

---

# Tragende Kunststoffbauteile

---

Bau-Überwachungsverein (BÜV e. V.) (Hrsg.)

# Tragende Kunststoffbauteile

Entwurf – Bemessung – Konstruktion

*Herausgeber*  
Bau-Überwachungsverein (BÜV e. V.)  
Berlin, Deutschland

ISBN 978-3-8348-1875-1  
DOI 10.1007/978-3-8348-2284-0

ISBN 978-3-8348-2284-0 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg  
© Springer Fachmedien Wiesbaden 2014

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

*Lektorat:* Karina Danulat, Annette Prenzer

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Vieweg ist eine Marke von Springer DE. Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media.  
[www.springer-vieweg.de](http://www.springer-vieweg.de)

---

## Vorwort

Der Arbeitskreis Tragende Kunststoffbauteile des Bau-Überwachungsvereins (BÜV) hat den ersten Entwurf von „Empfehlungen“ für Entwurf, Konstruktion und Bemessung tragender Konstruktionen des Hoch- und Ingenieurbaus, die ganz oder teilweise aus Duroplasten oder Thermoplasten bestehen, erarbeitet. Der vom BÜV-Arbeitskreis „Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen“ aufgestellte Entwurf soll eine sinnvolle Klammerung vorhandener Normen auf diesem Gebiet bewirken.

Der Arbeitskreis konstituierte sich aus Beratenden Ingenieuren, Prüfsingenieuren und Hochschullehrern, die Erfahrung mit dem Bemessen, Konstruieren und Prüfen von tragenden Kunststoffbauteilen haben.

Ziel der Arbeit des Ausschusses war es, eine für alle Anwendungen tragender Kunststoffbauteile zusammenfassende Abhandlung im Sinne einer Vereinheitlichung zu entwickeln, die auch auf Basis der neuen Bemessungsnormen, insbesondere der DIN EN 1990, das semiprobabilistische Bemessungskonzept berücksichtigt und dem Konstrukteur mögliche Planungshinweise gibt.

Es war *nicht* das Ziel des Ausschusses, eine neue Norm zu entwickeln. Sein Ziel war es vielmehr, für eine sinnvolle Klammerung der bereits vorhandenen Normen zu sorgen. Wenn jedoch mit den Empfehlungen eine Vorlage für mögliche Vereinheitlichungen und Normungsbestrebungen geschaffen worden sein sollte, dann, so die einhellige Meinung im Ausschuss, würde dies ausdrücklich begrüßt werden, weil tragende Kunststoffbauteile, verstärkt und unverstärkt, zu einem üblichen, auf Basis von Normen berechenbaren Baustoff werden sollten.

Alle am Bau Beteiligten und interessierte Kreise sind aufgefordert, zu den Empfehlungen Stellung zu nehmen. Besonderen Wert legt der Arbeitskreis auf konstruktive Beiträge, um Ergänzungen und Erweiterungen vornehmen zu können. Wünschenswert wäre auch eine Vervollständigung der Kennwertesammlung.

Nähere Informationen können abgefordert bzw. konstruktive Mitteilungen können übersandt werden an:

Bau-Überwachungsverein (BÜV e.V.), Kurfürstenstr. 129, 10785 Berlin

Tel.: (030) 31 98 914 – 20, FAX: (030) 31 98 914 – 29, Mail: [info@buev.eu](mailto:info@buev.eu)

Berlin, im Juli 2014

---

## Autorenverzeichnis

Prof. Dr.-Ing. habil **Günther Ackermann**, geboren 1929 in Insterburg, promovierte 1962 zum Dr.-Ing. an der Hochschule für Bauwesen in Cottbus. Von 1964 arbeitete er 14 Jahre an der Deutschen Bauakademie auf dem Gebiet der ingenieur-theoretischen Grundlagen von Flächen-tragwerken und Plastkonstruktionen und promovierte dort 1976 zum Dr.-sc. techn. Von 1978 bis 1998 lehrte er als Dozent und Universitätsprofessor an der Hochschule für Architektur und Bauwesen und an der Bauhaus Universität in Weimar.

Dipl.-Ing. **Gerhard Böhme** (1940–2001) studierte bis 1968 an der Technischen Hochschule Darmstadt Bauingenieurwesen. Im Anschluss daran wurde er Mitarbeiter, später Teilhaber im Ingenieurbüro des Prüflingenieurs Heinrich Groth. Vom Innenminister des Landes Schleswig-Holstein wurde ihm 1982 die Anerkennung als Prüflingenieur für Massiv-, Metall- und Holzbau ausgesprochen.

Dipl.-Ing. **Stephan Deußner** ist Bauingenieur und Projektleiter der HOCHTIEF Building GmbH. Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben hat er sich mit der Bemessung von Faserverbundkunststoffen beschäftigt. Weiterhin hat er einen Lehrauftrag an der Fachhochschule Lübeck.

