

Der Ingenieurbau

■ Bemessung

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Verzeichnis der Verfasser

Bemessung im Betonbau

1	Einleitung	1
2	Materialverhalten (engl.: material properties)	2
2.1	Beton (engl.: concrete)	2
2.2	Stahl (engl.: steel)	13
2.2.1	Betonstahl (engl.: reinforcement, steel)	13
2.2.2	Spannstahl (engl.: prestressing steel)	17
2.3	Zusammenwirken von Beton und Stahl (Verbund; engl.: bond)	20
2.3.1	Phänomenologische Beschreibung des Zusammenwirkens von Beton und Stahl (engl.: bond behaviour)	20
2.3.2	Mechanische Zusammenhänge für den mittig beanspruchten, symmetrisch bewehrten Stahlbetonstab (engl.: response of members subjected to axial load)	21
2.3.2.1	Ungerissener Beton (engl.: uncracked concrete)	21
2.3.2.2	Rißbildung (engl.: cracking)	22
3	Schnittgrößen und Nachweis der Funktionsfähigkeit von Bauwerken und Bauteilen. Allgemeine Bemessungsgrundlagen	28
4	Vorspannung von Tragwerken (engl.: prestressing of structures)	40
4.1	Zur Vorspannung von Tragwerken insbesondere im Betonbau	40
4.2	Schnittgrößen, Verformungen und Spannungen aus Vorspannung bei äußerlich statisch bestimmten Systemen	46
4.2.1	Zentrisch vorgespannter Stab	46
4.2.1.1	Spannen vor dem Erhärten des Betons	46
4.2.1.2	Spannen nach dem Erhärten des Betons	50
4.2.1.3	Einige Bemerkungen zur Vorbemessung	52
4.2.1.4	Einige Bemerkungen zu den Querschnittswerten	54
4.2.1.5	Zahlenbeispiele	55
4.2.1.5.1	Zentrisch vorgespannte Stütze, Spannbeton mit sofortigem Verbund	55
4.2.1.5.2	Zentrisch vorgespannte Stütze, Spannbeton mit nachträglichem Verbund	56
4.2.2	Vorspannen des Biegebalkens	60
4.2.2.1	Spannen vor dem Erhärten des Betons	60
4.2.2.2	Spannen nach dem Erhärten des Betons	63
4.2.2.3	Einfluß des Reibungswiderstands beim Vorspannen	69
4.2.2.4	Zahlenbeispiele	73
4.2.2.4.1	Biegebalken, Spannen vor dem Erhärten des Betons	73
4.2.2.4.2	Biegebalken, Spannen nach dem Erhärten des Betons	80

4.3	Schnittgrößen aus Vorspannung bei statisch unbestimmten Systemen	85
4.3.1	Statisch Unbestimmte und elastische Formänderungen aus Vorspannung beim statisch unbestimmt gelagerten, zentrisch vorgespannten System . . .	85
4.3.2	Der Lastfall Vorspannung bei gekrümmt geführten Spanngliedern in statisch unbestimmten Systemen	89
4.3.3	Zahlenbeispiel	97
4.4	Kriechen und Schwinden des Betons (engl.: creep and shrinkage of concrete)	102
4.4.1	Zeitabhängige Spannungen und Verzerrungen infolge Kriechen und Schwinden des Betons	102
4.4.1.1	Das erweiterte Hookesche Gesetz für den bewehrten Konstruktionsbeton	102
4.4.1.2	Betonverzerrungen unter konstanten Spannungen	104
4.4.1.2.1	Anteile der Betonverzerrung	104
4.4.1.2.2	Ermittlung der Kriech- und Schwindmaße nach DIN 4227–Teil 1, Ausgabe 1988	105
4.4.1.3	Betonverzerrungen unter veränderlichen Betonspannungen	108
4.4.2	Spannkraftverlust infolge Kriechen und Schwinden des Betons bei äußerlich statisch bestimmten Systemen	121
4.4.2.1	Der zentrisch vorgespannte Stab	121
4.4.2.1.1	Spannkraftverlust	121
4.4.2.1.2	Zahlenbeispiel	123
4.4.2.2	Biegebalken	124
4.4.2.2.1	Vorspannung mit sofortigem Verbund	124
4.4.2.2.2	Vorspannung mit nachträglichem Verbund	128
4.4.2.2.3	Zahlenbeispiel	130
4.4.2.3	Ermittlung der Spannkraftverluste mit Hilfe der c-Werte	135
4.4.2.4	Näherungsweise Ermittlung der Spannkraftverluste	136
4.4.2.5	Mehrsträngige Vorspannung	138
4.4.3	Spannkraftverluste infolge Kriechen und Schwinden des Betons bei äußerlich statisch unbestimmten Systemen	140
4.4.3.1	Allgemeines	140
4.4.3.2	Ableitung der Beziehungen anhand des in Abschnitt 4.3.1 behandelten einhüftigen Rahmens	140
4.4.3.3	Zahlenbeispiel	147
4.4.4	Schnittgrößenumlagerung bei Systemänderungen infolge Behinderung der Kriechverzerrung des Betons	151
4.4.4.1	Einführende Betrachtungen	151
4.4.4.2	Schnittgrößenumlagerung infolge Behinderung der Kriechverzerrungen bei Zusammenfügen zweier gleich alter Fertigteilträger zu einem Zweifeldträger	152
4.4.4.3	Schnittgrößenumlagerung bei affin zum Kriechen verlaufenden Systemänderungen am Beispiel einer langsamen Senkung der Innenstütze eines Zweifeldträgers	155
4.4.4.4	Schnittgrößenumlagerung bei plötzlichen Systemänderungen am Beispiel einer plötzlichen Senkung der Innenstütze eines Zweifeldträgers	159
4.4.4.5	Schnittgrößenumlagerungen bei abschnittweisem Bauen	161
4.5	Einleitung konzentrierter Kräfte	168
4.5.1	Allgemeine Betrachtungen	168
4.5.2	Verankerung einer einzelnen Ankerkraft	170
4.5.2.1	Ergebnisse aus der Scheibentheorie	170

