

1	Einleitung	1
	Literatur	3
2	Sicherheit von Bauwerken	5
2.1	Grundlagen	7
2.1.1	Einleitung	7
2.1.2	Schaffung eines ausreichenden Sicherheitsabstandes.....	8
2.1.3	Maßnahmen zur Vermeidung menschlicher Fehlhandlungen	11
2.1.4	Maßnahmen zur Begrenzung des Schadensausmaßes	11
2.2	Statistische Grundlagen	12
2.2.1	Auswertung von Stichproben	12
2.2.2	Verteilungsfunktionen	14
2.2.3	Ermittlung von Erwartungswerten.....	16
2.2.4	Charakteristische Werte	20
2.3	Ermittlung von Teilsicherheitsbeiwerten	23
2.3.1	Zuverlässigkeitstheorie	23
2.3.2	Theoretische Ermittlung der Teilsicherheitsbeiwerte	27
2.3.3	Regelungen der DIN EN 1990	29
2.4	Beispiel statische Auswertung und Ermittlung von Teilsicherheitsbewerten	31
2.4.1	Angabe.....	31
2.4.2	Auswertung der Versuche.....	31
2.4.3	Ermittlung der charakteristischen Werte.....	33
2.4.4	Ermittlung der vorhandenen Sicherheiten und Versagenswahrscheinlichkeiten.....	33
2.4.5	Bemessung nach DIN EN 1990	34
2.5	Anpassung der Teilsicherheiten im Bestand	35
2.5.1	Grundlagen	35
2.5.2	DBV-Merkblatt.....	36
2.5.3	Nachrechnungsrichtlinie BASt	40
2.5.4	DB RIL 805	40
2.5.5	DIN CEN/TS 17440.....	41
	Literatur	42
3	Analyse Bestand: Material und Geometrie	45
3.1	Allgemeines	47
3.1.1	Grundkonzept	47
3.1.2	Bestandunterlagen	49
3.2	Beton	50
3.2.1	Informationen aus Planunterlagen.....	50
3.2.2	Ermittlung der Betondruckfestigkeit am Bauwerk	54
3.2.3	Ermittlung der Oberflächenzugfestigkeit am Bauwerk	60
3.2.4	Korrelationen	62
3.3	Betonstahl	64
3.3.1	Informationen aus Planunterlagen.....	64
3.3.2	Probenentnahme	64

3.4	Bewehrungsmenge und Lage	68
3.4.1	Grundlage	68
3.4.2	Messverfahren	69
3.4.3	Betondeckung (Bewehrungslage)	70
3.4.4	Rekonstruktion der Bewehrungsführung	71
3.5	Bauteilabmessungen	72
3.6	Eigengewicht	72
3.7	Schädigungen	73
3.8	Beispiel	74
3.8.1	Ausgangsbasis	74
3.8.2	Umrechnung der Materialkenngrößen aus den Bestandsunterlagen	74
3.8.3	Ermittlung der Festigkeiten am Bauwerk	74
3.8.4	Mögliche Anpassung der Teilsicherheiten	76
3.8.5	Nachrechnung	77
	Literatur	77
4	Analyse Bestand: Tragverhalten	79
4.1	Konzeptionelles Vorgehen	81
4.1.1	Problemstellung	81
4.1.2	Strukturiertes Vorgehen bei einer Nachrechnung	82
4.2	Besonderheiten beim Nachrechnen	84
4.2.1	Allgemeines	84
4.2.2	Biegebemessung	84
4.2.3	Querkraft	94
4.2.4	Torsion	99
4.2.5	Schnittgrößenermittlung	101
4.3	Verbundeigenschaften alter Bewehrung	102
4.3.1	Grundlagen	102
4.3.2	Älterer Betonstahl mit Rippung	104
4.3.3	Verbundeigenschaften glatter Betonstähle	105
4.3.4	Mindestbetondeckung	106
4.4	Umgang mit Konstruktionsregeln	108
4.4.1	Verankerungen von Betonstählen	108
4.4.2	Übergreifungen von Betonstählen	111
4.4.3	Bügelformen und Aufbiegungen	114
4.5	Beispiel 1: Decke aus den 70er-Jahren	114
4.5.1	Ausgangssituation	114
4.5.2	Nachrechnung Stufe 1	116
4.5.3	Nachrechnung Stufe 2: Ermittlung der Festigkeiten am Bauwerk	123
4.5.4	Nachrechnung Stufe 3: Anpassung der Teilsicherheiten	123
4.6	Beispiel 2: Unterzug mit glatter Bewehrung	127
4.6.1	Ausgangssituation	127
4.6.2	Materialparameter	129
4.6.3	Biegetragfähigkeit	130
4.6.4	Querkrafttragfähigkeit	133
4.6.5	Zugkraftdeckung	138
4.6.6	Gurtanschluss	139

