

Inhaltsverzeichnis

Dank	V	
1	Motivation	1
1.1	Berufsbild der Bauingenieure	1
1.2	Entwurfsorientierung	2
1.3	Werkstoffübergreifendes Konstruieren und Bemessen	6
2	Anforderungen an Bauwerke	9
2.1	Einleitung	9
2.2	Tragfähigkeit	11
2.3	Gebrauchstauglichkeit	13
2.4	Gestaltung	16
2.5	Dauerhaftigkeit	17
2.6	Weitere Anforderungen	21
2.6.1	Vorbemerkung	21
2.6.2	Robustheit	21
2.6.3	Redundanz	23
2.6.4	Wirtschaftlichkeit	26
2.6.5	Umweltverträglichkeit	26
2.6.6	Nachhaltigkeit	26
3	Sicherheits- und Nachweiskonzept	29
3.1	Einleitung	29
3.2	Grundbegriffe	30
3.3	Zufälligkeit der Einwirkungen und Tragwiderstände	31
3.4	Sicherheitstheorie	33
3.4.1	<i>E</i> -Problem	33
3.4.1.1	Sicherheitsabstände	33
3.4.1.2	Versagenswahrscheinlichkeit	34
3.4.1.3	Sicherheitsindex	35
3.4.2	<i>E-R</i> -Problem	36
3.4.3	<i>E_i-R_i</i> -Problem	41
3.5	Eurocode – Europäische Regeln im Bauwesen	43
3.5.1	Einführung	43
3.5.2	Bemessungskonzept nach Eurocode	45
3.5.3	Vorgabe des Sicherheitsindex	48
3.5.4	Charakteristische Werte	49
3.5.4.1	Definition der charakteristischen Werte	49
3.5.4.2	Charakteristische Werte der direkten Einwirkungen	49
3.5.4.3	Charakteristische Werte der Baustoffeigenschaften	51
3.5.5	Teilsicherheitsbeiwerte	52
3.5.5.1	Aufgabe der Teilsicherheitsbeiwerte	52

3.5.5.2	Definition der Teilsicherheitsbeiwerte	53
3.5.5.3	Teilsicherheitsbeiwert der ständigen Einwirkungen	54
3.5.5.4	Teilsicherheitsbeiwerte der veränderlichen Einwirkungen und der Tragwiderstände	54
3.5.6	Bemessungsregeln	57
3.5.6.1	Allgemeines	57
3.5.6.2	Bemessungswerte der Beanspruchbarkeit	57
3.5.6.3	Bemessungswerte der Beanspruchungen	60
3.5.7	Kombinationsregeln	61
3.5.7.1	Kombinationsbeiwerte	61
3.5.7.2	Kombinationsregeln für den Grenzzustand der Tragfähigkeit	63
3.5.7.3	Kombinationsregeln für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	65
4	Einwirkungen	71
4.1	Überblick	71
4.2	Ständige Einwirkungen	72
4.2.1	Allgemeines	72
4.2.2	Eigengewicht der Konstruktion	72
4.2.3	Erddruck	74
4.3	Veränderliche Einwirkungen	74
4.3.1	Allgemeines	74
4.3.2	Vertikale Nutzlasten für Hochbauten mit vorwiegend ruhenden Einwirkungen	76
4.3.2.1	Nutzlasten für Decken	76
4.3.2.2	Nutzlasten für Treppen und Balkone	78
4.3.2.3	Lastweiterleitung	78
4.3.3	Vertikale Nutzlasten für industriell genutzte Flächen	81
4.3.4	Vertikale Nutzlasten für Parkhäuser und Bereiche mit Fahrzeugverkehr	82
4.3.5	Nutzlasten für Dächer	82
4.3.6	Horizontale Nutzlasten für Hochbauten	84
4.3.7	Windlasten	86
4.3.7.1	Einführung	86
4.3.7.2	Windeinwirkung auf nicht schwingungsanfällige Tragwerke	86
4.3.7.3	Böengeschwindigkeitsdruck	87
4.3.7.4	Höhenabhängiger Böengeschwindigkeitsdruck (genaues Verfahren)	91
4.3.7.5	Vereinfachter Böengeschwindigkeitsdruck	92
4.3.7.6	Aerodynamische Beiwerte c freistehender Baukörper	92
4.3.7.7	Verschattungs-/Verstärkungseffekte bei Baukörpergruppen	94
4.3.8	Schneelasten	103
4.3.8.1	Einführung	103
4.3.8.2	Charakteristische Schneelast s_k auf dem Boden	103
4.3.8.3	Charakteristische Schneelast s_i auf Dächern	103
4.3.8.4	Formbeiwerte μ_i für Dächer	103