4.5.2.1.1	Grundgleichungen	170
4.5.2.1.2	Halbscheibe unter Teilstreckenlast	172
4.5.2.1.3	Halbscheibe unter Einzellast	176
4.5.2.1.4	Halbstreifen	177
4.5.2.2	Einfache Ersatzmodelle	181
4.5.2.3	Geneigte Spanngliedverankerung am Trägerende	184
4.5.3	Verankerung mehrerer Spannglieder	185
4.5.4	Spaltzugwirkung senkrecht zur Mittelebene des Trägersteges	186
4.5.5	Einleitung von Spannkraften und Auflagerkräften am Balkenende	187
4.5.6	Einleitung von Kräften im Innern eines Bauteils	189
4.5.7	Vorspannung und Koppelung von Spanngliedern an Bauabschnittsgrenzen	196
4.5.7.1	Allgemeine Betrachtungen	196
5	Stabförmige, mittig beanspruchte, bewehrte Druckglieder ohne Knickgefahr	199
5.1	Bügelbewehrte Stahlbetonstützen	200
5.2	Umschnürte (wendelbewehrte) Druckglieder	205
6	Zugglieder	209
6.1	Allgemeines	209
6.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit	210
6.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	212
7	Beanspruchung durch Biegung und Längskraft	215
7.1	Grenzzustände der Tragfähigkeit	215
7.1.1	Allgemeines	215
7.1.2	Voraussetzungen	216
7.1.3	Überwiegende Biegung, Querschnitte mit rechteckiger Druckzone	218
7.1.4	Bemessungshilfen für überwiegende Biegung mit Längskraft für Querschnitte mit rechteckiger Druckzone	225
7.1.4.1	Allgemeines	225
7.1.4.2	Allgemeines Bemessungsdiagramm	225
7.1.4.3	k_d -Verfahren	228
7.1.4.4	Verwendung von Bemessungstabellen mit dimensionslosen Beiwerten für Querschnitte mit rechteckiger Druckzone	235
7.1.4.4.1	Einfache Bewehrung	235
7.1.4.4.2	Querschnitte mit Zug- und Druckbewehrung	237
7.1.5	Interaktionsdiagramme für symmetrisch bewehrte Rechteckquerschnitte	241
7.1.6	Plattenbalken	251
7.1.6.1	Tragverhalten und mitwirkende Plattenbreite	251
7.1.6.2	Bemessung für negative Momente bei oben liegender Druckplatte	256
7.1.6.3	Bemessung von Plattenbalken mit oben liegender Druckplatte für positive Momente	256
7.1.7	Einfluß der Vordehnung des Spannstahls bei Vorspannung mit Verbund	261
7.2	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	262
8	Beanspruchung durch Querkraft	262
8.1	Allgemeines	262
8.2	Biegung mit Längs- und Querkraft für den homogenen, isotropen Balken	264
8.3	Biegung mit Längs- und Querkraft für den gerissenen Stahlbetonträger	267
8.3.1	Allgemeines	267
8.3.2	Tragfähigkeit von Bauteilen ohne Schubbewehrung	268
8.3.3	Tragfähigkeit von Bauteilen mit Schubbewehrung	270
8.3.3.1	Phänomenologische Beschreibung	270

8.3.3.2	Fachwerkmodell	272
8.4	Nach dem EC2, T.1-1 zu führende Nachweise	275
8.4.1	Bemessungswert der einwirkenden Querkraft	275
8.4.2	Bemessungswert der aufnehmbaren Querkraft	276
8.4.2.1	Standardverfahren	276
8.4.2.2	Verfahren mit veränderlicher Druckstrebenneigung	277
8.5	Anforderungen für die Schubbewehrung an die konstruktive Durchbildung	278
9	Beanspruchung durch Torsion und kombinierte Beanspruchungen	280
9.1	Phänomenologische Betrachtungen	280
9.2	Tragglieder aus Konstruktionsbeton	282
9.2.1	Ermittlung der Torsionsbewehrung	282
9.2.1.1	Kastenmodell	283
10	Nachweise für die Grenzzustände der Tragfähigkeit am verformten System (Theorie II. Ordnung; Biegeknicksicherheitsnachweise; Sicherheit gegen Auskippen)	285
10.1	Phänomenologische Betrachtungen	285
10.2	Eulersche Knicklasten	287
10.3	Ausmittig gedrückter Stab	291
10.4	Biegeknicksicherheitsnachweis nach EC2, T.1-1	295
10.4.1	Allgemeine Grundsätze	295
10.4.2	Einzeldruckglieder	299
10.4.2.1	Schlankheit und Ausmitte	299
10.4.2.2	Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen nach Theorie II. Ordnung	302
10.4.3	Biege- und Torsionssteifigkeit	304
10.5	Näherungsverfahren zur Ermittlung der Kippstabilität (Exzentrisches Kippen) gabelgelagerter Träger unter Gleichstreckenlast q_z	310
10.6	Modellstützenverfahren als Näherungsverfahren zum Nachweis der Biegeknicksicherheit	314
11	Ergänzungen zu den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit und zu Anforderungen zur konstruktiven Durchbildung	315
11.1	Grundsätzliches	315
11.2	Konstruktive Anforderungen an die bauliche Durchbildung	316
11.3	Beschränkung der Rißbreiten	321
11.4	Verankerungslängen	324
12	Bezeichnungen	326
13	Literatur	328