4.6.7	Verankerungsnachweis am Endauflager	140
4.6.8	Zusammenfassung der möglichen Belastung	142
	Literatur	142
5	Grundlagen des Verstärkens	145
5.1	Allgemeines	146
5.2	Gründe für eine Verstärkung	148
5.2.1	Unterteilung	148
5.2.2	Nicht erreichte Tragfähigkeit	148
5.2.3	Veränderung der Tragfähigkeit	149
5.2.4	Eigenschaften entsprechen nicht den Anforderungen	149
5.3	Überblick Verstärkungsverfahren	150
5.3.1	Allgemeines	150
5.3.2	Betonergänzung	150
5.3.3	Querschnittsergänzung mit Walzprofilen	152
5.3.4	Ergänzung von Bewehrung	153
5.3.5	Zusätzliche Vorspannung	157
5.3.6	Vergleich der Verfahren	158
5.4	Besonderheiten beim Verstärken	160
5.4.1	Belastungszustand	160
5.4.2	Größenordnung der Vordehnung	160
5.4.3	Ermittlung der Vordehnung	161
5.4.4	Unterschiedliches Materialverhalten	164
5.4.5	Auswirkungen Vordehnung und Materialverhalten	165
	Literatur	167
6	Verstärkung mit eingeklebter Bewehrung	169
6.1	Verfahren	171
6.1.1	Grundprinzip	171
6.1.2	Regelungssituation	172
6.1.3	Anwendungsgebiet	173
6.2	Material	174
6.2.1	Epoxidharzklebstoff	174
6.2.2	Bewehrungselement – CFK-Lamellen	177
6.2.3	Zu verstärkendes Bauteil	179
6.3	Berechnungsgrundlagen	180
6.3.1	Sicherheitskonzept	180
6.3.2	Schnittgrößenermittlung	180
6.3.3	Dehnungsermittlung	181
6.4	Bemessungskonzept	182
6.4.1	Grundlagen	182
6.4.2	Nachweis der Biegetragfähigkeit	183
6.4.3	Verankerungsnachweis und Zugkraftdeckung	187
6.4.4	Querkraftnachweise	192
6.4.5	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit	194
6.4.6	Konstruktionsregeln	198

6.5	Beispielrechnung Verstärkung	199
6.5.1	Aufgabenstellung	199
6.5.2	Material- und Geometrieparameter	201
6.5.3	Schnittgrößen.....	202
6.5.4	Feldmomentenverstärkung.....	205
6.5.5	Stützmomentenverstärkung.....	213
6.5.6	Querkraftnachweis	219
6.5.7	Konstruktive Durchbildung	220
6.6	Beispielrechnung Rissbreite.....	221
6.6.1	Aufgabenstellung	221
6.6.2	Material- und Geometrieparameter.....	221
6.6.3	Schnittgrößen.....	222
6.6.4	Kräfte und Dehnung im Zustand II	222
6.6.5	Rissbreitenbeschränkung.....	223
6.6.6	Konstruktive Durchbildung	226
	Literatur	227
7	Verstärken mit aufgeklebter Bewehrung	229
7.1	Verfahren	231
7.1.1	Allgemeines.....	231
7.1.2	Arbeitsschritte auf der Baustelle.....	232
7.1.3	Regelungssituation	234
7.1.4	Anwendungsgebiet.....	235
7.2	Material.....	236
7.2.1	Epoxidharzklebstoff	236
7.2.2	Bewehrungselement	236
7.2.3	Zu verstärkendes Bauteil	239
7.3	Besonderheiten des Verbundes	240
7.4	Berechnungsgrundlagen.....	244
7.4.1	Sicherheitskonzept	244
7.4.2	Schnittgrößenermittlung	244
7.4.3	Dehnungsermittlung	244
7.5	Bemessungskonzept Biegeverstärkung.....	246
7.5.1	Grundlagen	246
7.5.2	Bemessung auf Biegung.....	248
7.5.3	Bemessung auf Verbund	249
7.5.4	Querkraftnachweise	266
7.5.5	Nachweise in den Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.....	268
7.5.6	Konstruktionsregeln.....	271
7.6	Bemessungsbeispiel Biegeverstärkung	272
7.6.1	Aufgabenstellung	272
7.6.2	Baustoffkenngrößen	273
7.6.3	Ermittlung der Schnittgrößen	274
7.6.4	Ermittlung der Vordehnungen	275
7.6.5	Biegenachweis	276
7.6.6	Verbundnachweise	278
7.6.7	Nachweis gegen Versatzbruch	288
7.6.8	Querkraftnachweis	289