4.3.8.5	Last erhöhende Effekte	107
4.3.9	Eislasten	109
4.4	Außergewöhnliche Einwirkungen	110
4.5	Verformungseinwirkungen	110
5	Baustoffe, Verbundbaustoffe	111
5.1	Einleitung	111
5.1.1	Allgemeines	111
5.1.2	Definitionen	112
5.1.3	Modifikationen der Materialkennwerte	114
5.1.4	Ästhetische Wirkung von Baustoffen	116
5.2	Vollholz	119
5.2.1	Allgemeines	119
5.2.2	Erzeugnisse aus Vollholz	121
5.2.2.1	Rundholz	121
5.2.2.2	Bauschnittholz	121
5.2.2.3	Konstruktionsvollholz (KVH)	123
5.2.3	Dauerhaftigkeit	124
5.2.4	Festigkeits- und Formänderungsverhalten	126
5.2.5	Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften	128
5.3	Brettschichtholz, Balkenschichtholz	139
5.3.1	Allgemeines	139
5.3.2	Erzeugnisse aus Brettschichtholz	140
5.3.3	Erzeugnisse aus Balkenschichtholz	140
5.3.4	Verbundsicherung	142
5.3.5	Dauerhaftigkeit	142
5.3.6	Baustoffeigenschaften von Brettschichtholz	142
5.3.7	Baustoffeigenschaften von Balkenschichtholz	144
5.4	Ausgewählte Holzwerkstoffe	144
5.4.1	Allgemeines	144
5.4.2	Festigkeits- und Formänderungsverhalten	148
5.5	Baustahl	148
5.5.1	Überblick	148
5.5.2	Erzeugnisse aus Baustahl	149
5.5.2.1	Allgemeines	149
5.5.2.2	Flachprodukte	149
5.5.2.3	Langprodukte	150
5.5.3	Stahlsorten	151
5.5.4	Dauerhaftigkeit	151
5.5.5	Festigkeits- und Formänderungsverhalten	154
5.5.6	Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften	158
5.6	Betonstahl	165
5.6.1	Allgemeines	165
5.6.2	Erzeugnisse aus Betonstahl	165
5.6.2.1	Betonstabstahl	165

5.6.2.2	Betonstahlmatten	167
5.6.2.3	Gitterträger	168
5.6.3	Dauerhaftigkeit	169
5.6.4	Festigkeits- und Formänderungsverhalten	169
5.6.5	Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften	169
5.7	Beton	171
5.7.1	Allgemeines	171
5.7.2	Betonarten	171
5.7.3	Festigkeits- und Formänderungsverhalten	172
5.7.4	Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften	174
5.8	Stahlbeton	183
5.8.1	Allgemeines	183
5.8.2	Verbundsicherung	184
5.8.3	Dauerhaftigkeit	190
5.8.3.1	Grundsätzliches	190
5.8.3.2	Betondeckung	192
5.9	Mauerwerk	198
5.9.1	Allgemeines	198
5.9.2	Arten von Mauersteinen	198
5.9.3	Arten von Mauermörteln	201
5.9.4	Verbundsicherung	204
5.9.5	Festigkeits- und Formänderungsverhalten	206
5.9.6	Bemessungswerte der Baustoffeigenschaften	212
5.10	Verbundbauarten	220
5.10.1	Allgemeines	220
5.10.2	Stahl-Beton-Verbund	220
5.10.3	Holz-Beton-Verbund	221
6	Überblick zur Querschnittsbemessung	223
6.1	Einleitung	223
6.1.1	Einordnung der Querschnittsbemessung	223
6.1.2	Voraussetzungen	225
6.1.3	Vereinbarungen, Annahmen	225
6.2	Verfahren der Querschnittsbemessung	227
6.2.1	Elastische Querschnittsbemessung bei elastischer Tragwerksberechnung (Elastisch-Elastisch)	227
6.2.2	Plastische Querschnittsbemessung bei elastischer Tragwerksberechnung (Elastisch-Plastisch)	228
6.2.3	Plastische Querschnittsbemessung bei plastischer Tragwerksberechnung (Plastisch-Plastisch)	229
6.3	Grenzen der Querschnittsbemessung	232
6.4	Querschnitte und Querschnittswerte	235
6.4.1	Einteilung der Querschnitte	235
6.4.2	Modifikation der Querschnittswerte	236

