche entsprochen hat und ob sie schon damals von anderen Techniken profitiert hat. Sodann interessieren auch die Motive, durch die die Entwicklung der Technik und der Bautechnik bestimmt wurden. Schließlich wird die Weiterentwicklung im 20. Jahrhundert bis heute verfolgt, um die Grundlagen für unsere heutigen Konstruktionen darzustellen. Dies geschieht durch die Betrachtung der einzelnen Dachmaterialien besonders im Hinblick auf die zwei wichtigsten Phänomene, die unsere Gesellschaft heute beherrschen: Ökonomie und Ökologie. Zum Abschluss werden Nutzung und Form des Daches erörtert, um unsere Handlungsmöglichkeiten und unsere Grenzen auszuloten.

# Dachmaterialien und Techniken im 19. Jahrhundert

## Veränderungen im Bauwesen des 19. Jahrhunderts

Von der Mitte des 18. Jahrhunderts an zeichneten sich zuerst in England, dann auch in Frankreich und Deutschland grundlegende Veränderungen ab, die sich gegenseitig stark beeinflussten. Die Bevölkerung nahm in immer stärkerem Ausmaß zu, die Industrieproduktion wurde erhöht und die Mechanisierung der Produktionssysteme weitete sich aus.

Die steigende Bevölkerungsdichte in den Städten stellte die Bauindustrie vor neue Aufgaben, im Geschosswohnungsbau ebenso wie im Verkehrswesen und in den Ver- und Entsorgungsbereichen. Die neuen Produktionsanlagen verlangten einen schnell zu errichtenden, großflächigen Gebäudetypus, der seine ersten Vor-

bilder im Hallentyp sakraler Bauten hatte. Die liberalen Theorien von Adam Smith in England und die ersten Sozialgesetze in Frankreich bewirkten die Erhöhung der Arbeitslöhne. Um den Anstieg der Produktionskosten zu vermeiden, setzte man auch im Bauwesen auf Mechanisierung.

### Entwicklung der Bauwissenschaften

Der stetig zunehmende Anteil der Mechanisierung und die damit verbundene Bevölkerungsdichte beeinflussten vor allem die Nutzung und damit die Ausführung der Gebäude. Die formale Lösung baulicher Probleme durch das reiche Angebot an Stilelementen verkam zu einer Aufgabe zweiten Ranges. So löste sich der bautechnische Bereich vom künstleri-

schen, oft rein dekorativen Teil ab. Die von der Last der Gestaltfindung befreiten Ingenieure konnten sich jetzt technischen Problemen und den Forderungen der Industrie stellen. Sie waren hierfür gut gerüstet, weil seit der Mitte des 18. Jahrhunderts eine intensive wissenschaftliche Entwicklung stattgefunden hatte, die nun am Anfang des 19. Jahrhunderts Früchte trug.

Claude-Louis-Marie-Henri Navier, der Vater der Baustatik, fasste 1823 das Wissen seiner Zeit in einem umfassenden Werk zusammen. Mit der Entwicklung der darstellenden Geometrie durch Gaspard Monge wurde die analytische Behandlung des komplexen Systems dreidimensionaler Objekte ermöglicht. Die zunehmende Bedeutung der Bauwissenschaft manifestierte sich in der Gründung der »École des

1.1 Gießhalle der Sayner Hütte, Bendorf 1828–1830, Carl Ludwig Althans



Ponts et des Chaussées« im Jahr 1747. Zum ersten Mal wurde die Lehre der Bautechnik in einer eigenen Schule vermittelt. Nach der Gründung der École Polytechnique 1794/95 in Paris folgten die Technischen Universitäten in Prag (1803), in Wien (1815) und in Karlsruhe (1825).

Die Auseinandersetzung zwischen Ingenieuren und Künstler-Architekten begann in Frankreich schon sehr früh und stärkte die Stellung der Ingenieure. So sagte Anatole de Baudot 1889: »Seit langem verringert sich der Einfluss der Architekten, und der Ingenieur, der moderne Mensch par excellence, beginnt ihn zu ersetzen. Wenn der Ingenieur den Architekten vollständig zu ersetzen vermöchte, so könnte dieser zweifellos verschwinden, ohne dass damit die Kunst zugleich ausgerottet würde.«<sup>1</sup>

### Eisen, Glas, Beton – die neuen Baustoffe

Durch die Neuerungen in Gesellschaft, Industrie und Wissenschaft gewannen Eisen, Glas und Beton, die bisher nur ergänzend eingesetzt wurden, wesentlich an Bedeutung.

#### Eisen

Eisen wurde schon lange im Bauwesen verwendet, aber erst die im 19. Jahrhundert entwickelten Herstellungsmethoden brachten die Voraussetzung für seine Anwendung in größerem Umfang.

Seit Henry Cort 1784 mit dem so genannten Puddelverfahren den Kohlenstoffgehalt reduzierte und brauchbares Schmiedeeisen erzeugte und seit Henry Bessemer 1855 die Herstellung von Hand durch das mechanische Einblasen von Luft ersetzte, war schmiedbares Eisen (»Flussstahl«) preiswert und in großen Mengen verfügbar.

Eisen wurde zuerst in England für Brückenbauten (Coalbrookdale 1771–1779) und später auch im Hochbau eingesetzt. Bald erkannte man seine Möglichkeiten auch in Frankreich (Kornmarkt, Paris 1809–1811) und Deutschland (Ostchor des Mainzer Domes, 1827).

#### Glas

Die Entwicklung in der Glasproduktion, die in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts einsetzte, führte bereits zu Beginn des 19. Jahrhunderts zu Glasscheiben von 2,50/1,70 m Größe. Schon im ersten Drittel des 19. Jahrhunderts war die Produktion von Glas so günstig geworden, dass es in größeren Mengen auch für Fenster und Dächer verwendet wurde.

#### Beton

Der seit über 2000 Jahren bekannte Baustoff Beton konnte dank der Herstellung von »künstlichem Cement« durch die Engländer Smeaton, Parker und Aspdin ab 1824 erstmals unabhängig von den Gewinnungsorten der Puzzolanerde eingesetzt werden. Die wichtigste Erfindung, an der neben Monier (1867) auch

Coignet (1861), Lambot (1855) und Thaddäus Hyatt (1877) beteiligt waren, bestand jedoch darin, den bisher nur für druckbeanspruchte Bauteile geeigneten Werkstoff durch Eiseneinlagen auch für zugbeanspruchte Konstruktionen verwendbar zu machen.

### Entwicklung der Dachtechnik und der Dachmaterialien

Während sich die Techniken der Dachdeckung über Jahrhunderte, sogar Jahrtausende nur geringfügig veränderten, brachte die industrielle Revolution eine Reihe von umwälzenden Neuerungen.

#### Naturstein

Die bereits in der Römerzeit verwendete Dachdeckung mit spaltbarem Steinmaterial wurde erst im 11. Jahrhundert in Frankreich wieder entdeckt. Während Granit, Gneis, Kalk- oder Sandstein nur örtliche Bedeutung erlangten, wurde der Tonschiefer in weiten Teilen Europas (Deutschland, England, Frankreich, Österreich, Ungarn) verwendet. Die Ausbreitung dieser Dachdeckung war ebenso wie die der Ziegeldeckung auf das Verbot der brennbaren Materialien Reet, Stroh und Holz zurückzuführen. Dieses Verbot existierte seit den verheerenden Feuersbrünsten des Mittelalters, konnte jedoch erst durch die im 19. Jahrhundert eingesetzten Baubehörden besser überwacht werden. Die alte, durch ausgefeilte Verlegetechniken aus England, Frankreich und Deutschland verbesserte Schieferdeckung verbreitete sich vor allem entlang der großen Wasserstraßen, die aus den Abbaugebieten führten.

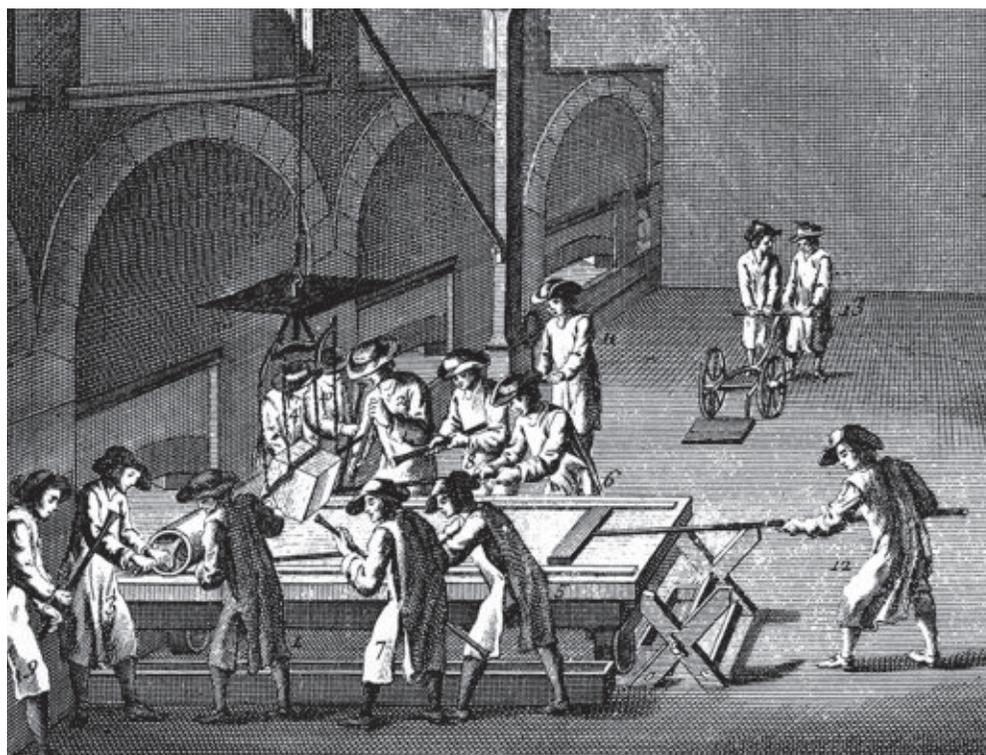
Mit der Einführung der Dampfmaschine konnte zunächst der Schiefer-Untertagebau vereinfacht werden, später wurde auch das mühselige Spalten und Zurichten des Schiefers vor Ort mit Maschinenkraft betrieben. Die entscheidende Wende folgte ab 1844 durch die Einführung der Schablonendeckung. Nun konnten die Platten mit Hilfe einer Schablone an unterschiedlichen Gewinnungsorten in wettergeschützten Werkstätten gefertigt werden. Die damit verbundene Austauschbarkeit, die gute Angebotssituation und die ausgebauten Transportwege auf Straßen und neuen Eisenbahnlinien führten ab 1871 zu einem wahren Schieferboom, der erst mit dem Ersten Weltkrieg zu Ende ging.

#### Ziegel

Die seit 4000 Jahren verwendete Dachdeckung mit gebrannten Tonziegeln war zu Beginn des 19. Jahrhunderts am weitesten entwickelt. Sie bot aufgrund der gut zu trennenden Fertigungsschritte (Aufbereiten, Formen und Brennen) eine gute Voraussetzung für die Überführung in eine industrielle Herstellung.

#### Ringofen

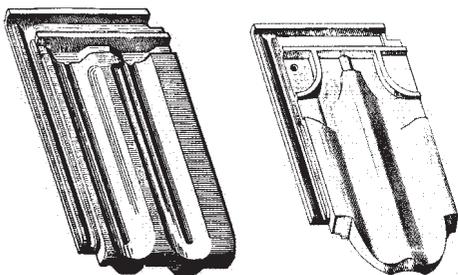
Mit der zunehmenden Industrialisierung wurde der Bedarf an Brennmaterial in allen Herstellungsbereichen zu einem Problem. In ganz Europa verschlangen die neuen Stahlföfen, die Kalk- und Zementbrennereien, aber auch die immer öfter eingesetzten Dampfmaschinen Unmengen von Holz und führten zu ökologischen Problemen. Obwohl die herkömmlichen Materialien Holz und Torf durch Steinkohle



ergänzt oder ersetzt wurden, spielte die Verknappung und Verteuerung der Brennstoffe auch bei der Ziegelherstellung eine große Rolle. So mussten Verfahren gefunden werden, mit denen sich Brennmaterial einsparen ließ. Nach vielen Versuchen gelang es Hoffmann und Licht mit dem 1858 entwickelten Ringofen, durch Mehrfachnutzung den Energiebedarf gegenüber den herkömmlichen Meileröfen um zwei Drittel zu senken. Wie wichtig und revolutionär diese Erfindung für die Ziegelindustrie war, zeigt die Tatsache, dass bereits zehn Jahre nach Inbetriebnahme des ersten Ofens weltweit 640 Ringöfen existierten.

### Ziegelmaschinen

Seit Beginn des 19. Jahrhunderts wurde kontinuierlich an der Industrialisierung der Dachziegelherstellung gearbeitet. Die erste Etappe der Entwicklung stellt die 1854 von Carl Schlickeyen in Berlin entwickelte Ziegelmaschine dar. Diese Maschine wurde dem charakteristischen Formteil entsprechend Strangpresse genannt, sie vereinigte die Tonverarbeitung, die Formgebung und den Tonschneider in einer Einheit. Ein weiterer Fortschritt war die Entwicklung der Trockenpresse, die für den Brennvorgang bessere Voraussetzungen schuf und exaktere Produkte ermöglichte. Schließlich konnten die immer raffinierter werdenden Formen der Falzziegel nur noch mit Formpressen hergestellt werden. Wilhelm Ludowici aus dem pfälzischen Jockgrim übertrug mit der Erfindung der Revolverpresse 1881 die Arbeitsgeschwindigkeit der Strangpresse auch auf formgepresste Ziegel und ebnete damit den Weg für ein preisgünstiges Deckungsmaterial.



1.3

- 1.2 Gussglasherstellung nach dem Verfahren von L. de Nehou. Aus der Enzyklopädie von D. Diderot und J.B. D'Alembert (1773)
- 1.3 Doppelmuldenfalzziegel und Schuppenziegel von Ludowici, 1881 und 1882
- 1.4 Der Ringofen von Hoffmann und Licht, 1858, spart zwei Drittel des zuvor verbrauchten Brennmaterials ein.
- 1.5 Patentschrift zur Herstellung von Eisenbeton von J. Louis Lambot, 1855, 12 Jahre vor dem Monier-Patent

<sup>1</sup> Aus einer Rede Anatole de Baudots über die Geschichte der französischen Architektur in der Vergangenheit und in der Gegenwart, Paris 1889. Anatole de Baudot war ein Schüler von Henri Labrouste und Viollet-le-Duc. Er baute die erste Eisenbeton-Skelettkirche Saint Jean de Montmartre in Paris.

### Formen

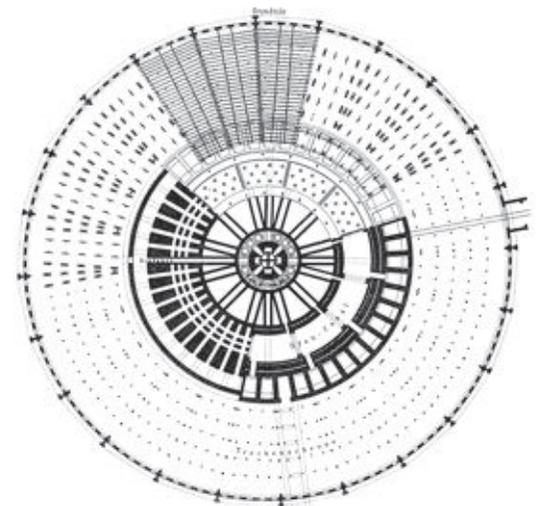
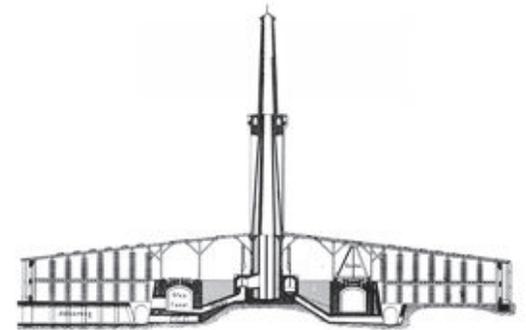
Auch die Ziegelformen selbst wurden weiterentwickelt. Zunächst erforderte der Einsatz der Strangpresse Ziegel, die nur in ihrer Längsrichtung Verformungen aufwiesen. Es entstanden die Strang-Dachziegel. Flachere Dächer und der Wunsch, den Überdeckungen zusätzliche Dichtungsfunktionen zu geben, führten zu immer differenzierteren Formen. Derart geformte und gefalzte Ziegel wurden Falzziegel genannt. Die ersten Entwicklungen stammen von den Brüdern Gilardoni 1847 aus dem Elsass. Wilhelm Ludowici, vielfach der Erfinder der Falzziegel genannt, erhielt erst 1881 das Patent für seinen Doppelmuldenfalzziegel, der mit kleinen Abwandlungen bis heute hergestellt wird. Ludowici entwickelte und produzierte auch zahlreiche Sonderformen und realisierte das erste vollkeramische Dach.

### Zement

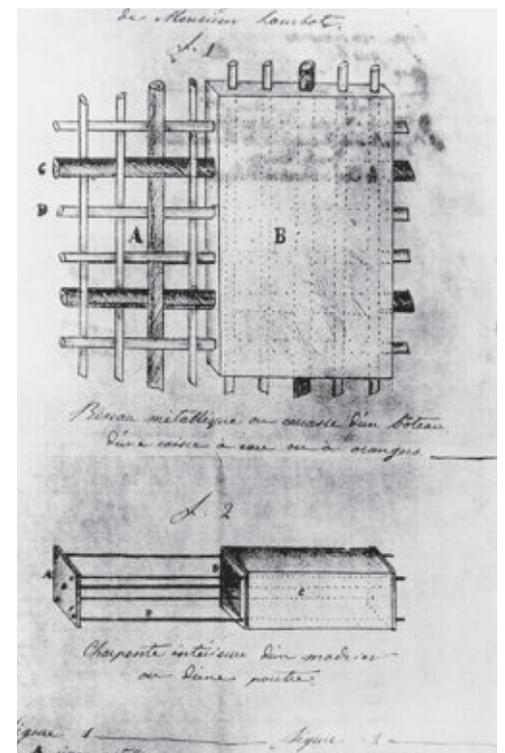
Schon vor der industriellen Herstellung des »künstlichen Zements« in Deutschland stellte der süddeutsche Unternehmer Adolph Kroher in Staudach am Chiemsee um 1844 die so genannten Staudacher Dachplatten her. Er verwendete hierzu einen eigenen Zement, den er aus gebrannten mineralischen Ablagerungen der Gegend um Staudach und aus dem scharfen Sand der Tiroler Ache herstellte. Aus diesem schnell bindenden »natürlichen« Zement fertigte er zwei Formen: Eine von ihm so benannte »schieferförmige« Rautenform und eine »S-Form«, die wir heute Hohlpfanne nennen würden.

Diese Platten hatten beachtliche Eigenschaften. Ihre geringe Wasseraufnahme und die damit verbundene Frostbeständigkeit ermöglichten flache Neigungen. Die Platten waren sehr biegefest und vor allem preiswert. Der Hinweis des Erfinders auf die täuschende Ähnlichkeit mit einem Naturschiefer zeigt den mühsamen Weg, den Baustoffe oft zurücklegen müssen, bis der ihnen eigene Materialcharakter gesellschaftlich anerkannt ist.

Nach anfänglicher Herstellung auf Handschlagtaischen wurden durch Peter Jörgensen aus Haseldorf (Schleswig-Holstein) 1882 verschiedene Patente für Pressen und Geräte angemeldet, die eine rationellere Fertigung erlaubten. Er und Hartwig Hüser aus Bonn-Oberkassel experimentierten mit verschiedenen Formaten und Formen. So produzierte Jörgensen schon vor 1882 eine trapezförmige Dachplatte, die rundum mit einem Doppelfalz versehen war und dadurch eine hohe Regensicherheit besaß. Nach offiziellen Auszeichnungen auf Ausstellungen in Wien (1873) und Nürnberg (1882) verbreitete sich der neue Baustoff vor allem im Bereich der Dachdeckung, insbesondere nachdem er durch die industrielle Herstellung in großen Mengen verfügbar geworden war. So gab es 1899 in Deutschland schon neun Hersteller für »Zementplatten« mit einem reichen Angebot an verschiedenen Formen.



1.4



1.5

#### **Asbest, Asbestzement**

Das von den Griechen als unvergänglich bezeichnete faserige Mineral »Asbestos« wurde schon in frühen Kulturepochen als Faser versponnen und verwoben.

Dem Österreicher Ludwig Hatschek gelang es in einer siebenjährigen Versuchsreihe, das Material auf wirtschaftliche Weise mit Zement zu verbinden und es 1900 als Patent anzumelden. Seine kleinformatigen Dachplatten waren preiswert und hoch resistent gegen Hitze, Kälte, Feuchte und Feuer. Die gute Biegefestigkeit bei geringem Gewicht ermöglichte verformte Platten mit großen Formaten und damit einfache und sparsame Dachtragwerke.

Diese Eigenschaften und die lange Lebensdauer bewirkten seither eine rasche Verbreitung als Dachmaterial in Form von ebenen Schindeln oder verformten Wellplatten.

#### **Metalle**

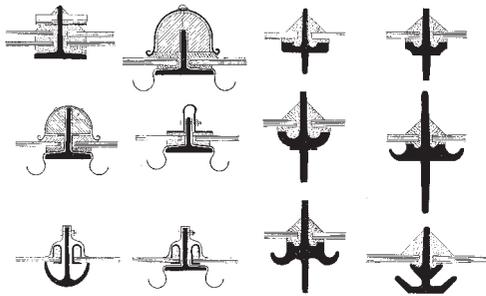
Schon in der Antike wurden Metalle wie Bronze, Kupfer und Blei zur Dachdeckung verwendet. Im 19. Jahrhundert wurden die Metalldeckungen in größerem Umfang eingeführt.

#### **Bleche**

Der entscheidende Schritt zur Herstellung großer dünner Blechteile war die Einführung des Walzverfahrens, dessen kontinuierlicher Vorgang das aufwändige Gießen von Einzelteilen ersetzte. Nachdem man seit 1670 in England mit dem Walzen von Blei begonnen hatte, wurde dieses Verfahren Anfang des 18. Jahrhunderts auf Kupfer, 1805 auf Zink und 1818 auf Eisen übertragen. Die Verwendung des Eisenbleches als Deckungsmaterial wurde erst nach der Einführung des Verzinkens in größerem Umfang sinnvoll. Bis dahin waren die drei- bis vierjährigen Erneuerungsanstriche zu aufwändig und die Korrosionsgefahr zu groß. Sorel führte 1836 das wirt-

schaftliche Feuerverzinken in England ein und brachte es im gleichen Jahr nach Frankreich. Von da an verdrängte das preiswerte verzinkte Eisenblech das Zinkblech, das gerne verwendet worden war, um die flachen Dachneigungen eklektizistischer Bauten zu realisieren. Die Innenstädte von Innsbruck, Passau oder Salzburg verdanken ihre Dachlandschaften den Neuerungen des 19. Jahrhunderts auf diesem Gebiet. Daneben wurden Zink, Kupfer und Blei eingesetzt, vor allem dann, wenn die Suche nach der charakteristischen Ausdrucksform oder der Wunsch nach größerer Formbarkeit dies forderten. Ende des 19. Jahrhunderts reihte sich das erst seit kurzem hergestellte Aluminium in die Dachmaterialien ein. Die erste größere Anwendung folgte 1897 bei der Kuppel von San Gioacchino in Rom. Während die Materialherstellung weitgehend industrialisiert wurde, blieb die Verlegungstechnik, die auf Falzen und Lötten beruhte, auf handwerkliche Methoden beschränkt.





1.7

### Platten

Die gute Formbarkeit des Eisenblechs führte vielfach dazu, teure Deckungsmaterialien wie Schiefer durch Nachbildungen aus preiswerterem Eisen zu imitieren. Die effektivste und einfachste Verwendung von Eisenblech bestand darin, die Bleche wellenförmig zu verformen. Auch diese Erfindung kam aus England, 1851 wurde sie in Deutschland eingeführt. Diese materialgerechte Profilierung war zur guten Wasserableitung, zur Fügung hoch liegender Längsstöße und für den dichten Abschluss der Querstöße vorteilhaft. Die große Tragfähigkeit, die Formstabilität und das geringe Gewicht trugen zur weltweiten Verbreitung des Wellblechs bei.

### Glas

Auch bei der Verwendung von Glas als Bedachungsmaterial bewies England seine führende Rolle. Zwischen den Jahren 1816 und 1829 stieg dort die Glasproduktion von 1000 auf



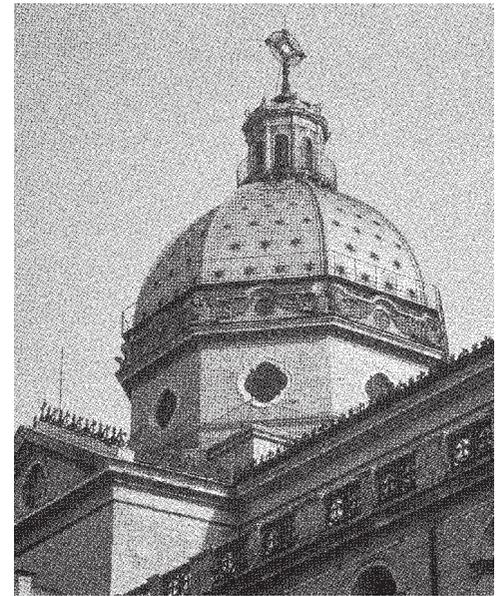
1.8

6000 Tonnen. Die zunächst nur für Gewächshäuser gebräuchliche Methode, Glasscheiben auf Sprossensysteme tragender Eisenkonstruktionen von Gewächshäusern zu pressen, ging bis in die zwanziger Jahre des 19. Jahrhunderts zurück.<sup>2</sup> Bald wurde sie aber auch auf Gebäude mit anderen Nutzungen ausgedehnt, bei denen leichte, helle und weit gespannte Konstruktionen gebraucht wurden. 1829 deckten Percier und Fontaine in Paris die Galerie d'Orléans im Palais Royal mit Glas ein.