Dr.-Ing. **Markus Gabler** arbeitet im Brückenbau bei Buckland & Taylor in Vancouver, Kanada. Seine Promotion im Bereich Faserverbundwerkstoffe verfasste er bei Prof. Jan Knippers am ITKE der Universität Stuttgart. Er ist Mitglied der International Association for Bridge and Structural Engineering (IABSE) und der Association for Professional Engineers and Geoscientists of British Columbia (APEGBC).

Dr.-Ing. **Ralf Gastmeyer** ist Geschäftsführer der Krebs und Kiefer Beratende Ingenieure im Bauwesen GmbH, Prüflingenieur für Standsicherheit und Prüfer für bautechnische Nachweise im Eisenbahnbau. Sein Tätigkeitsbereich umfasst unter anderem die experimentelle und rechnerische Untersuchung von GFK-Verbundankersystemen im Rahmen von Zulassungsverfahren und Typenprüfungen sowie die Bemessung von Antennentragkonstruktionen aus glasfaserverstärktem Kunststoff.

Prof. Dr.-Ing. **Elke Genzel** lehrt Bauwerkserhaltung und Baugeschichte an der HTW Berlin. Ihr Schwerpunkt sind die Beurteilung, Erhaltung und Sanierung von Bauten aus faserverstärkten Kunststoffen (Forschungsverbund mit Dr.-phil. Pamela Voigt).

Dipl.-Ing. **Matthias Gerold** ist Geschäftsführer der Harrer Ingenieure GmbH, Karlsruhe, Beratender Ingenieur, Prüflingenieur für Bautechnik sowie ö.b.u.v. Sachverständiger für Bautechnik und Baukonstruktionen des Massiv-, Stahl-, Holz- und Glasbaus.

Prof. Dr.-Ing. **Jan Knippers** ist Partner in Knippers Helbig Advanced Engineering und Leiter des Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen an der Universität Stuttgart. Dort beschäftigt er sich in der Forschung schwerpunktmäßig mit faserverstärkten Kunststoffen für Architektur und Bauwesen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Manuel Krahwinkel** forscht und lehrt an der HafenCity Universität Hamburg im Bauingenieurwesen mit den Schwerpunkten Stahl-, Holz- und Leichtbau. Als Leiter der bautechnischen Labore der HafenCity Universität verfügt er über Erfahrung mit der experimentellen Untersuchung von Bauteilen aus tragenden Kunststoffen und mit deren Zulassung für

bautechnische Anwendungen. Er ist Prüflingenieur für Baustatik und Mitglied der Geschäftsführung der Ingenieurgesellschaft Eriksen in Oldenburg.

Dr.-Ing. **Jürgen Kruppe** war Leiter der Abteilung „Forschung und Entwicklung“ im Ingenieurbüro Grassl in Hamburg. Seit einigen Jahren leitet er als Selbständiger das „Büro für Baustatik“ und ist weiterhin als freier Mitarbeiter dem Büro Grassl verbunden.

Dipl.-Ing (FH) **Frank Kümmerle** ist Mitarbeiter der Harrer Ingenieure GmbH, Karlsruhe, einem Ingenieurbüro mit den Schwerpunkten Hoch- und Ingenieurbau, Industrie- und Gewerbebau, Brücken-, Grund- und Tunnelbau, Generalplanung und Projektmanagement sowie Sonderkonstruktionen und Risiko Management. Herr Kümmerle arbeitet in der Niederlassung Ostfildern bei Stuttgart (Ingenieurbüro Kuhlmann - Gerold - Günther - Eisele).

Dr.-Ing. **Hans-Jürgen Meyer** ist Diplomphysiker und Bauingenieur. Er ist als einer der geschäftsführenden Gesellschafter des Ingenieurbüros KSF GmbH & Co. KG in Bremerhaven im konstruktiven Ingenieurbau, insbesondere für Sonderkonstruktionen und im bauphysikalischen Bereich tätig. Zudem ist er Geschäftsführer der DPÜ-Zertifizierstelle GmbH, die Personalzertifizierungen im Bauwesen durchführt.

Dr.-Ing. **Karl Morgen**, Bauingenieur, ist Beratender Ingenieur und Prüflingenieur für Bautechnik sowie geschäftsführender Gesellschafter des Ingenieurbüros WTM ENGINEERS GmbH. Zudem arbeitet er in zahlreichen Normungsgremien und berufsständischen Verbänden mit.

Dr.-Ing. **Hans-Werner Nordhues** ist Bauingenieur und Mediator im Bauwesen sowie geschäftsführender Gesellschafter der Wörner und Nordhues Tragwerksplanung GmbH mit Sitz in Darmstadt. Er unterrichtet als Lehrbeauftragter an der Ruhr-Universität Bochum sowie der Hochschule Darmstadt.

Dr.-Ing. **Matthias Oppe** ist promovierter Bauingenieur und Mitglied der Geschäftsleitung bei der Knippers Helbig GmbH in Stuttgart, sein besonderer Schwerpunkt liegt auf der Verwendung innovativer Materialien im Bauwesen. Im Rahmen seiner Promotion an der RWTH Aachen hat er ein Bemessungskonzept für geschraubte Verbindungen in pultrudierten Polymerprofilen entwickelt.

