

Tragende Bauteile aus Glas

Grundlagen, Konstruktion, Bemessung,
Beispiele

Geralt Siebert, Iris Maniatis

Inhalt

Vorwort	V
Teil I Grundlagen	
1 Einleitung	1
1.1 Einführendes Beispiel	1
1.2 Begriffsbestimmung	2
2 Der Werkstoff Glas	5
2.1 Einleitung	5
2.2 Definitionen von Glas	7
2.3 Struktur und Zusammensetzung von Glas	9
2.4 Herstellung von Glas	11
2.4.1 Rohstoffe	11
2.4.2 Produktion von Flachglas	12
2.5 Veredelung von Flachglas	15
2.5.1 Mechanische Bearbeitung	16
2.5.2 Elemente aus mehreren Scheiben (Isolierverglasung, Verbundgläser)	17
2.5.3 Gläser mit Vorspannung	17
2.5.4 Beschichtung und Oberflächenbehandlung von Flachglas	18
2.5.5 Gestaltetes Verbundglas	20
2.6 Gebogenes Glas	20
2.6.1 Thermisch gebogenes Glas	20
2.6.2 Kaltverformtes Glas	22
2.7 Sonderprodukte	23
2.7.1 Glasrohre	23
2.7.2 Profilbauglas	23
2.8 Elastische Kenngrößen	24
2.8.1 Elastizitätsmodul E	24
2.8.2 Theoretische und praktische Festigkeit	24
2.8.3 Allgemeine weitere Zahlenwerte	25
3 Bruchmechanik und Auswertung nach Weibull	27
3.1 Allgemeines	27
3.2 Grundgleichungen der Bruchmechanik	27
3.3 Statistische Auswertung nach Weibull	29
3.3.1 Allgemeines	29
3.3.2 Verteilungsfunktion	30
3.3.3 Punktschätzungen für θ und β	30
3.3.4 Grafische Darstellung im Weibull-Netz	31
3.3.5 Vertrauensbereiche	31
3.3.6 Beispiel 1 aus DIN 55303-7	31

3.4	Lösung der Grundaufgaben für Lebensdauerberechnungen.....	34
3.4.1	Allgemeines	34
3.4.2	Umrechnung der Belastungsgeschichte.....	34
3.4.3	Umrechnung der Lastfläche und Spannungsverteilung.....	37
3.4.4	Umrechnung der Wahrscheinlichkeit.....	39
3.5	Beispiele zu Lebensdauerberechnungen	39
3.5.1	• Berücksichtigung unterschiedlicher Belastungsgeschichten	39
3.5.2	Berücksichtigung unterschiedlicher Lastflächen und Lastformen	40
3.5.3	Berücksichtigung unterschiedlicher Bruchwahrscheinlichkeiten.....	42
4	Festigkeit und Bruchhypothese	43
4.1	Allgemeines	43
4.2	Einflussfaktoren auf die Festigkeit.....	43
4.2.1	Mechanischer Bearbeitungszustand von Oberfläche und Kanten	43
4.2.2	Spannungsverteilung und Flächengröße	44
4.2.3	Umgebungsbedingungen und Alter.....	44
4.2.4	Belastungsgeschwindigkeit und -dauer.....	45
4.2.5	Vorspannung der Oberfläche	45
4.3	Unterscheidung von Festigkeit und Prüffestigkeit	45
4.3.1	Allgemeines und Definitionen	45
4.3.2	Beispiel zur Erläuterung.....	46
4.3.3	Schlussfolgerungen aus dem Beispiel	49
4.3.4	Auswirkung einer Vorspannung auf Gleichungen der Bruchmechanik	50
4.4	Versuche nach DIN	51
4.5	Bruchhypothese.....	52
4.5.1	Allgemeines	52
4.5.2	Versuche zur Bruchhypothese.....	52
4.5.3	Schlussfolgerungen und Bruchhypothese für Glas.....	54
5	Vorgespanntes Glas.....	56
5.1	Allgemeines	56
5.2	Herstellung.....	57
5.3	Bruchverhalten.....	58
5.4	ESG.....	59
5.4.1	Spontanversagen	60
5.4.2	Heißlagerungsprüfung (Heat-Soak-Test)	60
5.5	TVG	61
5.6	Verteilung der Vorspannung über Querschnitt und Bauteil	62
5.6.1	Ermittlung der Vorspannung durch Versuch und Rechnung.....	62
5.6.2	Spannungsverlauf in verschiedenen Zonen.....	63
5.6.3	Festigkeitskennwerte.....	64
5.7	Dünnglas	65
6	Verbundglas und Verbundsicherheitsglas	66
6.1	Allgemeines	66
6.2	Rohstoffe und Methoden zur Herstellung von Verbundglas	67
6.2.1	Polyvinylbutyral (PVB)	68
6.2.2	Ethylen-Vinylacetat (EVA).....	70

