

Birkhäuser

Baukonstruktionen  
Band 2

Herausgegeben von  
Anton Pech

Anton Pech  
Andreas Kolbitsch  
Franz Zach

**Tragwerke**  
Zweite, aktualisierte Auflage

unter Mitarbeit von  
Johannes Zeininger

Birkhäuser  
Basel

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  
Dipl.-Ing. Johannes ZEININGER  
Wien, Österreich

Acquisitions Editor: David Marold, Birkhäuser Verlag, Wien, Österreich  
Project and Production Editor: Angelika Heller, Birkhäuser Verlag, Wien, Österreich  
Korrektur: Monika Paff, Langenfeld, Deutschland  
Layout und Satz: Dr. Pech Ziviltechniker GmbH, Wien, Österreich  
Reihencover: Sven Schrape, Berlin, Deutschland  
Druck und Bindearbeiten: BELTZ Bad Langensalza GmbH, Bad Langensalza, Deutschland

Library of Congress Control Number: 2018945956

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

Der Abdruck der zitierten ÖNORMen erfolgt mit Genehmigung des Austrian Standards Institute (ASI),  
Heinestraße 38, 1020 Wien.

Benutzungshinweis: ASI Austrian Standards Institute, Heinestraße 38, 1020 Wien.  
Tel.: +43-1-21300-300, E-Mail: [sales@austrian-standards.at](mailto:sales@austrian-standards.at)

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.

ISBN 978-3-0356-1545-6 (2. Auflage, Birkhäuser)

ISBN 978-3-211-33031-9 (1. Auflage, Springer 2007)

ISSN 1614-1288

e-ISBN (PDF) 978-3-0356-1516-6

© 2018 Birkhäuser Verlag GmbH, Basel  
Postfach 44, 4009 Basel, Schweiz  
Ein Unternehmen der Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston

# Vorwort früherer Auflagen

## 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 Tragwerkelemente 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.

Der Herausgeber

## Vorwort zur 2. Auflage

Nachdem die Fachbuchreihe Baukonstruktionen mit ihren 17 Basisbänden eine Zusammenfassung des derzeitigen technischen Wissens bei der Errichtung von Bauwerken des Hochbaus darstellen soll, waren durch die Änderungen an der Normung Anpassungen der Inhalte erforderlich. Es wird weiterhin versucht, mit einfachen Zusammenhängen oft komplexe Bereiche des Bauwesens zu erläutern und mit zahlreichen Plänen, Skizzen und Bildern zu veranschaulichen.

Wie schon im Vorwort zur ersten Auflage 2007 beschrieben, wird bei den Tragwerken besonderes Augenmerk auf die einzelnen Konstruktionsmöglichkeiten ausgehend von den Linientragwerken über die Flächentragwerke bis zu den Raumtragwerken gelegt und auch die einzelnen Bauweisen im Detail beschrieben. Die maßgeblichen Änderungen im Vergleich zur ersten Auflage liegen in den sicherheitstheoretischen Betrachtungen und den Lastansätzen für Gebäude, die durch die zeitgemäßen und normativen Entwicklungen Veränderungen erfahren haben.

