SpringerWienNewYork

Baukonstruktionen
Band 2

Herausgegeben von
Anton Pech

Anton Pech
Andreas Kolbitsch
Franz Zach

Tragwerke

unter Mitarbeit von
Alfred Pauser
Johannes Zeininger

SpringerWienNewYork

Dipl.-Ing. Dr. techn. Anton Pech
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Andreas Kolbitsch
Dipl.-Ing. Dr. techn. Franz Zach
Wien, Österreich

unter Mitarbeit von

em. O.Univ.-Prof. Baurat hc. Dipl.-Ing. Dr. Alfred Pauser
Dipl.-Ing. Johannes Zeininger
Wien, Österreich

Der Abdruck der zitierten ÖNORMen erfolgt mit Genehmigung des Österreichischen Normungsinstitutes, Heinestraße 38, 1020 Wien.
Benutzungshinweis: ON Österreichisches Normungsinstitut, Heinestraße 38, 1020 Wien, Tel. ++43-1-21300-805, Fax ++43-1-21300-818, E-mail: sales@on-norm.at

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

© 2007 Springer-Verlag/Wien
Printed in Austria

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Produkthaftung: Sämtliche Angaben in diesem Fachbuch/wissenschaftlichen Werk erfolgen trotz sorgfältiger Bearbeitung und Kontrolle ohne Gewähr. Insbesondere Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden. Eine Haftung der Herausgeber, der Autoren oder des Verlages aus dem Inhalt dieses Werkes ist ausgeschlossen.

Textkonvertierung und Umbruch: Grafik Rödl, 2486 Pottendorf, Österreich
Druck und Bindearbeiten: Druckerei Theiss GmbH, 9431 St. Stefan, Österreich

Gedruckt auf säurefreiem, chlorfrei gebleichtem Papier – TCF
SPIN: 11687276

Mit zahlreichen (teilweise farbigen) Abbildungen

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.

ISSN 1614-1288

ISBN 978-3-211-33031-9 SpringerWienNewYork

VORWORT ZUR 1. AUFLAGE

Die Fachbuchreihe Baukonstruktionen mit ihren 17 Basisbänden stellt eine Zusammenfassung des derzeitigen technischen Wissens bei der Errichtung von Bauwerken des Hochbaues dar. Es wird versucht, mit einfachen Zusammenhängen oft komplexe Bereiche des Bauwesens zu erläutern und mit zahlreichen Plänen, Skizzen und Bildern zu veranschaulichen.

Der Band Tragwerke liefert einen kompakten Überblick zu den Tragkonstruktionen von Hochbauten. Ausgehend von der Behandlung maßgebender Einwirkungen und der Vorstellung des aktuellen, in den europäischen Konstruktionsnormen verankerten semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes werden typische Tragwerkselemente exemplarisch behandelt. Dabei wird besonderes Augenmerk auf die im Hochbau eingesetzten Flächentragwerke und die für die Modellierung komplexer Strukturen verwendete Fachwerksanalogie gelegt. Das Zusammenwirken der Konstruktionsteile im Bauwerk zur Abtragung horizontaler und vertikaler Einwirkungen in den Baugrund sowie ein Überblick zu aktuellen Bauweisen im Massiv- und Skelettbau schließen diesen einführenden Band der Reihe Baukonstruktionen ab.

Fachbuchreihe BAUKONSTRUKTIONEN

Band 1: Bauphysik

Band 2: Tragwerke

- Grundlagen
- Einwirkungen
- Sicherheit
- Linientragwerke
- Flächentragwerke
- Raumtragwerke
- Bauwerke
- Tabellen

Band 3: Gründungen

Band 4: Wände

Band 5: Decken

Band 6: Keller

Band 7: Dachstühle

Band 8: Steildach

Band 9: Flachdach

Band 10: Treppen / Stiegen

Band 11: Fenster

Band 12: Türen und Tore

Band 13: Fassaden

Band 14: Fußböden

Band 15: Heizung und Kühlung

Band 16: Lüftung und Sanitär

Band 17: Elektro- und Regeltechnik

INHALTSVERZEICHNIS

020.1 Grundlagen 1

020.1.1 Architektur und Tragwerk 2
020.1.2 Mechanik – Statik 8
020.1.2.1 Begriffe 8
020.1.2.2 Einheiten 10
020.1.2.3 Tragstrukturen 11
020.1.2.4 Auflager, Systemdarstellungen 13
020.1.2.5 Tragwerkselemente 14
020.1.3 Vorschriften 17
020.1.3.1 Bauproduktenrichtlinie 18
020.1.3.2 Konstruktionsnormen 18
020.1.3.3 Bauvorschriften 19

