

JAN WURM

GLAS ALS TRAGWERK

ENTWURF UND KONSTRUKTION
SELBST TRAGENDER HÜLLEN

Birkhäuser
Basel · Boston · Berlin

Der Autor Jan Wurm arbeitet als Architekt, Designer und Projektmanager bei Arup Materials und Arup Facade Engineering in London.

ARUP

www.arup.com

TROSIFOL®

PVB film for laminated safety glass

www.trosifol.com



www.dorma-glas.de

DELO

HILTI



SCHOTT

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in
der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

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

Dieses Buch erscheint auch in einer englischen Sprachausgabe (ISBN 978-3-7643-7608-6).

© 2007 Birkhäuser Verlag AG
Basel · Boston · Berlin
Postfach 133, CH-4010 Basel, Schweiz
Ein Unternehmen der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
Gedruckt auf säurefreiem Papier, hergestellt aus chlorfrei gebleichtem Zellstoff. TCF ∞

Layoutkonzept + Umschlaggestaltung: Muriel Comby, Basel
Layout und Satz: Continue AG
Druck und Bindung: Kösel GmbH & Co. KG, Altusried-Krugzell
Umschlagfoto: Arup

ISBN 978-3-7643-7607-9

9 8 7 6 5 4 3 2 1

www.birkhauser.ch

Geleitwort von Graham Dodd	5
Vorwort und Dank	6
1 EINFÜHRUNG	9
2 GLÄSERNE SPANNWEITEN	17
2.1 VON DER BLÄTTERLAUBE ZUR KLIMAHÜLLE – DIE SUCHE NACH DEM PARADIES	18
Frühzeit und christliche Sakralarchitektur	18
Neuzeit	22
2.2 DAS GLASDACH: FORM, FUNKTION UND KONSTRUKTION	25
3 FLACHGLAS ALS BAUSTOFF	33
3.1 WERKSTOFF GLAS – EIGENSCHAFTEN	34
Flachglas als Konstruktionsmaterial	36
Flachglas als Hüllmaterial	39
3.2 BASISGLAS – FLOATGLAS, WALZGLAS UND ZIEHGLAS	45
Herstellungsverfahren	46
Bedeutung für das Konstruieren	48
Bedeutung für die Raumhülle	48
3.3 DIE MECHANISCHE BEARBEITUNG VON GLAS – SCHNEIDEN, BOHREN UND SCHLEIFEN	49
3.4 DIE THERMISCHE VEREDELUNG VON GLAS – VORSPANNEN, EMAILLIEREN, BIEGEN UND STRUKTURIEREN	54
Thermisches Vorspannen	54
Emaillieren und Bedrucken von Glas	58
Thermisches Biegen von Glas	59
„Strukturieren“ von Glas	62
3.5 DAS FLÄCHIGE FÜGEN VON GLAS – VERBUND- UND VERBUNDSICHERHEITSGLAS	64
Herstellung und Fertigung	64
Bedeutung für das Konstruieren	66
Bedeutung für den Raumabschluss	68
3.6 ISOLIERGLÄSER – BESCHICHTEN DER SCHEIBE UND VERBINDEN DER RÄNDER	72
Oberflächenbeschichtungen	72
Aufbau eines Isolierglases	75
Bedeutung für das Konstruieren	77
Bedeutung für die Raumhülle	78
4 KONSTRUKTION UND FÜGETECHNIK	83
4.1 KONSTRUIEREN MIT GLAS	84
Flachglas als Hüll- und Konstruktionselement	84
Fügetechnik	85
Nachweisverfahren	89
4.2 PLATTENFÖRMIGE VERWENDUNG IN DER GEBÄUDEHÜLLE	94
Verglasungsarten	95
Resttragfähigkeit von Platten	97
Fügetechniken	98

4.3	SCHEIBEN- UND STABFÖRMIGE VERWENDUNG IN TRAGWERKEN	104
	Druckbeanspruchte Scheiben	104
	Schubfelder	105
	Stützen, Glasschwerter und Biegeträger	108
	Resttragfähigkeit von Scheiben	111
	Fügetechniken	112
5	FUNKTIONSTECHNISCHE ANFORDERUNGEN	119
5.1	ÜBERBLICK	120
	Nutzungsprofile	125
5.2	SPEZIFISCHE ANFORDERUNGEN VON HÜLLGEOMETRIEN	128
	Der Glashof – der ebene oder geneigte Raumabschluss	128
	Das Glasband – der gekrümmte oder gefaltete Raumabschluss	130
	Die Glasmitte – der doppelt gekrümmte Raumabschluss	132
6	GLASTRAGWERKE	137
6.1	TRAGSTRUKTURFORMEN VON FLACHGLAS	138
6.2	ENTWURFS- UND KONSTRUKTIONSPARAMETER	140
	Tragwerksform	140
	Geometrische Netzbildung	141
	Redundanz: Sicherheit im nicht hierarchischen Tragwerk	144
	Konstruktive Absicherung bei auf Druck ausgelegten Tragwerken	146
	Elementierung und Fügungsebenen	148
6.3	TRAGSTRUKTUREN AUS GLAS	150
	Stabtragwerke	152
	Flächentragwerke	154
	Zellentragwerke	160
7	PROJEKTE	165
7.1	TRAGSTRUKTUR – FORMEN VON FLACHGLAS	166
7.2	DER GLASHOF – EBENE TRAGSYSTEME	168
7.3	DAS GLASBAND – GEKRÜMMTE TRAGSYSTEME	210
7.4	DIE GLASMITTE – DOPPELT GEKRÜMMTE TRAGSYSTEME	226
8	AUSBLICK	241
	ANHANG	249
	LITERATURHINWEISE	250
	BILDNACHWEIS	253
	PARTNER	254

GELEITWORT

Der Einsatz von Glas als tragender Baustoff gewann erstmals in den 1990er-Jahren an Bedeutung. Ausschlaggebend dafür waren nicht zuletzt richtungsweisende Publikationen: Neben den Veröffentlichungen von Rice, Francis und Ritchie, die mit ihrem Werk „Le Verre Structurel“ (Paris, 1990) das Potenzial von Glas als Baustoff in der modernen Architektur erforschten, trug die Glasindustrie mit „Glass in Building“ (Oxford/Boston, 1993) von David Button und Brian Pye dazu bei, die Rolle von Glas im Bauwesen zu entmystifizieren. Einen umfassenden Überblick über die Technologie und Bedeutung von Glas in der zeitgenössischen Architektur liefert schließlich Michael Wigginton mit „Glass in Architecture“ (London, 1996).

In der Folge entstanden zahlreiche Untersuchungen und Publikationen, die die Konstruktionen im wachsenden Bereich der tragenden Glaskonstruktionen detailliert analysierten. Parallel dazu forcierte, aufbauend auf den gesammelten Erfahrungen, eine kleine aber wachsende Gruppe von Architekten und Ingenieuren das Bauen mit Glas bei jeder sich bietenden Gelegenheit.

Als Jan Wurm zu uns in das „Glas-Team“ im Londoner Büro von Arup kam, war er gerade dabei, diese Forschungsarbeit über Glastragwerke abzuschließen. Seine Arbeit hat mich sofort beeindruckt, weil sie Entwicklungen herausarbeitet, die lange vor der neueren Auseinandersetzung mit dem konstruktiven Glasbau begonnen haben und die gleichzeitig, in Weiterführung der aktuellen Tendenzen, spannende Perspektiven aufzeigen.

Im Zuge seiner Tätigkeit hat Jan Wurm mit seinen Studenten zahlreiche Prototypen entworfen und bis hin zum Maßstab 1:1 realisiert. Mit diesen Experimenten hat er den Einsatz von Glas als tragendem Baustoff sowohl im Entwurf, als auch in der Umsetzung erforscht. Seine Entwürfe stellen gültige Erkenntnisse nicht in Frage; im Gegenteil, sie sind Ergebnis einer logischen Analyse der Geometrie selbst tragender Hüllen und basieren auf einem tieferen Verständnis für die Anforderungen an Stabilität, Widerstandsfähigkeit und Realisierbarkeit, die ein Tragwerk zu erfüllen hat.

Dieses Buch präsentiert neben den Forschungsprojekten auch eine Auswahl an ausgeführten Werken und fasst die wichtigsten Ergebnisse von Jan Wurms Forschung zusammen:

Die Herstellungs- und Verarbeitungsmethoden von Glas schaffen ein Material mit einer Reihe von technischen und physikalischen Eigenschaften in verschiedenen Formen und Größen; je nach Entwurf ergeben sich aus der Verbindung der Glaselemente in der gewählten Geometrie konstruktive Potenziale; durch die Verbindung der konstruktiven und physikalischen Möglichkeiten entstehen in synergetischer Weise einzigartige Räume.

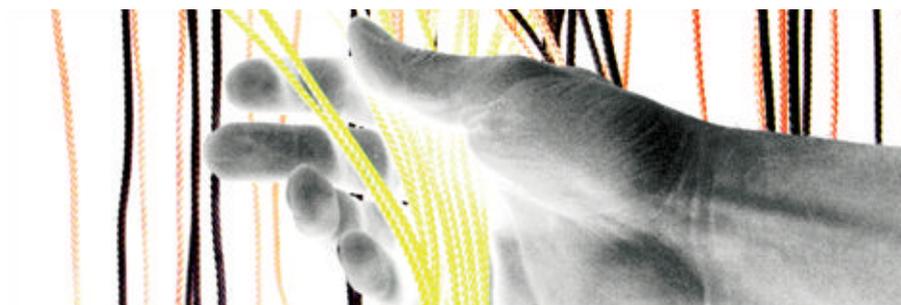
Neben einem vollständigen Überblick über die aktuellen Herstellungsprozesse und der daraus resultierenden Materialeigenschaften liefert der Autor eine systematische Klassifizierung von faszinierenden Glashüllen und eine Tragwerkstypologie, die sich von Beispielen der klassischen Architekturgeschichte bis hin zu aktuellen Projekten erstreckt. Jan Wurm veranschaulicht mit diesem Buch, welches Potenzial der Baustoff Glas zukünftig bietet.

Graham Dodd, Arup, London, im Mai 2007

- 1–3 Visualisierung des veränderten Berufsbildes von Architekt und Ingenieur: Die Fäden symbolisieren die mit dem Bauen verbundenen Entscheidungsprozesse und deren Farbe die Zugehörigkeiten zu funktionalen, konstruktiven und gestalterischen Fragestellungen.
- 1 Die wachsende Komplexität und Technisierung des Bauens stellt heute die alleinige Entscheidungskompetenz des Planers als Generalist in Frage.
 - 2 Das Hinzuziehen von Fachplanern ermöglicht das Bündeln von Entscheidungsprozessen innerhalb begrenzter Zuständigkeiten. Das integrale Planen erfordert dabei eine intensive Abstimmung zwischen den Fachplanern, um die Bauaufgabe als Synthese von funktionalen, konstruktiven und gestalterischen Fragestellungen lösen zu können.
 - 3 Die Entwicklung von neuen, „kreativen“ Lösungsansätzen bedarf der übergeordneten thematischen Koordination von Entscheidungsprozessen durch „spezialisierte Generalisten“. Eine Möglichkeit bietet die Auseinandersetzung mit den funktionalen, konstruktiven und gestalterischen Fragestellungen der unterschiedlichen Baumaterialien als „Grammatik der Werkstoffe“.