Der Kristallpalast, den Joseph Paxton für die Weltausstellung 1851 in London errichtete, führte alle einschlägigen Erfahrungen zu einem für seine Zeit vollkommenen System zusammen und bildete nicht nur den Urtypus eines industriell hergestellten Gebäudes, sondern auch das Vorbild für zahllose glasgedeckte Hallen in ganz Europa. Am Ende des Jahrhunderts existierte eine perfekt ausgearbeitete, weit gefächerte Technik, die von der einfachen Holzspresse bis zu raffiniert ausgeklügelten, schwitzwasserführenden Metallsprossen reichte. Gedichtet wurde mit Kitt und Filz, die mit federartig wirkenden Pressleisten in verschiedensten Formen auf ebene oder gekrümmte Gläser gedrückt wurden.

### Asphalt, Teer, Bitumen

Im 19. Jahrhundert wurden auch die schon in Babylon verwendeten Dichtungsmaterialien Asphalt und Pech wieder entdeckt, die im Schiffsbau ebenso wie im Hochbau verwendet wurden. In der Fachliteratur aus der Jahrhundertwende wird behauptet, dass in Schweden und Finnland schon um das Jahr 1800 Teerpappen verwendet wurden.<sup>3</sup> Dieses Wissen wurde 1826 von Wilhelm August Lampadius, dem Erfinder der Steinkohlenvergasung, zum ersten Mal in Deutschland beschrieben. Die ältesten Teerpappendächer existieren seit



1.9

1830 an der Ostseeküste, 1860 produzierten in Deutschland bereits 28 Fabriken Teerdachpappen.

Die von Adolf Loos in exaltierter Euphorie als die genialste Erfindung »seit Jahrtausenden« bezeichneten Holzzementdächer des schlesischen Böttchermeisters Samuel Häusler aus dem Jahre 1839 bestanden aus mehreren Lagen Packpapier, die mit teurem Pech und Teer an Ort und Stelle verklebt und anschließend mit Sand und Kies überschüttet wurden.<sup>4</sup> Im Grunde dienten die Papiere zur »Armierung« der Teer-Pappenschicht. Sie wurden sehr bald durch Bitumenpappen ersetzt. Die Patente hierzu kamen 1896 aus Amerika, wo große Mengen Bitumen bei der Erdöldestillation anfielen.

Diese Dachdeckung erlaubte sehr geringe Dachneigungen und kam mit einfach herstellbaren Anschlüssen aus, sodass sie auch durch rasch angelernte Kräfte ausführbar war. Das geringe Gewicht und der erschwingliche Preis förderten ihre Ausbreitung. Schließlich schufen die Teer- und Bitumendachbahnen auch die Voraussetzung für die Ausführung von Flachdächern, die sehr bald eine *conditio sine qua non* für die moderne Architektur werden sollten.

### Neue Kriterien

Der Rückblick auf das 19. Jahrhundert zeigt, dass alle wesentlichen Erfindungen in zwei relativ kurzen Schüben zwischen 1825 und 1860 sowie 1880 bis 1900 stattfanden. Etwas pauschalierend kann gesagt werden, dass sich unsere heutige Technik des geneigten Daches weitgehend auf diese Erfindungen stützt und nur in der Automatisierung der Produktionsvorgänge weiter fortgeschritten ist. Zu den Ursprüngen und Motiven der Innovation sei Folgendes angemerkt:

1.6 Die Innenstadt von Salzburg hat flach geneigte Dächer mit Metalldeckungen.

1.7 Vielfalt der Sprossen an Glasdächern im 19. Jahrhundert. Aus: Obderbecke, a.a.O.

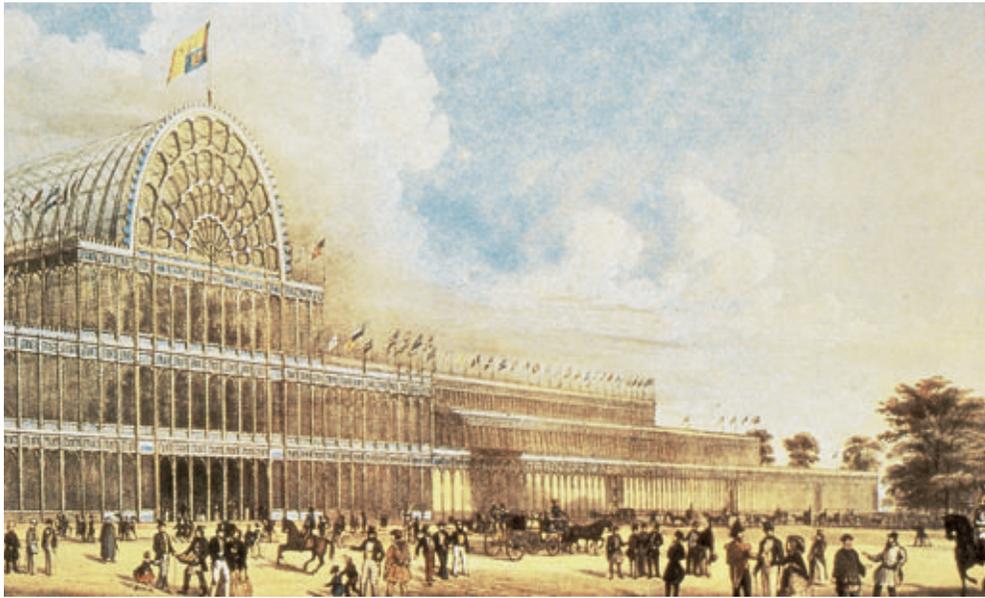
1.8 Kew Gardens, Palmenhaus, London 1844–1848, Richard Turner und Demicus Burton

1.9 Eine der ersten Dachdeckungen in Aluminium: San Gioacchino, Rom, 1897

<sup>2</sup> Der Gärtner John Claudius Loudon entwickelte die ersten »Fertig-Glashäuser«, ließ sie durch die Firma W. und D. Beiley herstellen und verkaufte sie mit Hilfe des bei seinem Haus in Bayswater hergestellten Prototyps im Londoner Bereich. Eines der elegantesten entstand in Langport, Somerset im Jahr 1817. In: John Hix, *The Glass House*, London 1981, S. 19ff.

<sup>3</sup> A. Obderbecke, *Der Dachdecker und der Bauklemmer*, Leipzig 1901

<sup>4</sup> Adolf Loos, *Trotzdem*, Neudruck, Wien 1982, S. 200ff.



1.10

**Dachtechnik als »Abfallprodukt« der technischen Entwicklung**

Zum größten Teil wurde die Entwicklung der Dachtechnik von der Entwicklung in der Gesamtindustrie bestimmt. Nur im Bereich der Dachziegel, der Dachsteine, des Asbestzements und der Dachpappen wurden in größerem Umfang neue Lösungen auf den Bau bzw. das Dach bezogen erarbeitet. In den Sektoren der Metalldeckung, des Glases und des Zements profitiert das Dach eindeutig von den technischen Fortschritten in der Metallurgie, der Glasindustrie und von der Erfindung des »künstlichen Zements«. Doch auch die Neuerungen in anderen Gebieten wurden rasch erkannt und auf das Dach übertragen.

**Menschliche Arbeitskraft**

Der Wert menschlicher Arbeitskraft gewinnt zunehmend an Bedeutung. Verkürzungen der Tagesarbeitszeit werden in England und später auch in Deutschland gefordert und eingeführt. So sind die Anstrengungen zum ersten Mal darauf ausgerichtet, neben dem Material auch Arbeitszeit einzusparen.

**Mengenprobleme**

Die Einsparung an Produktionszeit hatte zudem das Ziel, die enormen Baumassen zu bewältigen, die durch die rasch wachsende Industrie und den enormen Bevölkerungszuwachs in den Ballungsgebieten nötig wurden.

**Bauzeit**

Man darf annehmen, dass Bauherren schon immer ungeduldig waren und die Bauzeit mit finanziellem Aufwand gleichsetzten. In der vorwärts drängenden Gründerzeit wurde jedoch die Spanne, die vom Aushub bis zum Bezug erforderlich war, zu einer Qualität an sich erhoben. Der Ausspruch »Remember that time is money« von Benjamin Franklin aus »Advice to a young Tradesman, written anno 1749« wurde zu einer treibenden Kraft.<sup>5</sup>



1.10 Kristallpalast, London 1851, Joseph Paxton, in einer zeitgenössischen kolorierten Zeichnung

1.11 Arbeiter mit Kreuzhacke und Schaufel, Radierung. Aus Tom F. Peters, Time is Money. Die Entwicklung des modernen Bauwesens, Stuttgart 1981

<sup>5</sup> Tom F. Peters, Time is Money. Die Entwicklung des modernen Bauwesens, Stuttgart 1981

1.11

# Weiterentwicklung im 20. Jahrhundert

## Veränderungen im 20. Jahrhundert

Das 20. Jahrhundert hat der Menschheit großartige und gleichzeitig ungeheuerliche Fortschritte in der Naturwissenschaft gebracht. Die Entdeckung der Quantenmechanik hat das naturwissenschaftliche Denken revolutioniert und das Prinzip der Kausalität in Frage gestellt. Chemie und Biochemie geben den Menschen nahezu schöpferische Werkzeuge in die Hand. Die Mikroelektronik ist dabei, unseren Alltag und unsere Arbeit völlig umzuwandeln und sowohl das Gedächtnis als auch das steuernde Eingreifen und Vorausdenken zu ersetzen. In noch viel stärkerem Maße, als dies nach der Anwendung der Kernkraft geschehen ist, stellt sich in der Geschichte der Wissenschaft die Frage, wie die Suche nach den Grundlagen unseres Lebens unter Berücksichtigung ethischer Grenzen weitergeführt werden kann.

Die Voraussetzungen für die menschliche Arbeit haben sich grundlegend geändert. Das zunehmende Bewusstsein von Gesundheit und Lebensqualität brachte eine Verringerung der Jahresarbeitszeit mit sich, die die menschliche Arbeitskraft zu einem kostbaren Gut werden ließ.

Die Fortschritte auf dem Gebiet der Mechanisierung haben in fast allen Bereichen die Gebrauchsgüter des täglichen Lebens für einen großen Teil unserer Gesellschaft bezahlbar gemacht. Die Einführung der Mikroelektronik in die Steuerung von Produktionsvorgängen hat bei fast gleich bleibender Qualität eine größere Geschwindigkeit ermöglicht.

Mit der Veröffentlichung der Arbeit des Club of Rome im Jahr 1972 wurden erstmals die globalen Zusammenhänge von Ökologie und Ökonomie aufgezeigt. Sie hat in den Industriestaaten eine Diskussion über den sinnvollen Einsatz von Energie eingeleitet, die bei verantwortlichen Planern zu einem Umdenken geführt hat.

Durch die immer besser werdende Kommunikationstechnik und die zur Verfügung stehenden Kommunikationsmittel werden Produktion und Handel der Länder und Staaten weltweit enger verknüpft. Die daraus entstandene Globalisierung führt in allen Bereichen zu einem Wandel in der Organisation von Ressourcen und in der Herstellung von Gütern aller Art.

## Ökonomie

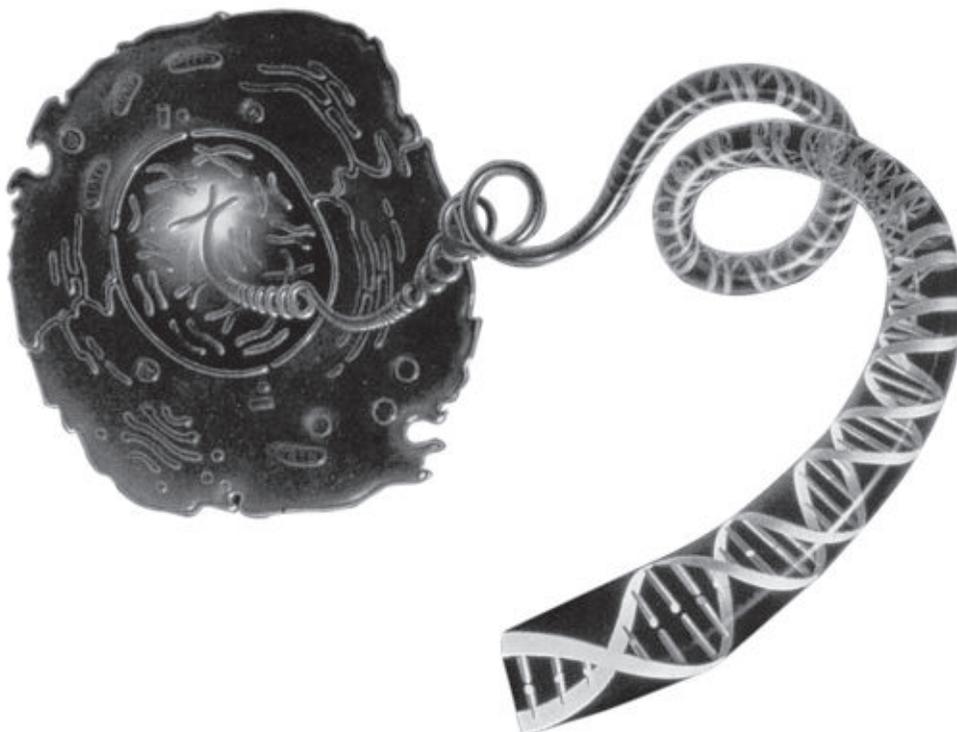
Viele Menschen in Industrienationen erleben heute einen Wohlstand, wie er früher nur wenigen Privilegierten vorbehalten war. Entscheidend hierfür ist die Etablierung des Wettbewerbs als zentrales (Markt-) Prinzip unserer Gesellschaft. Ökonomische Zusammenhänge haben auf diese Weise einen unmittelbaren Einfluss auf das Erscheinungsbild unserer Städte und damit auch auf unsere Dachlandschaft.

## Ökonomie – Architektur

Wirtschaftliche Blüte- und Mangelzeiten wirken sich auf das Bauen direkter aus als auf andere zivilisatorische Leistungen. So führte zum Beispiel die bessere Ausnutzung des Baugrundes in New York und Chicago zur Entwicklung des Wolkenkratzers.

Demgegenüber führten wirtschaftliche Notlagen zu rationelleren und sparsameren Bauweisen und damit oftmals auch zum Verlust vieler traditioneller handwerklicher Techniken. Im Bereich des Daches betrifft dies zunächst die natürlichen Materialien, deren Gewinnung, Transport oder Unterhalt zu kostspielig waren. So gingen unserer Dachlandschaft zahllose Reet- und Strohdächer, viele Holzschindel- und Steinplattendächer verloren.

Derartigen Veränderungen stehen aber oft Bestrebungen entgegen, die alten Techniken zu bewahren und somit der Zerstörung beispielhafter Bauwerke entgegenzuwirken. Der verständliche Wunsch des Menschen, ein vertrautes Erscheinungsbild zu bewahren, bedeutet für den Gestalter oftmals eine Gratwanderung: Ursprünglich aus der Konstruktion resultierende Formen werden zum Ornament: zu »Narben« überholter Produktionsweisen (Adorno).<sup>6</sup> Dies trifft auch dann zu, wenn natürliche Materialien, die durch manuelle Bearbeitung geprägt sind, z.B. Schiefer oder Reet, durch serienmäßig hergestellte Formen imitiert werden.



1.12 DNA-Zelle mit der für sie typischen Struktur einer verdrehten Strickleiter. Aus: Faszination der Technik, Augsburg 1996

<sup>6</sup> Theodor W. Adorno, Ohne Leitbild, Parva Aesthetica, Frankfurt/Main 1967, S.107

### Kostenfaktoren der Baustoffe

Nach der Erfüllung baukonstruktiver Anforderungen und neben der Berücksichtigung der Lebensdauer wird der Preis auch künftig den Ausschlag bei der Wahl des Baumaterials geben. Durch Umweltauflagen und die sie begleitenden Steuern gehen jedoch zunehmend auch »ökologische« Faktoren wie Primärenergieeinsatz, Emissionen bei der Herstellung und weitere umweltrelevante Einflüsse in die Preisbildung ein. Wo nicht kurzfristige Kosteneffizienz an oberster Stelle steht, bestimmt häufig schon heute die Umweltverträglichkeit die Baustoffwahl. Im Lebenszyklus eines Bauwerks summieren sich Anschaffungs-, Einbau-, Unterhalts- und Entsorgungskosten.

### Materialkosten

In die Materialkosten gehen die Rohstoffgewinnung, die Herstellung sowie Transport- und Lagerhaltungskosten ein. Bei der Rohstoffgewinnung spielen die Häufigkeit des Vorkommens, Aufwand bzw. Rationalisierung (z. B. Untertagebau deutschen Schiefers) und evtl. Renaturierungsmaßnahmen eine Rolle. Der Aufwand bei der Materialherstellung richtet sich nach den Umformungsprozessen, die den Rohstoff zum Werkstoff machen und nach den gewählten Produktionsweisen. Weitgehende Automatisierung ist ebenso zu erwarten wie Energiesparmaßnahmen und Formen, die den

Rohstoffverbrauch minimieren. Weiterentwicklungen bei der Aufbereitung und bei der Formung der Bauteile können die Struktur und Farbe unserer Dächer verändern, während die Automatisierungsprozesse für das Überleben von Deckungsarten und Deckungsmethoden und damit für die erwünschte Vielfalt wichtig sind. Aus energie- und verkehrspolitischen Gründen wird der Frachtkostenanteil künftig eine größere Rolle spielen.

### Montage

Dass der Zeitaufwand für die Montage auf lange Sicht ein wichtiger Bestandteil der Dachkosten sein wird, gilt als sicher. Anders als bei Rohstoffgewinnung und Materialherstellung stoßen hier Mechanisierung und Automatisierung schnell an konstruktionsbedingte Grenzen. Wesentlichen Einfluss hat die Größe einer Deckungseinheit, die in einem fast linearen Verhältnis zum Zeitaufwand bei der Montage steht.

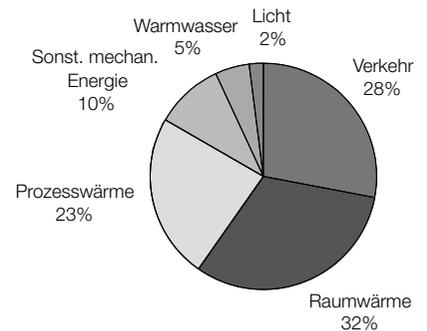
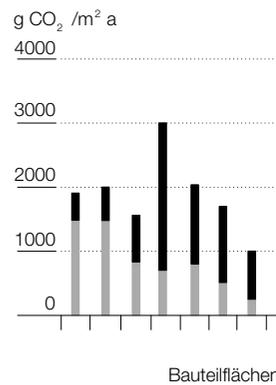
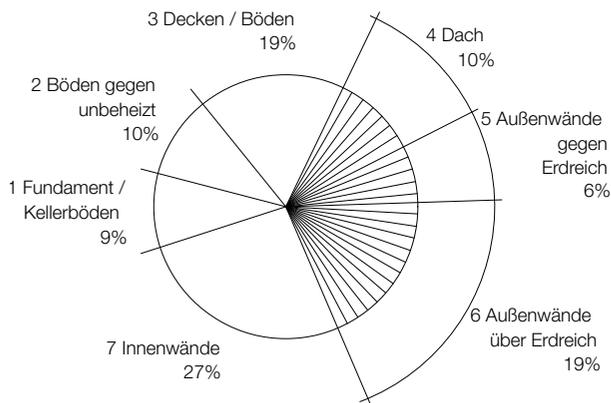
Wie in anderen Branchen gibt es im Bauwesen die Tendenz, die Produktion in geschlossene Räume zu verlegen und auf der Baustelle nur noch die Montage der vorgefertigten Teile durchzuführen. Die wesentlichen Vorteile sind größere Terminalsicherheit im Bauablauf, effizientere Rationalisierungsmöglichkeiten, eine höhere Produkt- und Arbeitsplatzqualität und schließlich die Unabhängigkeit von der Witterung. Um preislich konkurrieren zu können,

müssen integrierte Bauteile, die mehrere Funktionen in sich vereinen, weiterentwickelt werden. Je größer die vorgefertigten Teile sind, desto mehr Sorgfalt kann auf die Ausbildung von Verbindungen und Anschlüssen verwendet werden. Auch die Anzahl der Schichten und damit die nacheinander ablaufenden Arbeitsgänge erfordern eine eingehende Überprüfung. Deshalb ist inzwischen eine Tendenz zu einfacheren Dachaufbauten mit weniger aber leistungsfähigeren Schichten und einem entsprechend reduzierten Montageaufwand zu beobachten.

### Betriebsphase/Lebensdauer

Der einfache Gebäudeunterhalt früherer Zeiten hat sich durch die EDV und den Druck wirtschaftlicher Rahmenbedingungen zur aktiven Bewirtschaftung der Liegenschaften im unternehmerischen Sinne gewandelt (»Facility Management«). Hohe Lohnkosten für Pflege, Wartung und Reparatur sowie steigende Energiekosten für die Raumkonditionierung werden somit zu wichtigen Entscheidungskriterien für das Bauen und damit für die Dachkonstruktion. Eine entscheidende Voraussetzung für niedrige Unterhaltskosten ist neben der Dauerhaftigkeit der verwendeten Materialien die Reparaturfreundlichkeit der Konstruktion. Hier bieten alle Schuppen- und Plattendeckungen die besten Voraussetzungen, beschädigte Teile in beliebiger Menge auszutauschen.





1.14

1.15

Noch vor kurzem bedeutete die Entscheidung, energiesparend zu bauen fast zwangsläufig die Minimierung des »Energielecks« Fenster. Die Forderungen der Nutzer nach natürlicher Belichtung, Information und Kommunikation mit der Außenwelt haben inzwischen zur Entwicklung hochwertiger Verglasungsarten geführt. Die Mehrkosten bewegen sich gemessen am Nutzen und im Verhältnis zu den Gesamtbaukosten in einem vertretbaren Rahmen. Auch im Zeitalter der Wegwerfgüter gehören Gebäude zu den langlebigen Kapitalanlagen. Für Grundstücke und Gebäude stellt der Finanzmarkt nach wie vor Hypotheken mit bis zu 50 Jahren Laufzeit zur Verfügung. Den Objekten wird dieses Vertrauen entgegengebracht, weil sie ein entsprechendes Alter erreichen. Da das Dach eine wesentliche Voraussetzung für die Lebensdauer eines Gebäudes darstellt, müssen die stark beanspruchten Teile aus besonders dauerhaftem Material bestehen. Die heute verfügbaren Dachmaterialien sind weitgehend resistent gegen Umwelteinflüsse, dennoch erreichen sie oft noch nicht die Lebensdauer des gesamten Gebäudes. Deshalb ist es sinnvoll, die Widerstandsfähigkeit dieser Materialien zu steigern. Bei Metallen kann dies durch hochwertige Legierungen geschehen oder durch Beschichtungen aus beständigeren Metallen oder Kunststoffen.

1.13 Vrin in Graubünden: Alte, natürliche Dachmaterialien werden aus ökonomischen Zwängen durch billigere ersetzt.

1.14 Die beiden Grafiken zeigen das Optimierungspotenzial in Bezug auf den Treibhauseffekt bei einem typischen Wohngebäude. Besonders groß ist das Potenzial bei den Außenwänden und den Dachkonstruktionen, die zusammen rund 35% der gesamten Bauteilflächen eines Gebäudes ausmachen. Aus: Klaus Daniels, a.a.O.

1.15 Anteil der Gebäudeheizung am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland. Aus: Stephan Oberländer, Judith Huber, Gerhard Müller, a.a.O.

<sup>7</sup> Ernst Ulrich von Weizsäcker, Amory B. Lovins, L. Hunter Lovins, Faktor Vier. Doppelter Wohlstand – halbiertes Naturverbrauch, München 1995

<sup>8</sup> Dennis Meadows, Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit, Stuttgart 1972

Keramisches Material ist allein durch den Brennvorgang relativ widerstandsfähig. Eine Verbesserung kann durch Glasuren oder durch Wasser und Schmutz abweisende Oberflächen (»Lotus-Effekt«) erreicht werden. Beton und Faserzement, die sich wegen ihrer Unempfindlichkeit gegen Frost und Hitze als Baumaterial anbieten, werden durch Beschichtungen ausreichend beständig gegen Feuchte und Immissionen.

Unter den Natursteinen empfiehlt sich Schiefer wegen seiner hohen Resistenz. Die Rohstoff- und Bearbeitungskosten stehen einer weiten Verbreitung allerdings im Weg.

#### Rückbau/Entsorgung

Die Auseinandersetzung mit Gesundheitsgefahren (die z. B. vom vormaligen Allround-Baustoff Asbest, von chemischem Holzschutz oder den Fasern von Dämmstoffen ausgehen) und das gestiegene Umweltbewusstsein haben dazu geführt, dass auch der für Rückbau und Entsorgung zu erwartende Aufwand ins Kalkül gezogen wird: Entscheidungskriterien sind die Wiederverwendbarkeit ganzer Bauteile, die Recyclingfähigkeit der eingesetzten Stoffe (Metalle) bzw. ihre problemlose Entsorgung (Massivbauteile). Unter diesem Aspekt sind zerlegbare Konstruktionen anzustreben.