020.2 Einwirkungen 21

020.2.1 Ständige Lasten – Eigengewicht 21
020.2.2 Nutzlasten 22
020.2.2.1 Wohnungen, Versammlungsräume, Geschäfts- und Verwaltungsräume 24
020.2.2.2 Lagerflächen 26
020.2.2.3 Parkhäuser, Bereiche mit Fahrzeugverkehr 26
020.2.2.4 Dachkonstruktionen 27
020.2.2.5 Auflasten Gelände 27
020.2.2.6 Horizontalkräfte auf Zwischenwände und Absturzsicherungen 27
020.2.3 Windeinwirkungen 28
020.2.4 Schneelasten 32
020.2.5 Erdbebenkräfte 33
020.2.6 Wasserdruck, Auftrieb 39
020.2.7 Erddruck 40
020.2.8 Anfahrstöße 41
020.2.9 Zwängungen 41

020.3 Sicherheit 43

020.3.1 Fehlerquellen 44
020.3.2 Sicherheitskonzepte 45
020.3.3 Grenzzustände 46
020.3.4 Stochastische Grundlagen 46
020.3.5 Grundlagen der Tragwerksplanung 50
020.3.5.1 Bemessungswerte 50
020.3.5.2 Tragwerksverformungen 52
020.3.5.3 Dauerhaftigkeit 53

020.4 Linientragwerke 55

020.4.1 Stäbe 55
020.4.1.1 Einfeldträger 58
020.4.1.2 Kragträger 60
020.4.1.3 Mehrfeldträger 61
020.4.1.4 Stützen 62
020.4.2 Fachwerk 63
020.4.3 Rahmen 68

020.4.4 Gekrümmte Linientragwerke 70
020.4.4.1 Seile 70
020.4.4.2 Bögen 72
020.4.5 Trägerroste 74

020.5 Flächentragwerke 83
020.5.1 Platten 83
020.5.2 Scheiben 88
020.5.3 Faltwerke 91
020.5.4 Konsolen 93

020.6 Raumtragwerke 105
020.6.1 Gewölbe, Kuppeln, Schalen 106
020.6.1.1 Gewölbe, Kuppeln 108
020.6.1.2 Schalen 109
020.6.2 Membranen, Seilnetze 112
020.6.2.1 Seilnetze 115
020.6.2.2 Membranen 116
020.6.3 Raumfachwerke 117
020.6.4 Turmartige Bauwerke 120
020.6.4.1 Freistehende Türme 120
020.6.4.2 Abgespannte Maste 121
020.6.5 Sonderkonstruktionen 122

020.7 Bauwerke 127
020.7.1 Bauweisen 127
020.7.1.1 Zellenbauweise 127
020.7.1.2 Schottenbauweise 128
020.7.1.3 Scheibenbauweise 129
020.7.1.4 Massivbauweise, Skelettbauweise 130
020.7.1.5 Monolithische Bauweise, Filigrane Bauweise 130
020.7.1.6 Mischbauweise 130
020.7.1.7 Differenzialbauweise 131
020.7.1.8 Integralbauweisen 131
020.7.1.9 Integrierende Bauweisen 131
020.7.1.10 Verbundbauweisen 132
020.7.2 Bauwerksaussteifung 132
020.7.2.1 Grundlagen 133
020.7.2.2 Massivbau 139
020.7.2.3 Skelettbau 140

020.8 Tabellen 141
020.8.1 Wichten, Eigengewichte 141
020.8.2 Wind, Schnee, Erdbeben 143
020.8.3 Statische Systeme 147
020.8.4 Querschnittswerte 151

Quellennachweis 155

Literaturverzeichnis 157

Sachverzeichnis 161

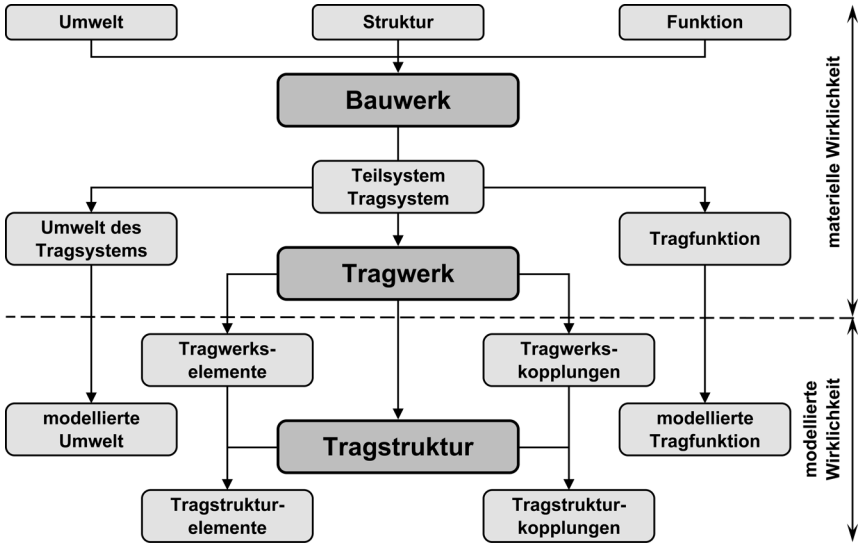
020.1 GRUNDLAGEN

Bei der Lösung von Bauaufgaben muss zwischen gestalterischen, funktionellen, konstruktiven, bauphysikalischen und baustoffspezifischen Forderungen der bestmögliche Kompromiss gefunden werden. Dabei ist es Aufgabe des Konstrukteurs, eine umwelt- und aufgabengerechte Auswahl der Baustoffe zu treffen, einen effizienten Entwurf eines Tragwerks durch Zusammenfügen von materialgerechten Tragelementen zu schaffen und diese letztlich zu bemessen.