1



2



3

VORWORT UND DANK

„Was der Tragwerkplaner als Traggerüst versteht, begreift der Architekt als Skulptur – selbstverständlich ist es beides.“

–Ove Arup

Jedes Material besitzt aufgrund seiner geometrischen Erscheinungsform, seiner mechanischen, bauphysikalischen und optischen Qualitäten eine charakteristische Eignung als Tragelement, Raumabschluss oder Gestaltungsmittel. Innerhalb dieser von Anette Gigon bezeichneten *Grammatik der Werkstoffe* eröffnet kein anderes Material dem Planer so umfassende Möglichkeiten wie Flachglas, das in zunehmendem Maße unsere gebaute Umwelt prägt. [1]

Die traditionelle Genese von Material und architektonischer Form, die Verzahnung von konstruktiven, funktionalen und gestalterischen Aspekten, wird im Glasbau heute durch die technologische Komplexi-

tät und die notwendige Spezialisierung von Bauphysiker, Glasstatiker, Brandschutzsachverständiger etc. erschwert. Im Gegensatz zu dem Stahl-, Holz- oder Betonbau haben sich so keine spezifischen Strukturformen von Glastragwerken entwickelt. [2]

Dieses Buch will mit der Entwicklung einer Entwurfs- und Konstruktionsmethodik für Flachglas diese Lücke in der Bauforschung schließen. Im Mittelpunkt steht das druckfeste flächige Tragelement, universelles Hüllmaterial und vielfältig leuchtende Fläche, als elementarer Baustein für weit gespannte Tragstrukturen. Die in dem Buch enthaltenen technischen Empfehlungen reflektieren den aktuellen Stand der Technik, bedürfen aber ausdrücklich der expliziten Abstimmung durch die verantwortlichen Fachplaner mit den geltenden und aktuellen Gesetzen, Vorschriften und Normen des jeweiligen Landes. Autor und Verlag können in keiner Weise für den Entwurf, die Planung oder die Ausführung von fehlerhaften Glaskonstruktionen haftbar gemacht werden.

4 An Entwurf, Planung und Realisierung
beteiligte Mitarbeiter und Studenten nach
Fertigstellung des Tetra-Glasbogens (2000)



4

Ich danke allen, die mich auf den verschiedenen Stationen dieses Buches geführt, begleitet und unterstützt haben. Der größte Dank gebührt Prof. Dr.-Ing. Wilfried Führer für die intensive und immer positive Unterstützung während meiner wissenschaftlichen Ausbildung und meinem fachlichen Lotsen Prof. Dr.-Ing. Ulrich Knaack. Ich danke meinen ehemaligen Kollegen Dr.-Ing. Rolf Gerhardt, Dr.-Ing. Katharina Leitner, Dr.-Ing. Helmut Hachul, Dipl.-Ing. Thorsten Weimar und Dipl.-Ing. Jochen Dahlhausen für die fachlichen Anregungen und die tatkräftige Hilfe. Ebenso bedanke ich mich bei Prof. Alan Brookes und Prof. Dr. Ir. Mick Eekhout für die wertvollen Erfahrungen während meines Forschungsaufenthaltes an der TU Delft im Jahr 2002 und bei Prof. Dr. Phil. Andreas Beyer, Prof. Dr. rer. nat. Reinhard Conradt und Prof. Dipl.-Ing. Jochen Neukäter für ihre hilfreichen Anmerkungen.

Ich danke allen Unternehmen und meinen direkten Ansprechpartnern, die durch umfangreiches Sponsoring die Umsetzung meiner Forschungsprojekte und die Drucklegung dieses Buches ermöglicht

haben. Ich möchte meinen Kollegen Graham Dodd und Bruno Miglio bei Arup danken, die mir die Möglichkeit für die Überarbeitung des Manuskriptes gegeben haben.

Mein besonderer Dank gilt den Mitarbeitern und Freunden im Lehrstuhl Philipp Berninger, Britta Harnacke, Ron Heiringhoff, Maren Krämer, Alex Kruse, Stefan Steffesmies, Julia Wehrs und insbesondere Ralf Herkrath, die entscheidend zu der erfolgreichen Fertigstellung der Arbeit beigetragen haben. Für die persönliche Unterstützung, aber auch die inhaltliche und sprachliche Korrektur der Arbeit darf ich mich von ganzem Herzen bei meinen Eltern Charlotte und Johann Peter bedanken sowie bei Anke Naujokat, Andres Tönnemann und vor allem bei Silke Flaßnöcker und meinem Baldachin aus Seide. Mein abschließender Dank gehört allen Studentinnen und Studenten, die mit großer Einsatzbereitschaft an den Projekten mitgewirkt haben.

Jan Wurm, im März 2007

EINFÜHRUNG



1 Glaslinsen im kuppelgewölbten Dampfsaal des Hammam „Al Bascha“, 18. Jahrhundert, Akko, Israel



2 Palmenhaus in Kew Gardens, London, 1845–48, Arch.: D. Burton, Ing.: R. Turner

1

2

Flachglas wird seit etwa 2000 Jahren als Raumabschluss verwendet und gehört zu den ältesten künstlichen Baustoffen überhaupt. Aufgrund der anhaltenden Verbesserung seiner Herstellungs- und Veredelungsmethoden stellt Glas heute aber auch eines der modernsten Baumaterialien dar, das wie kein anderes das Erscheinungsbild unserer Architektur prägt. Indem diesem Baustoff nahezu alle Aufgaben einer modernen Gebäudehülle übertragen werden konnten, wurde der Widerspruch im Grundbedürfnis nach Schutz vor der Außenwelt bei gleichzeitiger Öffnung zum Licht überwunden und dem Menschen damit der Bau einer Unterkunft ermöglicht, die „ihn schützt, ohne ihn zu begraben“. [1/1]

Die Wurzeln des modernen Glasbaus reichen zurück zu den englischen Gewächshauskonstruktionen des frühen 19. Jahrhunderts. Die Pioniere waren Gärtner und Gartenbauunternehmer wie Claudius Loudon (1783–1843) oder Joseph Paxton (1803–1865). Indem sie dem wachsenden Wunsch folgten, exotische Pflanzen unter kontrol-

lierten klimatischen Bedingungen aufzuziehen, entdeckten sie im Gewächshaus ein ideales Experimentierfeld für die neuen Baumaterialien Eisen und Glas. Um das einfallende Sonnenlicht bestmöglich zu nutzen, reduzierten sie den Anteil von Guss- und Schmiedeeisen und entwickelten frei stehende Hüllen mit gewölbten und gefalteten Glasdächern. Der aussteifenden Eindeckung mit kleinteiligen in Kitt gebetteten Glasschindeln verdankten die filigranen Strukturen aus Schmiedeeisen maßgeblich ihre Stabilität. Mit einer eher intuitiven Vermeidung von Zugbeanspruchungen im Glas entstanden Faltwerke und Schalen, bei denen das eiserne Skelett mit der gläsernen Haut konstruktiv und funktional eine Einheit bildete. Auch heute noch beeindruckt die Ästhetik dieser Konstruktionen, die Glas erstmals als flächiges Tragelement verwendeten, aufgrund der Synthese von Material, Form, Konstruktion und Zweck. [1/2]

Die Bedeutung der Gewächshäuser des 19. Jahrhunderts kann in ihrer Vorreiterrolle für die Entwicklung des Glasbaus kaum überschätzt



3



4



5

- 3 Halle au Blé (heute: Bourse du Commerce), Paris, 1806 – 1811, erste Eisengitterkuppel der Welt, Arch.: F. J. Bélanger, Ing.: F. Brunet
- 4 Palmenhaus Bicton Gardens, um 1843, Arch.: D. & E. Bailey nach Plänen C. Loudons
- 5 Großes Gewächshaus von Chatsworth als *ridge-and-furrow*-Verglasung, 1840 (1920 abgerissen), Arch.: J. Paxton

werden. Die Erfahrung im Umgang mit den neuen Baustoffen war eine wesentliche Voraussetzung für den späteren Bau großer Bahnhofshallen und Passagen. Diese Glas- und Eisenkonstruktionen waren reine Ingenieurbauten, und mit den fortschreitenden Erkenntnissen der Baustatik folgte die Formfindung verstärkt den sich entwickelnden Regeln des Skelettbbaus. Die sich vollziehende Trennung von Hülle und Tragwerk war zwar begleitet von Fortschritten in der Glastechnologie, die sich in einer Steigerung der Scheibenformate und Verbesserung der Qualität äußerte, aber Glas hatte als bloße Eindeckung gegen Mitte des 19. Jahrhunderts seine konstruktive Bedeutung fast völlig verloren. Das ingenieurtechnische Interesse hatte sich auf die Reduzierung des tragenden Stabwerks verlagert.

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts erkennt eine junge Generation von Architekten auch das gestalterische Potenzial der neuen Konstruktionsweise. Die Weite und Lichtfülle glasgedeckter Hallen, die Ästhetik der durchleuchteten und orthogonal gegliederten Flächen wer-

den zum Credo eines „modernen“ Stils, der die Grenze zwischen Innen und Außen aufzuheben sucht und mit den traditionellen Vorstellungen von Raumorganisation gebrochen hat. In den wachsenden Fenster- und Verglasungsflächen spiegelt sich nicht nur Zweckmäßigkeit in dem Wunsch, den Innenraum besser mit natürlichem Tageslicht zu versorgen, sondern zunehmend auch eine abstrakt-ästhetische Überhöhung des transparenten Materials. Der von Le Corbusier ausgerufene „Kampf zwischen dem Bedürfnis nach Licht und den Beschränkungen, die Baumaterial und Konstruktionsmethoden auferlegen“, nimmt die im Laufe des 20. Jahrhunderts immer stärker werdende, gemeinsame Anstrengung von Architekten und Ingenieuren vorweg, die Fassadenkonstruktionen auf ein absolutes Minimum zu reduzieren. Gegen Ende des 20. Jahrhunderts erhält der Gewinn an Transparenz durch den „unsichtbaren“ Baustoff Glas verstärkt einen dogmatischen Charakter als Symbol für „Offenheit“, „Demokratie“ und „Fortschrittlichkeit“, und das ursprünglich Pragmatische des Begriffs geht verloren.