Plastizitätstheorie im Betonbau

1	Grundlagen der Plastizitätstheorie	333
1.1	Materialverhalten	333
1.2	Grenzwertsätze der Plastizitätstheorie	334
1.3	Nachweis und Bemessung: Baustatische Lösungsverfahren	340
2	Balken und Scheiben	344
2.1	Einführung	344
2.2	Stahlbetonbalken	344
2.3	Träger unter Torsionsbeanspruchung	351
2.4	Konsolen	353

2.5	Rahmenknoten	353
2.6	Wände	357
3	Platten	359
3.1	Bemessung nach dem statischen Grenzwertsatz	359
3.2	Nachweis nach dem kinematischen Grenzwertsatz	363
4	Literatur	366

Bemessung im Mauerwerksbau

1	Einleitung	367
1.1	Stand und Entwicklung	367
1.2	Mauerwerksnormen	368
1.3	Neue Teile 1 und 2 der DIN 1053	371
2	Grundlagen	372
2.1	Allgemeines	372
2.2	Baustoffe	372
2.2.1	Vorbetrachtung	372
2.2.2	Mauersteine	372
2.2.3	Mörtel	376
2.3	Mauerwerk	376
2.4	Druckfestigkeit	378
2.4.1	Bruchmechanismus von Mauerwerk	378
2.4.2	Festlegungen in DIN 1053-1	379
2.4.2.1	Allgemeines	379
2.4.2.2	Mauerwerk nach Eignungsprüfung	379
2.4.2.3	Rezeptmauerwerk	381
2.4.3	Eurocode 6	381
2.5	Zugfestigkeit	383
2.5.1	Allgemeines	383
2.5.2	Zugfestigkeit parallel zur Lagerfuge	383
2.5.3	Zugfestigkeit rechtwinklig zur Lagerfuge	386
2.6	Schubfestigkeit	386
2.7	Spannungs-Dehnungs-Verlauf	392
2.8	Sicherheitskonzept	395
3	Bemessung	397
3.1	Allgemeines	397
3.2	Schnittgrößen infolge von Lasten	399
3.2.1	Auflagerkräfte aus Decken	399
3.2.2	Knotenmomente	399
3.2.3	Wind	400
3.3	Wand-Decken-Knoten	400
3.3.1	Vorbetrachtung	400
3.3.2	Knoten- und Wandmomente	400
3.3.3	Ausmitten	404
3.4	Knicksicherheitsnachweis	408
3.4.1	Grundlagen	408
3.4.1.1	Stabilitätstheorie	408
3.4.1.2	Tragfähigkeit von Mauerwerkswänden	408

3.4.1.3	Voraussetzungen in den Mauerwerksnormen	410
3.4.1.4	Wandverformungen nach Theorie II. Ordnung	410
3.4.2	Halterung der Wände	414
3.4.3	Knicklängen	416
3.4.4	Grenzbreiten	419
3.4.5	Schlankheit	420
3.5	Vereinfachtes und genaueres Berechnungsverfahren	421
3.6	Abminderungsfaktoren	423
3.6.1	Allgemeines	423
3.6.2	Abminderungsfaktoren nach den Normen	424
3.6.2.1	DIN 1053-1, genaueres Berechnungsverfahren	424
3.6.2.2	DIN 1053-1, vereinfachtes Berechnungsverfahren	424
3.6.2.3	Eurocode 6	426
3.7	Nachweise für Mauerwerk	427
3.7.1	Nachweis auf Druck	427
3.7.1.1	Allgemeines	427
3.7.1.2	Nachweis nach DIN 1053-1	429
3.7.1.3	Waagerechte Belastung rechtwinklig zur Außenwand	433
3.7.1.4	Weitere Nachweise nach DIN 1053-1	433
3.7.1.5	Nachweis nach EC 6	434
3.7.2	Nachweis auf Zug	435
3.7.2.1	Nachweis nach DIN 1053-1	435
3.7.2.2	Nachweis nach EC 6	436
3.7.3	Schubnachweis	436
3.7.3.1	Allgemeines	436
3.7.3.2	Nachweis nach DIN 1053-1	438
3.7.3.3	Nachweis nach EC 6	440
3.8	Aussteifung und Gesamtstabilität	442
3.8.1	Vorbemerkungen	442
3.8.2	Gesamtstabilität	442
3.8.3	Horizontallasten	443
3.8.3.1	Allgemeines	443
3.8.3.2	Windlast	443
3.8.3.3	Lotabweichung	444
3.8.3.4	Haltekräfte nach Theorie II. Ordnung	444
3.8.4	Bauwerksaussteifung	445
3.8.4.1	Raumstabilität	445
3.8.4.2	Querschnitte von Aussteifungswänden	447
3.8.4.3	Wahl der Aussteifungswände	448
3.8.4.4	Unregelmäßigkeiten der Aussteifung	449
3.8.4.5	Aussteifung niedriger Bauwerke	449
3.8.5	Aussteifungswand	450
3.8.5.1	Aufteilung der Horizontallasten	450
3.8.5.2	Nachweis des Wandquerschnittes	454
3.8.5.3	Forderung zur Bauwerksaussteifung in den Normen	454
3.8.6	Kriterien zur Beurteilung der Bauwerksaussteifung	456
3.8.6.1	Allgemeines	456
3.8.6.2	Herleitung des Kriteriums	456
3.8.6.3	Entfallen des Windnachweises	458
3.8.6.4	Schubspannungen	458