Definition Tragwerk

Unter einem Tragwerk versteht man eine bauliche Struktur, die auf Grund ihres Tragwiderstandes und ihrer konstruktiven sowie technologischen Durchbildung, neben ihrem Eigengewicht auch Lasten und Kräfte aus der widmungsgemäßen Nutzung, sicher in feste Auflager (Fundamente) abtragen kann.

Abbildung 020.1-01: Bauwerk, Tragwerk und Tragsystem **[3]**



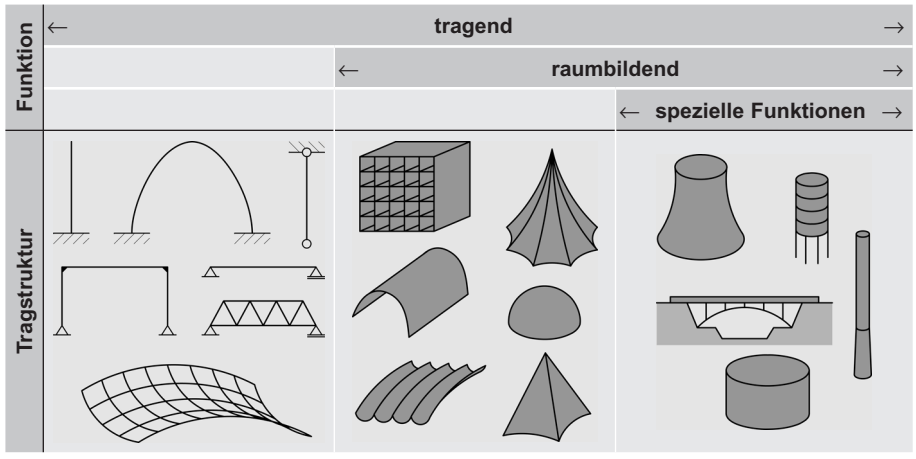
Tragwerke werden immer für bestimmte Zwecke errichtet. In diesem Nutzungsaspekt liegt einer der wesentlichen Unterschiede zwischen Tragwerk und Skulptur. Bauwerk, Tragwerk und Tragstruktur stehen in einem definierten Verhältnis zueinander. Die Beziehung zwischen Bauwerk und Tragwerk ist nicht starr, sie liegt innerhalb eines breiten Spielraumes. Im Extremfall ist das Bauwerk mit dem Tragwerk ident, und die Bauwerksfunktionen werden durch das Tragwerk selbst übernommen. In der Regel erfüllt das Tragwerk jedoch nur einen Teil der Bauwerksfunktion, und erst durch Elemente des Ausbaues entsteht das Bauwerk. Im Gegensatz dazu ist die Beziehung zwischen Tragwerk und Tragstruktur direkt und nur wenig interpretierbar. Die modellhaften Tragstrukturen entstehen aus den Tragwerken durch Abstraktion.

Bauwerke müssen ihre vorgegebenen Aufgaben erfüllen. Ausdruck für den Grad und die Qualität der Erfüllung dieser Anforderungen ist der Gebrauchswert. Sieht man die Funktionenvielfalt eines Bauwerkes als Kriterium, sind Mehrzweck- und Einzweckbauten (Spezialbauten) zu unterscheiden. Die Stellung des Tragwerkes innerhalb

eines Bauwerkes wiederum unterscheidet sich hinsichtlich des Umfanges, in dem sich das Tragwerk an der Erfüllung der Bauwerksfunktion beteiligt.

- erfüllt nur Tragfunktion: Stiel, Riegel, Rahmen, Skelett etc.
- erfüllt neben der Tragfunktion auch die raumbildende Funktion: Hallen aus Faltwerken, Dächer aus Zylinderschalen, Kuppeln etc.
- erfüllt alle wesentlichen Funktionen: Sonderbauwerke, Brückenbauten, Sportbauten, Schornsteine, Kühltürme, Fernsehtürme, Silos, Wasserbehälter etc.