6



7

6 Glas und Transparenz, Reichstagskuppel Berlin, 1998,
Arch.: Foster and Partners,
Ing.: Leonhardt, André und Partner

7 Hofüberdachung Sony Plaza Berlin, 1998,
Arch.: H. Jahn, Ing.: Arup
Die Textilsiegel unterhalb der Glaskonstruktion
dienen dem Wetter-, Blend- und Schallschutz.

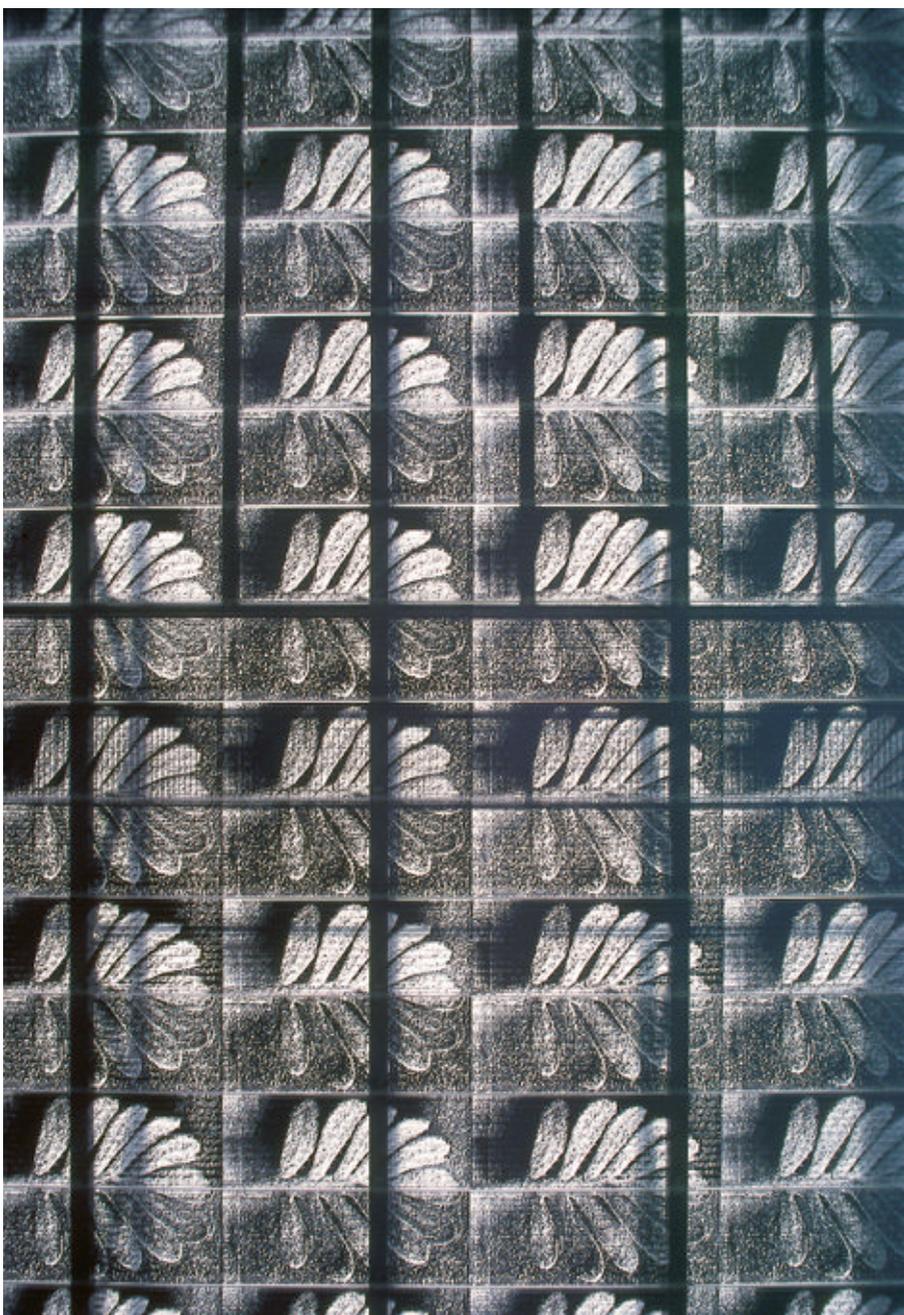
1

Mit der stetigen Zunahme des Verglasungsanteils bis zur Ganzglashülle kollidiert die gewünschte Transparenz immer stärker mit den Anforderungen der Bauphysik. Große Verglasungsflächen schaffen zusätzliche Wärmeverluste im Winter, aber auch Energiegewinne im Sommer, bis hin zur Gefahr der Überhitzung. Selbst bei der Anwendung heutiger, hoch selektiver Beschichtungen gelangt im Sommer noch so viel Energie in den Innenraum, dass „gläserne Schwitzkästen“ sich häufig nur mit aufwendigen Klimakonzepten vermeiden lassen. Auch das nachträgliche Aufrüsten der Haustechnik zur Steuerung des Gebäudeklimas kann die Zweifel am Sinn solcher Glashäuser kaum ausräumen.

Seine Bedeutung als Konstruktionsmaterial hat Glas heute dank der Suche nach gesteigerter Transparenz wieder erlangt. Die Initiative für die lange vernachlässigte Erforschung der konstruktiven Eigenschaften des Materials Glas ging von Stahlbauinstituten und -unternehmen aus, in deren Hand auch die Planung und Ausführung erster experimenteller

Projekte lag. Heute werden Glasflächen als Windschwerter, Träger, Stützen oder Druckspreizen in filigrane Tragstrukturen aus Stahl integriert, vor allem mit dem Ziel, eine größtmögliche Auflösung der Hüllstruktur zu erreichen. So werden die Konstruktionsprinzipien des Skelettbau für Glastragwerke übernommen, obwohl die Materialien sich in ihren Eigenschaften grundlegend unterscheiden. Am deutlichsten zeigt sich die dank des technologischen Fortschritts mögliche „Beherrschung“ des spröden Materials Glas in der großen Angebotspalette an punktförmigen Verbindungselementen für Glasbauteile. [1/3] Der Glasbau ist heute so stark geprägt von der Tektonik des Stahlbaus, dass er noch keine eigene Formensprache finden konnte.

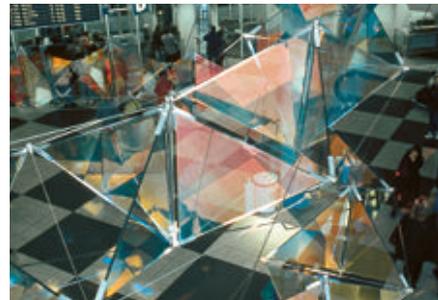
Die dynamische Entwicklung transparenter Hüll- und Konstruktionsysteme hin zu den lichtdurchfluteten Räumen, die unser öffentliches Leben prägen, den Hallen der Flughäfen und Bahnhöfe, den Sport- und Freizeitanlagen, den Ausstellungshallen, Einkaufspassagen und Atriumhäusern der Innenstädte, scheint gegenwärtig zu einem



8



9



10

- 8 Vordachkonstruktion aus „darstellenden“ Polycarbonatplatten am Ricola Lagerhaus, Mulhouse, 1993, Arch.: Herzog und de Meuron
- 9 Glas und Transluzenz, Schubert Club Band Shell, Saint Paul (USA), 2002, Arch.: James Carpenter Design Associates (JCDA)
- 10 Dichroitisch beschichtete Gläser bilden eine räumliche Tragsstruktur. Glasskulptur „Refractive Tensegrity Rings“, Flughafen München, 1992, Arch.: James Carpenter Design Associates (JCDA)

gewissen Abschluss gekommen zu sein, und es stellt sich die Frage nach der zukünftigen Bedeutung des konstruktiven Glasbaus. [1/4]

Es ist festzustellen, dass die „Stofflichkeit“ des Materials als neue Qualität verstärkt in den Vordergrund tritt. Zeitgenössische Arbeiten entwickeln ein Materialverständnis, das bereits im frühen 20. Jahrhundert in den Projekten der „Gläsernen Kette“ und in frühen expressionistischen Arbeiten Mies van der Rohes zum Ausdruck kam. Architekten wie Herzog und de Meuron oder Bernard Tschumi begreifen die Transparenz von Glas als einen veränderlichen Zustand und betonen durch gezielte Spiegeleffekte, Farbgebungen und diffuse Streuung die Vielfalt und Sinnlichkeit des Materials: „In diesem Moment ist es durchsichtig, im nächsten reflektiert es, um in der darauf folgenden Minute halbdurchlässig zu werden.“ [1/5] Das Verständnis von Glas als wahrnehmbare, optisch veränderbare Grenzfläche zwischen Innen und Außen lädt dazu ein, die Transparenz des Glases bewusst in Wechselbeziehung zu den bauphysikalischen Aspekten der Gebäude-

hülle zu sehen und als sichtbaren „Filter“ einzusetzen. Das große Potenzial des konstruktiven Glasbaus, nicht nur Transparenz zu fördern, sondern auch die Lebendigkeit reflektierender Oberflächen und die Präsenz eines farbig absorbierenden Baukörpers einzusetzen, kommt in Arbeiten des New Yorker Architekten und Designers James Carpenter besonders deutlich zum Ausdruck — Abb. 9, 10. [1/6]