3.8.6.5	Kriterium für einfache niedrige Mauerwerksbauten	460
3.9	Auflagerpressungen unter Einzellasten	461
3.9.1	Allgemeines	461
3.9.2	Nachweis nach den Normen	461
3.10	Nachweis von Kelleraußenwänden	462
3.10.1	Grundlagen und statisches System	462
3.10.2	Belastung	463
3.10.3	Ermittlung der Schnittgrößen	464
3.10.3.1	Einachsig gespannte Wand	464
3.10.3.2	Zweiachsig gespannte Wand	465
3.10.4	Nachweis nach den ermittelten Schnittgrößen	466
3.10.4.1	Einachsig gespannte Wand	466
3.10.4.2	Zweiachsig gespannte Wand	468
3.10.4.3	Sonderfall Wandkopf mit heruntergeführter Verblendschale	468
3.10.5	Nachweis nach der Norm	469
3.10.5.1	Einachsig gespannte Wand	469
3.10.5.2	Zweiachsig gespannte Wand	470
3.10.6	Kelleraußenwand mit geringer Auflast bei voller Erdanschüttung	471
3.10.6.1	Vorbemerkung	471
3.10.6.2	Besondere Konstruktionen und Nachweise	471
3.10.7	Berechnungshilfen	473
3.10.7.1	Allgemeines	473
3.10.7.2	Diagramme und Tabellen	473
3.11	Plattenbeanspruchung von Mauerwerk	475
3.12	Vergleich zwischen DIN 1053 und EC 6	476
4	Beispiele	477
4.1	Allgemeines	477
4.2	Beispiel 1: Hochbelastete Innenwand	478
4.3	Beispiel 2: Gering belastete Außenwand	484
4.4	Beispiel 3: Aussteifungswand	491
4.5	Beispiel 4: Kelleraußenwand	496
4.6	Ergebnis	500
5	Literatur	500

Bemessung im Holzbau

1	Holz als Baustoff	505
1.1	Einführung	505
1.2	Vollholz, Brettschichtholz, Holzwerkstoffe: Begriffe, Gestaltung, Aufbau	505
1.2.1	Vollholz (VH)	505
1.2.2	Brettschichtholz (BSH)	506
1.2.3	Holzwerkstoffe	508
1.3	Mechanische und physikalische Eigenschaften	508
1.3.1	Elastizitätsmoduln, Schubmoduln, Torsionsmoduln	508
1.3.1.1	Elastizitätsmoduln, Schubmoduln und Torsionsmoduln von Voll- und Brettschichtholz	508
1.3.1.2	Elastizitätsmoduln und Schubmoduln von Bau-Furniersperrholz (BFU) nach DIN 68705 T 3 und T 5	509

1.3.1.3	Elastizitätsmoduln und Schubmoduln von Flachpreßplatten (FPP) nach DIN 68 763	510
1.3.2	Feuchte und Schwind- bzw. Quellmaße	511
1.3.3	Kriechverformungen	514
1.3.3.1	Kriechverhalten von Holz und Holzwerkstoffen	514
1.3.3.2	Ermittlung der Kriechverformungen	514
1.3.4	Einfluß von Temperaturänderungen	515
1.4	Zulässige Spannungen	516
1.4.1	Zulässige Spannungen für Voll- und Brettschichtholz	516
1.4.2	Zulässige Spannungen für Holzwerkstoffe	519
1.4.3	Zulässige Spannungen bei wechselbeanspruchten Bauteilen	521
1.4.4	Zulässige Spannungen bei Stahlteilen und anderen Baustoffen	521
1.5	Lastannahmen	521
1.6	Mindestquerschnitte und Mindestdicken	522
1.7	Querschnittsschwächungen	522
2	Biegebeanspruchte Bauteile	525
2.1	Allgemeines	525
2.1.1	Einführende Beschreibung	525
2.1.2	Stützweiten und Auflagerkräfte	525
2.1.3	Durchbiegung und Überhöhung	527
2.2	Ausklinkungen und Zapfen bei Biegeträgern mit Rechteckquerschnitt aus Nadelholz (Voll- und Brettschichtholz)	529
2.2.1	Allgemeines	529
2.2.2	Unten ausgeklinkte Träger	530
2.2.2.1	Definition „unten ausgeklinkt“	530
2.2.2.2	Rechtwinklige Ausklinkung ohne Verstärkung	530
2.2.2.3	Rechtwinklige Ausklinkung mit Verstärkung	531
2.2.2.4	Schräge Ausklinkung	534
2.2.3	Oben ausgeklinkter bzw. abgeschrägter Träger	534
2.2.4	Zapfen	536
2.3	Durchbrüche bei Biegeträgern aus BSH mit Rechteckquerschnitt	536
2.3.1	Allgemeines	536
2.3.2	Durchbrüche ohne Verstärkung	536
2.3.3	Durchbrüche mit Verstärkung	538
2.4	Spannungskombination (Trägerrand \neq Faserrichtung)	539
2.5	Spannungsverläufe bei gekrümmten Trägern und im Firstquerschnitt von Satteldachträgern aus BSH mit Rechteckquerschnitt	541
2.6	Biegeträger aus Voll- und Brettschichtholz	546
2.6.1	Allgemeines	546
2.6.2	Einachsige Biegung	550
2.6.2.1	Spannungsnachweise beim geraden Parallelträger	550
2.6.2.2	Spannungsnachweis bei Trägern mit veränderlicher Höhe	550
2.6.2.3	Nachweis der Spannungskombination am angeschnittenen Trägerrand ...	551
2.6.2.4	Spannungsnachweis bei gekrümmten Trägern und im Firstquerschnitt von Satteldachträgern aus BSH mit Rechteckquerschnitt	554
2.6.3	Zweiachsige Biegung	555
2.6.4	Querkraft und Abscherbelastung	555
2.6.4.1	Querkraft	555
2.6.4.2	Abscherbelastung	557
2.6.5	Torsion	557