Dipl.-Ing. **Hans-Georg Pühl** war Prüflingenieur für Baustatik und Gründungspartner der Ingenieurberatung Pühl und Becker. Schwerpunkte seiner Tätigkeit als beratender Ingenieur war die Berechnung von Schächten und Stollen sowie gebettete Rohren; seit 1994 beschäftigt sich sein Büro mit der Bemessung und Prüfung von Kunststoffbauteilen.

Dipl.-Ing. **Rolf Schadow** ist Bauingenieur, arbeitet bei der Ingenieurberatung Pühl und Becker in Essen und hat langjährige Erfahrung im Bereich der Bemessung und Prüfung von tragenden Konstruktionen aus Kunststoffen mit dem Schwerpunkt Rohre und Schächte.

Dr.-Ing. **Jochen Stahl**, P.Eng. ist Partner und Geschäftsführer des Ingenieurbüros Fast + Epp in Darmstadt und hat einen Lehrauftrag für das Entwerfen von Holztragwerken an der Technischen Universität Darmstadt.

Professor Dr.-Ing. **Rainer Taprogge** ist Inhaber des 1973 gegründeten Ingenieurbüros für Kunststofftechnik in Hamburg. Schwerpunkte sind die technische Anwendung von Kunststoffen im Maschinen- und Anlagenbau sowie in der Bautechnik einschließlich Konstruktion, Berechnung und Fertigung. An der RWTH Aachen ist er als apl. Professor für das Lehrgebiet

Konstruieren mit Kunststoffen und als Sachverständiger Gutachter bei Schadensfällen und in Zulassungsverfahren tätig.

Dr.-Ing. **Heiko Trumpf** promovierte am Lehrstuhl für Stahlbau und Leichtmetallbau an der RWTH Aachen. Seit 2012 arbeitet er als Group Director und Regional Director bei Büro Happold Engineering in Berlin-München-Copenhagen. Seine Tätigkeitsschwerpunkte liegen im Bereich der Objekt- und Tragwerksplanung sowie interdisziplinärer Planung von anspruchsvollen nationalen und internationalen Bauvorhaben. Seine Erfahrungen hat er vor allem beim Bau von Hochhäusern, Firmenzentralen, Flughäfen und Brückenbauwerken gesammelt.

Dipl.-Ing. **Momčilo Vidacković** ist studierter Architekt und seit 2007 Mitarbeiter der Bundesvereinigung der Prüflingenieur für Bautechnik (BVPI), wo er die Ressorts Bautechnik und Baurecht innehat.

Dipl.-Ing. **Frédéric Waimer** ist Bauingenieur und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen der Universität Stuttgart. Sein Forschungsinteresse gilt der Entwicklung neuer integrativer Bauweisen mit faserverstärkten Kunststoffen und dessen Simulation.

Prof. Dr.-Ing. **Johann-Dietrich Wörner** ist Vorstandsvorsitzender des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) e. V. Als Professor für Statik und Dynamik der Tragkonstruktionen lehrt er an der Technischen Universität Darmstadt Baudynamik, Glasbau und Kunststoffe im Bauwesen.

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>ANWENDUNGSBEREICH UND ANWENDUNGSBEDINGUNGEN</b> .....	<b>1</b>
1.1	Allgemeines .....	1
1.2	Temperaturbereich.....	1
1.3	Materialkennwerte .....	1
1.4	Dichtheit .....	1
1.5	Brandverhalten und erhöhte Temperaturen .....	1
1.6	Toxizität.....	2
1.7	Resistenz gegen Säure und Laugen .....	2
1.8	Anwendungsbedingungen .....	2
1.9	Nicht genormte Baustoffe.....	2
1.10	Nichtruhende Belastungen / Beanspruchungen .....	2
<b>2</b>	<b>BAUTECHNISCHE UNTERLAGEN</b> .....	<b>3</b>
2.1	Art der bautechnischen Unterlagen .....	3
2.2	Zeichnungen .....	3
2.3	Statische Berechnung .....	3
2.4	Baubeschreibung .....	4
<b>3</b>	<b>SICHERHEITSKONZEPT</b> .....	<b>5</b>
3.1	Allgemeines.....	5
3.2	Sicherheitsnachweis.....	6
3.3	Nachweisverfahren – Regelverfahren.....	6
3.4	Nachweisverfahren auf Basis einer Schadensakkumulation.....	7
3.4.1	Allgemeines .....	7
3.4.2	Zeitstandbeanspruchung im Hinblick auf die Lebensdauer (Einwirkungen).....	7
3.4.3	Zeitstandbeanspruchbarkeit im Hinblick auf die Lebensdauer (Widerstand).....	8
3.4.4	Bemessungsverfahren mit Ersatzbeanspruchung.....	9
3.4.5	Bemessungsverfahren mit Hilfe der Schadensakkumulation.....	11
<b>4</b>	<b>AUSGANGSSTOFFE</b> .....	<b>13</b>
4.1	Allgemeines .....	13
4.2	Fasern .....	13
4.2.1	Allgemeines .....	13
4.2.2	Glasfasern .....	13