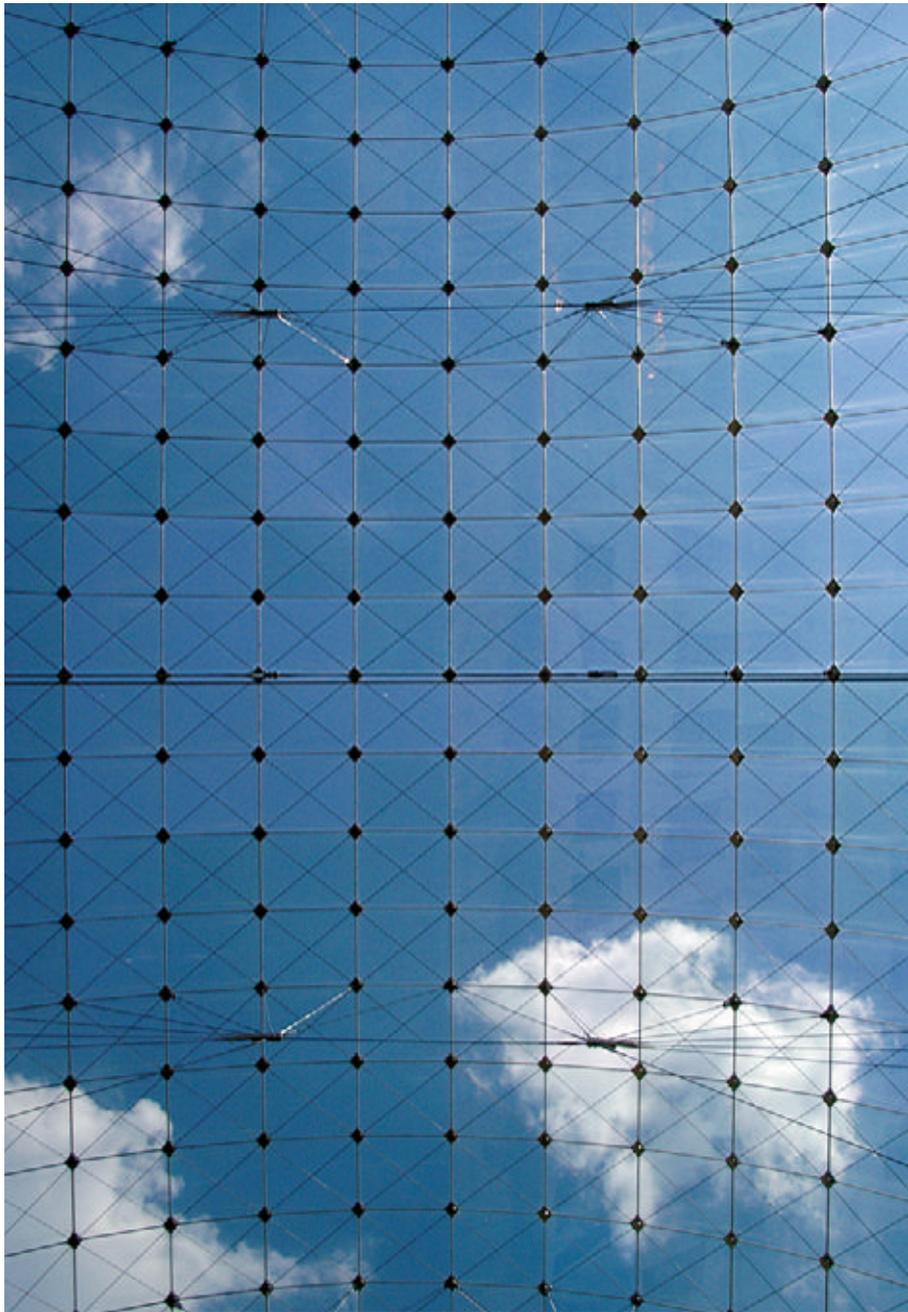
Im modernen Glasbau treffen sich zunehmend zwei Entwicklungstendenzen: die angesprochene neue Ästhetik der Stofflichkeit des Materials einerseits und die Hinwendung zu einer Konstruktionsform andererseits, die Glas als flächiges Tragelement und nicht mehr als Substitut für linienförmige Träger und Stützen aus Stahl begreift. Flächentragwerke stellen eine Einheit aus Gebäudehülle und Tragwerk dar und sind, wie eingangs erwähnt, schon in den englischen Gewächshäusern des 19. Jahrhunderts angewandt worden, aber ihre besondere Eignung für moderne Glaskonstruktionen wird erst heute wieder entdeckt. Sie sind wesentlich toleranter gegenüber dem spröden



11



12



13

- 11 Glas als tragendes, schützendes und darstellendes Element: Prototyp für ein räumliches Flächentragwerk aus Glas, Tetra-Glasbogen, 2000, Planung: Wilfried Führer und Jan Wurm, Lehrstuhl für Tragkonstruktionen, RWTH Aachen
- 12 Entwurfsprojekt zu einer Bahnsteigüberdachung, Entwurf: Christof Schlaich und James Wong, Lehrstuhl für Tragkonstruktionen, RWTH Aachen
- 13 Ansätze für Strukturformen im Glasbau: Glasscheiben ersetzen stabförmige Tragelemente, Tonnenschale aus Glas mit einer Spannweite von 14 m, Maximilianmuseum Augsburg, 2000, Entwurf und Planung: Ludwig und Weiler Ingenieure

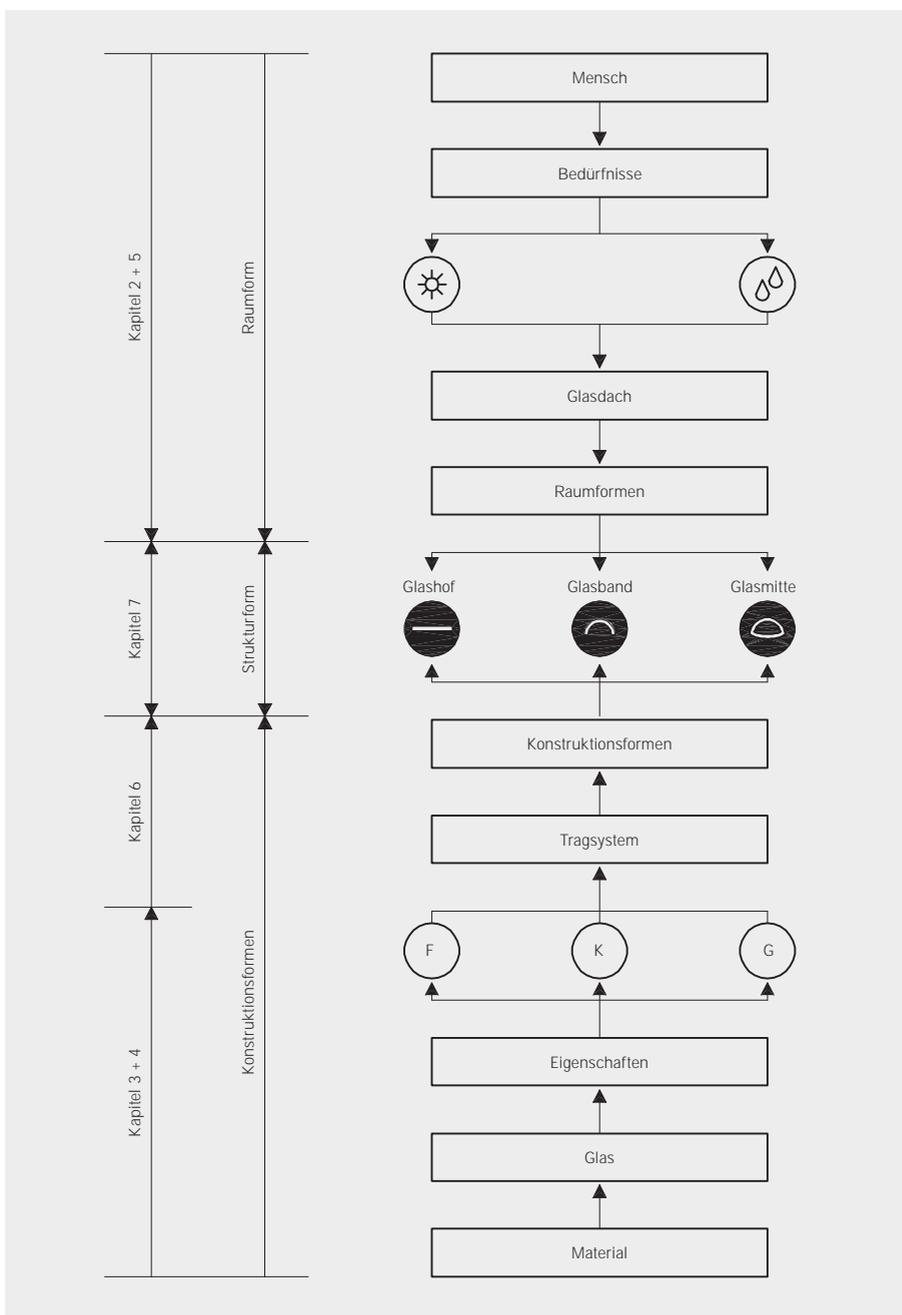
1

Baustoff Glas, weil sie den Kraftfluss viel gleichmäßiger zu verteilen gestatten, als dies in Skelettkonstruktionen die Regel ist. Curt Siegel beschreibt Flächentragwerke auch als Strukturformen, die sich als Einheit aus den Möglichkeiten des Baumaterials, den konstruktiven und nutzungsspezifischen Rahmenbedingungen der Bauaufgabe und dem Gestaltungswillen des Planers entwickeln. [1/7, 1/8] Oder, um mit Vitruv zu sprechen, Strukturformen sind das Resultat eines schöpferischen Prozesses des Architekten oder Ingenieurs, das die grundlegenden Eigenschaften der Zweckmäßigkeit (utilitas), Festigkeit (firmitas) und Schönheit (venustas) in sich vereint. [1/9]

Mit diesem Buch sollen deshalb neue Wege zu Strukturformen für den heutigen Glasbau von weittragenden Hüll- und Dachtragwerken aufgezeigt werden. Dabei sollen die großen Fortschritte im Umgang mit dem Werkstoff Glas auf die für Flächentragwerke geeigneten Konstruktionsprinzipien und gestalterischen Möglichkeiten übertragen werden. Die häufig widersprüchlichen Anforderungen seitens der funktio-

nen, der konstruktiven, der technischen und der gestalterischen Planungen führen dazu, dass für jede Bauaufgabe eine neue Gewichtung von Hüll- und Tragwerkgeometrie vorgenommen werden muss. Nur in direkter Auseinandersetzung mit einer konkreten Planungsaufgabe und in intensiver Zusammenarbeit zwischen Architekt, Ingenieur und Fachplaner kann eine solche Synthese gelingen. [1/10] Da es Strukturformen des Glasbaus bislang nur in Ansätzen gibt, kann man sich einer spezifischen Formensprache für Glastragwerke aktuell nur durch einen experimentellen Zugang annähern. Neben aktuellen Projekten renommierter Architekten und Ingenieure werden daher auch Fallbeispiele und Prototypen vorgestellt, die der Autor gemeinsam mit Studenten und mit Unterstützung der Industrie entwickelt hat. Die Projekte verfolgen das Ziel, durch experimentelles Konstruieren, Planen und Gestalten den notwendigen integralen Entwurfsansatz im Glasbau zu stärken. Mit den vorgestellten Bausystemen soll neben einer materialgerechten Verwendung des Baustoffes auch gezeigt

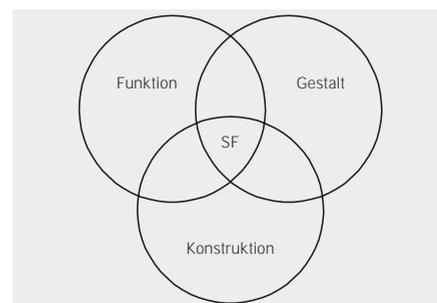
14



14



15



16

14 Inhaltsübersicht

15 Entwurfsworkshop im Seminar „Glasbau - Konzept und Konstruktion“

16 Die Strukturform (SF) als Synthese von konstruktiven, funktionalen und gestalterischen Qualitäten

werden, wie sich Tragwerkselemente zur Steuerung des Raumklimas einsetzen lassen. Mit diesem Ansatz sollen eine Formensprache und eine ästhetische Qualität sichtbar werden, die auf der Poesie tragender, raumbildender und leuchtender Flächen beruht.