6.5	Zusammenhang von Tragwerksberechnung und Querschnittsbemessung	239
6.6	Baustoffspezifische Besonderheiten	241
6.6.1	Holzbau	241
6.6.2	Stahlbau	243
6.6.3	Stahlbetonbau	249
6.6.4	Stahl-Beton-Verbundbau	251
6.6.5	Mauerwerksbau	254
7	Elastische Querschnittsbemessung	255
7.1	Überblick zur Spannungsermittlung	255
7.2	Normalspannungen einteiliger Querschnitte	256
7.2.1	Normalkraft	256
7.2.2	Biegung gerader Stäbe mit/ohne Normalkraft	259
7.2.2.1	Einachsige Biegung ohne Normalkraft	259
7.2.2.2	Einachsige Biegung mit Normalkraft	261
7.2.2.3	Zweachsige Biegung mit Normalkraft	261
7.2.2.4	Kräftepaaranalogie	263
7.2.3	Biegung gekrümmter Bauteile mit/ohne Normalkraft	267
7.2.4	Ausfall der Druckzone	268
7.2.5	Ausfall der Zugzone	270
7.3	Schubspannungen einteiliger Querschnitte aus Querkraft	275
7.3.1	Verbindung von Biegung und Schub	275
7.3.2	Schubfluss	276
7.3.3	Schubspannung	279
7.3.3.1	Schubspannungsformel	279
7.3.3.2	Schubspannungsverlauf	280
7.3.4	Offene dünnwandige Querschnitte	282
7.3.4.1	Allgemeines	282
7.3.4.2	Unsymmetrische Querschnitte	282
7.3.4.3	I-Profile	286
7.3.5	Geschlossene dünnwandige Querschnitte	286
7.3.6	Dickwandige Querschnitte	286
7.3.7	Einfluss der Schubverzerrungen	290
7.4	Scherspannungen aus Querkraft	292
7.5	Normalspannungen zusammengesetzter Querschnitte	293
7.5.1	Normalkraft	293
7.5.2	Biegung zusammengesetzter Querschnitte	297
7.5.3	Biegung bei starrem Verbund	298
7.5.4	Biegung bei Beachtung zeitabhängiger Einflüsse	302
7.5.5	Biegung bei nachgiebigem Verbund	306
7.5.5.1	Vorbemerkung	306
7.5.5.2	Schubanalogie	307
7.5.5.3	Teilschnittgrößen	310
7.5.5.4	Gedübelte Balken im Holzbau	311

7.5.5.5	Aufgelöste Stäbe	315
7.5.5.6	Nachgiebige Stege vollwandiger Querschnitte	315
7.5.5.7	Weitere Anwendungen	317
7.5.6	Teilweiser Ausfall der Zugzone	317
7.6	Schubspannungen zusammengesetzter Querschnitte aus Querkraft	317
7.7	Spannungen einteiliger Querschnitte aus Torsion	318
7.7.1	Allgemeines	318
7.7.2	Torsionsverformung und -beanspruchung	319
7.7.3	Torsionstheorien	321
7.7.4	Schubspannungen aus <i>St.-Venant</i> scher Torsion	322
7.7.4.1	Schnittgrößenermittlung	322
7.7.4.2	Torsionsverformungen	325
7.7.4.3	Spannungsermittlung für einfache Querschnitte	325
7.7.4.4	Spannungsermittlung für mehrzellige Querschnitte	325
7.7.5	Spannungen aus Wölbkrafttorsion	332
7.7.5.1	Schnittgrößenermittlung	332
7.7.5.2	Querschnittskennwerte	333
7.8	Spannungen zusammengesetzter Querschnitte aus <i>St.-Venant</i> scher Torsion	339
7.8.1	Überblick	339
7.8.2	Zusammengesetzte Querschnitte aus einem Baustoff	339
7.8.3	Zusammengesetzte Querschnitte aus zwei Baustoffen	340
7.8.4	Zusammengesetzte Querschnitte mit aufgelösten Wänden	341
7.9	Hauptspannungen	343
7.9.1	Vorbemerkung	343
7.9.2	Isotrope Baustoffe	344
7.9.3	Anisotrope Baustoffe	345
7.9.4	Trajektorien	345
7.10	Festigkeitshypothesen	347
7.10.1	Vorbemerkung	347
7.10.2	Normalspannungshypothese (NH)	348
7.10.3	Schubspannungshypothese (SH)	348
7.10.4	Hypothese von der Gestaltänderungsarbeit (GEH)	349
7.10.5	Festigkeitshypothesen bei anisotropen Baustoffen	349
7.11	Elastische Querschnittsnachweise im Holzbau	351
7.11.1	Vorbemerkung	351
7.11.2	Normalspannungen aus Zug in Faserrichtung	351
7.11.3	Normalspannungen aus Zug unter einem Winkel zur Faser- richtung	354
7.11.4	Normalspannungen aus Druck in Faserrichtung (ohne Stabi- litätsgefahr)	355
7.11.5	Normalspannungen aus Druck quer zur Faserrichtung	356
7.11.6	Normalspannungen aus Druck unter einem Winkel zur Faser- richtung	359
7.11.7	Normalspannungen aus Biegung	361