#### Ökonomie – Ökologie

Die stetig steigende Weltbevölkerung, der zunehmende Wohlstand mit entsprechendem Konsumverhalten, auch in zahlreichen »Schwellenländern«, und fehlende Anreize, mit den begrenzten natürlichen Ressourcen sorgsam umzugehen, verwandeln quantitatives Wachstum von einer Quelle des Wohlstands zu einem Risiko für unsere Zivilisation.<sup>7</sup> Die Evolution in der Natur, so lehrt es die Forschung, wird vom Grundprinzip des minimalen Aufwands bei optimalem Ergebnis beherrscht. Die Fixierung auf betriebswirtschaftlichen »Wettbewerb« entpuppt sich jedoch als gefährlich einseitige Interpretation dieses »ökonomischen« Prinzips. Nur der sorgsame

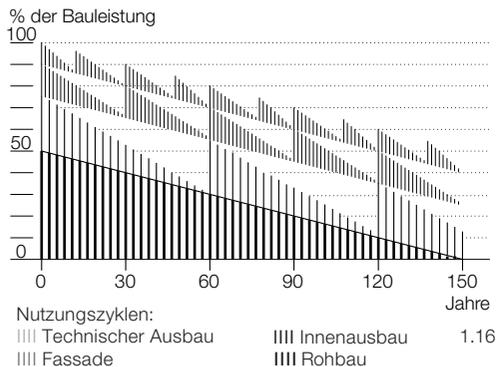
Umgang mit den Rohstoffen wird auf lange Sicht das Überleben der Menschheit sichern. Die Ökologie muss über den Faktor Ökonomie in unser System integriert werden. Ob wir in der Lage sein werden, die sozialen und ökologischen »Kosten« für unseren materiellen Wohlstand mit einzukalkulieren, wird zur Überlebensfrage unserer Zivilisation.

Die Sensibilisierung der Menschen für Umweltthemen und der steigende politische Druck haben bewirkt, dass Ökologie und Nachhaltigkeit zu wichtigen ökonomischen Faktoren avanciert sind. Angesichts der im Bausektor eingesetzten Stoff- und Energiemengen ist es unbedingt nötig, ökologische Anforderungen an das Bauen zu stellen.

#### Ökologie

##### Ökologie als neue Moral

Die Arbeitsergebnisse des Club of Rome haben eine Wende in der Beurteilung der Umweltprobleme gebracht.<sup>8</sup> Sie wurde durch die Ölkrise von 1974 beschleunigt, die sichtbar machte, dass die Energiereserven auch für das reiche Europa nicht unbegrenzt verfügbar sind. Wenn auch die Auswirkungen noch zu keinen spürbaren Katastrophen geführt haben, steht fest, dass die wachsende Umweltverschmutzung eine noch nie da gewesene Bedrohung der Menschheit darstellt. Der zunehmende Kohlendioxidgehalt in der Luft, das Waldsterben, die Meeresverschmutzung und das wachsende Ozonloch, bedrohliche Unfallrisiken und ungelöste Entsorgungsprobleme der Atomenergie sowie weitere ökologisch relevante Bereiche sind Themen öffentlicher Diskussionen. Das gesellschaftliche Bewusstsein hierfür hat sich nicht zuletzt auch durch eine veränderte Sichtweise auf unseren Planeten als »Raumschiff Erde« (Buckminster Fuller) entwickelt. Schließlich haben sich durch ökologische Fragestellungen eine neue Moral und damit Veränderungen in der politischen Landschaft Deutschlands entwickelt.



**Klima**

1997 fand in Kioto die UN-Klimakonferenz statt, die erstmalig die Emissionen von Treibhausgasen in die Erdatmosphäre auf globaler Ebene mengenmäßig und zeitlich beschränken sollte. Dies kann in erster Linie durch Energie-sparmaßnahmen erreicht werden. Dabei werden neben Kosten- und Ressourcenschonung auch die schädlichen Emissionen minimiert, die den Treibhauseffekt verursachen. Auf nationaler Ebene löst nun eine neue Energieeinsparverordnung die bisherige Wärmeschutzverordnung ab. Ihr Ziel ist, den Gesamtenergieverbrauch eines Gebäudes mit all seinen Folgen für Umwelt und Klima zu minimieren. Schließlich macht der Gebäudebetrieb immer noch 50 % der insgesamt verbrauchten Energie aus.<sup>9</sup>

Der Klimaschutz fordert aber nicht nur die saubere Gewinnung von Energie und ihre sparsame Verwendung im System Haus, sondern auch die kritische Betrachtung der Baustoffe. In diesem Zusammenhang muss die Schadstoffemission der am Gebäude verwendeten Materialien in allen Lebensphasen betrachtet werden, also bei der Verarbeitung, der Nutzung und der Entsorgung. Deshalb werden heute die Baustoffe nach ihrem Einfluss auf den Treibhauseffekt (CO<sub>2</sub>), auf die Versäuerung (SO<sub>2</sub>) sowie auf ihren Anteil an »grauer« Energie (Primärenergiegehalt) beur-

teilt, wie dies im Schweizer Baustoff-Katalog SIA D 0123 geschieht.<sup>10</sup> Nach Klaus Daniels ist das Optimierungspotenzial zur Verringerung des Treibhauseffektes beim Dach im Vergleich zu allen anderen Gebäudeteilen am größten.<sup>11</sup> Jedes Bauwerk bedeutet einen Verlust an Vegetationsfläche und damit eine Veränderung des Kleinklimas. Diese Tatsache führt zu der Frage, ob die Dachfläche einen aktiven Beitrag zur Verbesserung des Mikroklimas im Außenbereich leisten kann. Eine Möglichkeit hierfür ist die Begrünung der Dachfläche, die das Klima der Umgebung verbessert und außerdem die Speichermassen des Gebäudes erhöht.

- 1.16 Bei zusammengesetzten Konstruktionen führt das schwächste Glied (häufig die Fügungen) zu periodisch notwendigen Erneuerungen. Neben ökologischen Problemen entstehen dadurch auch Materialkosten, welche den Bau, über die gesamte Nutzungsdauer gesehen, verteuern. Die auf die Rationalisierung der Arbeitsprozesse ausgerichtete Bauweise ist damit auch wirtschaftlich nur kurzfristig günstiger. Aus: Klaus Daniels, a.a.O.
- 1.17 Sommerhaus in Dyngby (Dänemark) 2001, Claus Hermansen
- 1.18 Expo Dome, Pavillon der USA bei der Weltausstellung 1967 in Montreal, Buckminster Fuller

Die einfachste Weise einer Begrünung ist die Berankung mithilfe von Spalieren oder Gerüsten. Die Bepflanzung einer rutschfest aufgetragenen Erdschicht erfordert dagegen einen besonderen Konstruktionsaufbau. Diese Methode hat jedoch eine lange Tradition in Skandinavien und in den nördlichen Regionen Amerikas.

**Energie**

Noch ist in Deutschland die aus dem Ausland importierte Energie konkurrenzlos billig, aber es ist nur eine Frage der Zeit, bis die alternative Energiegewinnung rentabel wird. Das Dach kann hierzu einen aktiven Beitrag leisten. Denn gerade das Dach als oberer Gebäu-

<sup>9</sup> Stephan Oberländer, Judith Huber, Gerhard Müller, Das Niedrigenergiehaus – ein Handbuch mit Planungsregeln zum Passivhaus, Stuttgart 1997

<sup>10</sup> SIA Dokumentation D 0123 Hochbaukonstruktion nach ökologischen Gesichtspunkten, SIA, Zürich 1995

<sup>11</sup> Klaus Daniels, Low-Tech, Light-Tech, High-Tech, Boston/Berlin 1998, Seite 182

<sup>12</sup> Frederic Vester, Neuland des Denkens. Vom technologischen zum kybernetischen Zeitalter, München 1985

<sup>13</sup> Klaus Daniels, a.a.O.

deabschluss ist durch seine exponierte Lage für die Nutzung von Sonnen- und Windenergie besonders geeignet, auch wenn die natürlichen Voraussetzungen in unseren Breitengraden nicht immer optimal sind.

Der gestalterische Umgang mit den zur Energiegewinnung notwendigen Technischelementen und ihre Integration in das Dach in einer einheitlichen Sprache wird eine wichtige Aufgabe sein. Es liegt nahe, diese Einheitlichkeit in der Auswahl von Materialien zu suchen, die der Struktur und dem Material der neuen Dachteile verwandt sind.

Die einseitige Fixierung auf das Marktregulativ Wettbewerb führt derzeit dazu, dass zu Lasten der Ressourcen gewirtschaftet wird. Ökologische Entscheidungen gelten heute noch als unrentabel. Die Bemühungen um alternative Energiegewinnung haben daher meist nur über moralische Gesichtspunkte und gesetzliche Hilfen eine Chance. Darüber hinaus besteht die Verantwortung, den Energieaufwand und die Umweltbelastungen, die sich aus der Herstellung und Entsorgung bei der Baustoffwahl ergeben, zu berücksichtigen.

**Rückbau, Wiederverwendung, Recycling**

Eine der acht Grundregeln der Biokybernetik, die Frederic Vester in seinem Hauptwerk »Neuland des Denkens« aufstellt, ist das Prinzip des Recyclings.<sup>12</sup>

Dieser Begriff, der das Gesetz des Stoffkreislaufes ausdrückt, ist auch für das Bauwesen von großer Bedeutung. Die größte Rolle für das Gebäuderecycling spielt dabei, dass Baustoffe problemlos aus einer Gesamtkonstruktion herausgelöst werden können, ohne dass beim Trennvorgang schädliche Stoffe freigesetzt werden. Der Aufbau einer baulichen Gesamtkonstruktion sollte deshalb so konzipiert sein, dass dieser schadlose Rückbau und dadurch das Trennen der einzelnen Schichten möglich ist. Erst dann kann ein Baustoff wieder verwendet werden und damit ökologisch günstig sein. Die in der Planung zu berücksichtigenden Kriterien für Baustoffrecycling sind Materialhomogenität, die Trennbarkeit unterschiedlicher Stoffe, eine geringe Materialvielfalt, die Baustoffkennzeichnung und die technische Voraussetzung zum sinnvollen Rückbau. Diese Kriterien für Baustoffrecycling werden in den bereits erwähnten Baustoffkatalogen angegeben.



1.17

Die Materialnot nach dem Zweiten Weltkrieg zwang zur Wiederverwendung von Baumaterialien in großem Umfang. Dabei wurden zwei Wege beschritten: Zum einen wurden kleine Bauteile aus dem Gefüge gelöst und in geeigneter Form wieder verwendet. Dies galt auch für Dach- und Mauerziegel. Es wäre eine eigene Untersuchung wert, den Zusammenhang zwischen dieser Materialbeschränkung und dem architektonischen Ausdruck, der aus dieser Haltung entstand, nachzugehen.

Die zweite Methode der Wiederverwendung von Baustoffen war die etwas aufwändigere Zerkleinerung und Neuformung. Man würde dies heute als Downcycling bezeichnen. Wie im alten Rom Ziegel und Bauschutt im »opus caementitium« verwertet wurden, formte man beispielsweise Ziegelsplittsteine, die als Sichtmauerwerk sogar einen eigenständigen Materialcharakter entwickelten.

Diese beiden Methoden gelten im Prinzip noch heute.

Eine Schuppendeckung schafft für die Wiederverwendbarkeit gute Voraussetzungen. Die Montage der kleinteiligen Elemente ist jedoch teuer. Gebäude, die aus wenigen und einfachen Materialien bestehen, haben allerdings eine höhere Lebenserwartung. Richtig gerechnet kann es sich lohnen, in mehr Arbeit statt in immer raffinierteres Material zu investieren. Dachsysteme, in denen z. B. Bestandteile der Energiegewinnung integriert sind, eignen sich wegen ihrer Materialvielfalt häufig nicht für eine problemlose Umwandlung. Die Forderungen der Energiegewinnung mit denen der Wiederverwendbarkeit und der ökonomischen Herstellung in Einklang zu bringen sind Aufgaben, denen wir uns stellen müssen.

#### Flexibilität, Veränderung

Wenn ein System lebensfähig bleiben will, muss es die Möglichkeit zur Veränderung haben, um auf die wechselnden Anforderungen der Außenwelt zu reagieren.

Diese Anpassung kann in der Planung allein nicht gelöst werden. Das haben in den 70er-Jahren die Forderungen nach maximaler Multifunktionalität gezeigt. Die mit großem Aufwand errichteten multifunktionalen Gebäudeeinheiten waren für keine Nutzung optimal geeignet.

Die Veränderbarkeit von Gebäuden, die in unserer schnelllebigen Zeit eine unabdingbare Forderung darstellt, muss also durch Umbau oder Rückbau möglich sein. Hinzu kommt die unterschiedliche Lebensdauer zusammengesetzter Bauteile, deren schwächstes Glied (häufig die Fügungen) zu periodisch notwendigen Erneuerungen führt. Eine nur auf die Rationalisierung der Arbeitsprozesse ausgerichtete Bauweise ist damit wirtschaftlich nur kurzfristig günstiger.<sup>13</sup>

Das geeignete Dach mit seinem vielschichtigen Aufbau, seinen auswechselbaren und leicht trennbaren Komponenten ist für Veränderungen gut geeignet. Der durch neue Umwelt-

situationen notwendige Rückbau kann weitgehend zerstörungsfrei vorgenommen werden. Das Konstruieren mit Platten, Tafeln und Schuppen ist eine derart erfolgreiche Methode zur Sicherstellung der Veränderbarkeit, dass sie auch auf andere Bereiche des Bauens übertragen werden könnte.

#### Bauwissenschaften im 20. Jahrhundert

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts basierte die Baustatik auf der Elastizitätslehre. Für die Untersuchung häufig wiederkehrender, statisch unbestimmter Tragwerke wurden dem Ingenieur Sammlungen »gebrauchsfertiger« Formeln und Tafeln zur Verfügung gestellt. Die komplizierten Beziehungen zwischen mehreren veränderlichen Größen wurden mithilfe von Fluchttafeln und Nomogrammen dargestellt. Die grafische Statik erfreute sich wegen ihrer Anschaulichkeit und einfachen Anwendung großer Beliebtheit.

Zur gleichen Zeit wurden die Eigenschaften der Baustoffe, insbesondere des Eisenbetons, intensiv erforscht und die dazugehörigen Theorien vereinheitlicht, verbessert und neu entwickelt. Emil Mörsch legte 1901 die Grundlagen für die moderne Eisenbetonbemessung. Robert Maillart beschäftigte sich mit der Theorie der punktförmig gestützten Platten. Walter Bauersfeld, Franz Dischinger und Ulrich Finsterwalder formulierten die Membrantheorie und passten sie an die Bedürfnisse des Eisenbetons an.

Eugène Freyssinet stellte 1928 der Fachwelt den gebrauchstauglichen Spannbeton vor, dessen Entwicklung vor allem von Finsterwalder, Dischinger und Leonhardt fortgesetzt wurde. In den 30er-Jahren erarbeitete im Wesentlichen Bleich das auf der Plastizitätstheorie basierende Traglastverfahren, dessen Vorteile im realitätsnahen Modell des Tragmechanismus liegen.

Auf dem Gebiet der Materialtechnologie wurde der Stahlguss wieder entdeckt und der Einsatz von Seilen weiterentwickelt. Die Betonanwendung wurde durch Faserbeton, Leichtbeton und hochfesten sowie selbstverdichtenden Beton bereichert. Die Kunststoffe sind inzwischen ein nicht wegzudenkender Bestandteil heutiger Bautechnik. Insbesondere in den letzten Jahren wurde dem Verbund von Baustoffen mit dem Ziel einer optimalen Nutzung ihrer Einzeleigenschaften oder zur Verbesserung ihres Gesamtverhaltens mehr Aufmerksamkeit gewidmet.

Der von Konrad Zuse 1941 konzipierte Computer begann ab Anfang der 60er-Jahre die grafische Statik zu verdrängen und machte die Lösung der zum Teil seit langem bekannten numerischen Rechenverfahren möglich. Dank der Finite-Elemente-Methode (FEM), die hauptsächlich von Argyris, Kelsey, Turner und Clough erarbeitet wurde, trat das Problem der mehrfachen statischen Unbestimmtheit beim Tragwerksentwurf in den Hintergrund. Damit begann eine rasante und bis heute sich beschleunigende Entwicklung, deren Früchte Architekten und Ingenieure in Form von CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing), Datenbanken, Internet, FEM, Strukturoptimierungsprogrammen und anderen elektronischen Hilfen zur Verfügung stehen.

#### Bauindustrie und neue Baustoffe

##### Industrialisierung und Produktion

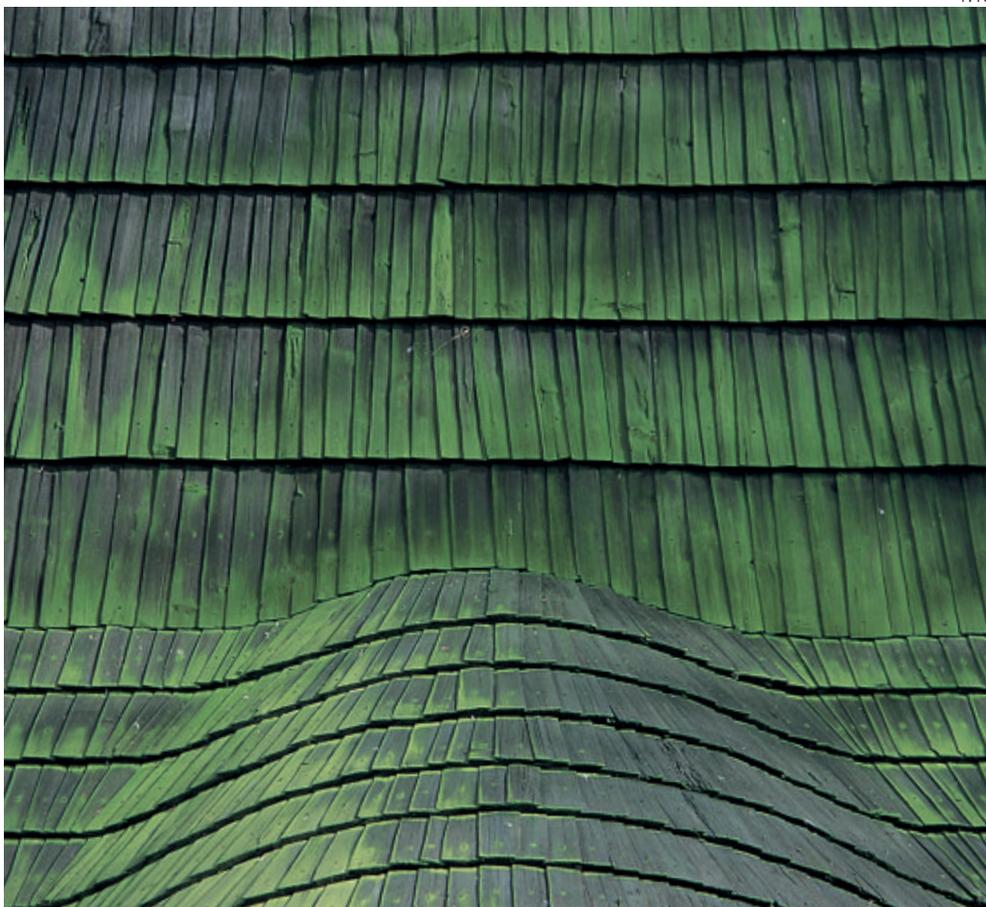
Die Industrialisierung hat in allen Bereichen von den Entwicklungen in Wissenschaft und Technik profitiert und die Güter unserer Zivilisation in großer Zahl verfügbar und bezahlbar gemacht.

Während die Automatisierung in manchen Sparten die menschliche Arbeitskraft zu ersetzen scheint, schreitet die Industrialisierung im





1.19



1.20

Bauwesen nur sehr langsam voran. Manchmal gibt es sogar Rückschritte. So hatte sich die Vorfertigung von Stahlbetonfertigteilen besonders im Hochschulbau der 70er-Jahre so weit entwickelt, dass ein spürbares Einsparpotenzial in Produktion und Verkauf zu erwarten war. Die für eine rentable Produktion notwendigen großen Produktionszahlen wurden jedoch wegen der Vielfalt konkurrierender Anbieter nicht erreicht. Im Schock der Ölkrise, der nachlassenden Bauwirtschaft und als Folge der Hinwendung zu konservativen Bauweisen sank die Nachfrage nach diesen Produkten, sodass sie heute nur mehr im Industriebau zu finden sind. Das gleiche Phänomen war bei den Bausystemen zu beobachten, die Anfang der 70er-Jahre vor allem im Schulbau noch zahlreich auf dem europäischen Markt waren.

Die großen Fortschritte in der Metallurgie wirkten sich im Wesentlichen auf die hoch beanspruchten Bauteile im Maschinenbau, Flugzeugbau und in der Raumfahrt aus. Für den Baubereich wurden hochfester Stahl und nicht rostender Stahl zur Verfügung gestellt. Eine interessante Erfindung war der Schutzschicht bildende Stahl (Corten), der durch eine rasch angesetzte Oxidationsschicht vor weiterer Korrosion geschützt war. Doch leider war das vollständige Abrocknen nach Bewitterung – eine unabdingbare Voraussetzung für den Selbstschutz – oft nicht gegeben.

Den größten Entwicklungsschub im Bauwesen brachte die Glastechnologie. Die Produktionsweise ermöglichte eine bessere Qualität zu günstigen Preisen, die Produktvielfalt erschließt heute viele neue Anwendungsbereiche.

Die Betonforschung hat mit neuen chemischen Zusatzstoffen eine höhere Qualität ermöglicht, die zu zusätzlichen Funktionen wie zum Beispiel Abdichtungen geführt hat. Die Entwicklung des selbst verdichtenden und des hochfesten Betons reiht dieses traditionell konservative Massivbaumaterial in die Gruppe der »High-Tech«-Baustoffe ein.

Eine große Produktvielfalt bieten die Kunststoffe, deren Entwicklung und Produktion in den 20er-Jahren begann. Die Kunststoffe sind aus dem Bauwesen nicht mehr wegzudenken und erfüllen auch beim Dach wichtige Aufgaben als Dämmung, Dichtung und Deckung.

### Deckungsformen und Materialien

#### Schuppen

Die älteste Methode der Dachdeckung mit kleinformigen Schuppen ist wegen vieler Vorteile auch heute noch aktuell. Die Anpassungsfähigkeit an Formen und Neigungen, die Reparaturfreundlichkeit, die Bewegungsmöglichkeit, vor allem aber die Struktur lebendiger Dachflächen wiegen den Herstellungs- und Verlegeaufwand auf. Verbesserte Materialaufbereitung und Herstellungsmethoden haben die Qualität dieser Deckungsart den technischen Anforderungen unserer Zeit angepasst.

- 1.19 Reetdach in Dänemark
- 1.20 Dacheindeckung aus Holzschindeln
- 1.21 Granitplatten auf dem Dach eines Schafstalls in Vals, Graubünden
- 1.22 Ebene Schuppen Ziegel: Baumwollspinnerei in Campione

#### Halme

Reet und Stroh werden vorwiegend dann eingesetzt, wenn Landschafts- und Denkmalpflege dies fordern. Mit dem Verschwinden der Feuchtgebiete aus unserer Landschaft gibt es immer weniger Reet, weshalb es heute importiert werden muss. Stroh dagegen steht in ausreichender Menge zur Verfügung. Der Forderung nach Energieeinsparung entsprechen diese Materialien, der hohe Aufwand bei der Deckung, beim Unterhalt und die mangelnde Feuersicherheit drängen sie jedoch in den Randbereich historischer Dächer.

#### Holzschindeln

Anfang der siebziger Jahre wurde der Anteil der Schindeldeckungen immer geringer. Im Zuge der allgemeinen Renaissance des Holzes als Baumaterial in den 70er-Jahren wurde jedoch das Holzschindeldach wieder entdeckt; unter anderem deswegen, weil die importierten Holzarten Western Red Cedar und Eastern White Cedar eine größere Witterungsbeständigkeit aufwiesen.