4.2.3	Aramidfasern .....	13
4.2.4	Carbonfasern .....	14
4.3	Kunststoffe .....	14
4.4	Schaumstoffe .....	15
4.4.1	Allgemeines .....	15
4.4.2	Polyurethan-Hartschäume (PUR-Schaum) .....	15
4.4.3	Polyvinylchloridschäume (PVC-Schaum) .....	15
<b>5</b>	<b>MATERIALEIGENSCHAFTEN UND BAUTEILE .....</b>	<b>17</b>
5.1	Allgemeines .....	17
5.2	Unverstärkte Kunststoffe .....	19
5.2.1	Thermoplaste .....	19
5.2.2	Duroplaste .....	19
5.3	Faserverstärkte Kunststoffe .....	20
5.3.1	Vorbemerkungen .....	20
5.3.2	Glasfaserverstärkte Lamine mit Duroplasten .....	20
5.4	Sandwichkonstruktionen .....	21
5.5	Bemessungswert des Widerstandes .....	22
<b>6</b>	<b>EINWIRKUNGEN .....</b>	<b>23</b>
6.1	Allgemeines .....	23
6.2	Ständige Einwirkungen .....	24
6.3	Veränderliche Einwirkungen .....	24
6.4	Außergewöhnliche Einwirkungen .....	26
6.5	Brandeinwirkung und erhöhte Temperaturen .....	26
6.6	Bemessungswert der Einwirkungen .....	27
<b>7</b>	<b>VERFORMUNGEN, SCHNITTGRÖßEN UND SPANNUNGEN .....</b>	<b>29</b>
<b>8</b>	<b>NACHWEISE .....</b>	<b>31</b>
8.1	Grundlegende Anforderungen .....	31
8.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	31
8.2.1	Allgemeines .....	31
8.2.2	Festigkeit .....	34
8.2.3	Stabilitätsversagen .....	38
8.2.4	Dehnungsbeschränkung .....	41
8.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	42
8.3.1	Allgemeines .....	42
8.3.2	Dehnungsbeschränkung .....	42
8.3.3	Durchbiegungsbegrenzung .....	42

---

8.4	Verbindungen .....	43
8.4.1	Allgemeines .....	43
8.4.2	Lösbare Verbindungen .....	44
8.4.3	Nicht lösbare Verbindungen .....	49
<b>9</b>	<b>BAULICHE DURCHBILDUNG .....</b>	<b>53</b>
9.1	Grundsätzliches .....	53
9.2	Bauteile .....	54
9.2.1	Allgemeines .....	54
9.2.2	Hohlkästen und Hohlbauteile .....	54
9.2.3	Plattenförmige Bauteile .....	55
9.2.4	Schalenförmige Bauteile .....	55
9.2.5	Behälter .....	55
9.2.6	Sandwichkonstruktionen .....	56
9.2.7	Absturzsichernde Bauteile .....	57
9.2.8	Brücken .....	57
9.3	Verbindungen und Auflagerungen .....	57
9.4	Herstellung und Konstruktion .....	58
9.4.1	Faserverbundkunststoffe .....	58
9.4.2	Unverstärkte Kunststoffe .....	58
<b>10</b>	<b>AUSFÜHRUNG UND ÜBERWACHUNG .....</b>	<b>61</b>
10.1	Rohprodukte .....	61
10.1.1	Allgemeines .....	61
10.1.2	Eigenüberwachung .....	61
10.1.3	Fremdüberwachung .....	63
10.1.4	Probenentnahme .....	64
10.2	Halbzeuge und Verbindungsmittel .....	65
10.2.1	Allgemeines .....	65
10.2.2	Prüfung der Halbzeuge ( Thermoplaste sowie Duroplaste und Elastomere ) .....	65
10.2.3	Prüfung der Klebstoffe .....	65
10.2.4	Prüfung von Schweißzusätzen .....	65
10.3	Bauausführung .....	66
10.3.1	Allgemeines .....	66
10.3.2	Personal und Ausstattung des ausführenden Betriebes .....	66
10.4	Überwachung .....	67
10.4.1	Überwachung auf der Baustelle .....	67
10.4.2	Zustandsklassifizierung .....	69