Der Herausgeber

# Fachbuchreihe BAUKONSTRUKTIONEN

<b>Band 1:</b>	<b>Bauphysik</b>	2. Auflage 2018
	010 1 Grundlagen	
	010 2 Winterlicher Wärmeschutz	
	010 3 Tauwasserschutz	
	010 4 Sommerlicher Wärmeschutz	
	010 5 Schallschutz	
	010 6 Brandschutz	
	010 7 Tabellen	
<b>Band 1/1:</b>	<b>Bauphysik – Erweiterung 1</b>	3. Auflage 2018
	<b>Energieeinsparung und Wärmeschutz, Energieausweis – Gesamtenergieeffizienz</b>	
	011 1 Grundlagen	
	011 2 Heizwärmebedarf	
	011 3 Beleuchtungsenergiebedarf	
	011 4 Kühlbedarf	
	011 5 Heiztechnikenergiebedarf	
	011 6 Raumlufttechnikenergiebedarf	
	011 7 Befeuchtungsenergiebedarf	
	011 8 Kühltechnikenergiebedarf	
	011 9 Bilanzierung	
	011 10 Energieausweis und Energiekennzahlen	
	011 11 Tabellen	
<b>Band 2:</b>	<b>Tragwerke</b>	2. Auflage 2018
	020 1 Grundlagen	
	020 2 Einwirkungen	
	020 3 Sicherheit	
	020 4 Linientragwerke	
	020 5 Flächentragwerke	
	020 6 Raumtragwerke	
	020 7 Bauwerke	
	020 8 Tabellen	
<b>Band 3:</b>	<b>Gründungen</b>	1. Auflage 2006
	030.1 Baugrund	
	030.2 Erddruck	
	030.3 Flachgründungen	
	030.4 Tiefgründungen	
<b>Band 4:</b>	<b>Wände</b>	1. Auflage 2006
	040.1 Grundlagen	
	040.2 Gemauerte Wände	
	040.3 Homogene Wände	
	040.4 Pfeiler und Stützen	
	040.5 Holzwände	
	040.6 Trennwände	
<b>Band 5:</b>	<b>Decken</b>	1. Auflage 2006
	050.1 Grundlagen	
	050.2 Massivdecken	
	050.3 Holzdecken	
	050.4 Verbunddecken	
	050.5 Balkone und Loggien	
	050.6 Unterdecken	
<b>Band 6:</b>	<b>Keller</b>	1. Auflage 2006
	060.1 Funktion und Anforderung	
	060.2 Konstruktionselemente	
	060.3 Feuchtigkeitsschutz	
	060.4 Detailsbildungen	
	060.5 Schutzräume	

<b>Band 7:</b>	<b>Dachstühle</b>	2. Auflage 2017
	070 1	Dachformen und Holztechnologie
	070 2	Beanspruchungen und Bemessung
	070 3	Verbindungsmittel
	070 4	Dachstuhlarten
	070 5	Sonderformen
<b>Band 8:</b>	<b>Steildach</b>	1. Auflage 2015
	080 1	Grundlagen
	080 2	Dachdeckungen und Materialien
	080 3	Ungedämmte Dachflächen
	080 4	Gedämmte Dachflächen
	080 5	Metalldeckungen
	080 6	Dachentwässerung
<b>Band 9:</b>	<b>Flachdach</b>	1. Auflage 2011
	090.1	Grundlagen
	090.2	Konstruktionsschichten und Materialien
	090.3	Nicht belüftete Dächer
	090.4	Zweischaliges Dach
	090.5	Genutzte Dachflächen
	090.6	Dachentwässerung
<b>Band 10:</b>	<b>Treppen/Stiegen</b>	1. Auflage 2005
	100.1	Grundlagen
	100.2	Entwurfskriterien
	100.3	Barrierefreie Erschließungen
	100.4	Konstruktionsformen
	100.5	Aufzüge
<b>Band 11:</b>	<b>Fenster</b>	1. Auflage 2005
	110.1	Grundlagen
	110.2	Typenentwicklung
	110.3	Funktionen und Anforderungen
	110.4	Verglasungs- und Beschlagstechnik
	110.5	Baukörperanschlüsse
<b>Band 12:</b>	<b>Türen und Tore</b>	1. Auflage 2007
	120.1	Grundlagen
	120.2	Funktionen und Anforderungen
	120.3	Materialien
	120.4	Beschläge und Zusatzbauteile
	120.5	Türkonstruktionen
	120.6	Torkonstruktionen
<b>Band 13:</b>	<b>Fassaden</b>	1. Auflage 2014
	130.1	Grundlagen und Anforderungen
	130.2	Putzfassaden
	130.3	Wärmedämmverbundsysteme
	130.4	Leichte Wandbekleidung
	130.5	Massive Wandbekleidungen
	130.6	Selbsttragende Fassaden
	130.7	Glasfassaden
<b>Band 14:</b>	<b>Fußböden</b>	1. Auflage 2016
	140 1	Grundlagen
	140 2	Konstruktionen und Materialien
	140 3	Bodenbeläge
	140 4	Fußbodenaufbauten und Details
	140 5	Sportböden

