

1	<b>Einleitung</b> .....	1
	Literatur .....	3
2	<b>Sicherheit von Bauwerken</b> .....	5
2.1	<b>Grundlagen</b> .....	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	<b>Statistische Grundlagen</b> .....	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	<b>Ermittlung von Teilsicherheitsbeiwerten</b> .....	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	<b>Beispiel statische Auswertung und Ermittlung von Teilsicherheitsbewertungen</b> .....	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	<b>Anpassung der Teilsicherheiten im Bestand</b> .....	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	<b>Analyse Bestand: Material und Geometrie</b> .....	45
3.1	<b>Allgemeines</b> .....	47
3.1.1	Grundkonzept .....	47
3.1.2	Bestandunterlagen .....	49
3.2	<b>Beton</b> .....	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	<b>Betonstahl</b> .....	64
3.3.1	Informationen aus Planunterlagen .....	64
3.3.2	Probenentnahme .....	66

3.4	<b>Bewehrungsmenge und Lage</b> .....	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	<b>Bauteilabmessungen</b> .....	72
3.6	<b>Eigengewicht</b> .....	72
3.7	<b>Schädigungen</b> .....	73
3.8	<b>Beispiel</b> .....	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	<b>Analyse Bestand: Tragverhalten</b> .....	79
4.1	<b>Konzeptionelles Vorgehen</b> .....	81
4.1.1	Problemstellung.....	81
4.1.2	Strukturiertes Vorgehen bei einer Nachrechnung.....	82
4.2	<b>Besonderheiten beim Nachrechnen</b> .....	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	<b>Verbundeigenschaften alter Bewehrung</b> .....	102
4.3.1	Grundlagen.....	102
4.3.2	Älterer Betonstähle mit Rippung.....	104
4.3.3	Verbundeigenschaften glatter Betonstähle.....	105
4.3.4	Mindestbetondeckung.....	106
4.4	<b>Umgang mit Konstruktionsregeln</b> .....	108
4.4.1	Verankerungen von Betonstählen.....	108
4.4.2	Übergreifungen von Betonstählen.....	111
4.4.3	Bügelformen und Aufbiegungen.....	114
4.5	<b>Beispiel 1: Decke aus den 70er-Jahren</b> .....	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	<b>Beispiel 2: Unterzug mit glatter Bewehrung</b> .....	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
<b>5</b>	<b>Grundlagen des Verstärkens</b> .....	<b>145</b>
5.1	<b>Allgemeines</b> .....	146
5.2	<b>Gründe für eine Verstärkung</b> .....	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	<b>Überblick Verstärkungsverfahren</b> .....	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	<b>Besonderheiten beim Verstärken</b> .....	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
<b>6</b>	<b>Verstärkung mit eingeklebter Bewehrung</b> .....	<b>169</b>
6.1	<b>Verfahren</b> .....	171
6.1.1	Grundprinzip.....	171
6.1.2	Regelungssituation.....	172
6.1.3	Anwendungsgebiet.....	173
6.2	<b>Material</b> .....	174
6.2.1	Epoxidharzklebstoff .....	174
6.2.2	Bewehrungselement – CFK-Lamellen .....	177
6.2.3	Zu verstärkendes Bauteil .....	179
6.3	<b>Berechnungsgrundlagen</b> .....	180
6.3.1	Sicherheitskonzept .....	180
6.3.2	Schnittgrößenermittlung .....	180
6.3.3	Dehnungsermittlung.....	181
6.4	<b>Bemessungskonzept</b> .....	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	<b>Beispielrechnung Verstärkung</b> .....	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	<b>Beispielrechnung Rissbreite</b> .....	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	<b>Verstärken mit aufgeklebter Bewehrung</b> .....	229
7.1	<b>Verfahren</b> .....	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	<b>Material</b> .....	236
7.2.1	Epoxidharzklebstoff .....	236
7.2.2	Bewehrungselement.....	236
7.2.3	Zu verstärkendes Bauteil .....	239