7.11.8	Normalspannungen aus Biegung und Zug	362
7.11.9	Normalspannungen aus Biegung und Druck	362
7.11.10	Schubspannungen aus Querkraft	364
7.11.11	Schubspannungen aus Torsion	367
7.11.12	Schubspannungen aus Querkraft und Torsion	367
7.12	Elastische Querschnittsnachweise im Stahlbau	369
7.12.1	Vorbemerkung	369
7.12.2	Normalspannungen aus Zug	369
7.12.2.1	Ungeschwächte Querschnitte	369
7.12.2.2	Querschnitte mit Schwächungen	369
7.12.2.3	Querschnitte mit einseitiger Lasteinleitung	371
7.12.3	Normalspannungen aus Druck (ohne Stabilitätsgefahr)	375
7.12.4	Normalspannungen aus Biegung	376
7.12.5	Schubspannungen aus Querkraft	379
7.12.6	Torsionsspannungen	379
7.12.7	Kombinierte Beanspruchungen	381
7.13	Elastische Querschnittsnachweise im Stahl-Beton-Verbundbau	384
7.13.1	Vorbemerkung	384
7.13.2	Normalspannungen aus Normalkraft und Biegung (ohne Stabilitätsgefahr)	386
7.13.3	Schubspannungen aus Querkraft	386
7.13.4	Kombinierte Beanspruchungen	387
7.14	Querschnittsnachweise im Mauerwerksbau	391
7.14.1	Überblick	391
7.14.2	Anwendungsgrenzen des vereinfachten Verfahrens	391
7.14.3	Normalspannungen aus Druck (ohne Stabilitätsgefahr)	393
7.14.3.1	Vereinfachtes Verfahren (ohne Stabilitätsgefahr)	393
7.14.3.2	Genaueres Verfahren (ohne Stabilitätsgefahr)	394
7.14.4	Normalspannungen aus Scheibenbiegung (ohne Stabilitätsgefahr)	395
7.14.5	Kombinierte Beanspruchung	397
7.14.6	Teilflächenpressung	398
7.14.7	Schubspannungen aus Scheibenschub	400
7.14.8	Schubspannungen aus Plattenschub	401
8	Plastische Querschnittsbemessung	405
8.1	Einleitung	405
8.2	Plastische Querschnittsnachweise im Holzbau	406
8.3	Plastische Querschnittsnachweise im Stahlbau	407
8.3.1	Allgemeines	407
8.3.2	Normalkraftbeanspruchung (ohne Stabilitätsgefahr)	407
8.3.3	Querkraftbeanspruchung	408
8.3.4	Biegebeanspruchung	409
8.3.5	Kombinierte Beanspruchungen	415
8.3.5.1	Vorbemerkung	415
8.3.5.2	Biegung und Normalkraft	416