<b>Band 15:</b>	<b>Heizung und Kühlung</b>	1. Auflage 2005
	150.1 Grundlagen	
	150.2 Wärmeversorgungsanlagen	
	150.3 Abgasanlagen	
	150.4 Kälteversorgungsanlagen	
	150.5 Wärme- und Kälteverteilung	
	150.6 Planung von Heizungs- und Kühlungssystemen	
	150.7 Nachhaltigkeit	
<b>Band 16:</b>	<b>Lüftung und Sanitär</b>	1. Auflage 2006
	160.1 Grundlagen der Lüftungs- und Klimatechnik	
	160.2 Lüftungs- und Klimaanlage	
	160.3 Wärmerückgewinnung	
	160.4 Planung von Lüftungs- und Klimaanlage	
	160.5 Begriffsbestimmungen zur Sanitärtechnik	
	160.6 Wasserversorgung	
	160.7 Entwässerung	
	160.8 Planung von Sanitäranlagen	
<b>Band 17:</b>	<b>Elektro- und Regeltechnik</b>	1. Auflage 2007
	170.1 Grundlagen der Elektrotechnik	
	170.2 Erdungs- und Blitzschutzanlagen	
	170.3 Stromversorgung	
	170.4 Schalter, Steckgeräte, Leuchten, Lampen	
	170.5 Messwertgeber und Stellgeräte	
	170.6 Mess-, Steuer- und Regelanlagen	
	170.7 Kommunikationsanlagen	
	170.8 Planung Elektro- und Regelanlagen	
<b>Sonderband:</b>	<b>Garagen</b>	3. Auflage 2018
	1 Problematik Verkehr	
	2 Planungsprozess	
	3 Gesetzliche Rahmenbedingungen	
	4 Entwurfsgrundlagen Garage	
	5 Entwurf Bauwerk	
	6 Mechanische Parksysteme	
	7 Oberflächengestaltung	
	8 Technische Ausrüstung	
	9 Benützung und Betrieb	
	10 Ausführungsbeispiele	
	11 Entwurfsschablonen PKW	
<b>Sonderband:</b>	<b>Ziegel im Hochbau</b>	2. Auflage 2018
	1 Ziegelarchitektur	
	2 Baustoffe, Produkte	
	3 Bauphysik	
	4 Gebäudephysik	
	5 Mauerwerk – ein Verbundwerkstoff	
	6 Mauerwerksbemessung	
	7 Ausführung, Verarbeitung, Details	
	8 Nachhaltigkeit	
	9 Ausführungsbeispiele	
<b>Sonderband:</b>	<b>Holz im Hochbau</b>	1. Auflage 2016
	1 Holzarchitektur	
	2 Holztechnologie – Baustoffe und Produkte	
	3 Bauphysik	
	4 Gebäudephysik	
	5 Konstruktionen des Holzbaus	
	6 Bemessung von Holzbauten	
	7 Bauteile, Aufbauten und Details	
	8 Ausführung und Vorfertigung	
	9 Verarbeitung und Qualitätssicherung	
	10 Ausschreibung	
	11 Nachhaltigkeit	