<b>11</b>	<b>NORMEN UND RICHTLINIEN .....</b>	<b>71</b>
11.1	Grundnormen.....	71
11.2	Stoffnormen .....	72
11.3	Prüfnormen .....	73
11.4	Normen für Halbzeuge .....	74
11.5	Bemessungsnormen .....	75
11.6	Richtlinien/Merkblätter.....	75
<b>12</b>	<b>LITERATUR.....</b>	<b>79</b>
<b>13</b>	<b>ANHANG.....</b>	<b>83</b>
13.1	Anhang A: Einflussfaktoren (Richtwerte) für unverstärkte Kunststoffe .....	83
13.2	Anhang B: Einflussfaktoren für faserverstärkte Kunststoffe.....	86
13.3	Anhang C: Einflussfaktoren für Schaumstoffe.....	89
13.4	Anhang D: Bemessungswerte der Einwirkungen .....	90
13.5	Anhang E: Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M$ .....	94
13.6	Anhang F: Mechanische Eigenschaften zu Fasern und Sandwichkernen.....	95
<b>14</b>	<b>BEISPIEL 1 .....</b>	<b>97</b>
14.1	Statisches System, Bauwerksform.....	97
14.2	Querschnitt, Werkstoff .....	98
14.2.1	Querschnittswerte .....	98
14.2.2	Material.....	99
14.2.3	Eigenlast .....	99
14.2.4	Schneelast (DIN EN 1991-1-3:2010-12).....	99
14.2.5	Windlast (DIN EN 1991-1-4:2010-12).....	100
14.2.6	Temperatur (DIN EN 1991-1-5:2010-12) .....	100
14.2.7	Einwirkungsdauer.....	100
14.3	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	101
14.3.1	Festigkeit .....	101
14.3.2	Stabilitätsversagen .....	108
14.4	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	113
14.4.1	Durchbiegungsbegrenzung .....	113
14.5	Literatur zum Beispiel 1 .....	116
<b>15</b>	<b>BEISPIEL 2 .....</b>	<b>117</b>
15.1	Statisches System, Bauwerksform.....	117
15.2	Querschnitt und Werkstoff.....	118
15.2.1	Laminatdicken .....	118
15.2.2	Zylinder .....	118

15.2.3	Zylinderfuß .....	119
15.3	Einwirkungen und Schnittgrößen .....	120
15.3.1	Übersicht.....	120
15.3.2	LF 10 Eigenlast.....	120
15.3.3	LF 20 Füllgut.....	121
15.3.4	LF 21 Verkehrslast auf Kegelschale .....	121
15.3.5	LF 22 Betriebsdruck .....	121
15.3.6	LF 30 Temperatur .....	122
15.3.7	Lastfallkombinationen .....	122
15.3.8	Bemessungswerte der Schnittgrößen .....	123
15.3.9	Bemessungswerte der Spannungen.....	125
15.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	125
15.4.1	Festigkeit .....	125
15.4.2	Stabilitätsversagen .....	139
15.5	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	143
15.5.1	Durchbiegungsbegrenzung .....	143
15.6	Berechnungsergebnisse .....	146
15.6.1	Lastkombination 1 (Schnittgrößen faktorisiert, Verformungen nicht faktorisiert) .....	146
15.6.2	Lastkombination 2 (Schnittgrößen faktorisiert, Verformungen nicht faktorisiert) .....	148
15.6.3	Lastkombination 3 (Schnittgrößen faktorisiert, Verformungen nicht faktorisiert) .....	150
15.6.4	Lastkombination 4 (Schnittgrößen faktorisiert, Verformungen nicht faktorisiert) .....	152
15.7	Literatur zum Beispiel 2 .....	154
<b>16</b>	<b>BEISPIEL 3 .....</b>	<b>155</b>
16.1	Statisches System, Bauwerksform.....	155
16.2	Querschnitt und Werkstoff .....	156
16.2.1	Laminatdicken .....	156
16.2.2	Material.....	156
16.3	Einwirkungen und Schnittgrößen .....	157
16.3.1	Übersicht.....	157
16.3.2	LF 10 Eigenlast.....	157
16.3.3	LF 31 ... LF 34 Temperatur (DIN EN 1991-1-5:2010-12) .....	157
16.3.4	LF 40 Schneelast (DIN 1055-5:2005-07) .....	158
16.3.5	LF 51 + LF 52 Windlast (DIN 1055-4:2005-03).....	158
16.3.6	Lastfallkombinationen .....	159

16.3.7	Bemessungswerte der Schnittgrößen .....	160
16.3.8	Bemessungswerte der Spannungen .....	161
16.4	Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	161
16.4.1	Festigkeit .....	161
16.4.2	Stabilitätsversagen .....	166
16.4.3	Charakteristische Werte des E-Moduls .....	166
16.5	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	171
16.5.1	Durchbiegungsbegrenzung .....	171
16.6	Berechnungsergebnisse .....	173
16.6.1	System und Lasteingabe .....	173
16.6.2	Membrankräfte der GFK-Deckschicht (faktoriert) .....	175
16.6.3	Schubspannungen des PUR-Kerns (faktoriert) .....	176
16.6.4	Verformungen (nicht faktoriert) .....	177
16.7	Literatur zum Beispiel 3 .....	178
<b>17</b>	<b>BEISPIEL 4 .....</b>	<b>179</b>
17.1	Bauteilabmessungen, statisches System, Bauwerksform .....	179
17.2	Querschnitt, Werkstoff .....	181
17.2.1	Querschnittswerte .....	181
17.2.2	Material .....	181
17.3	Einwirkungen (charakteristische Werte) .....	181
17.3.1	Eigenlast der Platte .....	181
17.3.2	Schneelast (DIN EN 1991-1-3:2010-12) .....	181
17.3.3	Windlast (DIN EN 1991-1-4:2010-12) .....	182
17.3.4	Temperaturlast (DIN EN 1991-1-5:2010-12) .....	183
17.3.5	Einwirkungsdauer .....	183
17.4	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	184
17.4.1	Festigkeit .....	184
17.5	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	189
17.5.1	Durchbiegungsbegrenzung .....	189
17.6	Modellierungsvarianten für die PMMA-Platte .....	192
17.6.1	Allgemein .....	192
17.6.2	Einachsig gespannte Platte .....	192
17.6.3	Zweiachsig gespannte, linear-elastische Platte mit Tabellenwerk .....	193
17.6.4	Lineare Finite-Element-Berechnung .....	193
17.6.5	Nichtlineare Finite- Element- Berechnung mit abhebenden Ecken .....	195
17.6.6	Vergleich der Berechnungsergebnisse .....	196
17.7	Literatur zum Beispiel 4 .....	197