6.2.3	SentryGlas® (SG)	71
6.2.4	Gießharze	72
6.3	Tragverhalten von Verbundglas	73
6.3.1	Schubbeanspruchung.....	74
6.3.2	Biegebeanspruchung	74
6.4	Resttragverhalten von gebrochenem Verbundglas	76
6.4.1	Allgemeines	76
6.4.2	Resttragfähigkeit verschiedener Zwischenschichten.....	77
6.4.3	Spannungsverteilung und -umlagerung im Bereich eines Risses	77
6.4.4	Resttragfähigkeit punktgehaltener abgespannter Vordächer mit unterschiedlichen Gläsern und Zwischenlagenmaterial	79
7	Berechnung von Verbundglas	82
7.1	Allgemeines	82
7.2	Einachsig abtragende Bauteile (Balken)	82
7.2.1	Allgemeines	82
7.2.2	Analytische Lösungen.....	83
7.2.3	Finite-Elemente-Methode (FEM).....	86
7.2.4	Beispiel	88
7.3	Zweiachsig abtragende Bauteile (Platten).....	93
7.3.1	Analytische Lösungen.....	93
7.3.2	Finite-Elemente-Methode (FEM).....	93
7.3.3	Beispiel	95
7.4	Schlussfolgerungen	97
8	Brandschutzverglasungen	99
8.1	Allgemeines	99
8.2	Gegenwärtige und künftige Regelungen	101
8.3	Zusätzliche Anforderungen	102
9	Sicherheitsverglasungen	103
9.1	Angriffhemmende Verglasungen	103
9.2	Durchschusshemmende Verglasungen.....	103
9.3	Sprengwirkungshemmende Verglasungen	103
10	Photovoltaikverglasungen	105
10.1	Allgemeines	105
10.2	Elementtypen	105
10.3	Integration in die Gebäudehülle	106
10.4	Anforderungen an Entwurf und Bemessung	108
10.5	Befestigungssysteme	108
11	Isolierverglasungen	110
11.1	Allgemeines	110
11.2	Beanspruchung und rechnerische Erfassung von 2-Scheiben-Isolierglas	112
11.2.1	Allgemeines und Definitionen	112
11.2.2	Der Druck im SZR	114
11.2.3	Einführung dimensionsloser Variablen und vereinfachte Lösung.....	116

11.2.4	Übersicht der Berechnung nach TRLV bzw. DIN 18008	118
11.2.5	Beispiel und Diskussion	122
11.3	Beanspruchung und rechnerische Erfassung von Mehrscheiben-Isolierglas.....	124
11.3.1	Allgemeines	124
11.3.2	Die Drücke in den SZR	125
11.3.3	Einführung dimensionsloser Variablen und vereinfachte Lösung.....	126