7.3	<b>Besonderheiten des Verbundes</b> .....	240
7.4	<b>Berechnungsgrundlagen</b> .....	244
7.4.1	Sicherheitskonzept.....	244
7.4.2	Schnittgrößenermittlung .....	244
7.4.3	Dehnungsermittlung.....	244
7.5	<b>Bemessungskonzept Biegeverstärkung</b> .....	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	<b>Bemessungsbeispiel Biegeverstärkung</b> .....	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	<b>Bügelverstärkung</b> .....	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	<b>Bemessungsbeispiel Biegung und Querkraft</b> .....	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	<b>Verstärkung mit Carbonbeton</b> .....	327
8.1	<b>Verfahren</b> .....	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	<b>Material</b> .....	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	<b>Berechnungsgrundlagen</b> .....	339
8.3.1	Sicherheitskonzept.....	339
8.3.2	Schnittgrößenermittlung .....	340
8.3.3	Dehnungsermittlung .....	340
8.4	<b>Bemessung</b> .....	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	<b>Bemessungsbeispiel</b> .....	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
<b>9</b>	<b>Verstärkung mit Betonschrauben.....</b>	<b>363</b>
9.1	<b>Verfahren .....</b>	<b>365</b>
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	<b>Material.....</b>	<b>368</b>
9.2.1	Verbundschrauben .....	368
9.2.2	Nachträgliche Doppelkopfkanker .....	369
9.3	<b>Querkraftverstärkung.....</b>	<b>370</b>
9.3.1	Grundlagen .....	370
9.3.2	Bemessungsmodell .....	371
9.3.3	Konstruktionsregeln.....	373
9.3.4	Beispielrechnung .....	374
9.4	<b>Durchstanzverstärkung .....</b>	<b>374</b>
9.4.1	Allgemeines.....	374
9.4.2	Verbundschrauben .....	375
9.4.3	Nachträgliche Doppelkopfkanker .....	377
9.5	<b>Beispiel Durchstanzverstärkung .....</b>	<b>379</b>
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 Doppelkopfkankern .....	384
9.5.7	Ermittlung der Durchstanzbewehrung.....	385
	Literatur .....	386
<b>10</b>	<b>Verstärken mit Aufbeton .....</b>	<b>389</b>
10.1	<b>Verfahren .....</b>	<b>390</b>
10.2	<b>Bemessungskonzept.....</b>	<b>391</b>
10.2.1	Allgemeines.....	391
10.2.2	Umgang mit eingepprägten Zuständen .....	392
10.3	<b>Bemessung Verbundfuge .....</b>	<b>393</b>
10.3.1	Allgemeines.....	393
10.3.2	Spezielle Schubverbinder .....	395
10.3.3	Bemessung mit speziellen Schubverbindern .....	396
10.4	<b>Beispiel.....</b>	<b>402</b>
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
<b>11</b>	<b>Verstärken mit Spritzbeton .....</b>	<b>423</b>
11.1	<b>Grundlagen .....</b>	<b>425</b>
11.2	<b>Spritzbetonverfahren .....</b>	<b>426</b>
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	<b>Bemessungskonzept Biege- und Querkraftbemessung .....</b>	<b>431</b>
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	Querschnittsprung am Ende der Spritzbetonverstärkung .....	434
11.3.8	Gebrauchstauglichkeitsnachweise .....	435
11.3.9	Konstruktive Durchbildung .....	435
11.4	<b>Beispiel Biege- und Querkraftverstärkung .....</b>	<b>435</b>
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	Querschnittsprung am Ende .....	449
11.4.11	Gebrauchstauglichkeitsnachweise .....	451
11.4.12	Konstruktive Durchbildung .....	451
11.5	<b>Stützenverstärkung .....</b>	<b>452</b>
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	<b>Beispiel Stützenverstärkung einfache Rundstütze.....</b>	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	<b>Beispiel Stützenverstärkung schlanke Rechteckstütze.....</b>	468
11.7.1	Angabe.....	468
11.7.2	Ermittlung der Stützentragfähigkeit.....	469
11.7.3	Bemessung der Verstärkung .....	472
	Literatur .....	479
	 <b>Serviceteil</b>	
	Stichwortverzeichnis .....	483