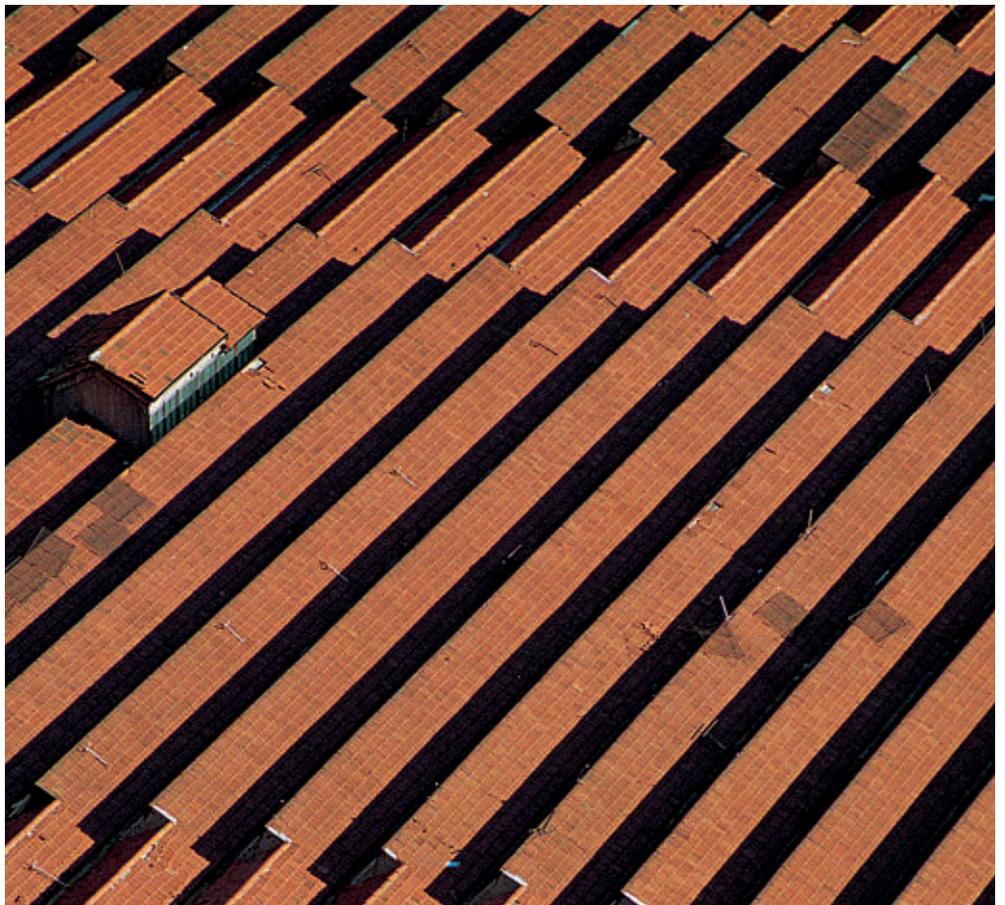
Obwohl Holz zu den regenerierbaren Rohstoffen zählt, ist es nicht immer ökologisch unbedenklich. Denn viele der heute verwendeten Hölzer stammen aus ökologisch sensiblen Waldgebieten und werden häufig mit hohem Energieaufwand über den Atlantik geschafft. Auch für Herstellung, Montage und Schutz vor Feuer, tierischen und biologischen Schädlingen ist ein erheblicher Energieaufwand nötig. Die Verfügbarkeit harzreichen Lärchenholzes sowie die Entwicklung ökologisch vertretbarer Holzschutzmittel für heimisches Holz wird die Verbreitung von Holzschindeln in Zukunft bestimmen.

#### Naturstein

Durch den Siegeszug des Flachdaches, schwindende Ressourcen und unrationelle Bearbeitungsmethoden kam die Schieferindustrie Mitte der 70er-Jahre fast zum Erliegen. Seither wurden neue Rohstoffquellen in Spanien und in anderen Ländern erschlossen und die Bearbeitung weiter rationalisiert. Diese Tatsache gepaart mit der allgemeinen Zuwendung zum geneigten Dach und die Forderungen der Denkmalpflege führten zu einer Renaissance des Schieferdaches. Die ausgefeilte Technik, die schon bei römischen Bauten im Rheinland verwendet wurde und in der Barockzeit ihren Höhepunkt hatte, gibt dem widerstandsfähigen Material mit seinem geringen Primärenergieaufwand in unserer aggressiven Luft trotz der zeitaufwändigen Montage gute Chancen.



1.21



1.22



1.23

### Ziegel

In allen Bereichen der Dachziegelherstellung konnten Verbesserungen erzielt werden. Sowohl die Rohstoffgewinnung als auch die Aufbereitung wurden mechanisiert und automatisiert. Der Tunnelofen löste ab 1950 den Ringofen ab und ermöglichte den für eine industrielle Fertigung notwendigen kontinuierlichen, vor allem aber exakt steuerbaren Brennvorgang. Der Herstellungsprozess wurde voll mechanisiert und weitgehend automatisch gesteuert. So konnte sich diese klassische Deckung auch wirtschaftlich behaupten. Die Ziegelformen wurden immer weiter verfeinert, sodass heute eine große Auswahl von Formen zur Verfügung steht. Die Grenzen sind durch die Toleranzen des Materials und den Brennvorgang bestimmt. Der Rohstoffbedarf kann aus inländischen Vorkommen gedeckt werden und der Primärenergiebedarf, der fortlaufend verringert wurde, liegt im mittleren Bereich der Dachdeckungsmaterialien. Der langlebige Ziegel (80 bis 100 Jahre) kann als Ziegelsplitt wieder verwendet werden. Er ist in vieler Hinsicht als ökologischer Baustoff einzustufen. Obwohl die Deckung wegen des Verlegeaufwandes nicht zu den preisgünstigen Ausführungen gehört, wird sie auf lange Sicht ihre Bedeutung behalten.

### Beton

Bis in den Anfang unseres Jahrhunderts erfolgte die Herstellung der Betondachsteine größtenteils auf handwerklicher Basis. 1925 wurden Dachsteinmaschinen aus Dänemark nach England exportiert, wo im Jahre 1936 von einer einzigen Firma 203 Millionen Dachsteine vertrieben wurden. Den größten Entwicklungsschub brachte die Nachfrage nach preiswertem Deckungsmaterial in der Nachkriegszeit. Die Automatisierung ist heute ebenso weit entwickelt wie in der Ziegelherstellung. Die Res-



1.24

ourcen für Zement und Sand stehen im Inland fast unbeschränkt zur Verfügung und können (durch Rekultivierung der Gruben) problemlos abgebaut werden. Die Umweltverschmutzung bei der Zementherstellung kann heute durch Reinigungsmaßnahmen verhindert werden. Der Primärenergiebedarf für Betondachsteine ist sogar geringer als der für Ziegelprodukte. Die Deponierung stellt kein Problem dar, die Wiederverwendung wird durch die Rücknahme abgedeckter Betonsteine vom Hersteller erleichtert. Verformungsarten und -techniken stehen den Ziegelformen nicht nach. Die Präzision ist sogar größer als bei Ziegeln. Die Vorurteile gegen den Baustoff Beton sind hauptsächlich durch die Vielzahl unförmiger Großbauten entstanden. Betondachsteine sind ein gesundheitlich unbedenklicher Baustoff und eine sinnvolle Alternative zur Ziegeldeckung.

### Faserzement

Der heute auf dem Markt befindliche Faserzement ist asbestfrei. Seit der Einführung von Asbest als Baustoff wurde die Produktion der Asbestzementprodukte stetig gesteigert. Von 1982 an wurden die ehemals verwendeten, lungengängigen Asbestfasern durch Dolanit und Kuralon (Kunststofffasern auf der Basis von Polyacrylnitril und Polyvinylalkohol) ersetzt. Diese nicht aufspaltbaren Fasern sind wesentlich (1300 mal) dicker als die Asbestfaser und damit nicht lungengängig. Sie werden mit so genannten Prozessfasern aus Zellstoff verbunden. Die Prüfergebnisse für das neue Material weisen hinsichtlich des mechanischen und chemischen Verhaltens ebenso günstige Werte auf wie das alte Material. Seit 1982 sind die Produkte in großem Umfang in der Anwendung. Damit steht das widerstandsfähige und einfach zu verarbeitende Material ohne Einschränkung weiter zur Verfügung.



1.25

### Bitumen

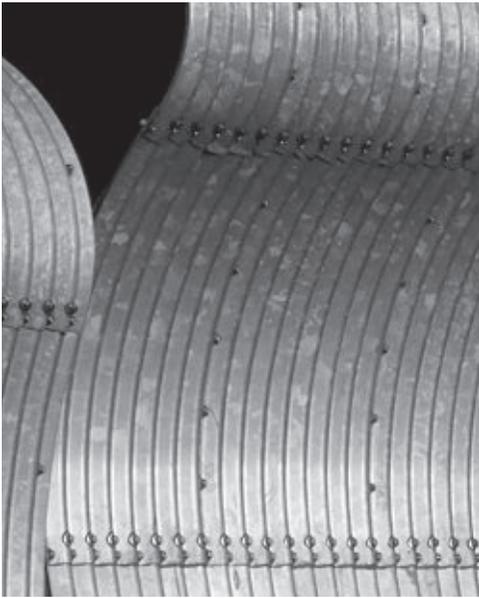
Die kleinformatischen ebenen Schuppen sind aus den Bitumen-Bahnen hervorgegangen, obwohl diese für große zusammenhängende Flächen entwickelt wurden. Die oberflächenvergüteten Schindeln sind für geringere Dachneigungen besser geeignet als ihre Naturstein Vorbilder. Sie können gut zugeschnitten und angepasst werden und sind leicht und preiswert. Eine einfache, aber ausgereifte Verlegetechnik macht sie zum idealen Material für den Selbstbau.

### Bänder

Seit der Einführung des industriellen Walzverfahrens für Metallbleche werden geringe Dachneigungen mit hohem Anspruch an die Abdichtung meist mit Bändern gedeckt. Hinzu kommt, dass Metall nicht brennbar ist. Zwar wurde die Herstellung automatisiert und rationalisiert, wodurch heute eine höhere und gleichmäßigere Materialqualität garantiert werden kann, doch haben sich die Verlegearten seit Anfang des Jahrhunderts kaum geändert. Die Fügungen erfolgen nach wie vor durch Falzen und Lötten von Hand, wenn auch Falzmaschinen heute die Arbeit am Dach erleichtern.

### Blei

Der geringe Anteil von ganzen Dachflächen aus Blei in Deutschland würde eine Erörterung dieses Materials erübrigen, doch wird es in anderen Ländern häufiger verwendet und wegen seiner hohen Verformbarkeit für Anpassungen und Übergangsformen gerne verarbeitet. Die geringen Reserven, der hohe Transportanteil, der große Primärenergiebedarf, vor allem aber die gesundheitsschädigende Eigenschaft des Bleis erfordern eine Beschränkung auf unbedingt notwendige Teile oder eine Substitution durch andere Stoffe und Techniken.



1.26

#### Kupfer

Kupfer hat nach Aluminium die zweithöchste Primärenergierate. Seine Ressourcen, die zu 99% im Ausland liegen, sind beschränkt. Die hohe Rücklaufquote und die lange Lebensdauer (mehr als 100 Jahre) stehen diesen Nachteilen entgegen. Befürchtungen, dass saurer Regen gesundheitlich relevante Mengen vom Dach in den Boden und in das Grundwasser transportiert, können durch nachvollziehbare Hochrechnungen, die Otto Franqué durchführte, widerlegt werden.<sup>14</sup>

#### Stahl

Die verfügbaren Eisenerzvorräte und die gute Wiederverwendungsrate von Alteisen geben dem Stahl aus ökologischer Sicht eine relativ gute Bewertung. Die Korrosionsgefahr konnte durch die Verbesserung des Verzinkungsverfahrens (Sendzimir-Verfahren) gemindert werden. Diese Methode gestattet eine in der Dicke wählbare, gleichmäßige Beschichtung mit Zinkschmelze, die auch nach der Verformung noch haftet. Die Lebenserwartung eines verzinkten Blechdaches ist jedoch wegen Abrieb und aggressiver Luft nicht annähernd

so hoch wie die der übrigen Dachmetalle. Deshalb sollten Bänder und Tafeln mit einer zusätzlichen witterungsfesten Beschichtung oder mit einer Laminierung aus Kunststofffolien versehen werden. Die Weiterentwicklung dieser Methoden wird zeigen, welchen Anteil das Stahlblech auf dem Dachsektor halten kann.

#### Zink

Die einzige grundlegende Neuentwicklung einer Metalllegierung im 20. Jahrhundert erfolgte in den 60er-Jahren beim Zinkblech, das durch die Beigabe von Kupfer und Titan zum so genannten Titanzinkblech weiterentwickelt wurde. Seinem hohen Primärenergiebedarf entspricht noch keine befriedigende Wiederverwendung (Downcycling)<sup>15</sup>. Die Ressourcen sind in der Bundesrepublik erschöpft, die Transporte aus Australien, Kanada und Nordamerika energetisch problematisch.

Das neue Material hat jedoch aufgrund seiner Korrosionsbeständigkeit und seiner geringen Abtragsrate eine auf 80 bis 100 Jahre prognostizierte Lebensdauer. Dies rechtfertigt den häufigen Einsatz. Aus gesundheitlicher Sicht birgt Zink kein Risiko. Die Bestandteile, die durch Abtrag in den Boden gelangen, erreichen keinen Grenzwert, der gesundheitsgefährdend ist. Zink gehört zu den harmlosen Schwermetallen, da es im Körper nicht akkumuliert, sondern wieder ausgeschieden wird<sup>16</sup>.

#### Aluminium

Wegen seines geringen Gewichts, der guten Verarbeitbarkeit und der Beständigkeit gegen Korrosion wird dieser Baustoff häufig auch im Dachbereich eingesetzt. Wie bei den anderen Metallbändern blieb die Verlegetechnik konventionell. Aus ökologischer Sicht bedenklich sind die Importabhängigkeit aus Übersee-



1.23 Bleideckung in Greenwich

1.24 Faserzementdeckung in Dänemark

1.25 Betonsteindeckung an einem Gebäude in Laibach von Jože Plečnik

1.26 Metallplatten:

Fahrradunterstand in Sakai-cho, Japan 1999, Shuhei Endo

1.27 Metallplatten Chromstahl:

Museum Liner, Appenzell 1996–1998, Gigon & Guyer

<sup>14</sup> Dr. Otto Franqué, Wechselwirkungen zwischen Kupfer und Umgebung, in: Baumetall Heft 2/86, Berlin

<sup>15</sup> Tobias Waltjen u.a., Ökologischer Bauteilkatalog: Bewertete gängige Konstruktionen, Wien 1999

<sup>16</sup> Wend Burggraef, Die Eigenschaften von Zink unter besonderer Berücksichtigung des Umweltschutzes, Literaturstudie

dern und der hohe Energiebedarf bei der Erzeugung, der den Primärenergiebedarf an die Spitze aller Baumetalle bringt. Das gutwillige und haltbare Material liegt um den Faktor 3 höher als beispielsweise Stahl. Die Standarddauer von über 50 Jahren (die älteste heute noch funktionstüchtige Anwendung erfolgte 1897) kann dies nur teilweise aufwiegen. Um den Einsatz von Aluminium zu rechtfertigen, wäre ein nahezu vollständiges Recycling wünschenswert. Bei einer intensiven Umweltpolitik und entsprechender Aufklärung könnte dies erreicht werden.

Saurer Regen kann aus Aluminium Ionen lösen, die in den Boden eindringen. 8% der Erdrinde bestehen jedoch aus Aluminiumverbindungen, sodass eine geringfügige Zuführung von Aluminium dem Menschen kaum Schaden zufügt. Starke Konzentrationen können jedoch das Feinwurzelwerk von Pflanzen schädigen.

#### Platten

Unter dem Begriff Platten werden alle Deckungselemente zusammengefasst, deren Größe die der Schuppen (wie z. B. Ziegel, Betondachsteine oder Schieferplatten) deutlich übersteigt. Sie sind sozusagen die großen Brüder der Schuppen. Neue Baustoffe und Herstellungstechniken ermöglichten größere Formate als die von Naturprodukten. Ihr großer Vorteil gegenüber Schuppen liegt im

geringeren Aufwand für die tragenden Teile. Die leichten und tragfähigeren Platten kommen mit weiteren Pfettenabständen und einem entsprechend reduzierten Tragwerk aus. Hinzu kommt der geringe Montageaufwand, der mit größeren Einheiten einhergeht. Diese Vorteile können bei einfachen Dachaufbauten am besten ausgenutzt werden. Deshalb werden Platten meist für einfache Nutzungen eingesetzt. Sie sind jedoch auch bei mehrschaligen Konstruktionen preiswerter. Wegen des geringen Montageaufwands ist die Plattendeckung für die industrielle Vorfertigung in besonderem Maß geeignet.

#### Metalle

Schon im 19. Jahrhundert wurde erkannt, dass durch die Verformung von Blechen eine große Formstabilität erreicht werden kann. Das Wellblech, das in dieser Zeit erfunden wurde, hat bis heute nichts von seinen Vorteilen eingebüßt. Es ist nur mit wenigen scheinbar einfachen, aber folgenreichen Denksätzen wie der Verformung des Dachziegels zu vergleichen. Zur Sinuswellenform kam in den 50er-Jahren die Trapezform aus den USA dazu, die mit zusätzlichen Kantungen eine noch größere Tragfähigkeit, vor allem aber eine bessere Auflage auf dem Dachtragwerk ermöglichte. Die Stahl-Trapezplatten werden mit verschiedenen Überzügen und Beschichtungen für den Korrosionsschutz hergestellt.

Die Erhaltung der Schutzschicht ist allerdings die Voraussetzung für die Haltbarkeit. Auch für Aluminiumplatten sind – im Wesentlichen aus ästhetischen Gesichtspunkten – verschiedene Beschichtungen verfügbar.

#### Faserzement

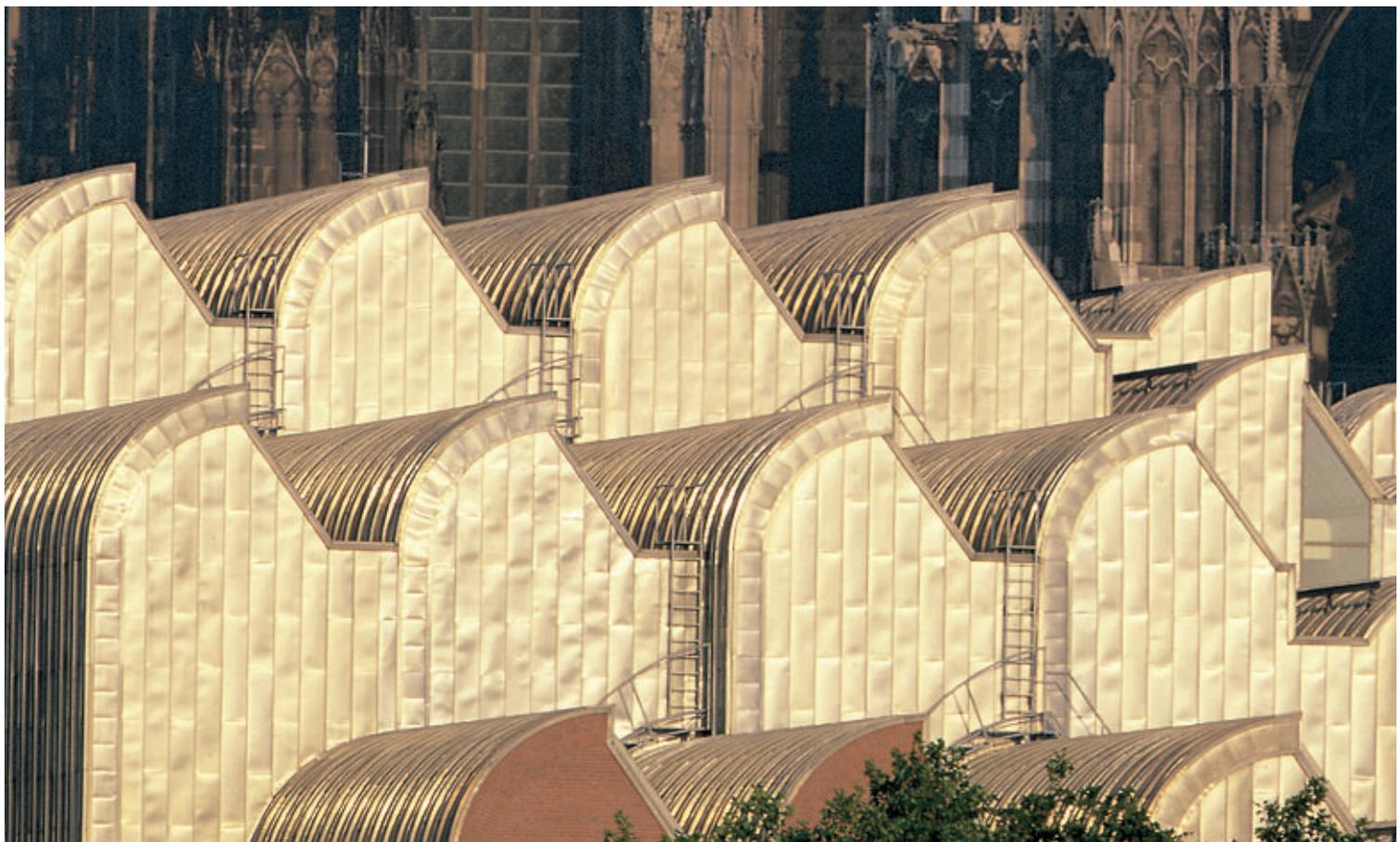
Die Formen der Wellfaserzementplatten lassen sich auf die Ergebnisse in der Metallverformung zurückführen. Sie haben dem preiswerten Wellblech gegenüber den Vorzug, eine Lebensdauer von 50 bis 70 Jahren zu besitzen. Da Moose und Flechten gut auf Faserzementplatten gedeihen, wird der Baustoff oftmals als naturnah eingestuft.

#### Bitumen

Bitumenwellplatten werden seit 1950 hergestellt. Sie haben die gleichen Vorteile wie Wellbleche und stehen als mehrschichtige (lamierte), leicht bearbeitbare und kostengünstige Platten zur Verfügung.

#### Glas

Die große Zeit glasbedeckter Hallen und Passagen ging mit dem 19. Jahrhundert zu Ende. Glasdächer degenerierten zu Dächern mit Glasoberlichtern. Nur noch im Bereich der Gewächs- und Pflanzenhäuser wurden weiterhin Glasdächer gebaut. Architekten wie Bruno Taut oder Peter Behrens jedoch führten die Faszination transparenter Dächer bis in das

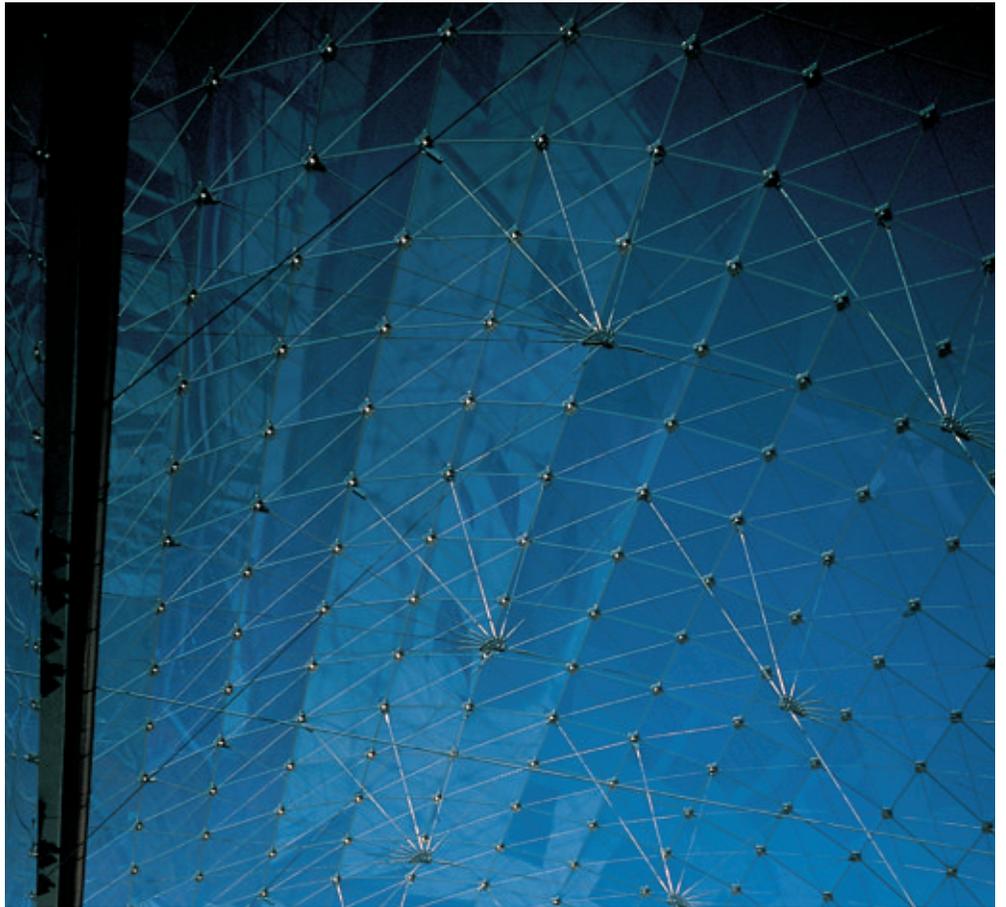


20. Jahrhundert, sodass die Glaseindeckung auch außerhalb der Pflanzenhäuser nie ganz verschwand. Erst in den späten 50er-Jahren kam die Weiterentwicklung der Glasdächer wieder in Bewegung. Die Glasplatte als Deckungsmaterial ist aus der zeitgenössischen Architektur nicht mehr wegzudenken. Von allen Dachdeckungsmaterialien hat Glas die größte Entwicklung vollzogen, das betrifft Herstellung, Größe, Qualität und vor allem die Produktvielfalt. Es würde den Rahmen dieses Kapitels sprengen, die einzelnen Schritte zu schildern, die mit dem Fourcault'schen Glasziehverfahren 1905 begannen und bei dem heute gebräuchlichen Floatglasverfahren enden. Die Ressourcen für Glas werden weitgehend aus Vorkommen in Deutschland gedeckt. Der Primärenergieaufwand für normales Flachglas ist zwar relativ hoch, aber viel geringer als bei Metallen. Das Recycling von Altglas gewinnt zunehmend an Bedeutung.