Abbildung 020.1-02: Zuordnung von Bauwerk und Tragwerk – Funktionen [3]



020.1.1 ARCHITEKTUR UND TRAGWERK

Das Tragwerk eines Gebäudes besteht in der Regel aus Decken, Balken, Stützen, Wänden und der Gründung. Vermutlich waren vorgefundene Höhlen und einfache, temporäre Wind- und Wetterschirme die ersten Behausungen der Menschen. Bei analytischer Betrachtung dieser archetypischen Bauformen lassen sich bereits wesentliche Aspekte, die zur Konstituierung eines Tragwerks beitragen, ablesen. In einer groben Matrix können erste Selektionsfaktoren aufgestellt werden.

Tabelle 020.1-01: Selektion Höhle – Windschirm

	Höhle	Windschirm
Konstruktion	massiv	filigran
Material	monolithisch	gefügt
Raum	geschlossen	offen

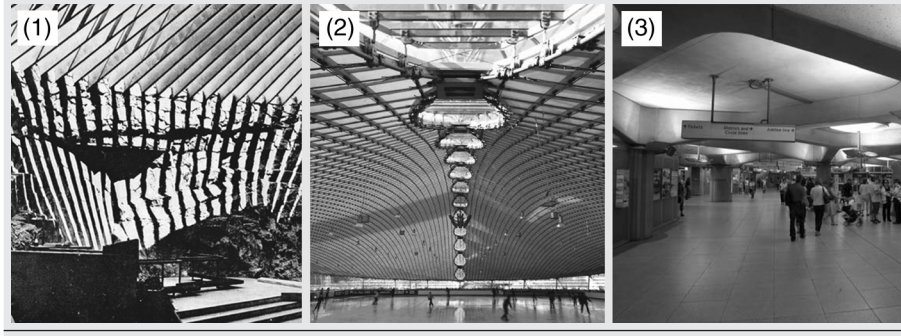
Behausungen werden bei deren Erzeugung von verschiedenen Einflussfaktoren geprägt. Diese geben die äußeren Rahmenbedingungen für das Bau- und Nutzungskonzept vor, die das jeweilige Bauwerk als konkrete Bauform entstehen lassen.

Tabelle 020.1-02: Einflussfaktoren auf die Bauform

Klima	heiß/kalt, feucht/trocken, Tag/Nacht, Jahreszeiten, Wetterformen etc.
Region	Küste/Landesinnere, Flachland/Gebirge, Steppe/Wald etc.
Kultur	Nomaden, Sesshafte, Jäger, Sammler, Bauern etc.
Technik	graben, stemmen, bohren, binden, brennen, räuchern, schaben, stoßen etc.

Das Tragwerk definiert sich aus der Struktur, dem Material und seiner Gestaltung. Dabei besteht die Notwendigkeit, Tragwerksplanung als integrativen Bestandteil des architektonischen Entwurfs zu sehen. Tragwerksplanung als bloß utilitaristisch nachgeschaltete, konstruktive Dienstleistung führt hingegen zu einer Verflachung der Gesamtwirkung von Architektur. Wände, Stützen, Decken wie alle übrigen Elemente eines Gebäudes erfüllen eine Reihe von Aufgaben. Der Aspekt der Tragfähigkeit der konkreten Objekte wird dabei dem Tragwerksystem zugeordnet. Bei der Tragwerksplanung sind jedoch nicht nur statische und wirtschaftliche Aspekte der Standsicherheit zu berücksichtigen. Fragen der Plastizität und Lichtführung, der Beschaffenheit von Oberflächen wie deren Reflexionsgrad sind für die optische Wahrnehmung des Gesamteindrucks zu berücksichtigen. Transluzente und durchsichtige Konstruktionen verwischen auch den herkömmlichen Zusammenhang von Wand und Öffnung und schaffen neue Räume für den Menschen.

Beispiel 020.1-01: Wirkung von Tragstrukturen



(1) Temppeliaukio Kirche Helsinki, Tragstruktur übernimmt als Lichtmodulator die Raumeinstimmung [42]
(2) Eissporthalle München, eine transluzente Membrane schafft einen hellen Tageslichtraum [1]
(3) U-Bahnstation London, gezieltes Kunstlicht schafft die Illusion von Schwerelosigkeit der Decke

Weiters ist das Tragwerk auf das Ausbaukonzept hin umfassend abzustimmen. Dabei ist der Flexibilisierungsgrad der Nutzung entsprechend dem Bestandszyklus der Primärkonstruktion abzuschätzen und das Konstruktionskonzept darauf auszurichten. Gebäude mit kurzer Nutzungsdauer werden ein anderes Tragwerkskonzept aufweisen als Gebäude mit langer Lebensdauer. Ein weiterer Aspekt ist das symbiotische Verhältnis des Tragwerksystems mit der technischen Gebäudeausrüstung. Neben den indirekt wirkenden Anpassungen der Tragelemente an haustechnisch notwendige Öffnungen, Schächte und Durchbrüche kommt den direkten Anpassungen an energetische Gebäudekonzepte immer mehr Bedeutung zu. „*Angeregte*“ Decken und Wände, die selbst als Kühl-, Heiz- oder Speicherelemente dienen, weiten das Aufgabenfeld von konstruktiven Systemen in Richtung eines ganzheitlichen Gebäudesystems auf. *Brian Cody* vertritt dazu mit der These „*Form follows Energy*“, in der das Primat des Energieflusses bei der Gebäudekonzeption eingefordert wird, eine neue Sichtweise des strukturellen Aufbaus von Gebäuden.