# Inhaltsverzeichnis Band 2: Tragwerke

<b>020 1</b>	<b>Grundlagen.....</b>	<b>1</b>
020 1 1	Architektur und Tragwerk .....	2
020 1 2	Mechanik – Statik .....	9
020 1 2 1	Begriffe .....	10
020 1 2 2	Einheiten.....	11
020 1 2 3	Tragstrukturen .....	12
020 1 2 4	Auflager, Systemdarstellungen .....	15
020 1 2 5	Tragwerkselemente.....	16
020 1 3	Vorschriften .....	19
020 1 3 1	Bauproduktenverordnung.....	19
020 1 3 2	Konstruktionsnormen.....	20
020 1 3 3	Bauvorschriften .....	21
<b>020 2</b>	<b>Einwirkungen.....</b>	<b>23</b>
020 2 1	Ständige Lasten – Eigengewicht.....	24
020 2 2	Nutzlasten .....	25
020 2 2 1	Wohnungen, Versammlungsräume, Geschäfts- und Verwaltungsräume.....	26
020 2 2 2	Lagerflächen .....	28
020 2 2 3	Parkhäuser, Bereiche mit Fahrzeugverkehr.....	29
020 2 2 4	Dachkonstruktionen.....	29
020 2 2 5	Auflasten Gelände .....	30
020 2 2 6	Horizontalkräfte auf Zwischenwände und Absturzsicherungen.....	30
020 2 3	Windeinwirkungen .....	30
020 2 4	Schneelasten.....	34
020 2 5	Erdbebenkräfte .....	36
020 2 6	Wasserdruck, Auftrieb .....	42
020 2 7	Erddruck.....	42
020 2 8	Außergewöhnliche Einwirkungen, Anprallkräfte.....	43
020 2 9	Temperatureinwirkungen .....	44
020 2 10	Zwängungen.....	44
<b>020 3</b>	<b>Sicherheit .....</b>	<b>45</b>
020 3 1	Fehlerquellen .....	46
020 3 2	Sicherheitskonzepte .....	47
020 3 3	Grenzzustände .....	48
020 3 4	Stochastische Grundlagen.....	48
020 3 4 1	Sicherheitsklassen nach ÖNORM EN 1990.....	52
020 3 5	Grundlagen der Tragwerksplanung.....	53
020 3 5 1	Bemessungswerte .....	54
020 3 5 2	Tragwerksverformungen.....	56
020 3 5 3	Dauerhaftigkeit .....	57
020 3 5 4	Überwachungsmaßnahmen.....	58
<b>020 4</b>	<b>Linientragwerke.....</b>	<b>59</b>
020 4 1	Stäbe.....	59
020 4 1 1	Einfeldträger.....	63
020 4 1 2	Kragträger .....	65
020 4 1 3	Mehrfeldträger .....	65
020 4 1 4	Stützen.....	66
020 4 2	Fachwerk.....	67
020 4 3	Rahmen .....	72
020 4 4	Gekrümmte Linientragwerke .....	74
020 4 4 1	Seile.....	74
020 4 4 2	Bögen.....	76
020 4 5	Trägerroste .....	78

<b>020 5</b>	<b>Flächentragwerke</b> .....	<b>85</b>
020 5 1	Platten.....	85
020 5 2	Scheiben.....	90
020 5 3	Faltwerke.....	93
020 5 4	Konsolen.....	95
<b>020 6</b>	<b>Raumtragwerke</b> .....	<b>101</b>
020 6 1	Gewölbe, Kuppeln, Schalen.....	102
020 6 1 1	Gewölbe, Kuppeln.....	104
020 6 1 2	Schalen.....	106
020 6 2	Seilnetze, Membranen.....	108
020 6 2 1	Seilnetze.....	111
020 6 2 2	Membranen.....	112
020 6 3	Raumfachwerke.....	113
020 6 4	Turmartige Bauwerke.....	116
020 6 4 1	Freistehende Türme.....	116
020 6 4 2	Abgespannte Maste.....	117
020 6 5	Sonderkonstruktionen.....	118
<b>020 7</b>	<b>Bauwerke</b> .....	<b>123</b>
020 7 1	Bauweisen.....	123
020 7 1 1	Zellenbauweise.....	123
020 7 1 2	Schottenbauweise.....	125
020 7 1 3	Scheibenbauweise.....	126
020 7 1 4	Massivbauweise, Skelettbauweise.....	126
020 7 1 5	Monolithische Bauweise, filigrane Bauweise.....	127
020 7 1 6	Mischbauweise.....	127
020 7 1 7	Differenzialbauweise.....	127
020 7 1 8	Integralbauweisen.....	128
020 7 1 9	Integrierende Bauweisen.....	128
020 7 1 10	Verbundbauweisen.....	128
020 7 2	Bauwerksaussteifung.....	129
020 7 2 1	Grundlagen.....	129
020 7 2 2	Massivbau.....	135
020 7 2 3	Skelettbau.....	136
<b>020 8</b>	<b>Tabellen</b> .....	<b>139</b>
020 8 1	Wichten, Eigengewichte.....	139
020 8 2	Wind, Schnee, Erdbeben.....	140
020 8 3	Statische Systeme.....	143
020 8 4	Querschnittswerte.....	146
	<b>Quellennachweis</b> .....	<b>149</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>151</b>
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	<b>154</b>