2.6.6	Torsion und Querkraft	558
2.6.7	Auflagerpressung	558
2.6.8	Durchbiegung	559
2.6.9	Stabilisierung	561
2.6.9.1	Näherungsnachweise	561
2.6.9.2	Nachweis nach Spannungstheorie II. Ordnung	565
2.7	Biegeträger aus starr oder nachgiebig zusammengesetzten Querschnittsteilen	568
2.7.1	Allgemeines	568
2.7.2	Einachsige Biegung	568
2.7.3	Querkraft	573
2.7.3.1	Nachweis der Verbindungsmittel	573
2.7.3.2	Schubspannungsnachweis	574
2.7.4	Torsion	575
2.7.4.1	Nachweis der Schubspannungen aus Torsion	575
2.7.4.2	Nachweis der Verbindungsmittel	577
2.7.5	Torsion und Querkraft	577
2.7.5.1	Nachweis der Schubspannungen aus Torsion und Querkraft	577
2.7.5.2	Nachweis der Verbindungsmittel	577
2.7.6	Auflagerpressung	578
2.7.7	Durchbiegung	578
2.7.8	Stabilisierung	580
2.7.8.1	Näherungsnachweis	580
2.7.8.2	Nachweis nach Spannungstheorie II. Ordnung	581
2.7.9	Beulen des Steges	284
2.8	Fachwerkträger	584
2.8.1	Trägerformen und -systeme, Bemessungshinweise	584
2.8.2	Durchbiegungsnachweis	589
2.8.2.1	Allgemeines	589
2.8.2.2	Näherungsberechnung	589
2.8.2.3	Genauere Berechnung	590
2.8.3	Stabilität	593
2.9	Sparrenpfetten	593
2.9.1	Allgemeines	593
2.9.2	Einfeldpfetten	594
2.9.3	Durchlaufpfetten	594
2.9.4	Gelenkpfetten (Gerberpfetten)	594
2.9.5	Koppelpfetten	596
3	Zugbeanspruchte Stäbe	599
3.1	Allgemeines	599
3.2	Mittig beanspruchte Zugstäbe	599
3.3	Ausmittig beanspruchte Zugstäbe (Zug und Biegung)	601
3.3.1	Allgemeines	601
3.3.2	Zug mit planmäßig einachsiger Biegung	602
3.3.3	Zug mit planmäßig zweiachsiger Biegung (Doppelbiegung)	602
4	Stäbe und Stabsysteme unter Druck oder kombinierter Beanspruchung aus Druck und Biegung	603
4.1	Allgemeines	603
4.2	Knicknachweis nach dem Ersatzstabverfahren (ω -Verfahren)	603
4.2.1	Allgemeines	603

4.2.2	Knickzahlen ω	604
4.2.3	Knicklängen s_k	608
4.2.4	Zulässige Schlankheitsgrade λ	614
4.2.5	Knicknachweis für einteilige Stäbe unter planmäßig mittigem Druck	614
4.2.6	Knicknachweis für einteilige Stäbe unter planmäßig ausmittigem Druck (Druck und Biegung)	615
4.2.7	Knicknachweis für mehrteilige Stäbe unter planmäßig mittigem Druck . .	621
4.2.7.1	Nicht gespreizte mehrteilige Stäbe	621
4.2.7.2	Gespreizte mehrteilige Stäbe (Rahmen- und Gitterstäbe)	628
4.2.8	Knicknachweis für mehrteilige Stäbe unter planmäßig ausmittigem Druck (Druck und Biegung)	630
4.2.8.1	Nichtgespreizte mehrteilige Stäbe	630
4.2.8.2	Gespreizte mehrteilige Stäbe (Rahmen- und Gitterstäbe)	631
4.3	Tragsicherheitsnachweis nach Spannungstheorie II. Ordnung	632
4.3.1	Allgemeines	632
4.3.2	Zum Berechnungsablauf	633
4.3.2.1	Bedingungen nach DIN 1052 T 1	633
4.3.2.2	Berechnungshinweise	633
4.3.2.3	Ablaufdiagramm zur praktischen Berechnung nach Spannungstheorie II. Ordnung	639
4.3.3	Berechnung unter Einbeziehung von Verformungen senkrecht zur Systemebene	643
5	Verbände, Scheiben, Abstützungen	645
5.1	Allgemeines	645
5.2	Hallenbauten	645
5.3	Einzelabstützungen, kontinuierliche Abstützungen, Bemessungshinweise für Tragglieder	650
5.3.1	Einzelabstützungen zur Unterteilung der Knicklänge	650
5.3.2	Kontinuierliche Abstützungen gegen nachgiebige Verbände, Scheiben und Träger	651
5.3.2.1	Allgemeines	651
5.3.2.2	Seitenlasten q_s aus Druckgurten von Fachwerkträgern	653
5.3.2.3	Seitenlasten q_s aus Druckgurten von Biegeträgern mit Rechteckquerschnitt	656
5.3.3	Belastung von Verbänden, Scheiben, Trägern und Pfetten sowie konstruktive Hinweise	658
5.3.3.1	Gleichzeitige Wirkung von Wind- und Seitenlasten	658
5.3.3.2	Anordnung von Horizontal-Traggliedern (horizontale Verbände, Scheiben oder Träger) und Verteilung von Wind- und Seitenlasten	659
5.3.3.3	Beanspruchung der Sparrenpfetten aus Wind- und Seitenlasten	660
5.3.3.4	Abgeknickte Horizontalverbände: Berechnung der Verbände und der vertikalen Zusatzlasten	662
5.3.3.5	Scheiben	663
5.3.3.6	Scheiben aus Holztafeln	665
5.3.3.7	Abstützungen durch Dachlatten und Schalung	666
5.4	Hausdächer	668
5.4.1	Sparren- und Kehlbalkendächer	668
5.4.2	Pfettendächer	673
6	Verbindungen, Anschlüsse, Stöße	675
6.1	Verbindungsmittel	675
6.1.1	Einführung	675