Im zweiten Kapitel werden deshalb zunächst nochmals die Zusammenhänge von Form, Funktion und Konstruktion von Dachtragwerken ins Gedächtnis gerufen. Die fachlichen Grundlagen werden in den folgenden Kapiteln systematisch aufgebaut: Die Eigenschaften des Werkstoffs einschließlich der Bearbeitungs- und Veredelungsmethoden werden in Kapitel 3 erläutert. Für die Verwendung von Flachglas als raum- und strukturbildendes Element werden in Kapitel 4 die Prinzipien einer materialgerechten Füge- und Konstruktionsweise vorgestellt. In Kapitel 5 und 6 werden die Rückschlüsse aus den Materialeigenschaften auf die funktionstechnischen Anforderungen gläserner Hüllen beziehungsweise die Konstruktionsprinzipien der Flächenbauweise formuliert. Die Vorstellung ausgeführter Glaskonstrukti-

onen und experimenteller Projekte in Kapitel 7 stellt die große Bandbreite möglicher Strukturformen anschaulich dar. Kapitel 8 schließt das Buch mit einem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen und Perspektiven ab — Abb. 14.

GLÄSERNE
SPANNWEITEN



1



2



3



1–3 Entwicklungsschritte

- 1 Gartenarchitektur, Wales
- 2 Ornamentik des Blätterdaches, Kreuzgang Gloucester, ca. 1360–1370
- 3 Projekt Ganzglastonne, 2000

4 Das Blätterdach

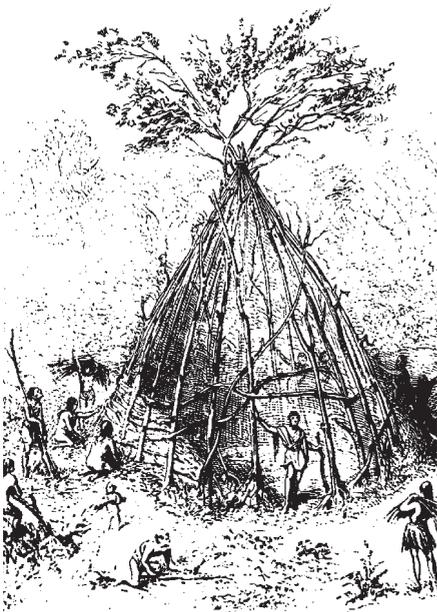
2.1 VON DER BLÄTTERLAUBE ZUR KLIMAHÜLLE – DIE SUCHE NACH DEM PARADIES

„Es liegt ein wunderbarer Reiz darin, mitten im Winter die Fenster eines Salons öffnen zu können und [...] einen milden, balsamischen Frühlingshauch zu fühlen. Es regnet vielleicht draußen, oder der Schnee fällt vom schwarzen Himmel in stillen Flocken herab, man öffnet die Glastüre und findet sich in einem irdischen Paradiese, das des Winterschauers spottet.“

Bericht über einen Wintergarten der Prinzessin Mathilde von Bonaparte, Paris 1869

Die Entwicklung der Eisenskelettkonstruktion bildet die technische und ökonomische Voraussetzung für den Bau der ersten gläsernen Dachtragwerke im 19. Jahrhundert. [2.1/1]

Kaum weniger bedeutsam für die Auflösung der Deckenkonstruktion, bisher allerdings kaum beachtet, sind kulturelle und religiöse Vorgaben, die wir hier unter dem Begriff „Paradiessehnsucht“ zusammenfassen. In säkularisierter Form offenbart sich darin der Menschheitstraum, in Harmonie mit der natürlichen Umwelt, von allen feindlichen Bedrohungen geschützt, in einer Art Garten Eden zu leben. Schon lange bevor im 19. Jahrhundert die konstruktiven Mittel bereitstanden, das trennende Dach zur Natur wenigstens optisch zu öffnen, wurde die ersehnte Auflösung der Dachkonstruktion im Sakralbau mit symbolischen und ästhetischen Mitteln suggeriert. Obwohl ohne direkten Bezug zum eigentlichen Glasbau, sind diese frühen Bestrebungen einer „Öffnung zum Himmel“ heute noch nachzuvollziehen. Derzeit steht bei der Weiterentwicklung des Glasdachs vor allem die An-



5

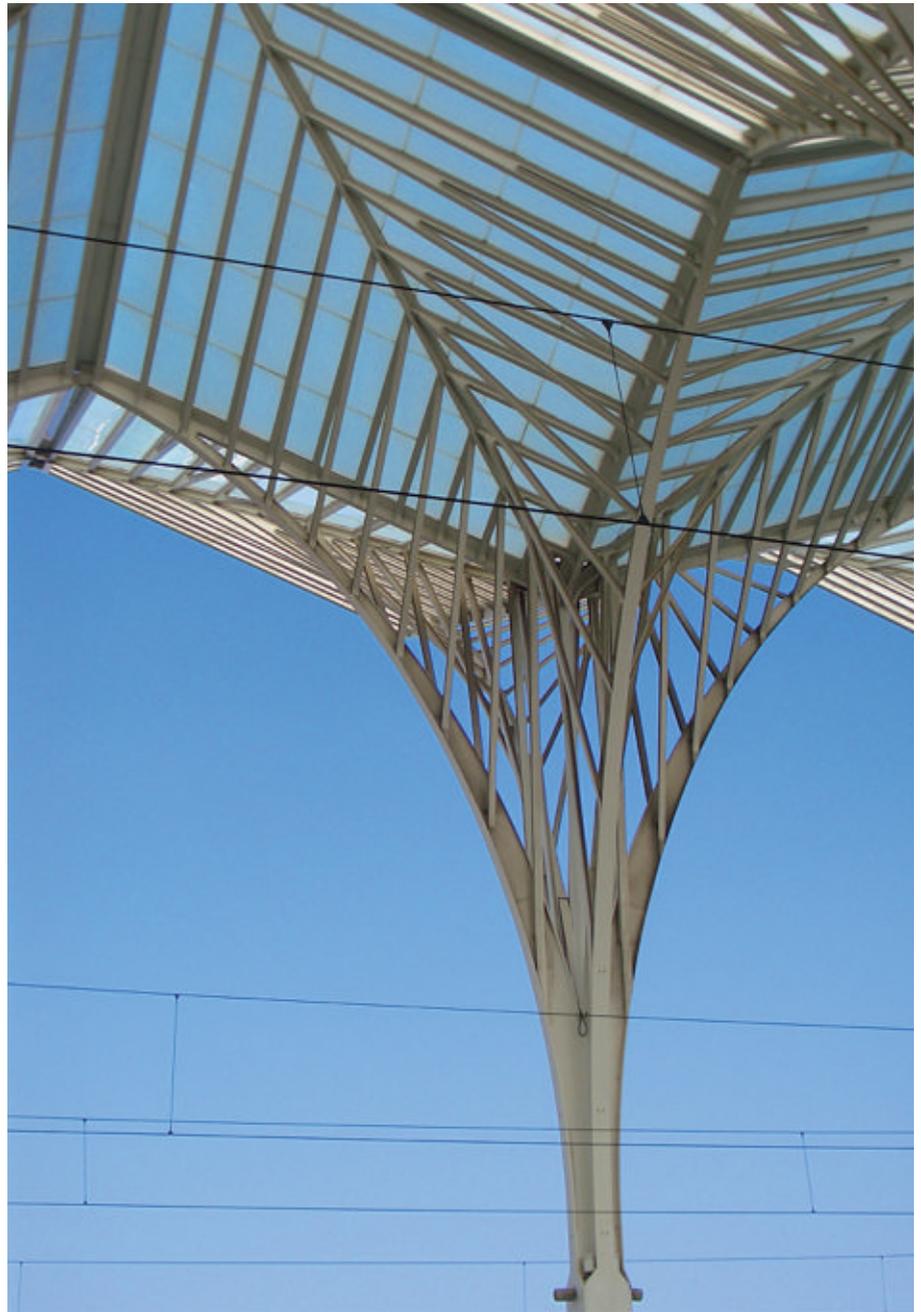


6

5 Das „erste Haus“ nach Viollet-le-Duc

6 Schmiedeeiserne Laube in Noyers, Burgund, 19. Jahrhundert

7 „Künstliches“ Blätterdach: Estação Oriente, Lissabon, 1998, Arch.: Santiago Calatrava



7

passung des Mikroklimas im Innenraum an eine natürlich empfundene, ideale Behaglichkeit im Vordergrund.

FRÜHZEIT UND CHRISTLICHE SAKRALARCHITEKTUR

___ DIE LAUBE

Das Motiv der paradiesischen Naturerfahrung kommt in dem gebauten Gartenraum der Laube, einem mit Kletterpflanzen bewachsenen Gerüst, zum Ausdruck. Das Blätterdach der Laube bietet dem Innenraum Schutz vor Regen, Wind und Sonne, es ist aber auch lichtdurchlässig und erfüllt damit als Urform des allseitigen Oberlichts die grundlegenden Bedürfnisse des Menschen.

Hans Teubner schreibt, dass „die Laube fast immer mit Vorstellungen vom Paradies [...] verknüpft war“, wie etwa beim jüdischen Laubhüttenfest, das den Auszug aus Ägypten feiert. [2.1/2] Die Laube wird mit dem Ursprung der Architektur in Verbindung gebracht: Vitruv, Laugier und Viollet-le-Duc beschreiben die erste menschliche Behau-

sung als Dachkonstruktion aus zusammengebundenem Ast- und Blattwerk ____Abb. 5. Diese Vorstellungen der Architekturtheoretiker entsprechen zumindest zum Teil der Wahrheit. Im fruchtbaren Zweistromland Mesopotamien zwischen Euphrat und Tigris, das aufgrund der günstigen klimatischen Verhältnisse als Wiege unserer Kultur und als Ort des Gartens Eden gilt, bestanden die ursprünglichen Behausungen tatsächlich „aus zusammengebogenen, in den Boden gerammten Stecken“ mit füllendem Laub oder Schilf. [2.1/3]

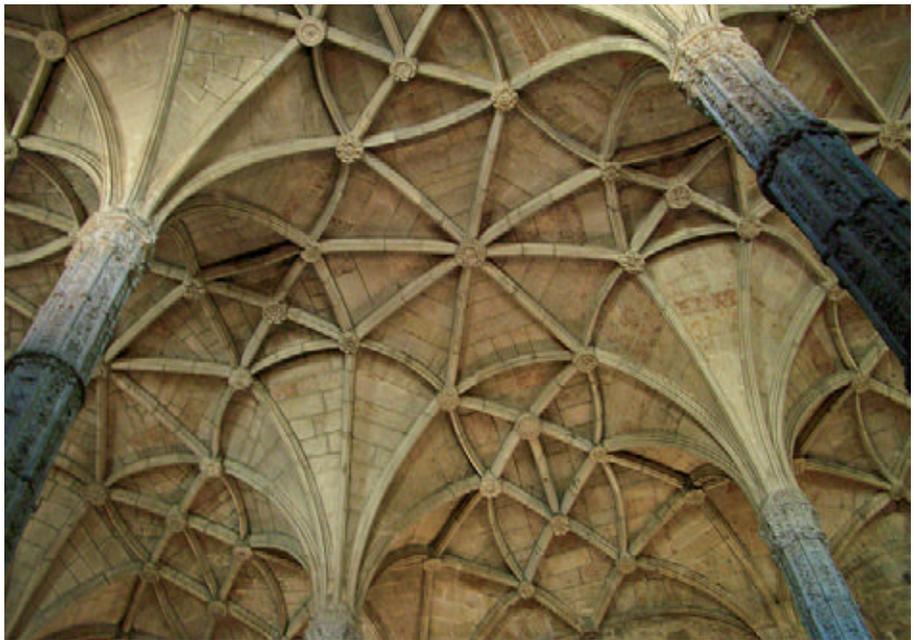
Auch heute noch löst das Verweilen unter dem abschattenden Blätterdach hoher, von der Sonne beschienener und von einer leichten Brise bewegter Laubbäume ein so hohes Maß an Wohlbefinden aus, wie es auch in bestens klimatisierten und beleuchteten Innenräumen nur selten anzutreffen ist.