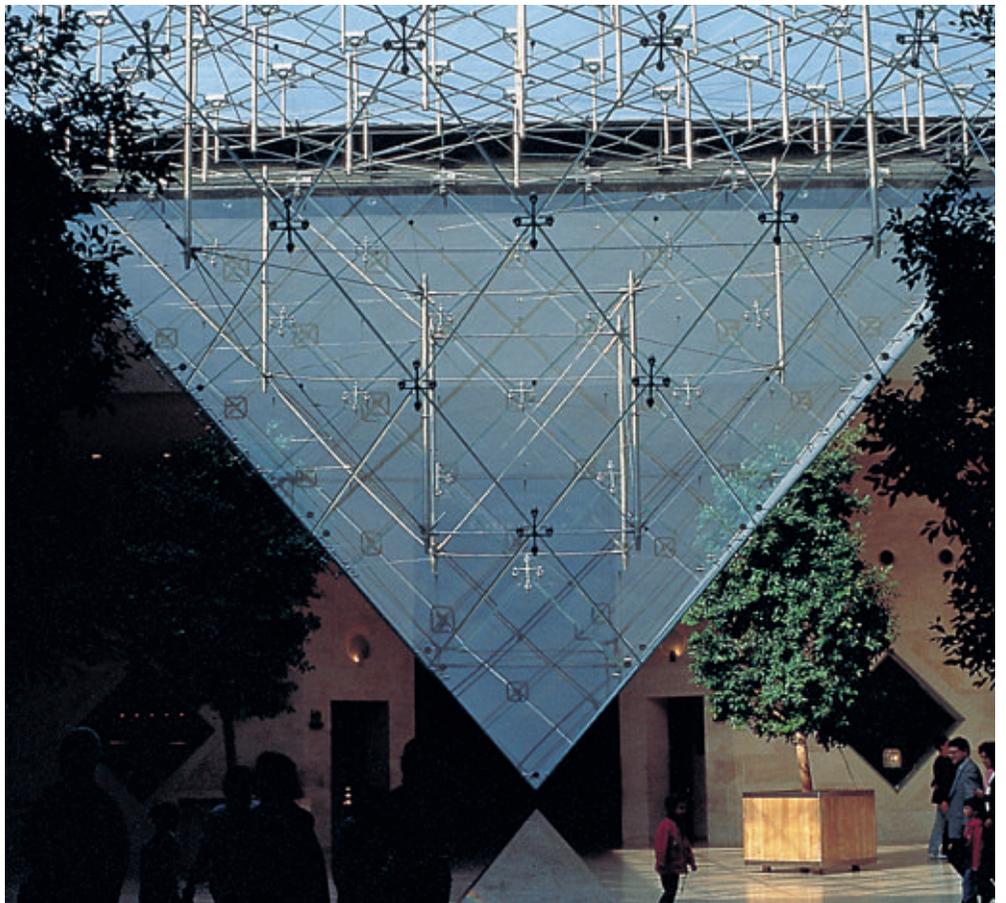
Der Treibhauseffekt, der langwellige Wärmestrahlung im verglasten Raum zurückhält, ist ein wichtiger Ausgangspunkt für die Energiegewinnung aus Sonneneinstrahlung. Die verschiedenen Beschichtungstechniken reichen von Reflektionsschichten für den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz bis zu Gasfüllungen beziehungsweise Gasreduktionen im Zwischenraum von Isoliergläsern. Mit Zwischenschichten in Verbundglasscheiben können Licht und Energie reflektiert oder frequenzabhängig selektiert werden. Diese Schichten lassen sich aber auch temperatur- oder spannungsabhängig steuern, um den Energiedurchlass zu regeln. Schließlich können Photovoltaikmodule gut in Verbundgläsern integriert werden.

Die kittlose Verglasung – heute Pressleistungsverglasung genannt – beruht auf der Verlegetechnik des 19. Jahrhunderts. Sie ist von den 70er-Jahren bis heute vielfältiger und sicherer geworden, sodass sich mit Kombinationen verschiedener Gläser und Beschichtungen gut abgestimmte Gesamtkonstruktionen herstellen lassen.

Als unverrottbarer, widerstandsfähiger Baustoff, der den Traum des Menschen vom geschützten »Wohnen wie im Freien« ermöglicht, hat Glas noch ein großes Entwicklungspotenzial.



1.29



1.28 Metallbänder: Wallraf-Richartz-Museum und Museum Ludwig, Köln 1980–1986, Busmann + Haberer

1.29 Glas: Maximilianmuseum, Augsburg 2000, Bauamt Augsburg, Tragwerk: Ludwig und Weiler

1.30 Glas: Erweiterung Louvre, Paris 1988–1993, I. M. Pei & Partners, Tragwerk: Peter Rice.

Die umgekehrte Pyramide im Louvre Carrousel hat zwar keine Dachfunktionen, zeigt aber den hohen Stand heutiger Glaskonstruktionen.

1.30

## Kunststoffe

Unter Kunststoffen versteht man heute Bau- und Werkstoffe aus makromolekularen organischen Verbindungen, die aus Produkten des Tier- und Pflanzenreiches (in Form von Erdöl, Erdgas oder Kohle) hergestellt werden und in bestimmten Phasen ihrer Verarbeitung plastische Zustände haben. Nach den ersten vollsynthetischen Kunststoffen aus Phenolharzen (Bakelit) kamen nach dem Ersten Weltkrieg Polyacryl und Polystyrol hinzu. 1930 folgten das Polyvinylchlorid und das Polyvinylacetat, und ab der ersten Hälfte der 40er-Jahre hat sich die Produktpalette auf die heutige Vielfalt vermehrt. 1950 kamen Glasfaserplatten auf Polyesterbasis (GFK) auf den Markt. Heute gibt es außerdem Kunststoffplatten aus Polyvinylchlorid (PVC), Polymethylmethacrylat (Acrylglas) und Polycarbonat (PC). Die Verformungen zur Stabilisierung dieser Platten sind dem Repertoire der Metallbleche entnommen. Sie sind in Sinuswellenform, als Trapezprofil und als ebene, randverstärkte bzw. flächenverstärkte Platten erhältlich und können auch für lichtdurchlässige Dachdeckungen verwendet werden.

Da der Rohstoff vorwiegend aus Erdöl und Erdgas gewonnen wird, besteht eine hohe Importabhängigkeit. Zudem werfen Erdölförderung, Transport und Verarbeitung ökologische und gesundheitliche Probleme auf. Der Primärenergiebedarf liegt auch in Anbetracht des verloren gegangenen Heizwertes über dem der meisten Metalle. Die Rückgewinnung ist derzeit nur mit hohem Energieaufwand (Pyrolyse) und mit Qualitätsverlust für die Weiterverarbeitung (Einschmelzen) möglich. Ein biologischer Abbau erfolgt nur begrenzt und sehr langsam, weshalb die Kunststoffe eine Belastung für die Umwelt darstellen. Die Gefahren aus den Inhaltsstoffen sind noch

nicht ausreichend bekannt. Von Vinylchlorid wird angenommen, dass es krebserregend ist. Auch Weichmacher wie PCB, Lösungsmittel (Benzol, Glykole) und Füllstoffe können gesundheitsgefährdenden Charakter haben. Im Brandfall werden Chlorgas (bei PVC) und Cyanatverbindungen frei (bei PUR). Diese Gefahren legen nahe, die Anwendung von Kunststoffen auf die Bereiche zu beschränken, bei denen ein Ersatz nicht möglich bzw. ein langfristiger Einsatz gewährleistet ist. Die Bearbeitung der verschiedenen Kunststoffe, ihre toxische Wirkung, sowie die Weiterverwendung und Entsorgung muss im Einzelnen gegen die Vorteile abgewogen werden.<sup>17</sup>

## Bahnen – Folien

### Bahnen

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts vollzog sich im Bereich der Dachbahnen eine dynamische Entwicklung. Die gutartige »Dachpappe«, die sich so leicht verarbeiten ließ, erzielte zunächst bei geneigten Dächern und dann bei Flachdächern große Zuwachsraten. Nach dem Zweiten Weltkrieg wurde nur noch Bitumen verwendet. Mitte bis Ende der 50er-Jahre kamen die ersten Kunststoffbahnen auf den Markt. Heute werden Bitumenbahnen ohne Schutzschichten bei geneigten Dächern nur noch für Gebäude mit untergeordneter Nutzung verwendet.

### Grasdächer

Als wasserableitende Schicht gewinnen Bitumenbahnen auch für geneigte Grasdächer wieder an Bedeutung. Da das Ausgangsprodukt für die Bahnen im Wesentlichen aus rohem Erdölbitumen besteht, das als Abfallprodukt bei der Erdöldestillation anfällt, hängt die Verfügbarkeit davon ab wieviel Erdöl verarbeitet bzw. verbraucht wird. Dies gilt in glei-

1.31 Grasdach: Bibliothek, Delft 1993–1998, Mecanoo  
1.32 Millennium Dome, London 2000, Richard Rogers Partnership

1.33 Schlumberger Entwicklungszentrum, Cambridge 1985–1988, Michael Hopkins & Partners

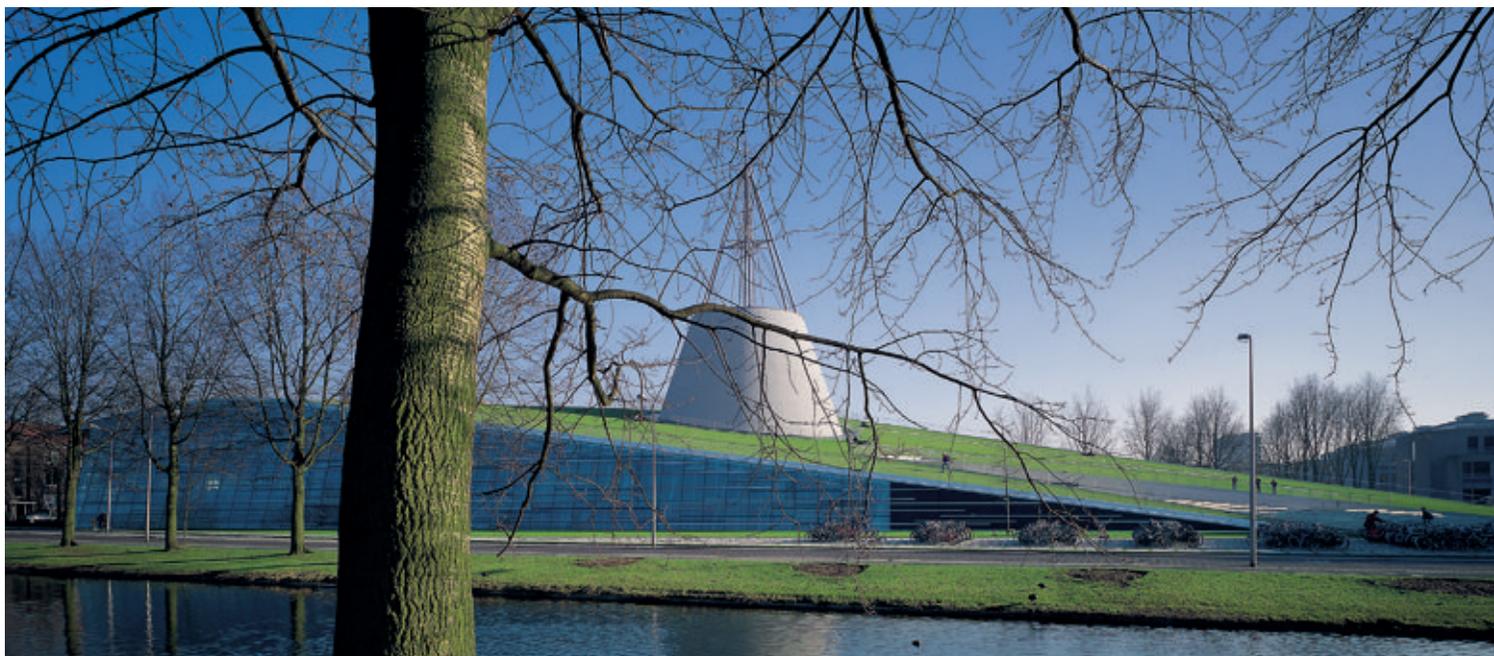
<sup>17</sup> Burkhardt Schulze Darup, Bauökologie, Wiesbaden/Berlin 1996

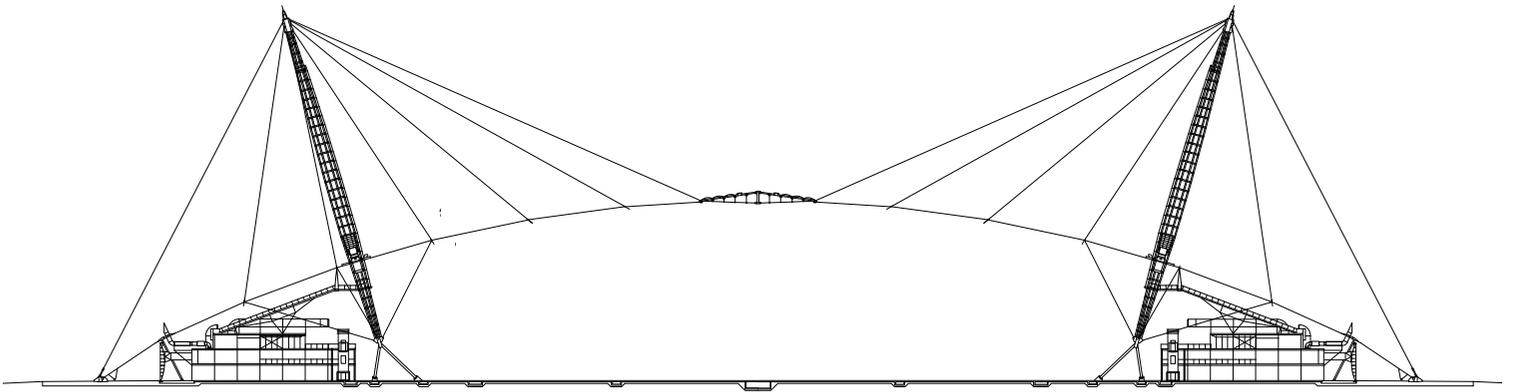
chem Maße für Kunststoffdachbahnen. Der Primärenergiebedarf kann gemessen an dem erforderlichen Flächengewicht vernachlässigt werden. Der ökologische Nutzen, der durch ein grünes Dach erzielt wird, ist sehr hoch. Er wirkt sich innen durch Speicherfähigkeit und Kühlung im Sommer und außen durch das Mikroklima aus. Beim geneigten Dach ist die Durchwurzelungsgefahr aufgrund der hier möglichen Pflanzen bei sorgfältiger Konstruktion und ausreichender Neigung äußerst gering.

Es ist zu erwarten, dass die zunehmende Bedeutung der Ökologie in Zukunft dazu führen wird, dass mehr Gründächer gebaut werden, obwohl diese heute noch erheblich teurer und aufwändiger sind als konventionelle Deckungsarten.

## Membranen

Mit den Kunststoffbahnen Mitte der 50er-Jahre setzte auch die Entwicklung von Membranen ein, die für eigenständige Tragwerke, so genannte Membrantragwerke, eingesetzt werden konnten.





1.32

Membrantragwerke können wegen ihres geringen Eigengewichts hoch effiziente Dächer bilden, die in mehrschaliger und mehrschichtiger Ausführung auch der Klimatrennung dienen können. Zu ihrer Herstellung werden isotrope und anisotrope Bahnmaterialien verwendet. Isotrope Materialien haben in beiden Richtungen die gleichen physikalischen Eigenschaften. Sie bestehen im Wesentlichen aus fluorpolymeren Folien von denen ETFE (Ethylen-Tetrafluorethylen) am häufigsten verwendet wird. ETFE besitzt eine hohe Zug- und Reißfestigkeit und ist sehr alterungs- und witterungsbeständig. Permanente Bauten erreichen eine Lebensdauer von mindestens 25 Jahren. Das bis zu 95 % transluzente Material kann durch Bedrucken unterschiedlichen Belichtungsbedürfnissen angepasst werden. Anisotrope Materialien sind Gewebe aus natürlichen, synthetischen und chemischen Fasern. Eine große Auswahl an Beschichtungen aus PVC, PTFE und Silicon ermöglicht eine vielerlei Anforderungen entsprechende Verwendung.

Für das Recycling gilt, was bei den Kunststoffen beschrieben wurde. Der Gewebeverbund erschwert eine sortenreine Trennung, wodurch eine Entsorgung nur auf der Deponie oder in Müllverbrennungsanlagen möglich ist. In den Verbrennungsanlagen ist jedoch das PVC-beschichtete Polyester wegen seines hohen Brennwertes gern gesehen. Membranen galten noch vor kurzem als exotisches Dachmaterial. Ihre hoch effiziente Lastabtragung und die Anpassungsfähigkeit an verschiedene Funktionen förderten in den letzten Jahren ihre Verbreitung. Die Weiterentwicklung der Membranen wird in naher Zukunft viele Bereiche des Hochbaus berühren.

#### Zusammenfassung und Ausblick

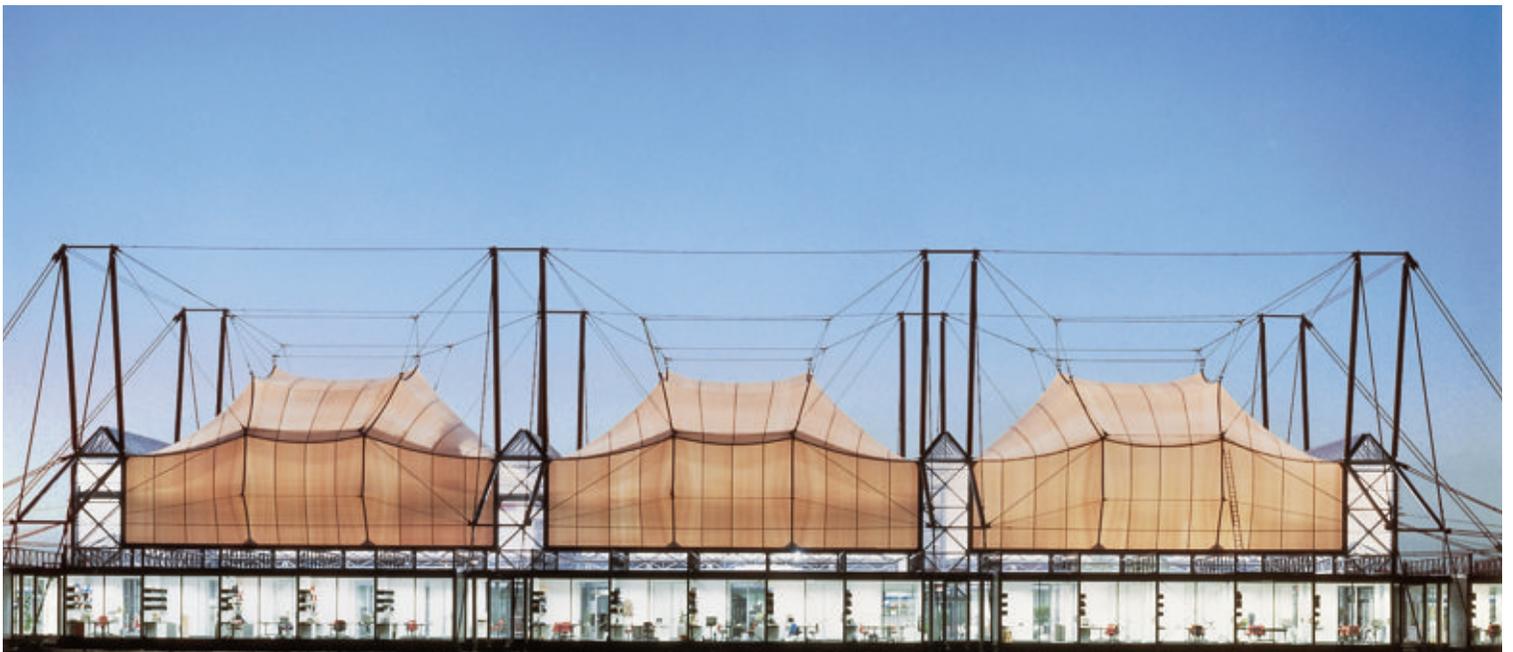
Die Verteuerung menschlicher Arbeitskraft hat zur Mechanisierung und Automatisierung auch im Bereich der Dachdeckungen geführt. Die Materialgüte der künstlichen Produkte ist gesteigert und verfeinert worden. Auch die Formung und Fügung ist besser und sicherer

geworden, sodass heute eine reiche Auswahl an Deckungsmaterialien und Formen zur Verfügung steht.

Verlegungsart und Verlegetechnik hingegen haben sich nur geringfügig verändert. Das heißt, dass die kleinteilige Struktur einen großen manuellen Montageaufwand erfordert. Deshalb gab es immer wieder Versuche, diesen Aufwand zu verringern, indem man das Dach in größere Montageelemente zerlegte, die außerhalb der Baustelle gefertigt werden konnten.

Heute wird eine große Bandbreite von Vorfertigungsmethoden angeboten. Sie reichen vom reinen Tragwerk, das durch die Konstruktionschichten ergänzt werden muss, bis zu vollständigen Elementen, die nur noch vor Ort gefügt werden.

Dem geeigneten Dach wird in Zukunft als Energieerzeuger erhöhte Bedeutung zukommen. Ein modularer Aufbau, bei dem großformatigen Elementen verschiedene Aufgaben zugewiesen werden, könnte eine zukunftsorientierte Entwicklung darstellen.



1.33

## Nutzung und Form

### Nutzung und Dachform

Schon immer haben besondere Nutzungen zu Dachformen geführt, die auf diese Nutzungen abgestimmt waren. So wurden beispielsweise tiefe Baukörper abgestuft, um den Innenbereich zu belichten, wie dies bei Sakralbauten durch die basilikale Querschnittsform der Fall war. Im Industriebau erforderte die Komplexität der Produktionsprozesse, ihre Vernetzung und gegenseitige Abhängigkeit zunehmend richtungslose, flächige Gebäude. Es lag nahe, solche Gebäude mit Flachdächern zu versehen. Die Erleichterung, die die Grundrissgestaltung mit Flachdächern mit sich brachte, führte jedoch dazu, dass der Zusammenhang von Grundriss und Dachform in den Hintergrund gedrängt wurde. So ist es aus heutiger Sicht keine Banalität, darauf hinzuweisen, dass die besonderen Bedürfnisse einer Nutzung den Charakter eines Baukörpers bestimmen können. Dass sich dies auch in der Dachform äußert und dass sich damit die Gebäudenutzung unmittelbar in der Dachform ausdrückt, ist in der Flachdach-Ära in den Hintergrund geraten.

### Nutzung des Dachraumes

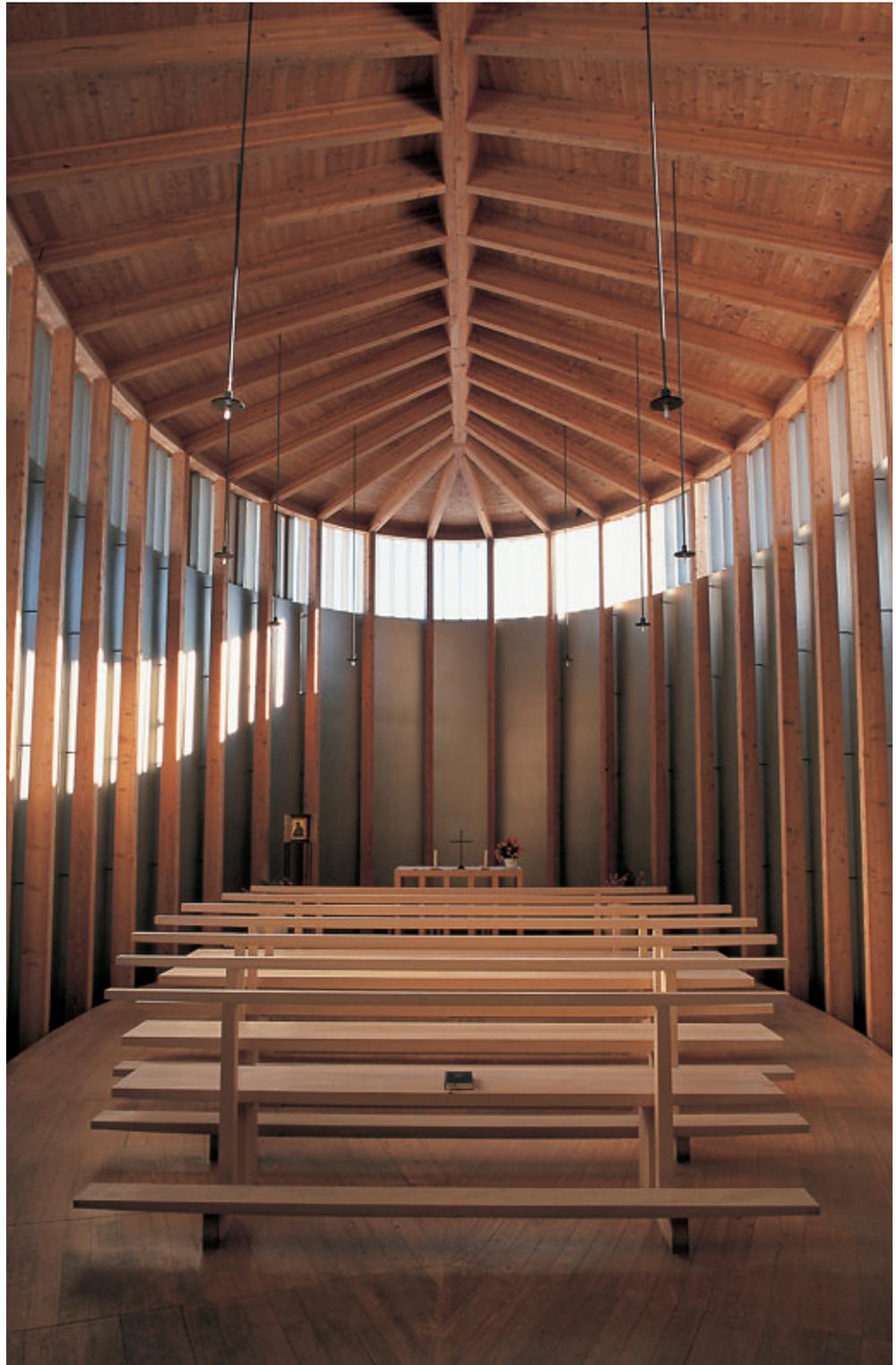
Der Dachraum wurde schon immer genutzt. In frühen Kulturen, in denen das Haus fast nur aus dem Dach bestand, gab es keine Unterscheidung zwischen Dach- und Wohnraum. Als später aus Gründen der Beheizbarkeit der Wohn- vom Dachraum getrennt wurde, diente dieser in der Regel als Lager. Offene Dachräume gab es jedoch auch aus gestalterischen Gründen, wie dies frühchristliche und frühromanische Sakralbauten zeigen. Heute wird der Dachraum auf vielfältige Weise genutzt.