In der Folge wird versucht, die Wirkungsweise des konstruktiven Entwerfens über häufig verwendete Begriffe und deren Relationen zu erläutern.

Raum und Struktur

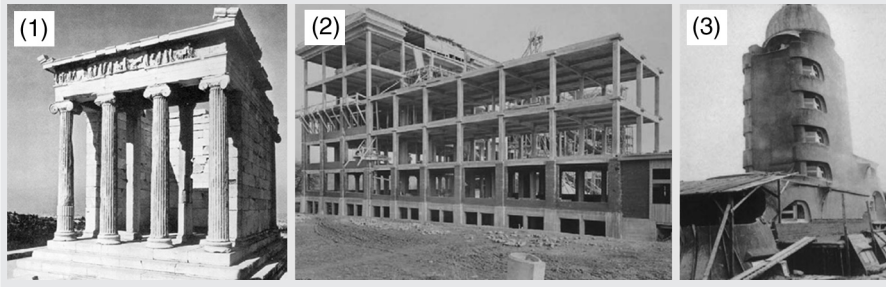
Beschäftigt man sich ganzheitlich mit Tragwerken, muss vorrangig deren Wirkungsweise und Stellung innerhalb des Entwurfsvorgangs betrachtet werden. Tragwerke beeinflussen sowohl den Raum als auch die Struktur des Gebäudes. Das Tragwerk korrespondiert dabei im Idealfall mit der architektonischen Formgebung in Form eines iterativen symbiotischen Prozesses. Die Teamleistung von Archi-

tektur und Ingenieurwesen bestimmt die Qualität des Entwicklungsprozesses. Es gibt rationale wie irrationale Gründe, bestimmte Materialien und Konstruktionsweisen zu wählen. Gutes Konstruieren ist vergleichbar mit dem künstlerischen Schaffensakt. Neben Wissen, Erfahrung und Intuition ist es die oft schlagartige Erkenntnis, die eine einmalige bzw. völlig neuartige Lösung schafft.

Konstruktion und Material

Die Tragwerkskonzeption wird durch die Konstruktionsweise und die verwendeten Materialien bestimmt. Beide haben direkten Einfluss auf die Standsicherheit eines Gebäudes. Bernhard Tokarz meint dazu: „*Man kann über Material beim Bauen nicht reden, ohne über Formen zu reden. Jedes Material und jede Kombination von Materialien hat ihre eigenen nur ihr gemäßen Formen, innerhalb derer sie gut und günstig ist. Der Parthenon in Stahl oder Falling Water in Holz sind abstrakte Vorstellungen. Gut konstruieren heißt Verhältnisse schaffen, in denen die Tragwerke in ihrer günstigsten Form und Konstellation und die Materialien mit ihren besten Eigenschaften eingesetzt werden.*“ [33]

Beispiel 020.1-02: Tektonik von Gebäuden



(1) Griechischer Tempel, Holzbaukonstruktion transformiert in ein ästhetisches Konzept eines Steinbaus [2]
(2) Ballyfabrik, Dottikon, CH, Eisenbetonkonstruktion um 1909 nach System Hennebique erbaut, das in seiner Tragstruktur noch der Balkenkonstruktion des Holzbaus verpflichtet ist [81]
(3) Einsteinturm 1919–1922, als Monolith konzipiert, in Mauerwerk (wegen Baustoffmangel) gebaut, Erich Mendelsohn 1887–1953, Berlin [78]

Tektonik

Tektonik leitet sich vom griechischen tektonikós (die Baukunst betreffend) her. Der Tektonikbegriff in der Architektur benennt das systematische Fügen von Bauteilen zu einem als Ganzes empfundenen Gebilde bzw. Gebäude. Gottfried Semper (1803–1879) definierte den Begriff als die „*Kunst des Zusammenfügens starrer, stabförmig gestalteter Teile zu einem in sich unverrückbaren System*“ [31]. Mittels tektonischen Konzepts wird die Struktur eines Baus als konstruktiv logisch gefügtes System für den Betrachter emotional erfahrbar gemacht. Mit den gestalterischen Mitteln der Formgebung wird dabei die vielfach komplexe physische Struktur der Konstruktion eines Gebäudes in eine lesbare tektonische Botschaft übersetzt, die von der Bauidee des Baus kündet. Gottfried Semper hat mit seiner Stoffwechsel- und Bekleidungstheorie zu Beginn der Moderne den Zusammenhang von Stoff, Technik und Form analysiert. Er wies nach, dass formale Ausprägungen von Bauformen gegenüber dem Wechsel von Material und Konstruktion in ihrer Zeichenhaftigkeit und Symbolkraft wesentlich beständiger sind und der formale Ausdruck über die Entwicklungsgrenzen hinweg mitgenommen wird.