# Grundlagen

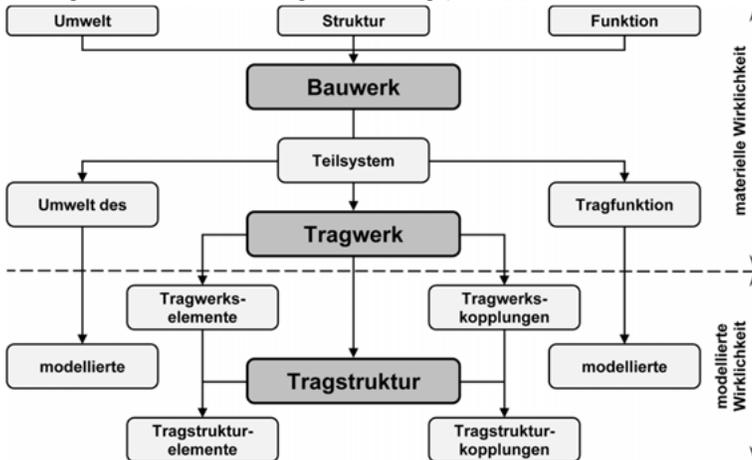
Bei der Lösung von Bauaufgaben muss zwischen gestalterischen, funktionellen, konstruktiven, bauphysikalischen und baustoffspezifischen Forderungen der bestmögliche Kompromiss gefunden werden. Dabei ist es Aufgabe des Konstrukteurs, eine umwelt- und aufgabengerechte Auswahl der Baustoffe zu treffen, einen 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 aufgrund 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.

Tragwerke sind bauliche Strukturen die der Ableitung von Kräften dienen.

Abbildung 020|1-01: Bauwerk, Tragwerk und Tragsystem [3]

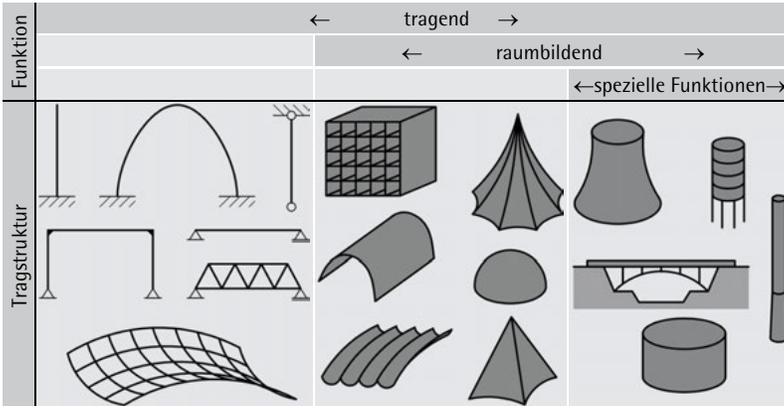


Tragwerke werden immer für bestimmte Zwecke errichtet. In diesem Nutzungsaspekt liegt einer der wesentlichen Unterschiede zwischen Tragwerk und Skulptur. Bauwerk, Tragwerk und Tragstruktur stehen in einem definierten Verhältnis zueinander. Die Beziehung zwischen Bauwerk und Tragwerk ist nicht starr, sie liegt innerhalb eines breiten Spielraums. 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 Ausbaus 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 Umfangs, 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 Fallwerken, 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]