8



9



10

- 8 Blick in den durchbrochenen Turmhelm des Freiburger Münsters, ca. 1280
- 9 Das Kreuzgratgewölbe der Kathedrale von Amiens in der Untersicht, die einzelnen Joche treten als Baldachine hervor, ca. 1236
- 10 Plastisch überformtes Kirchengewölbe am Mosteiro dos Jerónimos in Belém, 1502–1571

2.1

— DER BALDACHIN

Das lateinische *tabernaculum* ist mit Laube oder auch mit Altarbaldachin zu übersetzen. Eigentlich ein mit lichtdurchlässigem Seiden- oder Brokatstoff bespanntes Traggestell, dient der Baldachin zunächst der weltlichen Herrscherwürde als Prunkhimmel. Später wird er bei christlichen Prozessionen als Traghimmel verwendet, bevor er als Symbol für den Schutz Gottes Teil der Altargestaltung wird. Die Darstellung des Baldachins als Himmelszelt ist eine der frühesten, expliziten Himmelsimulationen in der Architekturgeschichte. [2.1/4]

Das Kreuzrippengewölbe der Gotik nimmt die Darstellung des Baldachins auf. Mit der Aneinanderreihung der Gewölbejoche in den Langhäusern der Kathedralen wird die hoch liegende Fensterzone des Obergadens als durchlaufendes Seitenlicht erfahrbar, das die Deckenflächen der Gewölbe ausleuchtet. Die Lichtführung verstärkt die Bewegungsrichtung des Raumes und verstärkt seine Funktion als Prozessionsweg. Das Bild vom Garten Eden als gemeinsamem Ursprung

von Baldachin und Laube kommt in der floralen Dekoration spätgotischer Gewölbeflächen zum Ausdruck.

— DAS KUPPELGEWÖLBE

Die christliche Sakralarchitektur übernimmt von antiken Vorbildern die Typologie des Kuppelraumes als Abbild des Himmelsgewölbes. Der symbolische Bezug von Himmel und Gewölbe wird durch die Lichtführung im Inneren verstärkt: indirektes Licht aus Scheitel oder Kuppelkranz taucht den Kirchenraum in „göttlichen Glanz“.

Die Belichtung des Kuppelraums durch den *oculus*, eine kreisrunde Öffnung im Kuppelscheitel, ist für die Raumwirkung von übergeordneter Bedeutung. Das zentrale Oberlicht „monumentalisiert die Lichtführung, isoliert den Raum von seiner natürlichen Umgebung und verhindert Aussicht und Ablenkung“. [2.1/5] Beim Pantheon in Rom misst diese Lichtöffnung 9 Meter und damit circa ein Fünftel des Kuppeldurchmessers. In den christlichen Zentralbaukirchen erfolgt



11



12



13

11 Kuppelgewölbe mit Deckengemälde im Dom von Florenz, 1434–1461

12 Deckenmalerei von Correggio, Dom von Parma (1526–1530)

13 Das Pantheon in Rom, 118–128 n. Chr.

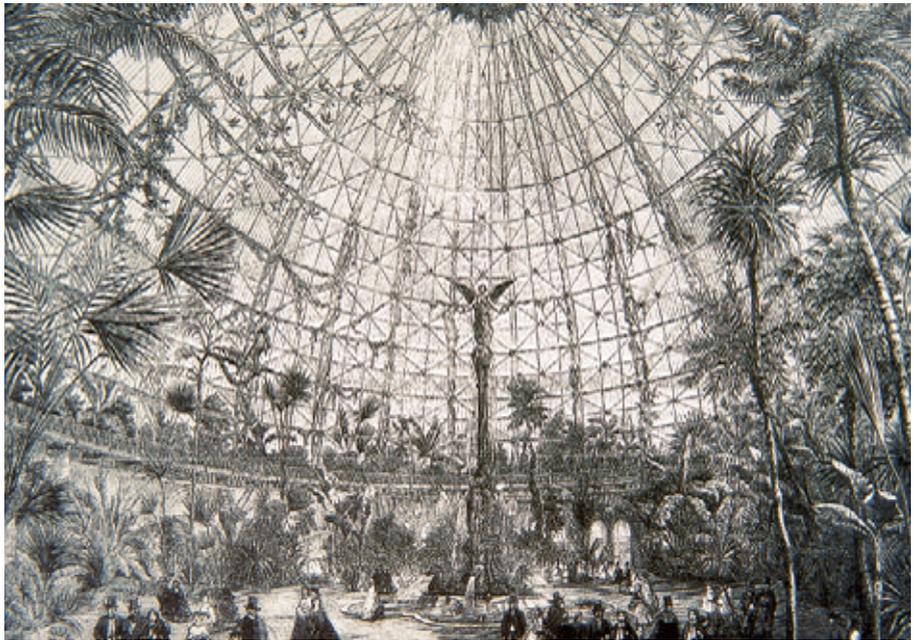
die Belichtung durch einen Fensterkranz am Kuppelaufleger wie bei der Hagia Sophia (532–537) durch Fenster im Tambour oder durch eine Laterne im Kuppelscheitel, wie beim Florentiner Dom (1434–1461). [2.1/6] Das zentrale Oberlicht entwickelt sich mit dem kuppelgewölbten Zentralbau zum Merkmal des sakralen, später auch des profanen Versammlungsbaus.

Betont wird die Himmelssymbolik häufig durch eine Ausmalung der Gewölbezone, etwa mit Sternen auf blauem Himmelsgrund, wie bei dem frühchristlichen Baptisterium San Giovanni in Fonte in Neapel (ca. 400 n. Chr.). In der Spätgotik erhält die Gewölbezone eine Ausmalung mit Laubwerk. Auch das Traggerüst wird plastisch überformt, so dass Rippen und Pfeiler als Ast- und Rankwerk lesbar werden. Die Decke erscheint als Laube, als direkte Illustration des Garten Eden. [2.1/7] Die Ausmalung der Gewölbezone unterstützt die konstruktive Auflösung der Deckenkonstruktion und wird zu einem integralen Bestandteil der Architektur. Im Barock und Manierismus tritt neben dem

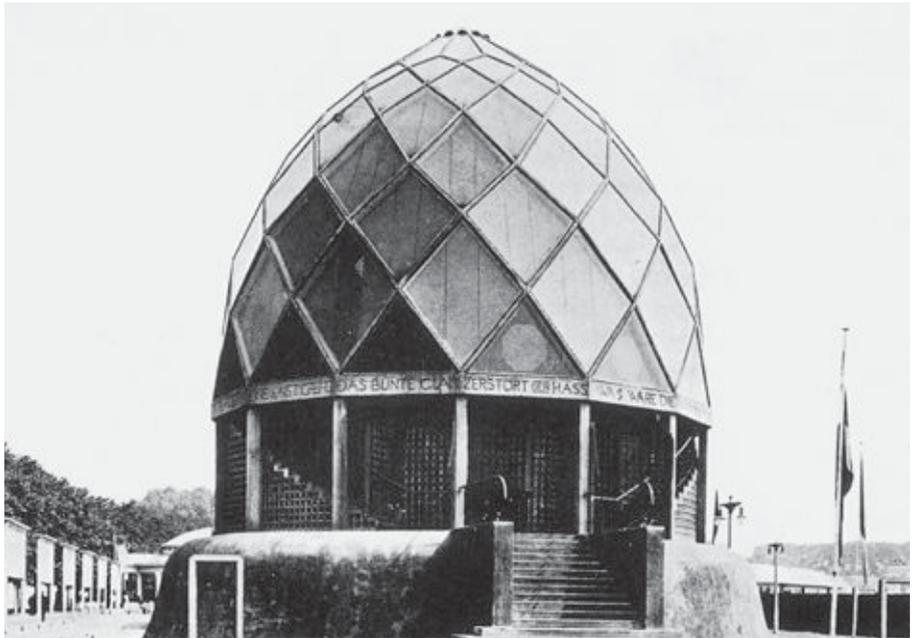
symbolischen Bedeutungsgehalt der Deckenmalerei mehr und mehr auch die Darstellung der realen Welt in den Vordergrund. So ist der blaue Himmel des Bildgrundes sowohl Verweis auf das himmlische Jenseits als auch realistisches Abbild des hinter der Konstruktion liegenden physischen Himmels, das der bewussten Raumerweiterung dient. [2.1/8] Die durch Fresken und Gemälde illusionistisch aufgelösten Decken bilden somit die letzte Entwicklungsstufe auf dem Weg zu den aufgelösten Glasdachkonstruktionen des 19. Jahrhunderts.