Teil II Anwendungen

12	Baurechtliche Situation	131
12.1	Allgemeines	131
12.2	Harmonisierung technischer Regelungen.....	132
12.2.1	Bauproduktenrichtlinie (BPR) und Bauproduktengesetz (BauPG)	132
12.2.2	Bauproduktenverordnung (BauPVO).....	133
12.3	Musterbauordnung (MBO).....	134
12.4	Bauregelliste.....	136
12.4.1	Allgemeines	136
12.4.2	Bauprodukte und Bauarten aus Glas	138
12.5	Musterliste der Technischen Baubestimmungen.....	139
12.5.1	Allgemeines	139
12.5.2	Technische Regeln für Glas	141
12.6	Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis.....	143
12.7	Zustimmung im Einzelfall.....	145
12.8	Europäische technische Zulassung (ETA)	146
12.9	Ausblick	146
13	Entwurf und konstruktive Details	147
13.1	Allgemeines	147
13.2	Anwendungsbereich und Glasauswahl.....	147
13.3	Fertigungstechnische Grenzen	148
13.4	Lagerung von Glasbauteilen.....	149
13.4.1	Allgemeines	149
13.4.2	Mechanische Verbindungen.....	150
13.4.3	Klebeverbindungen	160
14	Berechnung und Bemessung	166
14.1	Allgemeines	166
14.2	Linienförmig gelagerte Verglasungen.....	167
14.3	Punktförmig gelagerte Verglasungen.....	167
14.3.1	Allgemeines	167
14.3.2	Nachweis der Verwendbarkeit	167
14.3.3	Ausblick	172
14.4	Klebeverbindungen	172
14.4.1	Allgemeines	172
14.4.2	Bemessung nach ETAG 002	173
14.5	Versuchsgestützte Bemessung	174
14.5.1	Allgemeines	174

14.5.2	Resttragfähigkeit	175
14.5.3	Weitere Bereiche.....	175
15	Überblick zu Bemessungskonzepten und Nachweisen unterschiedlicher Regelungen	176
15.1	Allgemeines	176
15.1.1	Einleitung.....	176
15.1.2	Nachweiskonzepte.....	176
15.1.3	Zeitliche Entwicklung der Regelungen im Konstruktiven Glasbau	179
15.2	Nachweis auf Basis des zul- σ -Konzepts	182
15.2.1	Allgemeines	182
15.2.2	DIN 18516-4:1990: Außenwandbekleidungen aus ESG, hinterlüftet	183
15.2.3	Technische Regeln des DIBt: TRLV	184
15.2.4	Technische Regeln des DIBt: TRAV	185
15.2.5	Technische Regeln des DIBt: TRPV.....	186
15.3	Verfahren der Teilsicherheitsbeiwerte und (sichtbare) Anwendung der Bruchmechanik	186
15.3.1	Allgemeines	186
15.3.2	Wissenschaftliche Arbeiten.....	187
15.3.3	DIN 18008.....	193
15.3.4	ÖNORM B 3716	196
15.3.5	EN 13474	198
15.3.6	NEN 2608	199
15.4	Vergleich der Regelungen für ausgewählte Anwendungen	201
16	Konstruktion und Bemessung nach TRLV, TRAV und TRPV	204
16.1	TRLV	204
16.1.1	Geltungsbereich, Bauprodukte und Anwendungsbedingungen.....	204
16.1.2	Nachweisformat, Ermittlung der vorhandenen und zulässigen Werte	207
16.1.3	Anhänge	210
16.2	TRAV.....	210
16.2.1	Geltungsbereich, Bauprodukte und Anwendungsbedingungen.....	210
16.2.2	Einwirkungen und Nachweisführung.....	211
16.2.3	Anhänge	212
16.3	TRPV	213
16.3.1	Geltungsbereich, Bauprodukte und Anwendungsbedingungen.....	213
16.3.2	Nachweisführung und Ermittlung der vorhandenen Werte.....	213
16.3.3	Hilfsmittel auf Basis der TRLV	214
17	Konstruktion und Bemessung nach DIN 18008.....	215
17.1	DIN 18008 Teil 1 – Begriffe und allgemeine Grundlagen.....	217
17.1.1	Allgemeines, Einwirkungen.....	217
17.1.2	Sicherheitskonzept und Konstruktionswerkstoffe.....	217
17.1.3	Einwirkungen	218
17.1.4	Ermittlung von Spannungen und Verformungen	218
17.1.5	Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit.....	219
17.1.6	Nachweise der Resttragfähigkeit.....	221
17.1.7	Generelle Konstruktionsvorgaben.....	221