7.6.9	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	290
7.6.10	Konstruktive Durchbildung	290
7.7	Bügelverstärkung.....	291
7.7.1	Querkraftverstärkung.....	291
7.7.2	Verbügelung	296
7.7.3	Ausbildung der Stahllaschenbügel	296
7.7.4	Ausbildung von Bügeln aus CF-Gelegen.....	298
7.8	Bemessungsbeispiel Biegung und Querkraft.....	299
7.8.1	Aufgabenstellung	299
7.8.2	Baustoffkenngrößen	300
7.8.3	Ermittlung der Schnittgrößen	301
7.8.4	Ermittlung der Vordehnungen.....	302
7.8.5	Biegenachweis	303
7.8.6	Verbundnachweise.....	305
7.8.7	Querkraftnachweise.....	317
7.8.8	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	322
7.8.9	Konstruktive Durchbildung	322
	Literatur	324
8	Verstärkung mit Carbonbeton.....	327
8.1	Verfahren.....	329
8.1.1	Grundprinzip.....	329
8.1.2	Arbeitsschritte auf der Baustelle.....	330
8.1.3	Regelungssituation	332
8.1.4	Anwendungsgebiet.....	333
8.2	Material.....	333
8.2.1	Grundlagen	333
8.2.2	Feinbeton.....	334
8.2.3	Carbongitterbewehrung	334
8.2.4	Verbundwerkstoff Carbonbeton	336
8.2.5	Zu verstärkendes Bauteil	339
8.3	Berechnungsgrundlagen.....	339
8.3.1	Sicherheitskonzept.....	339
8.3.2	Schnittgrößenermittlung	340
8.3.3	Dehnungsermittlung	340
8.4	Bemessung	340
8.4.1	Grundlagen	340
8.4.2	Biegebemessung.....	341
8.4.3	Querkraftbemessung.....	343
8.4.4	Verbundnachweise.....	343
8.4.5	Versatzbruch	347
8.4.6	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	347
8.5	Bemessungsbeispiel.....	348
8.5.1	Aufgabenstellung	348
8.5.2	Baustoffkenngrößen	348
8.5.3	Ermittlung der Schnittgrößen	349
8.5.4	Ermittlung der Vordehnungen	350
8.5.5	Biegenachweis	351