14



15



16

- 14 Großes Gewächshaus im Botanischen Garten zu Dahlem, 1905–07, Arch.: Alfred Koerner
- 15 Innenraum des „People's Palace“, Muswell Hill, London, 1859 (Projekt)
- 16 „Das bunte Glas zerstört den Hass.“ Glaspavillon, Kölner Werkbundaussstellung von Bruno Taut, 1914

2.1

NEUZEIT

___ DAS GEWÄCHSHAUS

Mit den technischen Fortschritten der industriellen Revolution kann der Traum vom offenen Dach aus Eisen und Glas endlich realisiert werden. Die Gewächshauskonstruktionen in England stellen die ersten Glasdächer der Baugeschichte dar. Gewächshäuser werden zu einer Oase, einem „Ort der Glücksverheißung“ für eine „Versöhnung mit der Natur“. [2.1/9] Die tropische Pflanzenpracht mit exotischen Düften und Geräuschen schafft eine Traumwelt und ermöglicht die Flucht der Stadtbevölkerung vor dem Leben der Großstadt. Die klimatechnischen Anlagen, die für den Erhalt der Pflanzen notwendig sind, werden vor dem Auge des Besuchers bewusst verborgen, um diesem die Illusion eines Garten Edens im rauen Klima Nordeuropas nicht zu rauben. [2.1/10]

Die öffentlichen Wintergärten und Florabauten mit integrierten Konzertsälen, Restaurants und Bibliotheken stellen den Menschen

und seine Freizeitaktivitäten in den Mittelpunkt einer bürgerlichen Neuschöpfung der Natur. Ein zeitgenössischer Bericht beschreibt den Wintergarten im Royal Botanic Garden im Regent's Park: „Ein wahrhaftiges Märchenland ist in das Herz Londons versetzt worden, ein Garten voller Wohlgefallen, der alle unsere Wünsche Wirklichkeit werden lässt.“ [2.1/11]

___ DER „GLASKRISTALL“

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts werden sozialutopische Visionen, die mit der Verwendung von Glas als Baumaterial für ein neues Zeitalter verknüpft sind, von den Mitgliedern der expressionistischen Künstlervereinigung „Gläserne Kette“ um Bruno Taut (1880–1938) und Paul Scheerbart (1863–1915) aufgegriffen. Taut entwirft kristalline Stadtkronen aus Glas wie etwa das „Haus des Himmels“: „Zum Aufbau der Decke dienen Prismen aus farbigen, elektrolytisch verbundenen Gläsern, zum Aufbau der Wände gegossene Prismen.“ [2.1/12]



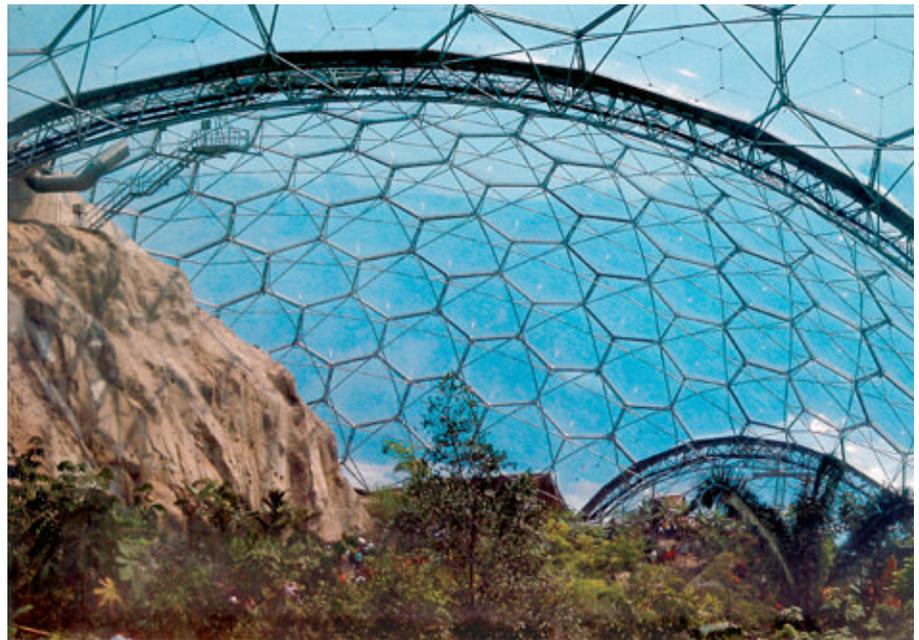
17



18



19



20

- 17 Projekt einer geodätischen Kuppelkonstruktion über Manhattan, ca. 1960, Arch.: Buckminster Fuller
- 18 Projekt einer pneumatisch gestützten Klimahülle in der Arktis, 1970, Arch.: Frei Otto mit Kenzo Tange und Ove Arup
- 19 Pavillon der USA auf der Expo 1967 in Montreal von Buckminster Fuller
- 20 Die großen Biosphären des „Eden Project“ in Cornwall, 2001, Arch.: Nicolas Grimshaw, Ing.: Arup und Anthony Hunt Associates

Und Scheerbart schreibt: „Die Erdoberfläche würde sich sehr verändern, wenn überall die Backsteinarchitektur von der Glasarchitektur verdrängt würde. Es wäre so, als umkleidete sich die Erde mit einem Brillanten- und Emailschnuck. Die Herrlichkeit ist gar nicht auszudenken. Und wir hätten dann auf der Erde überall Köstlicheres als die Gärten aus tausend und einer Nacht. Wir hätten dann ein Paradies auf der Erde.“ [2.1/13]

— DIE KLIMAHÜLLE

Im 19. Jahrhundert herrscht ein allgemeines gesellschaftliches Bedürfnis nach Unabhängigkeit von Witterungseinflüssen und Schutz vor dem Schmutz und den Abgasen der Großstadt, das sich in der großzügigen Überdachung städtischer Räume mit Glas niederschlägt. Im Wunsch nach Hygiene und Sauberkeit überlagern sich physische und metaphysische Aspekte. Um den „Schäden der Zivilisation“ zu begegnen, beschreibt Charles Marie Fourier (1772–1837)

bereits 1808 mit den „Phalanstères“ das Ideal einer vollständig glasüberdachten Stadt, die auch als Katalysator für eine neue Gesellschaftsordnung dienen soll. [2.1/14]

1822 entwirft J. C. Loudon die Vision, für die Verbesserung der Lebensbedingungen ganze Städte in „nördlichen Gegenden“ unter ein Glasdach zu stellen. „Die wirtschaftlichste Art und Weise, ein angenehmes Klima zu schaffen, wird sein, ganze Städte mit gewaltigen Glasdächern zu überspannen.“ [2.1/15]

Fast 150 Jahre später wird diese Vision durch das Projekt von Buckminster Fuller (1895–1983) für eine geodätische Kuppel mit drei Kilometern Durchmesser über Manhattan und ein Projekt von Frei Otto für eine Klimahülle mit zwei Kilometern Durchmesser in der Arktis wieder aufgegriffen. [2.1/16]

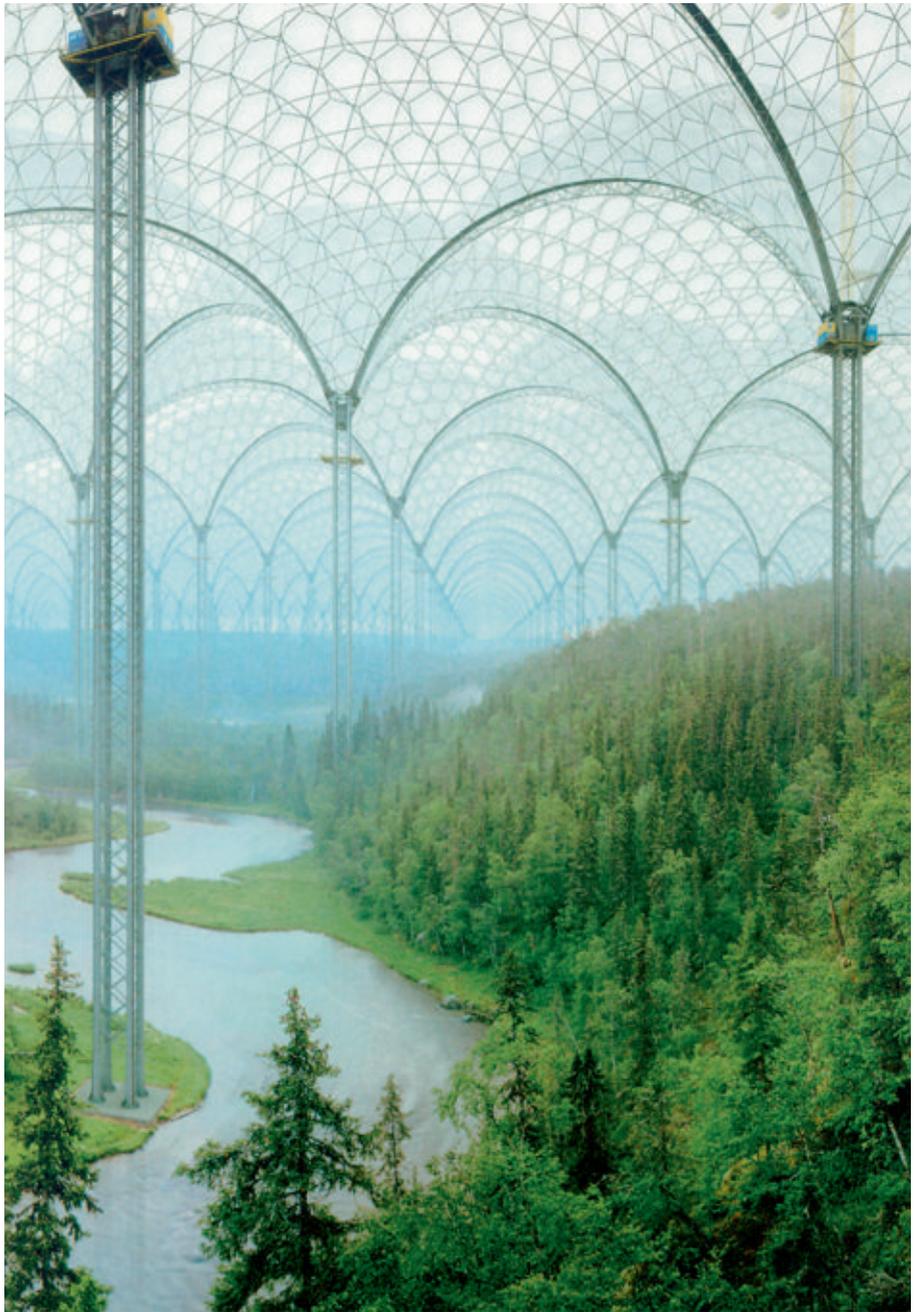
Die Kuppelkonstruktion, die Buckminster Fuller zur Weltausstellung von 1967 in Montreal errichtet, ist mit einem Durchmesser von circa 75 Metern eine kleinmaßstäbliche Verwirklichung dieser Vision.