<b>18</b>	<b>BEISPIEL 5</b> .....	<b>199</b>
18.1	System, Bauteilmaße, Querschnittswerte, Annahmen .....	199
18.2	Einwirkungen .....	201
18.2.1	Charakteristische Werte .....	201
18.2.2	Bemessungswerte in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit .....	201
18.2.3	Repräsentative Werte im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	202
18.3	Schnittgrößen am Schachtfuß .....	202
18.3.1	Schnittgrößen im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	202
18.3.2	Schnittgrößen im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	203
18.4	Nachweis in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit .....	203
18.4.1	Bemessungswerte des Baustoffes .....	203
18.4.2	Nachweis der Biegetragfähigkeit .....	205
18.4.3	Stabilitätsversagen .....	205
18.5	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	207
18.5.1	Bemessungswerte des Baustoffes .....	207
18.5.2	Maßgebende Durchbiegung $u_d$ .....	207
18.5.3	Bemessungswert zur Erfüllung der Durchbiegungsbegrenzung .....	208
18.6	Literatur zum Beispiel 5 .....	208
<b>19</b>	<b>BEISPIEL 6</b> .....	<b>209</b>
19.1	Aufgabenstellung, statisches System .....	209
19.2	Querschnitt, Werkstoff .....	209
19.2.1	Querschnittswerte .....	209
19.2.2	Material .....	210
19.3	Einwirkungen (charakteristische Werte) .....	210
19.3.1	Eigenlast .....	210
19.3.2	Schneelast .....	210
19.3.3	Temperatur .....	211
19.3.4	Einwirkungsdauer .....	211
19.4	Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit .....	211
19.4.1	Teilsicherheitsbeiwerte .....	211
19.4.2	Einwirkungskombinationen .....	212
19.4.3	Bemessungsschnittgrößen (Einfeldträger) .....	212
19.4.4	Werkstoffspezifische Einflussfaktoren .....	213
19.4.5	Festigkeitsnachweise .....	215
19.4.6	Stabilitätsnachweise .....	217
19.5	Nachweis im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit .....	223
19.5.1	Teilsicherheitsbeiwert .....	223
19.5.2	Einwirkungskombinationen .....	223