8.5.6	Verbundnachweise.....	352
8.5.7	Nachweis gegen Versatzbruch	358
8.5.8	Querkraftnachweis	358
8.5.9	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	359
8.5.10	Konstruktive Durchbildung	360
	Literatur	361
9	Verstärkung mit Betonschrauben.....	363
9.1	Verfahren	365
9.1.1	Grundprinzip.....	365
9.1.2	Arbeitsschritte auf der Baustelle.....	366
9.1.3	Regelungssituation.....	367
9.1.4	Anwendungsgebiet.....	367
9.2	Material.....	368
9.2.1	Verbundschrauben.....	368
9.2.2	Nachträgliche Doppelkopfanker	369
9.3	Querkraftverstärkung.....	370
9.3.1	Grundlagen	370
9.3.2	Bemessungsmodell	371
9.3.3	Konstruktionsregeln.....	373
9.3.4	Beispielrechnung	374
9.4	Durchstanzverstärkung	374
9.4.1	Allgemeines.....	374
9.4.2	Verbundschrauben	375
9.4.3	Nachträgliche Doppelkopfanker	377
9.5	Beispiel Durchstanzverstärkung	379
9.5.1	Ausgangsbasis.....	379
9.5.2	Nachrechnung.....	379
9.5.3	Verstärken mit Betonschrauben	381
9.5.4	Ermittlung der Lage der Durchstanzbewehrung	382
9.5.5	Ermittlung der Durchstanzbewehrung	382
9.5.6	Verstärken mit nachträglichen Doppelkopfankern	384
9.5.7	Ermittlung der Durchstanzbewehrung	385
	Literatur	386
10	Verstärken mit Aufbeton	389
10.1	Verfahren	390
10.2	Bemessungskonzept	391
10.2.1	Allgemeines.....	391
10.2.2	Umgang mit eingeprägten Zuständen	392
10.3	Bemessung Verbundfuge	393
10.3.1	Allgemeines.....	393
10.3.2	Spezielle Schubverbinder	395
10.3.3	Bemessung mit speziellen Schubverbindern	396
10.4	Beispiel.....	402
10.4.1	Ausgangssituation	402
10.4.2	Verstärkungsmaterial.....	405

10.4.3	Bemessung des Aufbetons	406
10.4.4	Nachweis der Verbundfuge	408
10.4.5	Querkraftbemessung.....	414
10.4.6	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	417
10.4.7	Konstruktive Durchbildung	421
	Literatur	422
11	Verstärken mit Spritzbeton.....	423
11.1	Grundlagen	425
11.2	Spritzbetonverfahren	426
11.2.1	Allgemeines.....	426
11.2.2	Untergrundvorbereitung	426
11.2.3	Einbau der Bewehrung	426
11.2.4	Aufbringverfahren des Spritzbetons.....	427
11.2.5	Betontechnologie	428
11.2.6	Auftrag des Spritzbetons.....	429
11.2.7	Nachbehandlung	430
11.2.8	Festigkeiten	430
11.3	Bemessungskonzept Biege- und Querkraftbemessung.....	431
11.3.1	Grundlagen	431
11.3.2	Querschnittsgestaltung	431
11.3.3	Biegenachweis	432
11.3.4	Nachweis der Verbundfuge	433
11.3.5	Querkraftnachweis	433
11.3.6	Verankerung der Bewehrung im Spritzbeton.....	434
11.3.7	Querschnittssprung am Ende der Spritzbetonverstärkung.....	434
11.3.8	Gebrauchstauglichkeitsnachweise	435
11.3.9	Konstruktive Durchbildung	435
11.4	Beispiel Biege- und Querkraftverstärkung	435
11.4.1	Angabe.....	435
11.4.2	Überschlägige Abschätzung der Bewehrung.....	437
11.4.3	Querschnittsgestaltung	438
11.4.4	Ermittlung der Schnittgrößen	439
11.4.5	Ermittlung der Vordehnungen	440
11.4.6	Biegenachweis	441
11.4.7	Nachweis Verbundfuge	442
11.4.8	Querkraftnachweis	445
11.4.9	Verankerung der Bewehrung.....	446
11.4.10	Querschnittssprung am Ende	449
11.4.11	Gebrauchstauglichkeitsnachweise	451
11.4.12	Konstruktive Durchbildung	451
11.5	Stützenverstärkung	452
11.5.1	Grundlagen	452
11.5.2	Bemessung im Krafteinleitungsbereich.....	454
11.5.3	Bemessung im Mittelbereich.....	458
11.5.4	Umgang mit Exzentrizitäten	459
11.5.5	Bauliche Durchbildung	460

11.6	Beispiel Stützenverstärkung einfache Rundstütze	461
11.6.1	Angabe.....	461
11.6.2	Ermittlung des Ausnutzungsgrades ohne eine Verstärkung	462
11.6.3	Bemessung der Verstärkung	463
11.7	Beispiel Stützenverstärkung schlanke Rechteckstütze	468
11.7.1	Angabe.....	468
11.7.2	Ermittlung der Stützentragfähigkeit.....	469
11.7.3	Bemessung der Verstärkung	472
	Literatur	479
Serviceteil		
	Stichwortverzeichnis	483