System – Struktur – Aggregat

In einer immer mehr sich vernetzenden Welt nimmt die Bedeutung von systemischen Betrachtungen stetig zu. Tragwerkplanung innerhalb des Systems „*Gebäude*“ kann immer weniger als eine eng abgezirkelte Fachdisziplin aufgefasst werden. Fassen wir ein Gebäude als System von Wechselwirkungen auf, so wirkt die dem System innewohnende Struktur als systembildend und systemerhaltend. Die einzelnen Systemelemente, die sich aus Konstruktion, Material, Form etc. bestimmen, bilden durch deren Relationsgeflecht die Struktur des Bauwerks und sichern dessen Funktion und Erhalt. Beim Fehlen eines geordneten Relationsgeflechts spricht man im Bereich der Naturwissenschaften anstatt von einem System von einem Aggregat. Dieses ist durch eine strukturlose Zusammenstellung einzelner Elemente charakterisiert, die ebenfalls ein definiertes Ganzes ergeben. Neuere Tendenzen bei Planungskonzepten, die nicht mehr völlig hierarchisch systembildende Strukturen im Fokus haben, greifen den Begriff des Aggregats auf, um fließende und komplexe Systeme zu entwickeln, denen eine hierachische und eindeutig zuordenbare Struktur fehlt. Vom urbanistischen Ansatz bis zur Gebäudeplanung werden dazu entsprechende Systeme untersucht und entwickelt. Schwerpunkt dieser Betrachtungen bilden Austauschprozesse, wie zum Beispiel Stoff-, Energie- oder Informationsflüsse, die Einfluss auf den Aggregatzustand des Gebäudes bzw. des urbanen Systems nehmen.

Systemmodelle – Optimierung

Systeme sind entsprechend der Systemtheorie Modellnachbildungen der Realität. Sie sind daher nicht grundsätzlich richtig oder falsch, sondern mehr oder weniger zweckmäßig. Die Abgrenzung von Systemen gegeneinander, das Herausgreifen bestimmter Elemente und bestimmter Wechselwirkungen und das Vernachlässigen anderer Elemente und Beziehungen führt zu einem individuell beeinflussten Lösungskonzept. Für die Tragwerksplanung kann daraus gefolgert werden, dass bei zunehmender Komplexität des Gebäudes die Bandbreite von möglichen und „sinnvollen“ Lösungsansätzen zunimmt. Optimierungsvorgänge bringen in der Regel eine Bandbreite von brauchbaren Lösungen und nicht die eindeutig beste Lösung.

System – Mikroebene – Makroebene

Bei systemischer Betrachtung eines Bauwerks stellen sich zwei unterscheidbare Beziehungsebenen ein, die des Außenbezugs und die des Innenbezugs. Im Außenbezug – dem Makrobezug – wird das Gebäude als Ganzes betrachtet. Für das Tragwerk sind hier die Einflüsse des Standorts und der Bezug zu weiteren, benachbarten Systemen von Bedeutung. Im Innenbezug – der Mikroebene – werden die Relationen der Systemelemente betrachtet. Der strukturelle Aufbau, das Ineinanderwirken der einzelnen Teile und deren Verknüpfungspunkte bilden dabei das Hauptaugenmerk in der Tragwerksplanung. Für diese ergibt sich dadurch eine wechselseitige Beeinflussung, die einen übergreifenden Zusammenhang herstellt. Dabei bestimmen Strukturierung, Eigenschaften und Wechselwirkungen der Elemente auf der Mikroebene die Eigenschaften des Gesamtsystems auf der Makroebene. Diese von der Mikroebene bestimmten Eigenschaften des Gesamtsystems bilden zugleich strukturelle Rahmenbedingungen, die steuernd auf die Elemente der Mikroebene einwirken.

System – Ensembles

Das einzelne System selbst ist zumeist wiederum Teil eines Ensembles von Systemen und bestimmt mit ihnen die Eigenschaften dieser übergeordneten Struktur. Im Bereich der Tragwerkplanung wirken hier die Konzepte zur Serienausführung, die Bauteilnormierung und die der Vorfertigung.