#### Einfache klimatisch anspruchslose Nutzung

Hierunter fällt das Lagern von Gütern, für die Temperaturschwankungen keine Rolle spielen. Die Dachräume können kalt oder warm sein, schmutzig und nicht frei von Flugschnee. Diese mit der Tradition übereinstimmende Nutzung bringt keine neuen Probleme, deshalb wird sie hier nicht weiter verfolgt.

#### Nutzungen mit sichtbarem Tragwerk

Weit gespannte Tragwerke erreichen oft dieselbe Konstruktionshöhe wie die darunter liegen-



1.34 Kapelle Sogn Benedetg, Sumvitg, Graubünden

1985–1988, Peter Zumthor

1.35 Jahrhunderthalle, Bochum 1902, H. Schumacher

<sup>18</sup> Institut für Klima, Umwelt und Energie, Wuppertal, zitiert in: Volker Wöhrl, Der überforderte Alleskönner, Süddeutsche Zeitung Nr. 86/2002, München

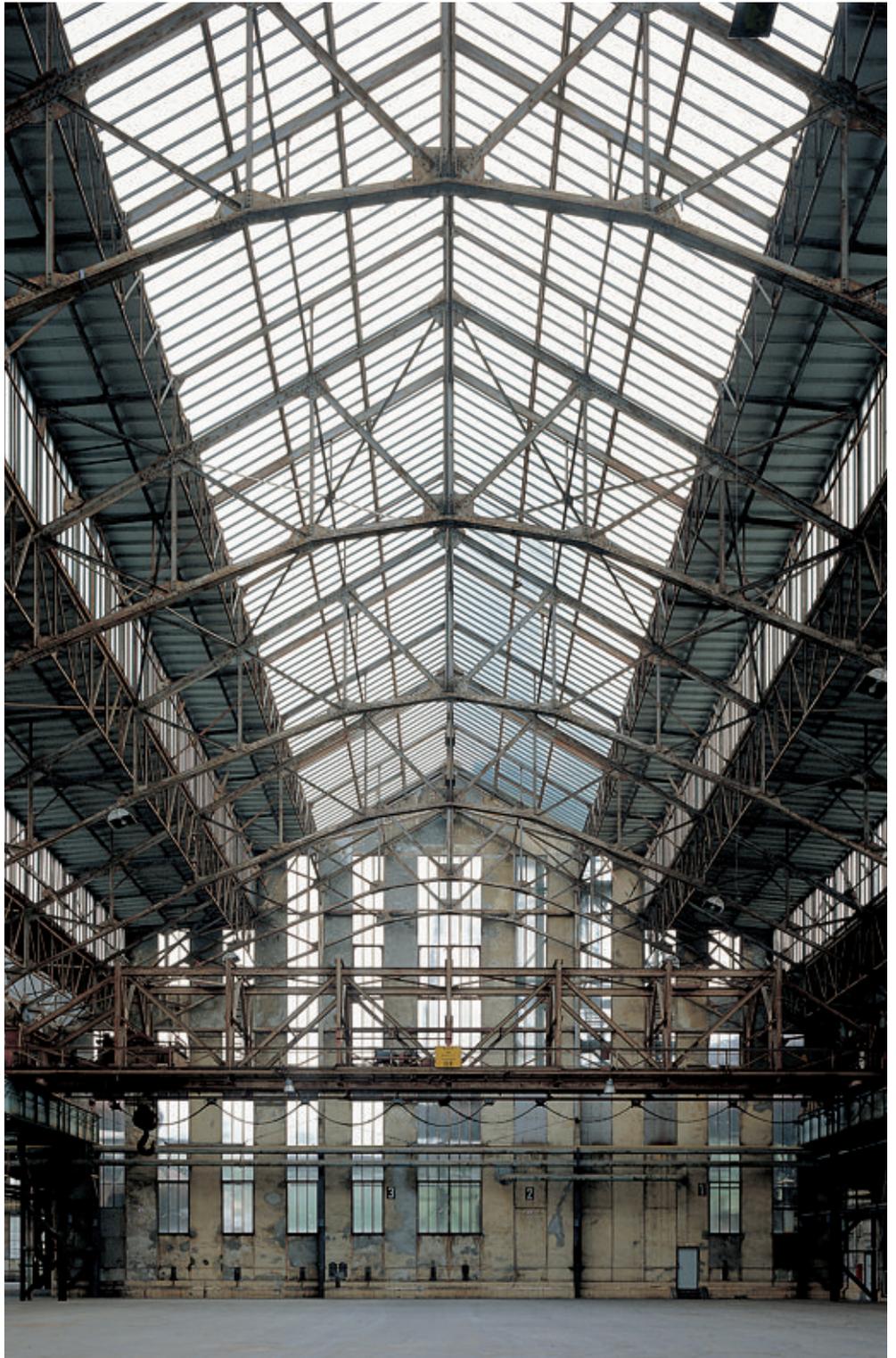
de Nutzhöhe. Bezieht man das Tragwerk in den Raum ein, wird die Raumhöhe bis zur Dekung wirksam. Bei solchen Räumen wird die Durchbildung des Tragwerkes zu einer wichtigen Aufgabe, da dieses zum raumbildenden Gestaltungselement wird. Es ist der Verdienst des 19. Jahrhunderts, dass die Schönheit von Hallentragwerken wieder entdeckt und dokumentiert wurde. Sie sind vorwiegend in unklimateisierten, halboffenen Räumen zu finden, wie in Bahnhöfen, Markthallen, Fabriken oder großen Ausstellungsgebäuden. Kennzeichnend für diesen Gebäudetypus war, dass die Belichtung durch großflächige Verglasungen in die Gesamtarchitektur integriert wurde. Auch heute noch wird diese Tradition von einer Reihe von Architekten mit ausgezeichneten Beispielen fortgeführt.

#### Wohnen im Dachraum

Der Wert des Baugrundes in dicht besiedelten Regionen und großen Städten führte dazu, dass der sinnvolle Klimapuffer des offenen Dachraumes vom 19. Jahrhundert an als Wohnraum genutzt wurde. Mansard-Dächer begannen das Stadtbild zu prägen. Der charakteristische Dachknick wurde nach François Mansart benannt. Er hat zwei Vorteile: Die nutzbare Fläche des Dachraumes war annähernd so groß wie die der darunter liegenden Geschosse; und baubehördlich geforderte Geschosshöhen und Traufhöhen konnten eingehalten werden. Allerdings gab es diese Dachform auch schon vor Mansart. Die Dachkammern ohne Pufferzone waren jedoch hohen Temperaturschwankungen ausgesetzt. Deshalb waren es Dienstboten und arme Leute, die diese Räume bewohnten. Aus historischer Sicht allein ist es deshalb nicht verständlich, dass sich das Wohnen unter dem Dach erhalten hat. Es erfreut sich im Gegenteil zunehmender Beliebtheit.

Der Baugrund ist inzwischen ein wertvolles Gut geworden. Angesichts der Tatsache, dass in der Bundesrepublik täglich 120 ha Land überbaut werden und damit weitreichende ökologische Probleme entstehen, muss das Bauland so gut wie möglich ausgenutzt werden.<sup>18</sup> Also besteht die Aufgabe, den Wohnraum unter dem Dach den heutigen Erfordernissen entsprechend zu konditionieren.

Dem Lärm und den Abgasen der Straßen zu entfliehen und von der besseren Belichtung zu profitieren, sind Gründe in den obersten



1.35

Stockwerken zu wohnen. Der Aufzug erspart das Treppensteigen, die Hierarchie der Geschosse hat sich im städtischen Wohnhaus umgekehrt. Schräge Raumbegrenzungen werden als angenehm und gemütlich empfunden. Möglicherweise verbinden sich hier Sehnsüchte nach dem einfachen Leben mit der atavistischen Suche nach Geborgenheit. Trotzdem dürfen die Probleme, die ein Wohnen unter der Dachhaut mit sich bringt, nicht unterschätzt werden. Wärme- und Feuchteschutz mehrschichtiger Konstruktionen machen das Dach zu einer technisch komplizierten »geneigten Außenwand«. Öffnungen für Licht und Luft, die für ein gesundes Wohnen erforderlich sind, bilden nicht immer eine ästhetische Bereicherung der Dachfläche. In der Regel stören zu groß bemessene Gaupen oder Dachfenster den Dachkörper und bilden darüber hinaus Schadensquellen.

Vollgeschoss oder Dachgeschoss? Prinzipiell stellt sich die Frage, ob durch ein zusätzliches Geschoss nicht eine wesentlich bessere Ausnutzung des Baugrundes erreicht wird. Die Kosten sind in der Regel niedriger als für ein ausgebautes Dach, wenn man die verfügbare Nutzfläche nach DIN betrachtet. Ist es wirklich nur die raffinierte Nutzung des juristischen Spielraumes, der die Dachwohnungen erzeugt? Die Definitionen und Gesetzesauslegungen, die allein zur Klarstellung von Geschosshöhe und Dach existieren, scheinen dies zu belegen. Wird ein Dachausbau gewünscht, sollte eine möglichst steile Dachneigung gewählt werden. Dies führt zur längeren Lebensdauer des Deckungsmaterials und

zu geringerer Schadensanfälligkeit der Gesamtkonstruktion. Ein Klimapuffer seitlich und über dem Wohnraum verbessert das Innenklima. Ist dies nicht möglich, muss man mehrschichtige Konstruktionen mit einer ausreichenden Belüftung wählen.

### Nutzung der Dachfläche

#### Solarenergie

Die solare Strahlung in Mitteleuropa beträgt ungefähr  $1050 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Es liegt also nahe, dieses Energieangebot der Sonne zu nutzen. Die Dachflächen stellen in Deutschland für die Energiegewinnung drei Viertel aller verfügbaren Flächen zur Verfügung, wovon ungefähr zwei Drittel geneigt sind.<sup>19</sup> Von ungefähr  $112 \text{ TWh/a}$  Solarstromernte, das sind ca. 25 % unseres jährlichen Strombedarfs, könnten also etwa  $67 \text{ TWh/a}$  auf geneigten Dachflächen erwirtschaftet werden. Mangels ausreichender Speichermöglichkeiten erlaubt der antizyklische Verlauf von Sonnenstrahlung und Energieverbrauch vorerst keine zufriedenstellende energetische Nutzung der Dachfläche. Dennoch ist das Potenzial der Energieerzeugung am geneigten Dach angesichts der schwindenden Ressourcen von großer Bedeutung. Deshalb ist es wichtig, die solare Energiegewinnung am Dach konstruktiv und gestalterisch weiter zu entwickeln. Für die solare Energiegewinnung stehen zur Zeit zwei Methoden zur Verfügung:

#### Solarthermie

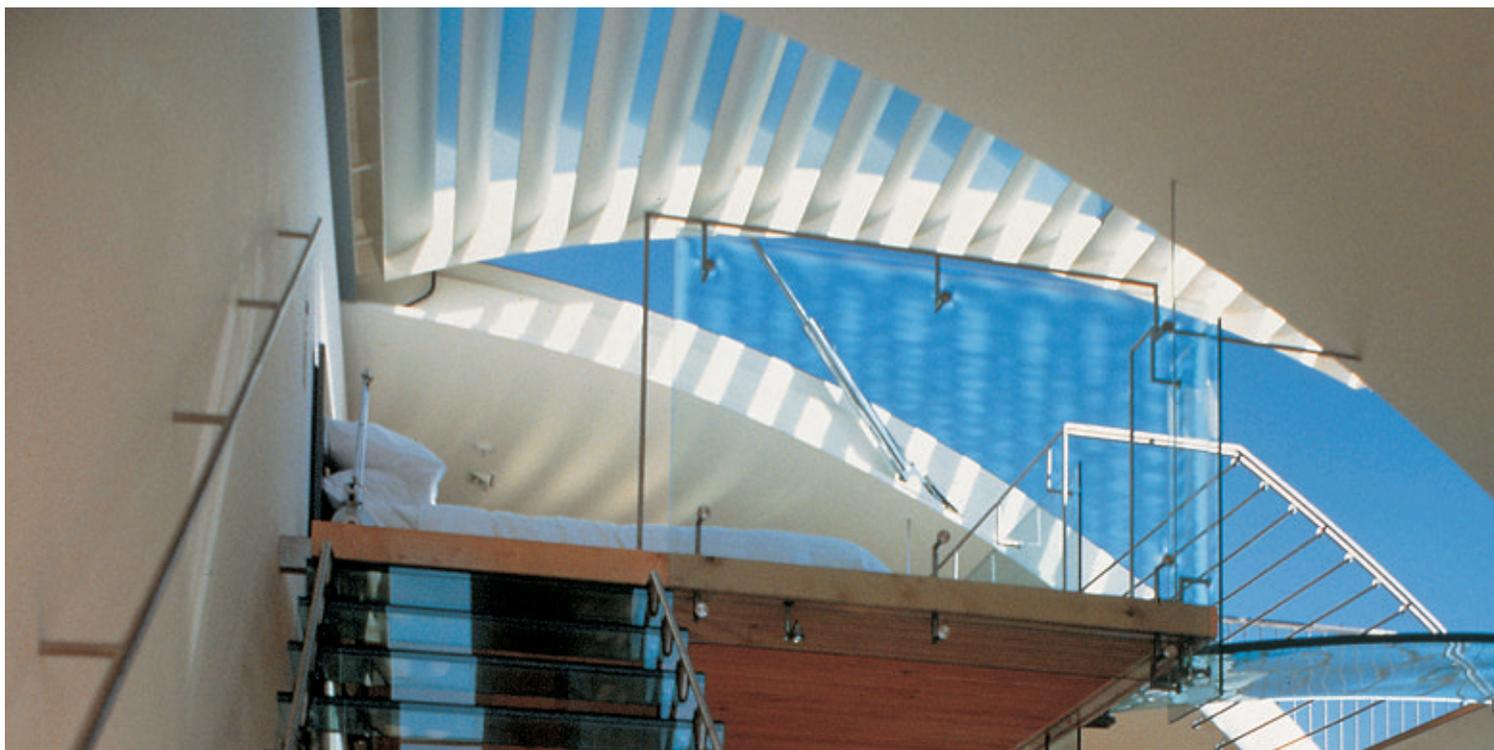
Bei der Solarthermie als einfache Form der solaren Energiegewinnung erwärmt von der

Strahlung absorbierte Wärme ein flüssiges Medium, welches wiederum Brauchwasser erwärmt. Auch zur Unterstützung der Heizung kann die Solarthermie sinnvoll eingesetzt werden.

Die einfachere Variante der Solarthermie stellen die Flachkollektoren dar, die in unterschiedlichen Größen auf dem Markt sind. Technisch anspruchsvoller sind die Vakuumkollektoren, die etwa doppelt so effizient sind. Die Länge der Vakuumröhren, die in beliebiger Zahl gereiht werden können, beträgt etwa zwei Meter. Beide Formen beanspruchen nur einen Teil der Dachfläche, sodass es in der Regel zu Integrationsproblemen kommt.

#### Photovoltaik

Die Photovoltaik, bei der Licht direkt in elektrischen (Gleich-) Strom umgewandelt wird, ist derzeit durch die hohen Herstellungskosten der Bauteile und des Gesamtsystems belastet. Die technische Entwicklung ist noch nicht in erwartetem Umfang vorangekommen. Das größte Entwicklungspotenzial wird von den Dünnschichttechnologien erwartet, unter denen der Beschichtung mit Kupfer-Indium-Diselenit (CIS-Zellen) mit einem Wirkungsgrad von 10 bis 15 % die besten Chancen zugesprochen werden. Die Bundesregierung hat 1999 das »100 000-Dächer-Photovoltaik-Programm« gestartet, das erlaubt, den solar erzeugten Strom in das öffentliche Netz einzuspeisen und zu verkaufen. Dadurch ist erstmals ein Anreiz zur breiten Anwendung gegeben, der einen Entwicklungsschub begünstigen kann. Die





1.37

Glasbauteile, in denen mehrere Zellen untergebracht sind, variieren je nach Zellenzahl in der Größe. Auch hier ist die Integration in die Dachfläche noch nicht befriedigend gelöst.

### Gesundheit

Ein wesentliches Ziel des Bauens besteht darin, den Nutzern ein Innenklima zur Verfügung zu stellen, das die jahreszeitlich und tageszeitlich bedingten Klimaschwankungen ausgleicht. Der Innenraum, in dem sich der Mensch den größten Teil seines Lebens aufhält, sollte optimale Bedingungen für sein Wohlbefinden bieten. Wünschenswert ist eine Luftfeuchtigkeit von 40 bis 50 %, eine Temperatur von 18 bis 23 Grad, ausreichend Tageslicht in natürlichem Spektrum und Strahlungsverhältnis. Dem Dach kommt hier eine wesentliche Aufgabe zu.

### Innenklima

Der unbewohnte Dachraum als klimapuffernde Zwischenzone ist ein wichtiger Faktor für das ausgewogene Klima der darunter liegenden Räume. Verzichtet man auf diese Zwischenzone, stellen sich sehr hohe Anforderungen an die Dachkonstruktion, um den Standard

1.36 Dachwohnung, London 1996, Brookes Stacey Randall

1.37 Auswirkung einer schlecht konstruierten, schlecht ausgeführten und schlecht erhaltenen Dachwohnung: Carl Spitzweg, Der arme Poet, 1893

1.38 Zeichnerischer Kommentar von Adolf Loos zum ausgebauten Dach. Aus: Adolf Loos, Trotzdem, Neudruck, Wien 1982

1.39 Bundeswirtschaftsministerium, Berlin 2001, Baumann & Schnittger. Solarzellen können der Beschattung und der Belebung von Glasdächern dienen.

<sup>19</sup> M. Kaltschmitt, Wind- und Solarstrom im Kraftwerksverbund, Heidelberg 1995

<sup>20</sup> P. Krusche und D. Althaus, J. Gabriel, Ökologisches Bauen, Wiesbaden und Berlin 1982

<sup>21</sup> Umweltbundesamt, Umweltfreundliche Beschaffung, Handbuch zur Berücksichtigung des Umweltschutzes in der öffentlichen Verwaltung und im Einkauf, Wiesbaden und Berlin 1987

<sup>22</sup> Katalyse Umweltgruppe und Gruppe für ökologische Bau- und Umweltplanung, Das ökologische Heimwerkerbuch, Hamburg 1985



1.38

eines Vollgeschosses zu erreichen. Mehrschalige Konstruktionen stellen sicher, dass keine Feuchteprobleme entstehen und warme Raumbegrenzungen vorhanden sind. Dabei spielt die Masse der für Wände und Fußböden verwendeten Materialien wegen der Speicherefähigkeit eine große Rolle. Ist das Problem der Abkühlung bewältigt, kann die Beheizung der Dachinnenseite (Wandheizung) einen Beitrag zur Erhöhung der Behaglichkeit im klimatisch stark beanspruchten Dach leisten.

### Materialien

Das Wohlbefinden muss durch die in der Konstruktion verwendeten Stoffe sichergestellt sein. Durch Maßnahmen des Gesetzgebers werden die im Folgenden angesprochenen Gefahren teilweise verringert.

#### Innenbekleidung

Für die Innenbekleidung dürfen keine Materialien verwendet werden, in denen gesundheitsgefährdende Stoffe enthalten sind. Diese können sowohl in Spanplatten (Formaldehyd) als auch in Holzschutzmitteln (PCP) und Anstrichstoffen (aromatische und aliphatische Lösungsmittel) vorkommen.

#### Trag- und Dämmkonstruktion

Auch Imprägniermittel von Holzkonstruktionen können gesundheitsgefährdende Lösungsmittel enthalten (z. B. PCP). Wärmedämmungen aus Kunststoff-Hartschaumplatten können giftige Gase enthalten. Faserdämmstoffe aus Mineral- oder Glasfaser mit und ohne Rieselschutz weisen einen Abrieb von Kleinstteilen auf, der zu bronchialen Reizungen führen kann.

#### Deckschichten

Während die minimale Radioaktivität von Ziegelmaterial vernachlässigt werden kann, werfen Metalle Fragen der Gesundheitsgefährdung auf. Sieht man von Energieaufwand und Schadstoffemissionen bei der Herstellung ab, können die zur Dachdeckung geeigneten Metalle Kupfer, Zink, Stahl und Aluminium außer Blei als gesundheitlich unbedenklich eingestuft werden. Sie kommen alle im menschlichen Körper sowie im gesunden Pflanzenboden vor. Trotzdem können hohe

Einzelkonzentrationen schädlich sein. Das Schwermetall Blei sollte möglichst durch andere Metalle ersetzt werden.<sup>20,21,22</sup>

### Form

Das Dach steht in einem komplexen Beziehungssystem, das von den verschiedensten Aufgaben und Forderungen bestimmt wird. Dies wirkt auch auf die Dachform. Die wichtigste Beziehung hat das Dach zu dem Baukörper, den es schützt. Mit ihm bildet es eine untrennbare Einheit: das Bauwerk. Wie das Bauwerk wird auch das Dach von drei gleichwertigen Parametern bestimmt: der Nutzung, der Konstruktion und der Form. Es steht aber auch in Wechselbeziehung zur Landschaft und zur gebauten Umwelt. Nachdem Nutzung und Konstruktion gesondert behandelt werden, sollen hier die Voraussetzungen für die Form ebenso untersucht werden wie das Wechselspiel von Dachform und Umwelt.

### Dachformen, Grundformen und ihre Ableitung

Zur Charakteristik der Dachformen

Aufgrund einer langen Wahrnehmungstradition hat sich bei den geneigten Dächern eine Hierarchie entwickelt. Die einfachste Form des Daches ist das Pultdach. Es haftet ihm der Makel einer vornehmlich für Nebengebäude verwendeten, einfachen Dachschräge an, von dem es die Architekten seit Anfang dieses Jahrhunderts mit Mühe zu befreien versuchen. Das Satteldach wird als etwas anspruchsvoller empfunden, da in ihm die beruhigende



1.39



1.40

Symmetrie der klassischen Formensprache nachwirkt. Das Walmdach, das nach allen Seiten eine gewisse Distanz beansprucht, gilt als das vornehmste und stattlichste; es wird in vielen Miniaturausführungen als Imitation ehemaliger Herrschaftssitze verwirklicht.

Die krummflächigen Dachtypen sind aus konstruktiven Gründen entstanden und waren den Kuppeln der Sakralbauten vorbehalten. Sie nehmen eine Sonderstellung im Wertesystem der Gebäudetypen ein. Obwohl eine gekrümmte Fläche nur durch die konstruktiv sinnvolle Schalenform bedingt ist, erregt sie mehr Aufmerksamkeit als ein flächiges Dach.

Es ist interessant festzustellen, dass diese jahrhundertalte Übereinstimmung von Form und Bedeutung erst durch die so genannte Postmoderne aufgegeben wurde – ein Hinweis auf den umwertenden Charakter dieser Architekturströmung.

Architektonische Versuche, bei denen Dach und Außenwand ineinander übergehen, ein rein formal vom Flugzeug oder Automobilbau übernommener Ansatz, sind konstruktiv unlogisch. Das Dach erfährt durch Strahlen und Niederschläge eine vielfach höhere Beanspruchung als die senkrechte Wand, die es zu schützen hat. Ein Wandmaterial kann für das Dach zu minderwertig, eine hochwertige Dachdeckung für die Außenwand zu aufwändig und teuer sein.

#### Teilbereiche des Daches

Die Gesamterscheinung eines Daches wird sowohl vom Material, seiner Struktur und der materialabhängigen Dachneigung als auch von der Ausbildung seiner Teilbereiche bestimmt. Ihre materialgerechte Formung ist nicht vom Gesamtbild des Daches zu trennen und prägt seinen Charakter. In der nebenstehenden Übersicht sind die Teilbereiche des Daches aufgeführt.

#### Konstruktive Aufgaben

Die folgenden Hinweise sollen aufzeigen, welche konstruktiven Aufgaben die einzelnen Teilbereiche – First, Ortgang und Traufe – zu erfüllen haben. Ausführlichere Einzelheiten finden sich im Buchteil »Konstruktionen«.

#### Ränder

Ränder sind First, Ortgang und Traufe. Beim Satteldach erfüllt der First die Aufgabe, zwei aneinander stoßende Dachflächen regendicht zu verbinden. Die Firstausbildung muss dabei geringe Bewegungen der Dachflächen gewährleisten. Bei belüfteten Konstruktionen ist der First als höchster Punkt ideal, um dort die Entlüftung anzuordnen. Auch bei Pultdächern muss im Firstbereich die unabhängige Bewegung von Dachfläche und Baukörper möglich sein. Wird der Pultdachfirst mit Dachüberstand

ausgebildet, schützt er die darunter liegende Wand.