## 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

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

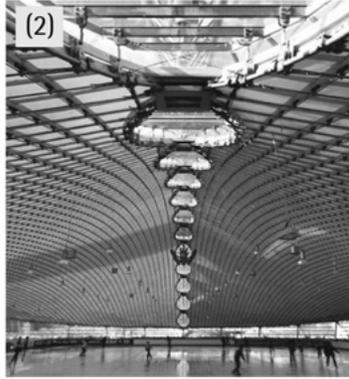
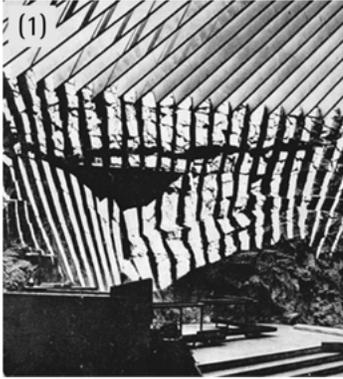
Das Tragwerk definiert sich aus der Struktur, dem Material und seiner Gestaltung. Dabei besteht die Notwendigkeit, Tragwerksplanung als integrativen Bestandteil des architektonischen Entwurfs zu sehen. Tragwerksplanung als bloß utilitaristisch nachgeschaltete, konstruktive Dienstleistung führt hingegen zu einer Verflachung der Gesamtwirkung von Architektur. Wände, Stützen, Decken wie alle übrigen Elemente eines Gebäudes erfüllen eine

## 020|1|1

Das Tragwerk definiert sich aus der Struktur, dem Material und seiner Gestaltung.

Reihe von Aufgaben. Der Aspekt der Tragfähigkeit der konkreten Objekte wird dabei dem Tragwerkssystem 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) Tempeliumkirche Helsinki, Tragstruktur übernimmt als Lichtmodulator die Raumeinstimmung [43]
- (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

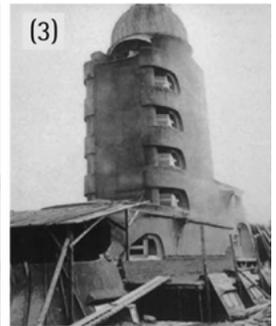
Beschäftigt man sich ganzheitlich mit Tragwerken, muss vorrangig deren Wirkungsweise und Stellung innerhalb des Entwurfsvorgangs betrachtet werden. Tragwerke beeinflussen sowohl den Raum als auch die Struktur des Gebäudes. Das Tragwerk korrespondiert dabei im Idealfall mit der architektonischen Formgebung in Form eines iterativen symbiotischen Prozesses. Die Teamleistung von Architektur 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 haben ihre eigenen nur ihnen gemäßen Formen, innerhalb derer sie gut und günstig sind. 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.“ [34]

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 [77]
- (3) Einsteinturm 1919-1922, als Monolith konzipiert, in Mauerwerk (wg. Baustoffmangel) gebaut, Erich Mendelsohn 1887-1953, Berlin [74]

### Tektonik

Tektonik leitet sich von griechisch 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“ [32]. 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 kündigt. Gottfried Semper hat mit seiner Stoffwechsel- und Bekleidungslehre 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. Tragwerksplanung innerhalb des

Systems „Gebäude“ kann immer weniger als eine eng abgezielte 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 hierarchische 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.

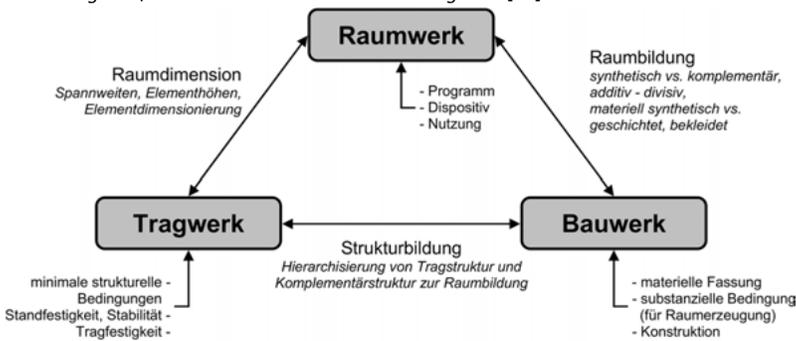
### System – Emergenz

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 [37]



Beispiel 020|1-03: erste moderne Konstruktionen



- (1) Bahnhof Dresden [78]
- (2) Kristallpalast in London von Joseph Paxton

### moderne Konstruktionen

Konrad Wachsmann hat in seinem Buch „Wendepunkt im Bauen“ [35] 1959 auf das architektonische Potenzial, das durch neue Materialien und