21



22



23

21 Das Blätterdach aus Glas: Ademie der Künste am Berliner Platz, Berlin, 2002, Arch.: Behnisch und Partner

22 „Tropical Island“ in Brand bei Berlin, 2004, Generalplaner: CLMAP GmbH München

23 Inszenierte Natur, Fotomontage „Kitka-river“, 2004, von Ilkka Halso, Orimattila

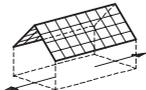
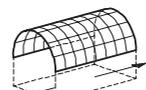
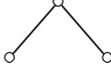
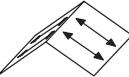
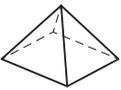
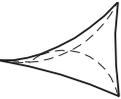
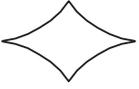
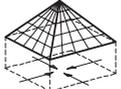
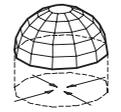
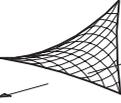
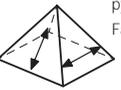
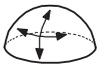
2.1

Fuller schreibt: „Im Inneren wird es einen uneingeschränkten Blickkontakt mit der Außenwelt geben. Die Sonne und der Mond werden in der Umgebung strahlen, der Himmel wird vollständig sichtbar sein, aber die unerwünschten klimatischen Begleiterscheinungen wie Hitze, Staub, Ungeziefer, Blendlicht, etc. werden von der Hülle gefiltert werden, um im Inneren einen Garten Eden zu erzeugen.“ [2.1/17]

Umfangreiche Fortschritte bei Haustechnik und Glasveredelung ermöglichen heute eine solche Regulierung der Energieströme zwischen innen und außen. Mit gläsernen, selbstregulierenden dynamischen Gebäudehüllen, die unabhängig von den nicht regenerativen Energiequellen durch Nutzung der Sonnenenergie einen ausgeglichenen Energiehaushalt aufweisen und sich den Bedürfnissen des Menschen und den sich ändernden klimatischen Bedingungen der Umwelt anpassen können, ist die Sehnsucht nach einer Zukunft verbunden, in der der Mensch wieder in Einklang mit der Natur leben kann.

So zeigt sich auch in vielen zeitgenössischen Projekten die seit dem 19. Jahrhundert mit dem Glashaus verbundene Sehnsucht nach dem Paradies als Synthese von Mensch und Natur. Der Aufenthalt unter dem farbigen Glasdach der Kurtherme in Bad Colberg oder im Atrium der Berliner Kunstakademie soll vom Besucher als „Aufenthalt unter einem Blätterdach“ empfunden werden. [2.1/18, 2.1/19]

Moderne *Freizeitparadiese* wie das „Tropical Island“ bei Berlin, das einen tropischen Regenwald mit Lagunen, Veranstaltungssälen und Bars beherbergt, wollen dem Besucher eine scheinbar intakte Natur bei vollem Spaßfaktor präsentieren und erkaufen dies mit enormem haustechnischem und energetischem Aufwand für die künstliche Klimatisierung und Steuerungstechnik.

Dachform	Grundrissform	Orientierung/Raumform	Tragsystem/Konstruktionsform	
eben				
 horizontal  geneigt	   		eindimensional  Balken  Sparren	zweidimensional  Platte  Tragrost
gefaltet/gekrümmt				
 Sattel  konvexe Krümmung  konkave Krümmung	  	  	zweidimensional  Rahmen  Bogen  Seil	dreidimensional  prismatisches Faltwerk  Tonne  Hängedach
doppelt gefaltet/gekrümmt				
 Pyramide/ Zeltdach  Kuppel  antiklastische Krümmung	    	  	dreidimensional  pyramidisches Faltwerk  Schale  Membran- tragwerk	

1

1 Dachformen und Orientierung in Glashof, Glasband und Glasmitte

—
—
—
—
—

2.2

DAS GLASDACH: FORM, FUNKTION UND KONSTRUKTION

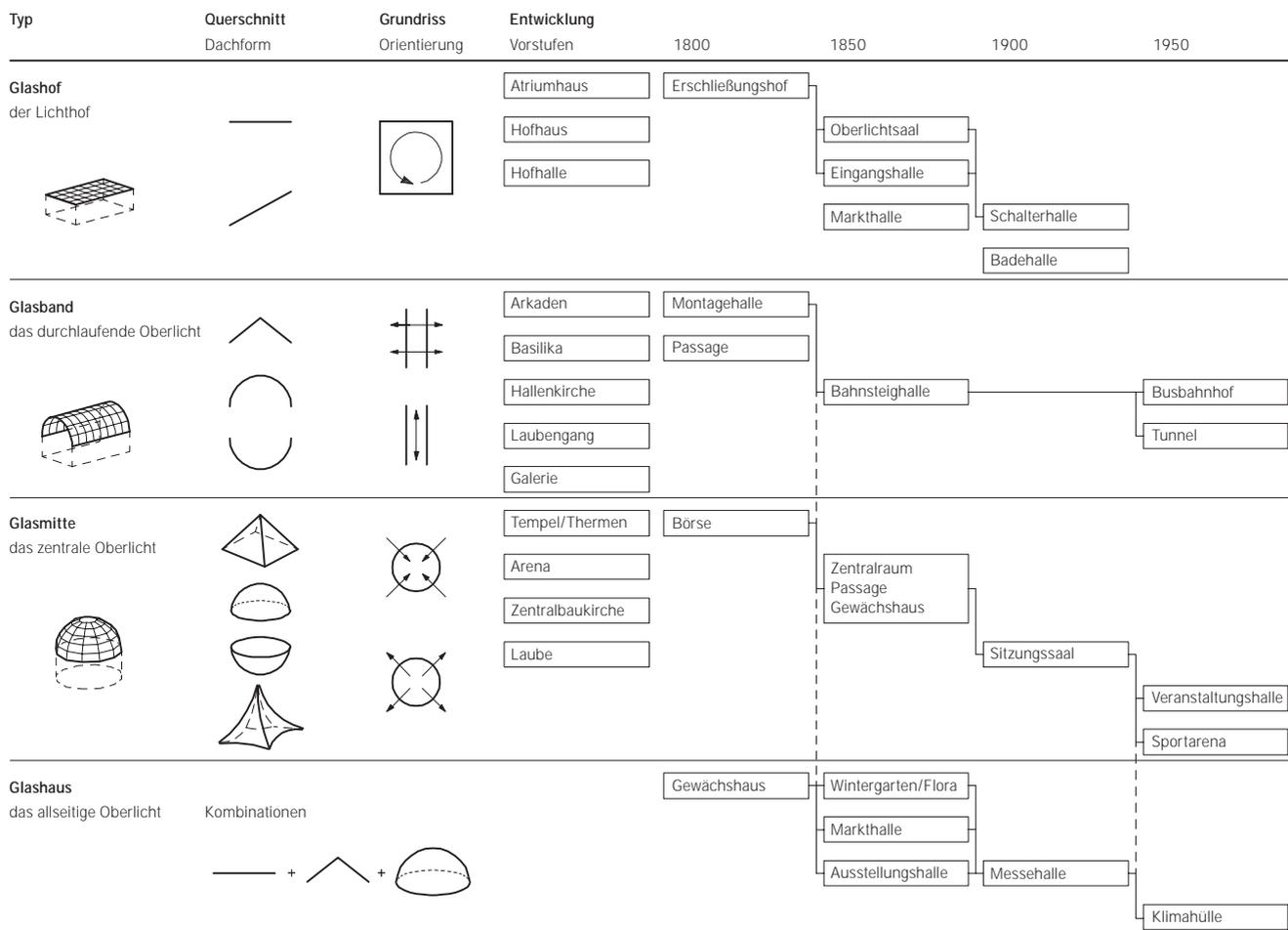
— RAUM- UND KONSTRUKTIONSFORM

Im 19. Jahrhundert entwickeln sich aufgelöste Tragstrukturen aus stabförmigen druck- oder zugfesten Materialien wie Holz oder Stahl, die erstmals teilweise oder vollständig mit Glas gedeckt werden. Die Trennung von Tragwerk und Hülle vollzieht sich in Mittel- und Nordeuropa während der industriellen Revolution aus der Notwendigkeit, große Nutzflächen von Bahnhofs-, Montage-, Versammlungshallen oder Passagen vor den Einflüssen der Witterung zu schützen und gleichzeitig mit natürlichem Tageslicht zu versorgen. Die Entwicklung des Glasdachs ist damit sehr eng mit der des *Flachbaus* verknüpft. Bei

diesen weit gespannten Dachtragwerken wird die Überlagerung von funktionalen und konstruktiven Aspekten bei der Formfindung besonders deutlich.

Die *Raumform* der Hülle, nach Grundriss und Querschnitt, entwickelt sich aus der beabsichtigten Nutzung und den funktionalen Anforderungen der Bauaufgabe. Damit ein Tragwerk seine Zweckbestimmung erfüllen kann, muss es alle einwirkenden Eigen- und Verkehrslasten in den Baugrund abtragen. Alle Tragelemente, die für diesen Lastabtrag notwendig sind, müssen ein tragfähiges Gesamtsystem erzeugen, die *Konstruktionsform*. Die Eigenschaften und die Verfügbarkeit des Baumaterials sind wichtige Aspekte bei der konstruktiv-technischen Formfindung von Dachtragwerken. [2.2/1]

In dieser Arbeit werden Glasdächer in Anlehnung an die Typologisierung von Erscheinungsformen des Oberlichtes von J. F. Geist nach ihren Raum- und Konstruktionsformen unterschieden. Die grundlegenden Typen von *Glashof*, *Glasband* und *Glasmitte* sind in ___Abb. 1



2

2 Entwicklungsschema der verschiedenen Glasdachtypen

2.2

dargestellt. Der Glashof weist eine ebene, das Glasband eine gefaltete oder gekrümmte und die Glasmitte eine doppelt gefaltete oder gekrümmte Dachform auf. Das *Glashaus* umfasst als Typ die allseitige Glashülle, die sich zugunsten einer skulpturalen Qualität stark von eindeutigen typologischen Bezügen emanzipieren kann. [2.2/2]

Der Kraftfluss im Tragsystem und die Beanspruchung der Tragglieder hängen von der Querschnitts- und Grundrissgeometrie ab, weshalb Form und Größe von Tragwerken nicht unabhängig voneinander wählbar sind. Für große Spannweiten wird ein Flachdach schnell unwirtschaftlich, während ein doppelt gefaltet oder gekrümmtes Dach noch mit vergleichbar geringem Materialaufwand erstellt werden kann. In diesem Sinne unterscheiden sich Glashof, Glasband und Glasmitte auch bezüglich ihrer räumlichen Ausdehnung und der Größe der überspannten Fläche.

— HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Die historische Entwicklung des Glasdachs und seiner typischen Erscheinungsformen Glashof, Glasband, Glasmittel und Glashaus ist in —Abb. 2 schematisch dargestellt. Die Übersicht dient dazu, Tendenzen und Entwicklungslinien von Querschnitt (Dachform) und Grundriss (Orientierung) von den ersten Glasdachkonstruktionen um 1800 bis heute aufzuzeigen. Unter „Vorstufen“ werden exemplarisch Bautypologien des Massivbaus aufgeführt, die von einem ähnlichen Raumgefüge geprägt sind.

Die Übersicht skizziert die Entwicklung vom Beginn der industriellen Revolution um 1800 bis heute in Phasen von jeweils 50 Jahren. Mit dem Bedarf an großen Oberlichtdächern entstehen um 1850 Grundrissformulierungen für neue Bauaufgaben wie Museen, Markthallen, Börsen und Bibliotheken. Es werden große Hallen und Säle für die Produktion, Verteilung und Präsentation von Handelsgütern und für die Versammlung einer neuen städtischen Öffentlichkeit zum Zwe-