19.5.3	Charakteristischer Wert des E-Moduls als Mittelwert .....	223
19.5.4	Werkstoffspezifischer Einflussfaktor des E-Moduls .....	224
19.5.5	Durchbiegungsbegrenzung .....	224
19.6	Literatur zum Beispiel 6 .....	225
<b>20</b>	<b>SACHWORTVERZEICHNIS</b> .....	<b>227</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 4-1:</b> Unterschiede der Eigenschaften von Duro- und Thermoplasten .....	14
<b>Tabelle 5-1:</b> Faktoren $k_s$ zur Ermittlung von $R_{k0,95}$ (bei 75% Aussagewahrscheinlichkeit) .....	18
<b>Tabelle 6-1:</b> Klassen der Last-Einwirkdauer (KLED) für Hochbaukonstruktionen .....	23
<b>Tabelle 6-2:</b> Einteilung der Lasteinwirkungen in (KLED).....	25
<b>Tabelle 8-1:</b> Übersicht der zu führenden Nachweise und der zugehörigen Einflussfaktoren ..	33
<b>Tabelle 8-2:</b> Bemessungswert $C_d$ der Durchbiegung.....	43
<b>Tabelle 10-1:</b> Art und Umfang der Probenentnahme von Ausgangsstoffen.....	63
<b>Tabelle 10-2:</b> Prüfung der erhärteten Produkte (Halbzeug) .....	63
<b>Tabelle A-1:</b> Einflussfaktor $A_1^f$ , $A_1^E$ bzw. $A_1^D$ infolge Belastungsdauer von 20 Jahren .....	83
<b>Tabelle A-2:</b> Einflussfaktor $A_2^f$ , $A_2^E$ bzw. $A_2^D$ infolge Medieneinfluss .....	83
<b>Tabelle A-3a:</b> Einflussfaktor $A_3^f$ , $A_3^E$ bzw. $A_3^D$ infolge Temperatureinfluss bei 40° C .....	84
<b>Tabelle A-3b:</b> Einflussfaktor $A_3^f$ , $A_3^E$ bzw. $A_3^D$ infolge Temperatureinfluss .....	84
<b>Tabelle B-1a:</b> Einflussfaktor $A_1^E$ infolge Belastungsdauer von 20 Jahren .....	86
<b>Tabelle B-1b:</b> Einflussfaktor $A_1^E$ und $A_1^D$ infolge Belastungsdauer von 20 Jahren.....	87
<b>Tabelle B-2:</b> Einflussfaktor $A_2^f$ , $A_2^E$ bzw. $A_2^D$ infolge Medieneinfluss .....	88
<b>Tabelle C-1:</b> Einflussfaktor $A_1^f$ , $A^{G,E}_1$ infolge Belastungsdauer .....	89
<b>Tabelle C-2:</b> Einflussfaktor $A_2^f$ , $A^{G,E}_2$ infolge Freibewitterung über 25 Jahre .....	89
<b>Tabelle C-3:</b> Einflussfaktor $A_3^f$ , $A^{G,E}_3$ infolge Temperatureinfluss .....	89
<b>Tabelle D-1:</b> Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_E$ der Einwirkungen im GZT .....	91
<b>Tabelle D-2:</b> Kombinationsbeiwerte $\psi$ für den Hochbau (DIN EN 1990).....	92
<b>Tabelle D-3:</b> Kombinationsbeiwerte $\psi$ für Straßenbrücken (DIN FB 101) .....	93
<b>Tabelle D-4:</b> Kombinationsbeiwerte $\psi$ für Fußgänger und Radwegbrücken (DIN FB 101) ...	93
<b>Tabelle E-1:</b> Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_M$ im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	94
<b>Tabelle F-1:</b> Fasereigenschaften.....	95
<b>Tabelle F-2:</b> Mechanische Eigenschaften einiger Polymer-Hartschäume .....	95
<b>Tabelle Beispiel 2-1:</b> Untersuchte Lastfälle .....	120
<b>Tabelle Beispiel 2-2:</b> Untersuchte Lastfallkombinationen .....	122
<b>Tabelle Beispiel 2-3:</b> Bemessungswerte der Spannungen für alle Lastkombinationen.....	125
<b>Tabelle Beispiel 2-4:</b> Charakteristischer Wert der Kurzzeit-Biegefestigkeit .....	126
<b>Tabelle Beispiel 2-5:</b> Charakteristischer Wert der Kurzzeit-Zugfestigkeit .....	126
<b>Tabelle Beispiel 2-6:</b> Einflussfaktor $A_1$ in Abhängigkeit der Lastdauer .....	127
<b>Tabelle Beispiel 2-7:</b> Zusammenstellung der Einflussfaktoren.....	128
<b>Tabelle Beispiel 2-8:</b> Bemessungswert des Materialwiderstands.....	132
<b>Tabelle Beispiel 2-9:</b> Spannungsnachweis .....	133
<b>Tabelle Beispiel 2-10:</b> Exemplarische Auflistung der Einzelschichten .....	136
<b>Tabelle Beispiel 2-11:</b> Ermittlung der Widerstände für KLED lang.....	137
<b>Tabelle Beispiel 2-12:</b> Festigkeitsnachweis für die Einzelschichten.....	138
<b>Tabelle Beispiel 4-1:</b> Einflussfaktoren A nach [3].....	186



<b>Tabelle Beispiel 4-2:</b> Zusammenstellung der berechneten Spannungen .....	188
<b>Tabelle Beispiel 4-3:</b> Zusammenstellung der berechneten Verformungen .....	192
<b>Tabelle Beispiel 4-4:</b> Vergleich der Modellierungsvarianten.....	196

---

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 3-1:</b> Ermittlung der vorhandenen Sicherheit.....	5
<b>Abbildung 3-2:</b> Einwirkungskollektiv im Bemessungszeitraum $t_R$ .....	8
<b>Abbildung 3-3:</b> Beispiel einer Lebensdauerlinie.....	8
<b>Abbildung 3-4:</b> Anwendung der Gleichung 3.1.....	10
<b>Abbildung 3-5:</b> Bemessung am Ende des Bemessungszeitraumes $t_R$ am Beispiel GFK.....	11
<b>Abbildung 6-1:</b> E-Modul und Festigkeit ausgewählter Kunststoffe.....	27
<b>Abbildung 8-1:</b> Abhängigkeit des Einflussfaktors $A_1$ .....	33
<b>Abbildung 8-2:</b> Quotient des Einflussfaktors $1/A_1$ im doppelt-logarithmischen Maßstab.....	34
<b>Abbildung 8-3:</b> Versagensarten einer Laminatschicht.....	37
<b>Abbildung 8-4:</b> Stabwerkmodell zur Berechnung der Tragfähigkeit SV [33].....	44
<b>Abbildung 8-5:</b> Beispielhafte Ermittlung der maßgebenden Breite $w^*$ bzw. $e_{2,\perp}^*$ [33].....	45
<b>Abbildung 8-6:</b> Typische Versagensmechanismen für geschraubte Verbindungen in GFK ...	46
<b>Abbildung 8-7:</b> Scherfuge in einem pultrudierten Flachprofil.....	50
<b>Abbildung 8-8:</b> Interaktion in der Klebefuge.....	51

## Zeichenerklärungen

Sämtliche im Folgenden nicht angegebenen Formelzeichen sind der DIN EN 1990 zu entnehmen.