6.1.2	Mechanische Verbindungsmittel	675
6.1.2.1	Allgemeines	675
6.1.2.2	Übersichtstabellen für mechanische Verbindungsmittel: Bezeichnungen, zuständige Normen, Kurzangaben auf den Ingenieurplänen	678
6.1.2.3	Bemessungs- und Konstruktionstabellen für Nägel, Klammern, Holz- schrauben, Stabdübel, Paßbolzen, Bolzen, Rechteckdübel und Dübel besonderer Bauart	684
6.1.2.4	Bemessungs- und Konstruktionstabellen – Ergänzende Angaben für Nägel Klammern, Holzschrauben, Stabdübel, Paßbolzen, Bolzen, Rechteckdübel und Dübel besonderer Bauart	698
6.1.2.5	Verbindungen mit Stahlteilen	713
6.1.3	Leim	715
6.1.3.1	Allgemeines	715
6.1.3.2	Leimarten	716
6.1.3.3	Längsstöße	716
6.1.3.4	Nagelpreßleimung	717
6.2	Verbindungen und Anschlüsse	717
6.2.1	Zugstöße	717
6.2.2	Queranschlüsse mit Querzugbeanspruchung	720
6.2.3	Druckstöße	726
6.2.4	Queranschlüsse mit Querdruckbeanspruchung und Versätze	727
6.2.5	Biegesteife Verbindungen	730
6.2.5.1	Allgemeines	730
6.2.5.2	Genagelter Trägerstoß	730
6.2.5.3	Rahmenecken mit Dübelkreis-Verbindung	734
6.2.5.4	Rahmenecke mit Keilzinkenverbindung	738
6.2.5.5	Geknickter Trägerstoß unter positivem Biegemoment	739
6.2.6	Federsteifigkeiten, Verschiebungen und Verdrehungen der Verbindungen	743
6.2.6.1	Allgemeines	743
6.2.6.2	Längs-Federsteifigkeiten $C_{Lä}$ und Längsverschiebungen Δf_j	744
6.2.6.3	Dreh-Federsteifigkeiten C_d und Drehwinkel $\Delta \varphi$	745
6.2.6.4	Verschiebungen und Drehwinkel infolge Kriechens	746
7	Literatur	746

Bemessung von Tragwerken aus Kunststoffen

1	Kunststoff – ein Gattungsbegriff	751
1.1	Plastomere	751
1.2	Elastomere	752
1.3	Duromere	753
2	Informationen aus Versuchen	753
2.1	Der Kurzzeitversuch	753
2.2	Der Einfluß erhöhter Temperaturen	757
2.3	Der Umgebungseinfluß	757
2.4	Einfluß der Belastungsdauer	760
2.4.1	Kriechen	760
2.4.2	Zeitstandfestigkeit	763
2.4.3	Restfestigkeiten	763
2.5	Kombinierte Beanspruchungen	764

3	Dimensionierungsmodelle	766
3.1	Allgemeine Grundlagen	766
3.2	Bemessung gegen Festigkeitsversagen	768
3.3	Dehnungsbezogene Bemessung	768
3.4	Ermittlung von Verformungen	769
3.5	Bemessung auf Stabilität	769
3.6	Überlagerungen von verschiedenen Einwirkungen	768
3.7	Bruchhypothesen	770
4	Literatur	770

Bemessung von Tragwerken aus Faser-Kunststoff-Verbund

1	Formelzeichen und Indizes	773
1.1	Formelzeichen	773
1.2	Hochgestellte Indizes	774
1.3	Tiefgestellte Indizes	774
1.4	Über den Zeichen	774
2	Verbunde mit Fasern und Ausgangswerkstoffe faserverstärkter Kunststoffe	775
2.1	Allgemeine Verbunde mit Fasern	775
2.2	Faser und Grenzfläche	779
2.2.1	Verstärkungsfasern	779
2.2.2	Grenzfläche zwischen Faser und Matrix	784
2.3	Kunststoffmatrix	784
2.3.1	Allgemeines	784
2.3.2	Duromere Kunststoffe; Reaktionsharze	785
2.3.3	Thermoplastische Kunststoffmatrizes	787
2.4	Prepreg	788
2.5	Andere Ausgangswerkstoffe	789
2.5.1	Stützkernwerkstoffe	789
2.5.2	Liner	789
2.6	Herstellverfahren	790
2.6.1	Manuelle Verfahren	791
2.6.2	Bandlegen	792
2.6.3	Wickeln	792
2.6.4	Schleudern	794
2.6.5	Pressen	794
2.6.6	Sondertechniken	795
2.6.7	Verbindungen (Kraftüberleitung in Fügstellen)	797
3	Eigenschaften von Faser-Kunststoff-Verbunden	797
3.1	Ausgangswerkstoffe	797
3.2	Einzelschichten	801
3.3	Typisches Verhalten bei mechanischer Belastung	806
3.3.1	Grundsätzliches Verhalten	806
3.3.2	Ruhende Kurzzeitbelastung	806
3.3.3	Ruhende Langzeitbelastung	807
3.3.4	Veränderliche Langzeitbelastung	807
3.3.5	Hybridfaser-Schichtenverbunde	808
3.3.6	Unkonventionelle mechanische Belastung	808