8.3.5.3	Biegung und Querkraft	418
8.3.5.4	Querkraft und Normalkraft	422
8.3.5.5	Zweiachsige Biegung mit/ohne Normalkraft	423
8.3.5.6	Querkraft und Torsion	423
8.3.5.7	Biegung, Querkraft und Normalkraft	426
8.3.5.8	Biegung und Torsion	426
8.4	Plastische Querschnittsnachweise im Stahlbetonbau	429
8.4.1	Allgemeines	429
8.4.2	Dehnungsbereiche für Stahlbetonquerschnitte	432
8.4.3	Biegebeanspruchung	433
8.4.3.1	Rechteckige Druckzone ohne Druckbewehrung	433
8.4.3.2	Bemessungshilfen bei rechteckiger Druckzone	441
8.4.3.3	Rechteckige Druckzone mit Druckbewehrung	447
8.4.3.4	Nicht-rechteckige Druckzone	451
8.4.3.5	Mindest-Längsbewehrung	457
8.4.4	Zugbeanspruchung	458
8.4.5	Druckbeanspruchung (ohne Stabilitätsgefahr)	458
8.4.6	Querkraftbeanspruchung	459
8.4.7	Querkraft – Querschnitte ohne Querkraftbewehrung	460
8.4.7.1	Anwendungsbereich	460
8.4.7.2	Tragmodell	460
8.4.7.3	Nachweisführung	462
8.4.8	Querkraft – Querschnitte mit Querkraftbewehrung	463
8.4.8.1	Überblick	463
8.4.8.2	Klassische Fachwerkanalogie	465
8.4.8.3	Erweiterte Fachwerkanalogie	465
8.4.8.4	Querschnitte mit Querkraftbewehrung rechtwinklig zur Stabachse	467
8.4.8.5	Bauteile mit geneigter Querkraftbewehrung	470
8.4.8.6	Maßgebende Querkräfte	472
8.4.8.7	Interaktion von Biegung und Querkraft	473
8.4.8.8	Konstruktive Hinweise zur Querkraftbewehrung	476
8.4.9	Torsionsbeanspruchung	478
8.4.9.1	Einführung	478
8.4.9.2	Druckstrebenversagen	482
8.4.9.3	Zugstrebenversagen	483
8.4.9.4	Konstruktive Hinweise zur Torsionsbewehrung	483
8.4.10	Kombinierte Beanspruchungen	486
8.4.10.1	Biegung und Normalkraft	486
8.4.10.2	Biegung mit/ohne Normalkraft und Torsion	490
8.4.10.3	Querkraft und Torsion	490
8.4.10.4	Biegung, Querkraft und Torsion	491
8.5	Plastische Querschnittsnachweise im Stahl-Beton-Verbund	492
8.5.1	Vorbemerkungen	492
8.5.2	Druckbeanspruchung (ohne Stabilitätsgefahr)	492
8.5.3	Zugbeanspruchung	495

8.5.4	Biegebeanspruchung	495
8.5.5	Querkraftbeanspruchung	500
8.5.6	Kombinierte Beanspruchungen	500
8.5.6.1	Biegung und Querkraft	500
8.5.6.2	Biegung und Normalkraft	501
9	Tragwerke des Hallen- und Geschossbaus	505
9.1	Einführung	505
9.1.1	Bauwerkstypen des Hochbaus	505
9.1.2	Allgemeine Entwurfsgrundsätze für Tragwerke von Hochbauten	507
9.1.3	Entwerfen von Tragwerken	510
9.1.4	Tragwerksentwurf für Gebäude im Bauplanungsprozess	512
9.2	Allgemeine Entwurfsaspekte für Gebäude	516
9.2.1	Wärmeschutz	516
9.2.2	Brandschutz	519
9.2.3	Tageslichtversorgung	526
9.2.4	Bauwerksgliederung	529
9.2.5	Technische Gebäudeausrüstung	531
9.2.6	Baugrund	532
9.3	Hallenbauten	534
9.3.1	Tragwerke von Hallenbauten	534
9.3.2	Vertikallastabtragung bei Hallen	540
9.3.3	Horizontallastabtragung bei Hallen (Aussteifung)	540
9.3.4	Ausgewählte Entwurfsaspekte für Hallenbauten	549
9.3.4.1	Einführung	549
9.3.4.2	Offene Hallen	549
9.3.4.3	Baustoffwahl und Brandschutz	550
9.3.4.4	Hallen mit Kranbetrieb	550
9.3.4.5	Mehrschiffige Hallen	551
9.4	Geschossbauten	553
9.4.1	Tragwerke von Geschossbauten	553
9.4.2	Scheibenbauten	554
9.4.2.1	Wandtypen	554
9.4.2.2	Querwandsysteme	554
9.4.2.3	Längswandsysteme	554
9.4.2.4	Kreuzwandsysteme	554
9.4.3	Skelettbauten	556
9.4.3.1	Überblick	556
9.4.3.2	Längsträgersystem	556
9.4.3.3	Querträgersystem	556
9.4.3.4	Kombiniertes Längs-/Querträgersystem	556
9.4.3.5	Trägerloses System	558
9.4.4	Vertikallastabtragung bei Geschossbauten	558
9.4.5	Horizontallastabtragung bei Geschossbauten (Aussteifung)	561
9.4.6	Ausgewählte Entwurfsaspekte für Geschossbauten	561

9.4.6.1	Anordnung der Tragwerkselemente	561
9.4.6.2	Fassadenplanung, Wärmeschutz	562
9.4.6.3	Schallschutz	565
9.5	Grundlagen der Tragwerksberechnung	566
9.5.1	Einleitung	566
9.5.2	Stützweiten	566
9.5.3	Auflagertiefen	568
Anhang		569
Literaturverzeichnis		583
Stichwortverzeichnis		599