17.2	DIN 18008 Teil 2	222
17.2.1	Allgemeines, Anwendungsbedingungen	222
17.2.2	Zusätzliche Regelungen für Horizontal- und Vertikalverglasungen	222
17.2.3	Nachweise der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit	223
17.3	DIN 18008 Teil 3	224
17.3.1	Allgemeines	224
17.3.2	Anwendungsbedingungen und Konstruktion	224
17.3.3	Zusätzliche Regelungen für Vertikal- und Horizontalverglasungen	224
17.3.4	Einwirkungen und Nachweise	225
17.3.5	Anhänge	225
17.4	DIN 18008 Teil 4	225
17.5	DIN 18008 Teil 5	227
17.6	DIN 18008 Teil 6	227
17.7	DIN 18008 Teil 7	227
18	Tragelemente	228
18.1	Allgemeines	228
18.2	Stabilität und Lasteinleitung	228
18.3	Ausblick	229
Teil III	Beispiele	
19	Beispiele	230
19.1	Beispiel 1: Vordach mit 2-seitig linienförmig gelagerten Glasscheiben	230
19.1.1	Allgemeines, System und charakteristische Einwirkungen	230
19.1.2	Nachweis nach „zul- σ -Konzept“ – TRLV	232
19.1.3	Nachweis nach Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte – DIN 18008	233
19.2	Beispiel 2: Linienförmig gelagerte Isolierverglasung	235
19.2.1	Allgemeines	235
19.2.2	Charakteristische Einwirkungen	236
19.2.3	Verteilung der charakteristischen Einwirkungen auf die einzelnen Scheiben des Isolierglaselementes	237
19.2.4	Nachweis nach TRLV	242
19.2.5	Nachweis nach DIN 18008	245
19.3	Beispiel 3: Punktgehaltene, vertikale Windfangverglasung	250
19.3.1	Allgemeines	250
19.3.2	Einwirkungen	251
19.3.3	Berechnung von Spannungen und Durchbiegungen	251
19.3.4	Beanspruchbarkeiten (zulässige Werte) und Nachweise nach TRPV	253
19.3.5	Beanspruchbarkeiten und Nachweis nach DIN 18008	253
19.4	Beispiel 4: Punktgehaltene Überkopfverglasung	255
19.4.1	Allgemeines und Systemdaten	255
19.4.2	Berechnung und Nachweis mittels aufwendigem FE-Modell	256
19.4.3	Vereinfachtes Verfahren nach DIN 18008-3	257
19.4.4	Nachweis mittels abZ	261
19.5	Beispiel 5: Absturzsichernde Einfachverglasung der Kategorie A	263
19.5.1	Allgemeines	263
19.5.2	Grenzzustände für statische Einwirkungen	264

19.5.3	Grenzzustand für stoßartige Einwirkungen	265
19.6	Beispiel 6: Absturzsichernde Isolierverglasung der Kategorie A.....	267
19.6.1	Allgemeines	267
19.6.2	Nachweis unter stoßartigen Einwirkungen nach TRAV	268
19.6.3	Nachweis unter stoßartigen Einwirkungen nach DIN 18008-4	269
19.7	Beispiel 7: Absturzsichernde Brüstungsverglasung der Kategorie B	272
19.7.1	Allgemeines	272
19.7.2	Grenzzustände für statische Einwirkungen	273
19.7.3	Grenzzustand für stoßartige Einwirkungen.....	276
19.8	Beispiel 8: Vierseitig linienförmig gelagerte begehbare Verglasung.....	277
19.8.1	Allgemeines	277
19.8.2	Grenzzustände für statische Einwirkungen	277
19.8.3	Grenzzustände für stoßartige Einwirkungen und Resttragfähigkeit	281
19.9	Hilfsmittel für linienförmig gelagerte Verglasungen	281
19.9.1	Allgemeines	281
19.9.2	Rechteckige zweiseitig linienförmig gelagerte Verglasungen	282
19.9.3	Rechteckige vierseitig linienförmig gelagerte Verglasungen.....	284
Literaturverzeichnis.....		290
Stichwortverzeichnis.....		306