### Physikalische Kenngrößen

$E$	Elastizitätsmodul (Kurzzeitkennwert)
$G$	Schubmodul
$K$	Kompressionsmodul
$\nu$	Querkontraktionszahl (entspricht $\mu$ nach DIN 18820)
$\sigma$	Spannung
$\tau$	Schubspannung
$\gamma$	Schubverzerrung
$\varepsilon$	Dehnung
$\sigma_f$	Kriechzahl
$f_k$	Charakteristische Festigkeit
$m$	Neigung der Lebensdauerlinie
$u, v, w$	Verformungen in x-, y- und z-Richtung
$T$	Temperatur
$t$	Zeit
$t_R$	Bemessungszeitraum
$t_b$	Standzeit
$t_E$	Einwirkungsdauer

### Querschnittsgrößen

$A$	Querschnittsfläche, Ansichtsfläche
$I$	Flächenmoment 2. Grades
$S$	Statisches Moment
$W$	Elastisches Widerstandsmoment
$a, b, h$	geometrische Größe, Abmessung
$d$	Durchmesser, Dicke
$N$	Normalkraft
$M$	Biegemoment
$V$	Querkraft
$d_S$	Schaftdurchmesser Verbindungsmittel

**Einwirkungen, Widerstandsgrößen und Sicherheitselemente**

$E$	Einwirkung
$F$	Kraft (Allgemeines Formelzeichen)
$F_{zd}$	Abreiß- oder Umlenkraft
$G$	Ständige Einwirkung
$Q$	Veränderliche Einwirkung
$S$	Beanspruchung (Reaktion auf Einwirkungen, z. B. Verformung)
$D$	Dehngrenze
$C_d$	Bemessungswert der Bauteil- oder Werkstoffeigenschaft
$R$	Widerstand
$\gamma$	Teilsicherheitsbeiwert (stets mit Fußzeiger)
$\gamma_{E,i}$	Teilsicherheitsbeiwert der $i$ -ten Einwirkung
$\gamma_M$	Teilsicherheitsbeiwert für die Widerstandsgrößen
$\psi$	Kombinationsbeiwert
$\delta$	Glassmassenanteil (entspricht $\psi$ nach DIN 18820)
$A_{mod}$	Werkstoffspezifischer Modifikationsfaktor, berücksichtigt den Einfluss der Einwirkungsdauer, der Umweltbedingungen und der Temperatur auf die Bauteileigenschaften
$A_i$	Einflussfaktoren zur Ermittlung von $A_{mod}$
$P_f$	Versagenswahrscheinlichkeit
$S_e$	Ersatzbeanspruchung für den Bruchzustand
$S_{RK}$	Charakteristischer Widerstand am Ende des Bemessungszeitraums
$\mu_R$	Mittelwert einer Widerstandsgröße
$\sigma_R$	Standardabweichung
$k_s$	Faktor zur Ermittlung von $R_{k0,95}$
$s_k$	Charakteristischer Wert der Schneelast auf dem Boden
$t_a$	Akkumulierte Last-Einwirkungsdauer
KLED	Klassen der Last-Einwirkungsdauer
LK	Lastkombination
LF	Lastfall
$g$	Eigenlast
$q$	veränderliche Last
$\Delta T$	Temperaturlast

**Fußzeiger**

<i>f</i>	Faserverbund
<i>d</i>	Bemessungswert
<i>k</i>	charakteristischer Wert
<i>m</i>	Material, Biegung
<i>t</i>	Zug
<i>c</i>	Druck
<i>u</i>	Bruchzustand
0,05	5%-Fraktil-Wert
0,95	95%-Fraktil-Wert
<i>m</i>	Mittelwert
0	Winkel $0^\circ$ zwischen Kraft- und Faserrichtung bzw. Verstärkungsrichtung
90	Winkel $90^\circ$ zwischen Kraft- und Faserrichtung bzw. Verstärkungsrichtung
<i>cr</i>	kritisch
<i>el</i>	elastisch
<i>max</i>	maximal
<i>nf</i>	unterer Wert
<i>sup</i>	oberer Wert
<i>N</i>	Normalkraft
<i>B</i>	Biegung
$\tau$	Schub
<i>Z</i>	Zylinderwand
ZÜ	Zylinderübergang, Zylinderfuß
<i>F</i>	Füllgut
<i>U</i>	Unterdruck
<i>Ü</i>	Überdruck

**Hochzeiger**

<i>f</i>	Festigkeit
<i>E</i>	E-Modul
<i>D</i>	Dehngrenze