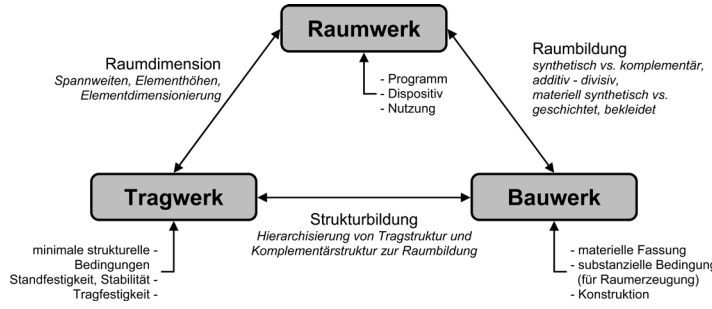
System – Emergenz

Die Systemtheorie zeigt auf, dass auf der Makroebene eines Systems Phänomene festzustellen sind, die aus den Relationsbezügen und Wirkungsweisen der inneren Strukturelemente (Mikroebene) nicht direkt hergeleitet werden können. Ein solches Phänomen wird unter dem Begriff Emergenz („*Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile*“) zusammengefasst. Bei besonders hohen oder weit gespannten Tragwerken eröffnet sich hier noch ein weites Forschungs- und Entwicklungsfeld bei der Tragwerksoptimierung.

Bauwerk – Raumwerk – Tragwerk

Im Zuge der systemischen Betrachtung wurde versucht, die architektonischen Wirkungsebenen bei Gebäuden herauszuarbeiten. Diese können nach Andrea Deplazes in drei große Themen unterteilt werden, deren Interaktion beim Entwurf zum Tragen kommt. Das Gebäude als Raumwerk trägt über die Raumnutzungsdefinition sowohl zur Raumbildung als auch zur Raumdimension bei. Das Gebäude als Bauwerk wirkt über seine Konstruktion sowohl raumbildend als auch strukturbildend. Das Gebäude als Tragwerk betrachtet sichert mit dem Konzept für die Standsicherheit sowohl die Strukturbildung als auch die Raumdimensionen ab.

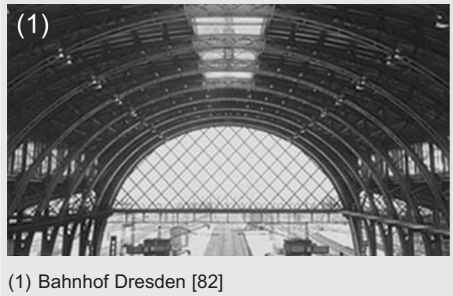
Abbildung 020.1-03: Bauwerk – Raumwerk – Tragwerk [36]



Moderne Konstruktionen

Konrad Wachsmann hat in seinem Buch „*Wendepunkt im Bauen*“ [34] 1959 auf das architektonische Potenzial, das durch neue Materialien und Fertigungsweisen entstanden ist, hingewiesen und die Veränderungen, die ein industrieller Bauprozess in der Form- und Raumgebung ermöglicht, in eindrücklichen Beispielen, die mittlerweile Generationen von Architekten und Konstrukteure geprägt haben, dargestellt.

Beispiel 020.1-03: Erste moderne Konstruktionen

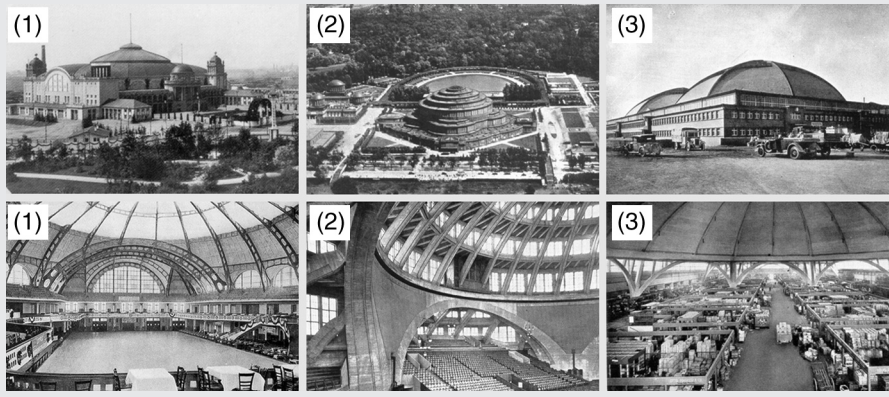


(1) Bahnhof Dresden [82]
(2) Kristallpalast in London von Joseph Paxton

Als bedeutender Anfangspunkt dieser Entwicklung kann dabei der Kristallpalast in London von Joseph Paxton angesehen werden. Das als Ausstellungsgebäude

konzipierte Gebäude aus Glas, Eisen und Holz wurde als leichte Skelettkonstruktion mit einer Spannweite von 23 m im Hauptschiff konzipiert, deren Raumwirkung völlig neue Möglichkeiten aufzeigte. Wegen der Größe dieses Bauwerks wurden hier zum ersten Mal Techniken der industriellen Fertigung erdacht und ausgeführt. Alle Bauteile wurden entsprechend dem Baukastenprinzip normiert und vorgefertigt auf die Baustelle angeliefert. Gottfried Semper als Zeitgenosse sprach von einem „*glasbedeckten Vakuum*“. Das Material des 19. Jahrhunderts ermöglichte in der Folge eine rasche Entwicklung des Leichtbaus. Die Entwicklung des Eisenbahnwesens ließ in der Folge monumentale Bahnhöfe als neue Kathedralen der Technik entstehen. Zu Beginn waren die Empfangs- und Verwaltungstrakte in herkömmlichem Formenkanon des Schlossbaus noch als architektonische Schilde um die neuartigen weit gespannten Eisenhallenkonstruktionen gestellt. Mit zunehmendem gesellschaftlichem Wandel in Richtung Industriegesellschaft wurden die neuen Konstruktionsformen in das ästethetische Repertoire der urbanen Architektur aufgenommen.