Wenn es sich um mehrschichtige Konstruktionen handelt, muss das gesamte Konstruktionspaket seitlich vor Witterung geschützt werden. Dem Ortgang kommen ähnliche Aufgaben wie dem Pultdachfirst zu. Be- und Entlüftungsaufgaben muss er nicht übernehmen, seine Belüftung schadet aber auch nicht. Auch er muss sich weitgehend unabhängig von der darunter liegenden Außenwand bewegen können. Sinnvollerweise erfüllt er mit einem Dachüberstand Schutzfunktionen für die Wand. Schließlich muss die Dachkonstruktion, wie beim Pultdachfirst, seitlich verkleidet werden (Ortgangbrett). Auch die Traufe erfüllt ähnliche Funktionen wie Pultdachfirst und Ortgang. Als unterer Dachrand muss sie gewährleisten, dass das Niederschlagswasser in eine Rinne oder frei über die Deckung ablaufen kann. Eine wichtige Aufgabe für den Traufbereich kann auch die Belüftung der Dachkonstruktion sein.

1.40 Krummflächige Dächer, vor allem Kuppelschalen, nehmen durch ihre häufige Verwendung im Sakralbau eine Sonderstellung im Wertesystem von Dächern ein, wie hier in Siena.

	Querschnitt			
	Ebenflächig		Krummflächig	
Längsschnitt	Einflächig	Mehrflächig	Einflächig	Mehrflächig
Längsschnitt = Querschnitt				
Ungerichtet		Zeitdach	Mansard-Zeitdach	Kugelkalottendach
Gerichtet		Walmdach	Mansard-Walmdach	Bogentonnendach mit Halbkalotte
Orthogonal				
Mehrflächig				

1.41

1.41 Dachformen: Grundformen und ihre Ableitung  
 1.42 Formen von Dachrändern  
 1.43 Gaupenformen: a Fledermausgaupe, b Schleppgaupe, c Spitzgaupe, d stehende Gaupe

**Kanten**

Kanten sind der Sattelfirst, Grate, Kehlen, Gräben, Knicke und Stufen. Die Kanten der Dachfläche müssen die Bewegungen der an sie anschließenden Einzelflächen aufnehmen können. Der First, der beim Satteldach auch als Kante auftritt, wurde bei den Rändern schon angesprochen. Der Grat, dem Satteldachfirst sehr ähnlich, kann die Entlüftung schwerer leisten, wenn die Gesamtbelüftung über den Grat hinweg geführt werden soll. Die Kehle wirkt als Wasser sammelnde und Wasser führende Rinne besondere Dichtungsprobleme auf. Wenn die Belüftung im Kehlbereich notwendig ist, führt die Einhaltung der

erforderlichen Stauhöhe zu einem hohen konstruktiven Aufwand. Eine durchgehende Unterlüftung muss mit dem Grat zusammen gelöst werden. Dachknicke und Dachstufen verbinden verschiedene Dachneigungen miteinander oder erhöhen bei gleicher Neigung die obere Dachfläche, die sie damit auch gliedern. Sie unterscheiden sich durch konstruktiv unterschiedliche Ausbildungen. Während der Knick unter Berücksichtigung einer gewissen Bewegungsmöglichkeit die Dachfläche kontinuierlich weiterführt, trennt die Stufe die Dachfläche in zwei Teile. Oft führt die sorgfältige konstruktive Ausführung eines Knicks zur Ausbildung einer Dachstufe, vor allem dann, wenn keine Formteile für den Richtungswechsel verschiedenen geneigter Flächen zur Verfügung stehen. Bei ausreichender Sicherung gegen Stauwasser, Flugschnee und Treibregen kann die Dachstufe auch der Belüftung dienen.

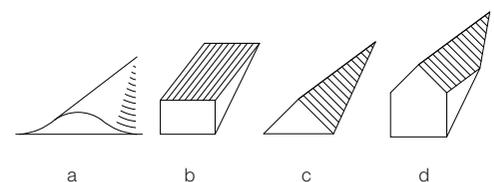
**Öffnungen**

Öffnungen in der Dachfläche sollten Licht und Luft in den Dachraum führen – eine Forderung, die im Widerspruch zum Schutzcharakter des Daches steht. Bei liegenden Dachflächenfenstern wird die Wasserableitung durch eine schuppenförmige Einbindung in das Deckungsmaterial ermöglicht. Grundsätzlich wird bei Öffnungen die Hinterlüftung der Dachfläche eingeschränkt. Denn eine Belüftung oberhalb der Öffnung ist nur mit großem konstruktivem Aufwand herzustellen.

Gaupen haben den Vorteil, dass sie mit dem gleichen Deckungsmaterial wie die Fläche gedeckt werden können. Belüftungsprobleme können bei Schleppgaupen einfacher gelöst werden als bei liegenden Dachfenstern. Schleppgaupen sind aufgrund der Regeldachneigung jedoch in der Höhe begrenzt. Diesen Nachteil haben stehende Gaupen nicht, doch

Fläche	
Ränder	First, Ortgang, Traufe
Kanten	First, Sattelfirst, Grat, Kehle, Graben Knick, Stufe
Durchdringungen Öffnungen	Kamin u. a., Fenster, Gaupe
Anschlüsse	Wand

	Dachüberstand	Bündig	Wandüberstand
First			
Ortgang			
Traufe			



1.42

1.43



1.44

weisen sie eine größere Zahl an kleinteiligen Graten, Kehlen, Ortgängen und Traufen auf. Deshalb ist die Belüftung komplizierter als bei Schleppegäuben. Die von der Deckung her konsequenteste Lösung für eine Öffnung stellen die Fledermausgauben dar, da sie ohne scharfe Grate und Kehlen mit der Fläche zusammen gedeckt werden können. In ihrer Größe sind sie jedoch begrenzt.

Durchdringungen und Dachanschlüsse  
Dachdurchdringungen stellen ähnliche konstruktive Aufgaben dar wie Öffnungen, die in der Dachebene liegen. Bei breiten Durchdringungen ist vor allem der Anschluss an die darüber liegende Dachfläche zu lösen. Bei schmalen Durchdringungen kann dies mit einem Sattel gelöst werden, einem sattelförmigen Blechstreifen, der flexibel an das aufgehende Bauteil und die Dachdeckung anschließt. Breite Durchdringungen erfordern

eine Grabenrinne, die eine ausreichende Stauhöhe und einen funktionsfähigen Überlauf haben muss. An dieser Stelle eine Hinterlüftung anzuordnen ist konstruktiv äußerst kompliziert.

#### **Konstruktion und Form**

Am Beispiel der drei wichtigsten Teilbereiche – First, Ortgang und Traufe – soll der Zusammenhang von Konstruktion und Form eines Dachs dargestellt werden.

#### **Dachüberstand**

Ein Dachüberstand bietet die besten Voraussetzungen für eine langlebige Konstruktion. Die Schutzfunktionen für die darunter liegenden Bauteile sind in idealer Weise gewährleistet. Die unabhängige Bewegung von Dach und Baukörper kann wie die Lüftung konstruktiv sicher hergestellt werden.

Es ist interessant, dass diese Ausführungsform in der Abfolge der Architekturmoden eine Zeit

lang völlig vernachlässigt wurde. Heute kann eine Renaissance der sinnvollen Methode beobachtet werden.

#### **Bündige Ausführung**

Der Wunsch nach knappen und kantigen Baukörpern drückt sich in bündigen Dachabschlüssen aus. Im Prinzip widersprechen diese Formen den konstruktiven Aufgaben dieser Teilbereiche. Mit Kastenrinnen und Ortgangrinnen können bei sorgfältiger Planung und Ausführung Schäden vermieden werden. Trotzdem wird die Schutzfunktion des Daches für den Baukörper nicht immer erreicht.

1.44 Grasdach in Norwegen

1.45 Verformte Schuppen brauchen ebene Flächen.

1.46 Kleine Schuppen eignen sich für gekrümmte Flächen: Schieferkehle in altdeutscher Deckung

### Außenwandüberstand

Die Anforderungen, die Bewegungen an Dach und Baukörper stellen, lassen sich mit den hoch geführten Außenwänden gut erfüllen. Auch Be- und Entlüftungsprobleme sind relativ einfach zu lösen. Wenn die formale Absicht eines Außenwandüberstandes auch auf die Traufe übertragen wird, entsteht eine Grabenrinne mit vielen technischen Problemen. Sinnvoll ist es, dort das Dach überstehen zu lassen.

### Dachform und Nutzung

#### Dachraum und klimatisierter Nutzraum

Das Dach mit kaltem und belüftetem Dachraum hat unsere Sehgewohnheiten geprägt. Noch immer schätzen wir die ruhige, nur von wenigen Lüftungsluken unterbrochene Dachfläche als ruhiges Pendant zur »Fassade«. Auch konstruktive und bauphysikalische Gründe sprechen dafür, dass ein Dach »Dach« bleibt. Soll es aber einen klimatisierten Nutzraum aufnehmen, stellt sich aus ästhetischen Gründen die Frage, ob seine Form und Oberfläche nicht völlig anders gestaltet werden müssten. Die »geneigte Außenwand« ist noch nicht konsequent bearbeitet worden. Denn die konstruktiven und nutzungsbedingten Erfordernisse müssen zu anderen Ergebnissen führen als zu einer mehrfach durchbrochenen konventionellen Dachhaut. Die Entwicklung könnte sich entsprechend dem Ausnutzungsgrad auf eine geneigte Fassade hin bewegen. Das Ergebnis hat dann möglicherweise mehr Ähnlichkeit mit der darunter liegenden Außenwand als mit einer modifizierten Dachhaut.

#### Gestaltung des Energiedaches

Mit der Nutzung des Daches zur Energieerzeugung kommen zu den herkömmlichen Deckungsmaterialien Bauteile mit völlig anderer Ästhetik hinzu. Sowohl die Kollektoren mit ihrer Glasabdeckung als auch die Photovoltaik-

module in ebenen Gläsern stehen in starkem Kontrast zu Schuppen, verformten Platten, Bändern oder Bahnen. Die bisherigen Versuche der Industrie, Elemente in den Maßen der Dachdeckungen herzustellen, können wegen des unterschiedlichen Erscheinungsbildes nicht befriedigen. Es existieren weder einheitliche Modulreihen noch einheitliche Materialien. Es bietet sich an, Deckungsarten zu wählen, die dem technischen Charakter der energiegewinnenden Bauteile entsprechen, oder die Dachform so auszubilden, dass die energetisch eingesetzten Teile – zum Beispiel durch Stufungen – eine klar abgesetzte Fläche einnehmen. Am sinnvollsten erscheint es, die Materialeinheit zu suchen und die einzige Deckungsform zu wählen, die diese ermöglicht: die Deckung mit ebenen Glasplatten. Wenn möglichst viel Energie am Dach gewonnen werden soll, ist das durchgehend mit Energiebauteilen gedeckte Dach die konsequenteste Lösung. Im Kapitel »Energiegewinnung am Dach« werden entsprechende Möglichkeiten aufgezeigt. Die logische Weiterentwicklung der Energiegewinnung auf dem Dach wird zu einer Neuinterpretation des Daches führen, die mit der Zeit auch unsere Sehweise verändern wird.

#### Dachbegrünung

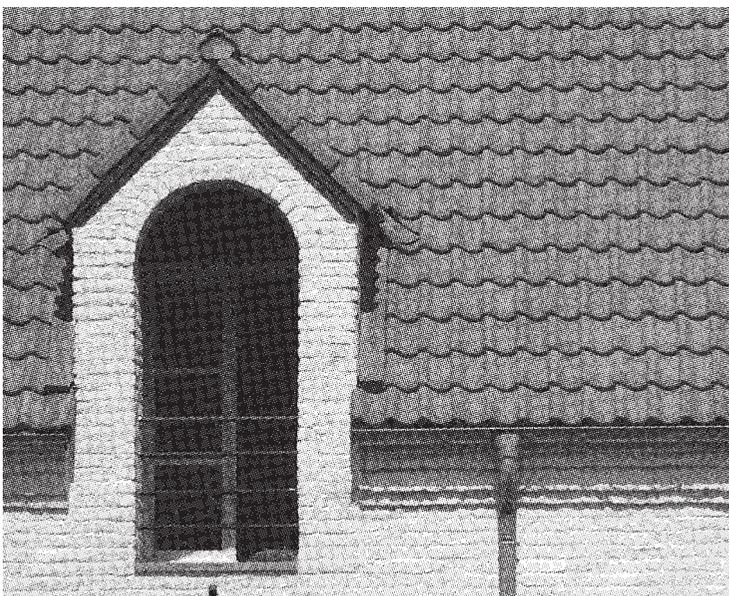
Begrünte Dächer tragen zur Verbesserung des Innen- und Außenklimas bei. Ortgang, Traufe und First erfordern beim Gründach bestimmte konstruktive Lösungen, welche wiederum zu besonderen Dachformen führen. Es stellt sich aber auch die Frage, welche Dachformen sich prinzipiell für Gras- und Blütenlandschaften eignen. Obwohl Beispiele dörflicher Siedlungen im Norden Europas die grüne Dachdeckung auf scheinbar normalen Satteldächern als eine Lösungsmöglichkeit anbieten, muss über die Formfrage in unserer Kultur- und Stadtlandschaft nachgedacht werden.

#### Dachform und Material

Dachform und Deckungsmaterial stehen in einer engen Beziehung zueinander. Diese einfache Tatsache droht in den Hintergrund gedrängt zu werden: Folien, Kleber und Dichtungsmassen werden zum Allheilmittel für Formenspielerereien und Gestaltungswillkür. Wenn jedes Material für beinahe jede beliebige Form verwendet wird, schwindet das Gefühl für das Material selbst und die Fähigkeit, Materialien ihrem Charakter entsprechend einzusetzen, geht verloren.

#### Materialien und Deckungsformen

Eine Deckung mit Halmen eignet sich nur eingeschränkt für komplizierte Dachanschlüsse und Durchbrüche. So erzwingen Reet- und Strohdächer einfache, steile Dachformen, deren Kamine durch den First stoßen und deren Flächen allenfalls von Fledermausgaupen unterbrochen werden. Auch ebene Schuppendedkungen aus Holz, Naturstein und künstlichem Material verlangen steile Neigungen. Durch ihre Kleinteiligkeit sind sie für das Auskleiden von Kehlen und für leicht geschwungene und zusammengesetzte Flächen geeignet. Eine Aufächerung, wie sie bei pyramiden- oder kegelförmigen Dachkörpern nötig ist, kann nur mit ebenen Schuppen ausgeführt werden. Das ist mit verformten Schuppen, insbesondere den am weitesten entwickelten verfalteten Flachdachpfannen, nicht möglich. Durch ihre Quer- und Längsfalze werden sie zu einer homogenen Fläche gefügt, die weitgehend eben sein muss. Allerdings erlauben die Wasser führenden Falze eine flachere Neigung. Aus dieser Konsequenz heraus sollten die verformten Schuppen auf geometrisch einfachen, ebenen und eher flachen Dächern liegen. Verformte Platten können mit zusätzlichen Dichtungsbändern sehr flach gedeckt werden. Ihr geringes Gewicht bei hoher Tragfestigkeit macht ihren Einsatz für Hallendächer mit großen Spannweiten sinnvoll.



1.45



1.46

Metallbänder sind gut formbar. Krümmungen können beinahe beliebig verkleidet werden. Das beweisen die vielen Kirchenkuppeln ebenso wie die barocken Zwiebeltürme. Ihre Fügung durch Falze ergibt strukturierte Dachaufsichten. Die gute Verarbeitbarkeit und Fügbarkeit hat dazu geführt, dass Metallbänder auf flach geneigten ebenso wie auf steileren Dächern als »richtig« empfunden werden. Metallbänder haben keine besondere Bindung an die Neigung.

Dachbahnen sind äußerst anpassungsfähig. Sie sind einfach zu verarbeiten und an andere Bauteile anzuschließen. Das Material selbst ermöglicht eine reiche Formenvielfalt. Ihre unstrukturierte Oberfläche beschränkt ihren Einsatz meist auf nicht einsehbare Flächen von Gebäuden anspruchsloser Nutzung oder auf Abdichtungen, die unter Grasschichten verborgen sind.

Diese Auflistung der Deckungseigenschaften zeigt, dass jedes Deckungsmaterial einen für sich richtigen Einsatzbereich hat. Wird dieser Anwendungssektor ohne Not verwischt und verfälscht, gerät eine fein abgestimmte Technik und mit ihr eine wichtige Handwerkskultur in Gefahr. Unsere Wahrnehmung wird getäuscht, unsere Differenzierungsfähigkeit für technische Verfahrensweisen geschwächt und unsere Baukultur dadurch gefährdet.

#### Dachneigung

Die gegenseitige Abhängigkeit von Material und Dachform ist am stärksten bei der Neigung wirksam. Zwar kann ein für flache Neigungen geeignetes Material auf steilere über-



1.47

tragen werden, aber ohne aufwändige Unterkonstruktion nie umgekehrt. Eine Ausnahme bilden hier wieder die Bänder. Die steilere Dachneigung bedeutet prinzipiell eine größere Sicherheit vor Schäden und damit eine längere Lebensdauer. Allerdings wächst mit der Neigung auch die Dachfläche und damit der Aufwand für das Tragwerk und die Deckung. Es ist also abzuwägen, inwieweit der Aufwand für die steilere Neigung ökonomisch und gestalterisch gerechtfertigt ist. Eine nüchterne Betrachtung sollte dazu anregen, die steilen Dächer vom Klischee mittelalterlicher Spitzgiebel zu befreien.

#### Dachform und Baukörper

Dass Dach und Baukörper als Ganzes gestaltet werden sollten, ist eine in der Baugeschichte unangetastete, jedoch häufig missachtete These. In Zeiten, in denen der aufwändige Transport die Verfügbarkeit des Baumaterials begrenzte, bewirkten allein die am Ort vorhandenen Ressourcen die Einheitlichkeit eines Gebäudes. Auch klimatische Bedingungen und eingeschränkte konstruktive Möglichkeiten führten zu gemeinsamen Merk-

- 1.47 Die mangelnde Beziehung zum Zusammenhang zwischen Material, Dachform und Baukörper hat die von Franz Hart als besonders langlebig bezeichneten Bastardformen des »Bungalow« hervorgebracht.
- 1.48 Dach und Außenwand bilden eine Einheit: Granitdeckung in Corippo, Tessin
- 1.49 Bei der »Winslow Residence« löst Frank Lloyd Wright das Dach vom massiven Baukörper. River Forest, Illinois, USA 1893–1894
- 1.50 Homogene Hülle aus Schiefertafeln: Wohnhaus in Sarzeau (Frankreich) 1999, Eric Gouesnard

malen bei Außenwand und Dach. Heute bieten die Materialvielfalt und die reiche Auswahl an Konstruktionen scheinbar unerschöpfliche Möglichkeiten. Deshalb muss ein Bewusstsein für das Gesamtsystem entwickelt werden, das die beiden Hauptkomponenten Dach und Baukörper verträglich aufeinander abstimmt. Um diese Ganzheit zu erreichen, müssen Entwurf und Konstruktion von Dach und Baukörper wechselseitig betrachtet werden. Wird ein klares Satteldach gewählt, bedingt dies auch eine geometrisch einfache Grundrissform. Wie dargestellt, führen manche Deckungsarten zu bestimmten, eng definierten Flächenausbildungen, worin sich zeigt, dass die Entscheidung für eine Dachform beim Material selbst beginnt. Der Entwurfsprozess Grundriss – Außenwand – Dachform – Dachmaterial muss deshalb immer wieder in beide Richtungen hinterfragt werden. Sicher gab es in vergangenen Epochen immer wieder Beispiele genialer Architekten, die gegen dieses Gesetz verstoßen haben. Trotzdem gehörte es zur Lehrtradition, die Zusammenhänge Material, Baukörper, Dach weiterzugeben. Erst in unserem Jahrhundert hat die mangelnde Beziehung zu dieser Tradition



1.48

Ergebnisse hervorgebracht, wie sie Franz Hart in der ersten Ausgabe des Dachatlas mit dem dort gezeigten »Bungalow« so trefflich vorgeführt hat.

#### Einheit und Trennung

Für die Beziehung von Dach und Baukörper gibt es zwei prinzipielle Möglichkeiten, die gleichberechtigt nebeneinander stehen.

##### Einheit

Die Einheit von Dach und Baukörper wird erreicht, wenn nur ein Material für Außenwand und Dach gewählt wird. Wir finden diese Einheit bei Naturstein, Holz und Ziegel an vielen eindrucksvollen Beispielen anonymen Bauens. Schon bald nach der Erfindung des künstlichen Zements entstanden auch Monolithe aus Beton. Heute dient beschichtetes und unbeschichtetes Metall dazu, eine homogene Hülle über das Gebäude zu ziehen. Es zeigt sich aber, dass in jedem Fall das Dach durch die Einwirkungen von Sonne, Regen und Schnee anders verwittert als die senkrechte Außenwand.

##### Trennung

Weil die konstruktiven Bedingungen für Dach und Baukörper verschieden sind, besteht der zweite Ansatz darin, die beiden Teile voneinander zu lösen: Das Dachtragwerk liegt als Schirm auf dem massiven Baukörper. Diese Vorstellung gibt zudem die Hauptfunktionen der beiden Bauteile sinnfällig wieder. Die Haltung ist bis ins Altertum belegt und findet bis heute ausgezeichnete Interpreten. In der Regel geben leichte Dachmaterialien den Gedanken

besser wieder als schwere. Doch auch mit einer Schuppendeckung ist diese Trennung zu erreichen, wie man an Frank Lloyd Wrights »Winslow Residence« sehen kann.

##### Formung, Detail

Wie bereits erläutert, wird die Erscheinung eines Gebäudes und seines Daches wesentlich durch die Formung der Einzelteile bestimmt. Dazu gehören die Grobabstimmungen wie der Dachüberstand an Traufe und Ortgang ebenso wie die Feinabstimmung durch Profilierung der Ränder. Dazu dienen die Anschlüsse an Bauteile und die Ausbildung der dreidimensionalen Ecken. Vor allem aber muss für diese Formung Sorgfalt und Zuwendung gefordert werden. Denn die Architekturgeschichte hat gezeigt, dass das Vorhandensein oder die Abwesenheit einer derartigen Zuwendung ganz wesentlich in der Gesamtheit der visuellen, aber auch in der psychischen Wirkung eines Bauwerkes zum Ausdruck kommt.

#### Dachform und Umwelt

Nicht nur Dach und Bauwerk müssen aufeinander abgestimmt sein, sondern auch das Bauwerk mit seiner natürlichen und gebauten Umwelt.

##### Dachform und natürliche Umwelt

###### Unterordnung

Die ersten Behausungen waren umso mehr Teil ihrer Umwelt, je direkter ihr die Materialien für den Hausbau entnommen wurden. Je geringer die Umformung des Materials war, desto mehr



1.49

konnten Dach- und Baukörper ein Teil der Umgebung sein. Heute, da unsere natürliche Umwelt durch die flächendeckende Bebauung oft zerstört wird, gehört es zur kulturellen Aufgabe, den vorhandenen Rest möglichst wenig zu beeinträchtigen. Es gibt also immer wieder Situationen, in denen ein notwendiges Gebäude an einer exponierten Stelle in der natürlichen Landschaft durch Größe, Höhe und Dach- beziehungsweise Wandmaterialien so gestaltet werden soll, dass es sich dem natürlichen Gefüge unterordnet. Der wichtigste Einfluss geht hierbei von der Größenordnung und Höhe des Gebauten aus. Um diese Unterordnung zu erreichen, ist der Einsatz natürlicher Deckungsmaterialien wie Stroh, Reet, Holz oder Naturstein am wirksamsten. Ein Übergangsloses Kontinuum kann mit bewachsenen



1.50

Dächern erzielt werden, wenn die Außenwände niedrig gehalten werden.

#### Einordnung

Bauwerke in die Natur einzuordnen ist ein weiterer Ansatz. Denn nicht immer herrscht der Wunsch vor, ein Gebäude »wegzutarnen«. Unsere Sehgewohnheiten haben sich auf diesen Ansatz eingestellt. So sehen wir ein strukturiertes, rotes Ziegeldach durchaus als wünschenswerte Ergänzung der Landschaft an, wenn es in einem guten räumlichen Verhältnis zu ihr steht. Dabei spielt der Alterungsprozess des Dachmaterials eine wichtige Rolle. Bei unbehandelten Ziegeln wird durch den Brennvorgang eine changierende Farbigkeit erreicht. Betonprodukte ohne Beschichtung und Faserzement erhalten durch den Alterungsprozess eine raue Oberfläche, in der die natürlichen Zuschlagstoffe stärker zum Vorschein kommen. Auf ihr können sich Flechten oder Algen ansiedeln und so eine lebendige Struktur erzeugen. Metalle bilden durch Oxidation eine Patina. Glas kann die umgebende Natur spiegeln oder in der Durchsicht erhalten.

#### Gegensatz, Hervorhebung

Die Achtung natürlicher Umwelt kann es aber auch wünschenswert erscheinen lassen, die Produkte menschlicher Tätigkeit in einen Kontrast zu ihr zu stellen. Dies wird dann der Fall sein, wenn eine Fortsetzung der Natur mit baulichen Mitteln zu ihrer Verunklärung und Verfälschung führen würde. Für derartige Aufgaben eignen sich Stoffe, die sich kaum verändern. In der Regel sind dies beschichtete Stoffe. Die Unveränderlichkeit, die etwas absolut Unnatür-

liches ist, löst die Stoffe aus der Umgebung und belässt beiden Teilen ihre Identität. Gebäude, die auf Grund ihrer Nutzung eine exponierte Stellung in der Landschaft haben, werden zu Fix- und Orientierungspunkten. Leuchttürme, Windmühlen und Wassertürme gehörten zu dieser Gebäudekategorie. Heute sind es Schornsteine, Windräder und Antennen, die eine derartige Lage benötigen. Seit jeher hat die Gesellschaft Gebäude, die einen hohen Stellenwert im Wertesystem hatten, durch besondere Gestaltung hervorgehoben. Zahlreiche Sakralbauten belegen, dass sie als Steigerung der Natur empfunden werden. Ihre Dächer tragen ganz wesentlich dazu bei.