3.4	Auswirkungen von Feuchtigkeit und Temperatur	808
3.4.1	Verformungen bei Temperaturänderungen	808
3.4.2	Verformungen bei Feuchtigkeitsänderungen	809
3.4.3	Eigenschaftsänderungen unter Temperatureinfluß	810
3.4.4	Eigenschaftsänderungen unter Feuchtigkeitseinfluß	810
3.4.5	Eigenschaftsänderungen bei gleichzeitiger Einwirkung von Temperatur, Feuchtigkeit und mechanischer Belastung	810
3.5	Sonstige Einflüsse	811
4	Besonderheiten bei der Bemessung von Faser-Kunststoff-Verbunden	812
4.1	Modellvorstellungen	812
4.2	Was einen Faser-Kunststoff-Verbund (FKV) von einem Stahl-Beton-Ver- bund (SBV) unterscheidet	812
4.3	Koordinaten der Anisotropie	814
4.4	Elastizitätstheoretische Grundlagen	816
4.4.1	Allgemeines	816
4.4.2	Stoffverhalten	816
4.4.3	Berechnung der Ingenieurkonstanten aus den Koeffizienten C_{ij}	819
4.4.4	Rückrechnung der C_{ij} aus den Ingenieurkonstanten	820
4.5	Transformation	820
4.5.1	Transformation von Spannungen und Verzerrungen	820
4.5.2	Transformation von Steifigkeits- und Nachgiebigkeitsmatrizen	822
4.6	Unterscheidungen Stoffkontinuum und Flächentragwerk	825
4.7	Interlaminare Beanspruchungen	826
5	Einzelschichten im Querschnitt eines FKV-Bauteils	828
5.1	Allgemeines	828
5.1.1	Einzelschichtmodell	828
5.1.2	E-Modul und Stoffsteifigkeit	829
5.1.3	Interpretation von Versuchsergebnissen	829
5.2	Mikromechanische Methode	831
5.2.1	Mögliche Methoden zur Bestimmung von ES-Kennwerten	831
5.2.2	Mikromechanische Modelle	832
5.3	Verformungsverhalten einer Einzelschicht	839
5.3.1	Ebener Spannungs- oder ebener Verzerrungszustand – Betrachtung in Richtung der Stoffhauptachsen (on-axis)	839
5.3.2	Ebener Spannungszustand – Betrachtung in beliebiger Richtung (off-axis)	841
5.3.3	Invariante und quasi-isotrope Konstante als Entwurfshilfen	843
5.3.4	Veranschaulichbare Bestandteile von Koeffizienten der Nachgiebigkeits- matrix, welche Ingenieurkonstanten genannt werden	844
5.3.5	Ingenieurkonstanten der ES im SV-KOS	846
5.3.6	Hygrothermische Verformungen	847
5.3.7	Hinweis auf die Problematik einer G-ES-Berechnung	847
5.3.8	Langzeitverhalten einer Einzelschicht	847
5.4	Festigkeit einer Einzelschicht	848
5.4.1	Allgemeines	848
5.4.2	Kriterien der maximalen Hauptspannungen und -verzerrungen	849
5.4.3	Tensor-Polynom-Kriterium	850
5.4.4	Beanspruchungsfaktor	853
5.4.5	Spezielle Versagenskriterien	853
5.4.6	Modifiziertes Tensor-Polynom-Kriterium	855