Beispiel 020.1-04: Hallen für Menschenansammlungen



(1) Ausstellungs- und Festhalle Frankfurt, 1907–1909, Friedrich v. Thiersch/Phillip Holzmann Co. GmbH, MAN AG; Viergelenkbogenkonstruktion aus stählernen Bogenbindern [18]
(2) Jahrhunderthalle Breslau, 1911–1913, Max Berg/M-Trauer; Stahlbetonrippenkuppel auf seperatem Unterbau [19]
(3) Großmarkthalle Leipzig, 1927–1932, Hubert Ritter/Franz Dischinger; leichte Schalenkonstruktion mit 76 m Spannweite, bestehend aus an Rippen zusammengefügten 8 Tonnensegmenten aus Stahlbeton nach der Zeiss-Dywidag-Methode [19]

Beispiel 020.1-05: Bauwerke mit Raumfachwerken

(1) MERO-Normknoten mit achtzehn Gewindeanschlüssen M20 und Normstäben von sechzig Millimetern Außendurchmesser [11]
(2) Halle der „Stadt von morgen“ mit 50 x 100 m Spannweite 1957, Interbau Berlin [11]
(3) Konzertkuppel der Bundesrepublik Deutschland auf der EXPO in Osaka 1970 [11]

Im weit gespannten Filigranbau entwickelte sich durch konsequente Materialminimierung mittels fein aufgelöster Raumtragwerke, das bekannteste ist das von Max Mengeringhausen entwickelte Mero-System, ein immer größerer Vorfertigungsgrad und die Serienfertigung. Sphärische Formen wurden durch Schalenbau, Seilnetz- und Membrankonstruktionen erzielt. Dabei kommt der Weiterentwicklung von Materialeigenschaften und deren Möglichkeiten bei der konstruktiven Anwendung und industriellen Produktion eine große Bedeutung zu.

Beispiel 020.1-06: Sphärische Tragstrukturen

(1) Geodätische Kuppel, Ameriva Pavillon EXPO 67 Montral, Buckminster Fuller [80]
(2) Olympiadach München, 1967–1972, Günther Behnisch/Frei Otto, Leonhardt und Andrä, Heinz Isler; als „olympische Landschaft“ werden das Gelände und die Dachkonstruktion als gestalterische Einheit modelliert [27]
(3) Eissporthalle München, 1982–1983, Ackermann + Partner/Schlaich Bergermann + Partner; eine bestehende Eisfläche wird mit einem filigranen Bogenbinder und einer davon abgespannten Netzmembran symmetrisch überdacht [17]

Durch den enorm angestiegen Energieverbrauch bei der Gebäudeproduktion und dem Gebäudeunterhalt entwickelte sich eine neue Betrachtungsweise von Gebäuden. Die „*intelligente*“ Fassadenhülle wird zum systembestimmenden Parameter in der konstruktiven Planung. Energiefluss und Speicherfähigkeit von Konstruktionselementen in Verbindung von aerodynamisch geformten Hüllen und Innenräumen mit rechnergesteuerten Öffnungsmechanismen, die Ventilationsenergie einsparen helfen, bestimmen heute die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit großer Gebäude.

020.1.2 MECHANIK – STATIK

Die im Rahmen dieses Bandes ausgeführten mechanischen bzw. statischen Zusammenhänge wurden zum Verständnis der oft komplizierten mathematischen Beziehungen zum Teil stark vereinfacht. Im Zuge einer Bauwerkserrichtung sind selbstverständlich detaillierte Berechnungen und Bemessungen unumgänglich.

020.1.2.1 BEGRIFFE

Obwohl die benutzten Bezeichnungen durchaus allgemein bekannt sind, sollen sie der besseren Klarheit wegen kurz definiert werden.

Kräfte

Allgemeiner Begriff für Einwirkungen, deren Richtungssinn nicht unbedingt lotrecht ist wie bei Windkräften, Erdbebenkräften, Wasserdruck oder Anfahrstößen. Kräfte besitzen sowohl eine Größe als auch eine Richtung im Raum – sie werden in der Mathematik als Vektoren bezeichnet. Mehrere Kräfte, die an einem Punkt angreifen, lassen sich zu Resultierenden zusammensetzen.

Lasten

Massenkräfte, die aufgrund der Schwerkraft lotrecht wirken, wie Eigengewicht, Nutz- und Verkehrslasten, Schneelasten.