#### Dachform und gebaute Umwelt

Sobald der Mensch sein Haus nicht mehr allein in der Natur errichtete, sondern es einer bestehenden Bebauung hinzufügte, entstand eine neue Qualität. Zur Wirkung des einzelnen Hauses kam das Zusammenwirken mit anderen hinzu. Wie aus einzelnen Gräsern eine Wiese und aus einzelnen Bäumen ein Wald entsteht, so entstand aus einzelnen Häusern eine Ortschaft und aus einzelnen Dächern eine Dachlandschaft. Diese höhere Qualität musste das Einzelbauwerk schaffen und stützen. Dass hierbei das Dach eine wichtige Rolle spielte, ergab sich durch seine dominante Lage im Gefüge eines Ortsbildes. Auch hierzu sollen einige typische Beziehungsmuster aufgezeigt werden.

#### Zuordnung und Einheit

Die Verfügbarkeit des Materials und die vorhandene Technik führten in früheren Zeiten zum einheitlichen Erscheinungsbild einer Sied-

lung. Da Deckungsmaterial und Dachform eng miteinander in Beziehung stehen, hat das einheitliche Deckungsmaterial eine wohltuende Reduzierung der Formen bewirkt. Der gemeinsame Formenkanon brachte Homogenität und Ausdruckskraft hervor, wie sie in mittelalterlichen Städten zu sehen ist. Grundsätzlich können alle Dachdeckungsmaterialien diese Einheit hervorrufen. So sind Städte wie Innsbruck oder Salzburg teilweise durch Metaldächer geprägt, Städte wie Bern oder Nördlingen durch Ziegeldächer.

#### Vielfalt und Pluralismus

Die geschichtliche Entwicklung bedingte in vielen Ortschaften eine sehr heterogene Dachlandschaft. Die Verschiedenartigkeit von Materialien und Dachformen hat unterschiedliche Ursachen. Durch Brandkatastrophen im Mittelalter verschwanden die so genannten Weichdächer aus Stroh und Reet, aber auch die Holzschindeldächer aus dem Stadtbild. In wirtschaftlichen Notzeiten wurde oftmals billigeres Material verwendet. Schwindende Ressourcen führten zu Substituten, und der Wert menschlicher Arbeitskraft machte manche Deckungsarten unbezahlbar. Es entstand eine lebendige Vielfalt, die mancherorts auch ein chaotisches Bild erzeugte, insbesondere dort wo Gedankenlosigkeit und kurzsichtiges Profitdenken alte Deckungsarten durch neue ersetzen. Den Planern stehen heute viele Materialien und Ausdrucksmittel zur Verfügung. Die Gesetzgebung ist, was den formalen Bauvöllzug anbelangt, weitestgehend liberal. Wenn Bebauungspläne Material und Formenwahl einschränken, wird dies als restriktiv empfunden.



- 1.51 Einordnung des Baukörpers in die Natur: Pavillon in Zeewolde (Niederlande) 2001, René van Zuuk  
 1.52 Konstruktive Formgebung: Olympiastadion, München 1968–1972, Behnisch und Partner

den. Darin stecken jedoch Chance und Gefahr zugleich. Die heterogene Vielfalt unserer Bauten kann als Abbild unserer Gesellschaft gesehen werden. Demnach ist es falsch, unsere gebaute Umwelt aus einer unbestimmten Sehnsucht nach Harmonie, die in mittelalterlichen Städten vermutet wird, in eine Form zu bringen, die unserer Gesellschaft nicht entspricht. Da wir nur aus tradierten Sehgewohnheiten urteilen können, gibt es kein absolutes Richtig oder Falsch für das Erscheinungsbild unserer Häuser. Vielleicht gefallen uns die homogenen Strukturen einheitlicher Dachlandschaften deshalb so gut, weil uns heute die Vielfalt zur Verfügung steht.

#### Hervorhebung

Gebäude mit gesellschaftlich höherem Rang sind aus dem Stadtgefüge hervorgehoben und versinnbildlichen dadurch unser Wertesystem. Wirken prominente Gebäude in der unberührten Natur manchmal überbetont, stellen sie in der gebauten Umgebung eine Bereicherung dar. Denn sie bilden Fixpunkte, die dem Bewohner die Orientierung in der Stadt erleichtern. Flächenintensive Stadtlandschaften ohne bauliche Akzente machen bewusst, wie wichtig diese Orientierungspunkte sind. Auch Dächer spiegeln die gesellschaftliche Stellung von Gebäuden wieder. So werden wichtige Bauten mit Kuppeln gekrönt, deren auf Fernwirkung ausgerichtete Materialien das Erscheinungs-

bild gekrümmter Flächen unterstützt. Ein Beispiel sind die mit glasiertem Keramikmaterial überzogenen, schalenförmigen Dächer der Sydney Opera von Jørn Utzon (Abb. S. 402).

#### Semantische Betrachtung

Das Dach als die Urform unseres Hauses ist mit einem Bündel von Bedeutungen befrachtet. Als oberster schützender Gebäudeteil, als »pars pro toto«, trägt es die für unsere gesellschaftliche Entwicklung so wichtige Bedeutungssumme der Behausung mit. Ohne Anspruch auf eine methodische Vorgehensweise soll nach den Quellen der Bedeutungen gefragt werden, um die technischen Aufgaben des Daches zu seiner semantischen Befrachtung in Beziehung zu setzen.

#### Konstruktive Formgebung

Die äußere Form des Daches beruht auf konstruktiv nachvollziehbaren Grundlagen. Wie bei jeder bewährten Grundform verbinden sich mehrere Aufgabenstellungen zu einer Lösung. So erfüllt die Steildachform zunächst die Aufgabe eines einfachen Tragwerks. Die gegenseitig zueinander geneigten Holzteile des Satteldaches können sehr leicht stabilisiert und gut zu beliebiger Länge addiert werden. Je stärker die Neigung, desto besser können die Horizontalkräfte bewältigt werden und desto günstiger ist die Nutzung des geschaffenen Raumes. Außerdem ist die schräge Fläche ideal zur Ableitung des Regenwassers. Die ersten, der Natur entnommenen Deckungsmaterialien mussten zu einer witterungsbeständigen Fläche gefügt werden. Was lag da

näher, als die Bestandteile (Rindenstücke, Blätter und Halme) so zu fügen, dass die oberen Teile über die unteren gelegt und auf diese Weise schuppenartig gedeckt wurden? So entstanden Grundformen, die durch weitere, der Natur entnommene Materialien differenziert wurden. Die Umformung dieser Materialien in Deckungsteile geschah den kulturellen Voraussetzungen entsprechend auf unterschiedliche Weise. Aus diesen Voraussetzungen entwickelten sich handwerkliche Techniken, welche die Erscheinungsform durch Konstruktion und Oberfläche bestimmten. Diese Techniken wurden als wichtiges Kulturgut weitergegeben und definierten das Dach in Konstruktion, Deckungsstruktur und Farbe. Diese Erfahrung hat sich schließlich im stammesgeschichtlich Gedächtnis unserer Gesellschaft abgebildet und wirkte damit auch in der individuellen Erfahrung weiter.

#### Bedeutung

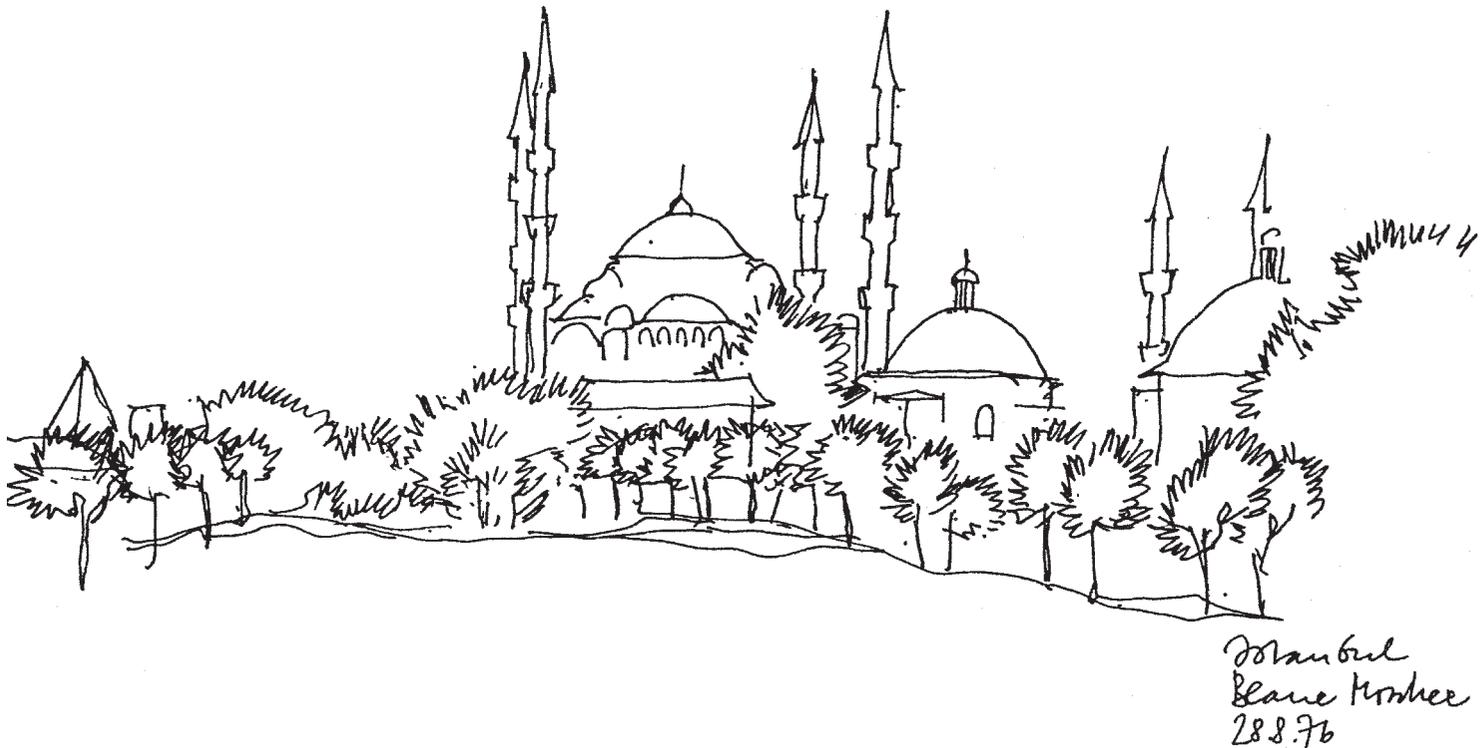
Das Dach als der wichtigste Teil eines Hauses wird zum Bedeutungsträger für die elementaren Funktionen des gesamten Hauses. Dadurch dringt es tief in unsere Sprache ein und ist in Wortkombinationen (wie zum Beispiel Dachorganisation) vertreten, die keinen Bezug mehr zur gebauten Realität haben.

#### Schutz

Das Dach ist untrennbar mit dem Begriff des Schutzes verbunden. Wird ein Mensch unter ein Dach aufgenommen, gibt ihm das Schutz vor der Außenwelt. Eindrucksvoll weist Heidegger auf die sprachliche Verbindung von »Bauen«, »Wohnen« und »Sein« hin. Er führt



1.52



1.54

die Begriffe in ihren mittelhochdeutschen Wortstämmen weiter und gelangt über »zufrieden sein« zu »Freistatt« (Schutz vor Verfolgung), schließlich zu »frei« und »Freiheit«. So zeigt er, dass das Bauen, das zum Haus und zum Dach führt, in einer Einheit mit dem menschlichen Dasein steht.<sup>23</sup> Die wichtigsten Bedürfnisse des Menschen und die Voraussetzung für seine individuelle Existenz sind tief mit dem Haus, vor allem aber mit dem geneigten Dach und seiner Form verbunden.

#### Abgrenzung – Überhöhung

Die Ab- und Ausgrenzung eines Raumes von der Umwelt ist ein Grundbedürfnis des Men-

schens. Diese Raumbildung wird am eindrucksvollsten durch ein Dach dargestellt. Die Überdachung eines Ortes, seine Trennung vom Himmel, gibt ihm eine eigene Identität. Der Baldachin, der ursprünglich eine Schutzfunktion vor Sonne oder Regen zu erfüllen hatte, steht als Wort und Begriff für diese Bedeutung.<sup>24</sup> Mit einer solchen Abgrenzung ist eine Hervorhebung oder Überhöhung dessen ausgedrückt, was sich unter dem Dach befindet. Ein festes Dach über dem Kopf zu haben und durch das eigene Haus seine gesellschaftliche Stellung zu demonstrieren, ist die Sehnsucht des Menschen. Häuser, die ihm wichtig erschienen, hat der Mensch mit besonderen Dächern versehen und damit ihren Rang dokumentiert. Derartige zeichnerische Gestaltungen prägen sich durch lange Traditionen im menschlichen Bewusstsein ein und rufen in Verbindung mit Macht und Verehrung einen eigenen Schönheitsbegriff hervor.

#### Funktion und Bedeutung

Die Form des Daches ist aus konstruktiven Notwendigkeiten hervorgegangen. Durch seine exponierte Position ist das Dach zum Symbol für die wichtigsten Funktionen der menschlichen Behausung geworden. Damit erhält die Dachform auch Bedeutungen, die tief in unser menschliches Sein eingedrungen sind. Das geneigte Dach trägt einen Teil unserer Kulturgeschichte und kann von dieser nicht mehr gelöst werden. Der konstruierende und gestaltende Architekt steht nun vor der

Aufgabe, ein derart befrachtetes Bauteil unvoreingenommen einzusetzen. Wir befinden uns in einer Zeit, in der entscheidende Veränderungen in unserem architektonischen Handeln notwendig werden. Das Dach kann hiervon nicht ausgenommen sein. Für den handelnden Konstrukteur muss das Dach aus seinen mythischen Verflechtungen gelöst und vorurteilslos den Wandlungen ausgesetzt werden, die Umwelt und Gesellschaft fordern. Eine konsequente Behandlung neuer Aufgaben kann zu Formen führen, die aus dem Schönheitsempfinden eingepprägter Erfahrungen herausführen. Wie ein Blick zurück in die Geschichte zeigt, müssen sich neue Erscheinungsbilder jedoch ihre Daseinsberechtigung und den damit verbundenen neuen Schönheitsbegriff durch ihre Anerkennung als gesellschaftliche Notwendigkeit erst erobern.

1.53 Das Dach als Krone: Baldachin in Göllersdorf 1740–1741, Lukas von Hildebrandt

1.54 Schon immer hat die Gesellschaft Gebäude hervorgehoben, die ihr besonders wichtig waren: Blaue Moschee in Istanbul

<sup>23</sup> Martin Heidegger in: Bauen Wohnen Denken, Vortrag auf dem Darmstädter Gespräch am 6. August 1951 in: Mensch und Raum, Bauwelt Fundamente 94, Hrsg. Ulrich Conrads und Peter Neitzke, Braunschweig 1991

<sup>24</sup> Das Wort Baldachin kommt zwar von Baldacco, einer frühen italienischen Benennung von Bagdad, hat sich aber möglicherweise wegen des darin verborgenen Wortes »Dach« in der deutschen Sprache so gut erhalten.



1.53



---

## Teil 2 Grundlagen

### Tragwerke

Dächer sind sowohl Teil der Gebäudehülle als auch Teil des Tragwerks. Die gegenseitigen Abhängigkeiten von Dachdeckung und der sie unmittelbar tragenden Konstruktion bilden den Schwerpunkt dieses Kapitels. Nicht die statische Berechnung und Bemessung, sondern die Konzeption und die Wirkungsweise der Konstruktionen stehen im Vordergrund.

Nach der Darstellung der Einwirkungen werden die verschiedenen Konstruktionen und deren Lastabtragung behandelt, um auf die unterschiedlichen Anforderungen durch verschiedene Dachdeckungen aufmerksam zu machen. Da das Dach auch ein wichtiges Element für die Aussteifung des gesamten Gebäudes sein kann, werden grundsätzliche Möglichkeiten der Gebäudeaussteifung dargestellt. Neben den traditionellen Dachtragwerken werden einige Beispiele historischer Dachwerke beschrieben. Im Abschnitt »Tragwerke für geneigte Dächer« wird ein kurzer Überblick über prinzipiell mögliche Tragsysteme gegeben. Eine ausführlichere Behandlung dieses Themas würde den Rahmen des Buches sprengen.

Hinweise auf die Normung beziehen sich auf die neuen, teilweise erst im Entwurf vorliegenden Normen, die dem europäischen Konzept der Eurocodes folgen. Im Einzelnen wird auf die deutschen Normen Bezug genommen, die schweizerischen und österreichischen werden genannt.

### Bauphysik

Angesichts der umfangreichen Fachliteratur im Bereich der Bauphysik war es die Absicht, in diesem Buch nur auf das Dach bezogene Informationen zu vermitteln. Es hat sich aber gezeigt, dass dies nicht ohne die physikalischen Grundlagen möglich ist. Daher sind zu Beginn aller Abschnitte die wichtigsten Grundbegriffe mit den heute üblichen Benennungen vorangestellt. Zudem werden die im jeweiligen Zusammenhang interessanten Phänomene mit ihren praktischen Bedeutungen beim geneigten Dach erläutert.

Die Überarbeitung der DIN 4108 mit neuen Anforderungen und Nachweisverfahren findet ihren Niederschlag in den Abschnitten »Wärmeschutz« und »Klimabedingter Feuchteschutz«. Die neue Energieeinsparverordnung

(EnEV) ist der Aktualität wegen etwas ausführlicher behandelt. Es sind hier im möglichen Rahmen Übersichten zu Anwendungsbereichen, Anforderungen und Nachweisverfahren zusammengestellt. Da in den neuen Vorschriften sowohl dem sommerlichen Wärmeschutz als auch der Luftdichtheit und den Wärmebrücken eine größere Bedeutung zukommt, sind sie im Kapitel »Bauphysik« ausführlicher behandelt. Auf aktuelle Entwicklungen und Erkenntnisse kann insbesondere im Bereich des Feuchteschutzes verwiesen werden.

### Schichten

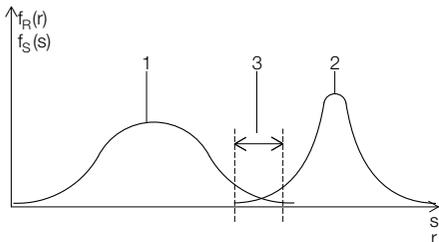
Der Abschnitt »Schichten-Dachmaterialien« ist eine Besonderheit des DachAtlas. Hier werden alle Grundlagen zur Verfügung gestellt, die der Planer benötigt, um korrekte Konstruktionen erstellen zu können. Dieser Abschnitt ist somit eine Vorbereitung und Ergänzung der »Konstruktionen im Detail«. Diese Unterlagen wurden sowohl hinsichtlich der Fachregeln und Normen, als auch im Hinblick auf die lieferbaren Produkte mit ihren Eigenschaften aktualisiert. Darüber hinaus wurden neue Abschnitte, wie die »Membranen« und die »Energiegewinnung am Dach« hinzugenommen. Schließlich werden die Werkstoffe in ökologischer Hinsicht genauer untersucht und durch die Sanierungsmöglichkeiten ergänzt.

### Konstruktion

In den »Konstruktionsprinzipien« wird die in letzter Zeit heftig diskutierte Frage »Belüftet – Nicht Belüftet« in Ergänzung zur Bauphysik in konstruktiver Hinsicht erörtert. Der Abschnitt »Vorfertigung« stellt eine Übersicht über die derzeit am Markt befindlichen Angebote zur Verfügung. Einen Schritt weiter geht die Darstellung der Grundlagen, die zur Entwicklung eines modularen Daches nötig sind. Ein Elementekatalog soll den Einstieg in diese Thematik erleichtern.

# Tragwerk

Rainer Barthel



2.1.1.1 Schematische Darstellung der Wahrscheinlichkeitsdichte der Beanspruchung  $f_S(s)$  und der Beanspruchbarkeit  $f_R(r)$ , 1 Beanspruchung, 2 Beanspruchbarkeit, 3 Definition eines Sicherheitsfaktors  $v$

## Einwirkungen

Das Dach muss, wie das Gesamtbauwerk, so entworfen und ausgeführt werden, dass während der Errichtung und Nutzung die möglichen Einwirkungen weder einen Einsturz noch unzulässige Verformungen zur Folge haben. Der Einsturz des Gebäudes oder einzelner Teile wird durch eine ausreichende Tragfähigkeit verhindert. Ebenso ist eine Gebrauchstauglichkeit entsprechend festgelegter Bedingungen (z. B. mit maximal zulässigen Verformungen) erforderlich, um die planmäßige Gebäudenutzung sicherzustellen. Die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit muss eine entsprechend ausreichende Dauerhaftigkeit während der gesamten vorgesehenen Nutzungsdauer sicherstellen. Diese grundsätzlichen Anforderungen an ein Gebäude können nicht mit absoluter sondern nur mit einer angemessenen Zuverlässigkeit sichergestellt werden. Um ein angemessenes und ausreichendes Sicherheitsniveau zu definieren, ist ein durchgängiges Sicherheitskonzept notwendig. Mit dem probabilistischen, auf Wahrscheinlichkeitswerten basierenden Sicherheitskonzept, das den europäischen und den meisten nationalen Normen zu Grunde liegt, wird die unterschiedliche statistische Verteilung der jeweiligen Größen und auch die Streuung der Messwerte berücksichtigt (Abb. 2.1.1.1). Dieses Sicherheitskonzept betrifft sowohl die Beanspruchungen (Einwirkungen) als auch die beanspruchten Teile (Widerstände). Das erforderliche Sicherheitsniveau wird für jede einzelne Basisgröße (Einwirkungen, Widerstände, geometrische Eigenschaften) über Teilsicherheitsbeiwerte definiert.

Für die Einwirkungen werden nach der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens »charakteristische Werte« festgelegt. Dazu ist zunächst eine grundsätzliche Einteilung nach ihrer zeitlichen Veränderbarkeit zu treffen:

- ständige Einwirkungen, z.B. Eigenlast, feste Aufbauten, im Allgemeinen ortsfest,
- veränderliche Einwirkungen, z.B. Nutz-, Wind- und Schneelasten, im Allgemeinen ortsveränderlich,
- außergewöhnliche Einwirkungen, z.B. Brandeinwirkung, Erdbeben

Die ständigen Einwirkungen, die nur wenig streuen, werden im Allgemeinen mit einem Mittelwert berücksichtigt. Für die zeitabhängigen,

veränderlichen Einwirkungen sind die charakteristischen Werte im Allgemeinen so festgelegt, dass sie innerhalb eines Jahres mit einer Wahrscheinlichkeit von 98% nicht überschritten werden. Bezogen auf eine angenommene Nutzungsdauer von 50 Jahren heißt dies, dass dieser Wert im Mittel einmal erreicht oder überschritten wird. Die charakteristischen Werte beschreiben also Einwirkungen, die im Laufe der Lebenszeit eines Bauwerks realistischer Weise vorkommen können. In den Werten ist kein Sicherheitsaufschlag enthalten.

Daraus lässt sich ableiten, dass bei einer deutlich geringeren Nutzungsdauer, wie etwa bei temporären Bauten oder Bauzuständen, die anzusetzenden Wind- und Schneelasten abgemindert werden können.

Um ein bestimmtes Sicherheitsniveau zu gewährleisten werden auf die charakteristischen Werte für den rechnerischen Tragfähigkeitsnachweis Teilsicherheitsfaktoren aufgeschlagen. Für Eigenlasten ist der Faktor im Allgemeinen 1,35, für Nutz-, Wind- und Schneelasten beträgt er 1,5.

Für den Gebrauchsfähigkeitsnachweis ist der Teilsicherheitsbeiwert bei den Eigenlasten gleich eins. Bei veränderlichen Lasten werden die Teilsicherheitsbeiwerte über Faktoren abgemindert und so genannte »häufige Werte« verwendet.

Die gleichzeitige Wirkung verschiedener Lasten (z. B. Schneelast bei gleichzeitiger Windlast) ist zu berücksichtigen. Da man davon ausgeht, dass nicht mehrere Lasten gleichzeitig mit ihren vollen charakteristischen Werten einwirken, werden hierzu in den Normen Kombinationsregeln zur Verfügung gestellt und abmindernde, so genannte »Kombinationswerte« verwendet.

In folgenden technischen Regeln werden die Einwirkungen behandelt:

- Eurocode 1 Teil 1
- DIN 1055 Teil 1–10
- DIN 1055 Teil 100
- SIA 160
- ÖNORM B 4001, B 4010 bis 4014-1

Die Teile 1 und 3 bis 5 lagen bei Drucklegung dieses Buches im Entwurf vor. Den folgenden Erläuterungen zu den Eigen-, Nutz-, Wind- und Schneelasten liegt dieser Stand der Normung zugrunde. Darüber hinaus gibt es in den bauartspezifischen Bestimmungen Regelungen zur Berücksichtigung der Einwirkungen.

Dächer müssen vielfältigen Einwirkungen standhalten. Im Wesentlichen sind dies:

- Eigenlasten
- Nutzlasten
- Wind-, Schnee- und Eislasten
- Temperatureinwirkungen
- Einwirkungen während der Bauzeit
- Einwirkungen im Brandfall