6	Der allgemeine Schichtenverbund	855
6.1	Allgemeines	855
6.2	Klassische „Laminat“-Theorie (CLT)	857
6.2.1	Voraussetzungen	857
6.2.2	Verformungsverhalten	858
6.2.3	Bemerkungen zu speziellen Schichtenverbunden	862
6.2.4	Dämpfungsverhalten – komplexe Gesamtsteifigkeit	864
6.2.5	SV-Analyse des Gebrauchszustandes	864
6.3	SDT	865
6.3.1	Spannungs-Verzerrungs-Beziehungen (Stoffgesetz)	865
6.3.2	Spannungsergebnisse	865
6.4	Scherkorrekturfaktoren	866
6.5	Festigkeit des Schichtenverbundes	867
6.5.1	Nachweisführung: Schichtenverbund-Analyse der Traglastgrenzzustände	868
6.5.2	Bewertung der SV-Analyse nach dem Sicherheitskonzept	869
6.5.3	Beanspruchung über den FPF hinaus	870
6.6	Nichtmechanische Beanspruchung (Temperatur und Feuchte)	870
6.7	EDV-Programme	873
7	Symmetrischer Schichtenverbund – LAM	875
7.1	Die Bedeutung des Sonderfalls LAM	875
7.2	Beanspruchung in der Ebene des LAM	876
7.3	Beanspruchung des LAM auf reine Biegung	878
7.3.1	Allgemeines	878
7.3.2	Balkenbiegung	879
7.3.3	FKV-Profil	879
7.4	GFK-LAM mit flächiger Verstärkung	881
8	Bemessung	882
8.1	Zielvorstellungen	882
8.2	Beanspruchungsermittlung	882
8.2.1	Voraussetzungen zur Beanspruchungsermittlung	882
8.2.2	Die zu wählende Berechnungsebene	884
8.2.3	Zur Beanspruchungsermittlung selbst	886
8.3	Zuverlässigkeit	888
8.3.1	Grundlagen	888
8.3.2	Stochastische Modelle für den FKV-Widerstand	889
8.3.3	Grundsätzliche Beurteilung der Sicherheit von FKV-Bauteilen durch einen Zuverlässigkeitsnachweis	893
8.3.4	Semiprobabilistisches Vorgehen	895
8.3.5	Vereinfachtes Vorgehen	897
8.3.6	Bisherige deterministische Ansätze für LAM	897
8.4	Nachweis durch Berechnung	898
8.4.1	Allgemeines zu FKV-Bauteilen	898
8.4.2	Auslegen des Verbundwerkstoffes	899
8.4.3	Auslegung des Schichtenaufbaues	899
8.4.4	Übliche Bemessungsnachweise bei einfachen Laminaten	899
8.5	Hinweise auf Stabilitätsuntersuchungen	900
8.5.1	FKV-Scheibe unter Normalkraftbeanspruchung	900
8.5.2	Langzeitbelastung von Scheiben	902
8.5.3	Achsalldruckbeulen eines FKV-Zylinders	902
8.5.4	Außendruckbeulen infolge Erdbettung oder Unterdruck	903

8.5.5	Das Knittern der Sandwich-Deckschicht aus FKV	904
8.6	Nachweis durch Versuche aus Bauteilen und Komponenten	905
8.6.1	Einleitung	905
8.6.2	Versuchsgrundlagen und -planung	905
8.6.3	Versuchsdurchführung (Werkstoffversuche)	905
8.6.4	Komponentenversuch	906
8.6.5	Bauteilversuch	906
8.6.6	Versuchsauswertung, Versuchsbericht	907
8.6.7	Prüfungsmethoden zur Schadens- bzw. Fehlererkennung	907
8.7	Einflüsse von Fertigung und Bearbeitung	908
8.8	Beachtung entstehender Kosten	913
8.9	Qualitätssicherung	914
9	Anwendung von FKV im Betonbau	915
9.1	Allgemeines zum Einsatz von FKV im Bauwesen	915
9.2	Relevante Werkstoffeigenschaften von FKV-Spanngliedern	915
9.3	FKV-Spannglieder im Vergleich mit Stahl-Spanngliedern und im Zusammenwirken mit dem Betonstahl	918
9.4	Bemessung	919
9.4.1	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	919
9.4.2	Nachweis des rechnerischen Bruchzustandes	919
9.4.3	Nachweis bei nicht vorwiegend ruhender Belastung	921
9.4.4	Erhöhte Spannkraftverluste im Kopplungsbereich	921
9.5	Verankerung und zulässige Vorspannkkräfte	922
9.6	Ausblick	923
10	Literatur	923

Bemessung im Stahlbau

1	Einleitung	925
2	Werkstofforientierte Berechnungsverfahren	925
2.1	Primäre mechanische Werkstoffkenngrößen	925
2.2	Berechnungen für einmalige Belastung	930
2.3	Berechnungen für wiederholte Belastung	936
3	Geschweißte Verbindungen	944
3.1	Auswirkungen des Arbeitsvorganges Schweißen	944
3.2	Berechnungsbeispiele	949
4	Geschraubte Verbindungen	956
4.1	Beanspruchung der Schraube rechtwinklig zur Schraubenachse	956
4.2	Beanspruchung der Schraube in Richtung der Schraubenachse	964
5	Bemessung von Zugstäben	967
5.1	Anschlüsse am Zugstab	967
5.2	Schlankheitsbegrenzung von Zugstäben	969
6	Bemessung von Druckstäben	972
6.1	Elastische Versagensgrenze an druckbeanspruchten Stäben	972
6.2	Ersatzstabverfahren für Standsicherheitsnachweis druckbeanspruchter Stäbe	978
6.3	Konstruktionshinweise	982
7	Bemessung von Biegeträgern	989
7.1	Momentenbeanspruchung nach technischer Elastizitätstheorie	989

7.2	Querkraftbeanspruchung nach technischer Elastizitätstheorie	994
7.3	Momentenbeanspruchung nach technischer Plastizitätstheorie	996
7.4	Querkraftbeanspruchung nach technischer Plastizitätstheorie	1003
7.5	Hinweise für Bemessung und Konstruktion	1005
8	Bemessung von Torsionsträgern	1012
8.1	Schnittgröße Torsionsmoment	1012
8.2	Schubspannungen infolge Torsion bei geschlossenen Querschnitten	1015
8.3	Schubspannungen infolge Torsion bei offenen Querschnitten	1019
8.4	Normalspannungen infolge Torsion	1021
8.5	Differentialgleichung der Wölbkrafttorsion	1024
8.6	Hinweise für Bemessung und Konstruktion	1028
9	Literatur	1031

Stichwortverzeichnis

Stichwörter zu	
Bemessung im Betonbau	1035
Plastizitätstheorie im Betonbau	1040
Bemessung im Mauerwerksbau	1041
Bemessung im Holzbau	1047
Bemessung von Tragwerken aus Kunststoffen	1054
Bemessung von Tragwerken aus Faser-Kunststoff-Verbund	1055
Bemessung im Stahlbau	1057