

BÜV-Empfehlung

Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen [TKB]

- Entwurf, Bemessung und Konstruktion -

Stand 08 / 2010

Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen

-Entwurf, Bemessung und Konstruktion-

0. Vorbemerkungen

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 1055-100, 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.

Beispielrechnungen zu den Empfehlungen sind fertig gestellt und können angefordert werden (siehe unten). Folgende Beispiele wurden gerechnet:

1. Profilerter Einfeldträger aus glasfaserverstärktem Laminat (Günther Ackermann, mit Ergänzungen von Hans-Jürgen Meyer),
2. Zylinderwand eines Behälters mit Kegeldach und Bodenplatte (Günther Ackermann),
3. Dreischichtige Zweifeld- Sandwichplatte (Günther Ackermann),
4. Deckenplatten aus PMMA (Jochen A. Stahl),
5. Sickerwasserschacht aus PE-HD (Rolf Schadow),
6. GFK-Trapezprofil (Hans-Jürgen Meyer).

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.

von:

Prof. Dr.-Ing. Günther Ackermann

Dipl.-Ing. Stephan Deußner

Dipl.-Ing. Markus Gabler

Dr.-Ing. Ralf Gastmeyer

Dr.-Ing. Elke Genzel

Dipl.-Ing. Matthias Gerold

Dipl.-Ing. Claus Jung

Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers

Prof. Dr.-Ing. Manuel Krahwinkel

Dr.-Ing. Jürgen Kruppe

Dr.-Ing. Hans-Jürgen Meyer

Dr.-Ing. Karl Morgen

Dr.-Ing. Hans-Werner Nordhues

Dipl.-Ing. Rolf Schadow

Dipl.-Ing. Jochen A. Stahl

Prof. Dr.-Ing. Rainer Taprogge

Dr.-Ing. Heiko Trumpf

Dipl.-Ing. Momcilo Vidacković

Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner

Dipl.-Ing. Gerhard Böhme †

Dipl.-Ing. Hans-Georg Pühl †

INHALTSVERZEICHNIS

0. VORBEMERKUNGEN	I
1. ANWENDUNGSBEREICH UND ANWENDUNGSBEDINGUNGEN	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Temperaturbereich	1
1.3 Materialkennwerte	1
1.4 Dichte	1
1.5 Brandverhalten und erhöhte Temperaturen	1
1.6 Toxizität	1
1.7 Resistenz gegen Säure und Laugen	1
1.8 Anwendungsbedingungen	2
1.9 Nicht genormte Baustoffe	2
1.10 Nichtruhende Belastungen / Beanspruchungen	2
2. BAUTECHNISCHE UNTERLAGEN	3
2.1 Art der bautechnischen Unterlagen	3
2.2 Zeichnungen	3
2.3 Statische Berechnung	3
2.4 Baubeschreibung	4
3. SICHERHEITSKONZEPT	5
3.1 Allgemeines	5
3.2 Sicherheitsnachweis	6
3.3 Nachweisverfahren – Regelverfahren	6
3.4 Nachweisverfahren auf Basis einer Schadensakkumulation	6
3.4.1 Allgemeines	6
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	8
3.4.5 Bemessungsverfahren mit Hilfe der Schadensakkumulation	10
4. AUSGANGSSTOFFE	12
4.1 Allgemeines	12
4.2 Fasern	12
4.2.1 Allgemeines	12
4.2.2 Glasfasern	12
4.2.3 Aramidfasern	12
4.2.4 Carbonfasern	12
4.3 Kunststoffe	13
4.4 Schaumstoffe	13
4.4.1 Allgemeines	13
4.4.2 Polyurethan-Hartschäume (PUR-Schaum)	13
4.4.3 Polyvinylchloridschäume (PVC-Schaum)	14
5 MATERIALEIGENSCHAFTEN UND BAUTEILE	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Unverstärkte Kunststoffe	17
5.2.1 Thermoplaste	17
5.2.2 Duroplaste	17
5.3 Faserverstärkte Kunststoffe	17
5.3.1 Vorbemerkungen	17

5.3.2	Glasfaserverstärkte Lamine mit Duroplasten	18
5.4	Sandwichkonstruktionen	19
5.5	Bemessungswert des Widerstandes	19
6	EINWIRKUNGEN	20
6.1	Allgemeines	20
6.2	Ständige Einwirkungen	21
6.3	Veränderliche Einwirkungen	21
6.4	Außergewöhnliche Einwirkungen	23
6.5	Brandeinwirkung und erhöhte Temperaturen	23
6.6	Bemessungswert der Einwirkungen	24
7	VERFORMUNGEN, SCHNITTGRÖßEN UND SPANNUNGEN	25
8	NACHWEISE	27
8.1	Grundlegende Anforderungen	27
8.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit	27
8.2.1	Allgemeines	27
8.2.2	Festigkeit	30
8.2.3	Stabilitätsversagen	33
8.2.4	Dehnungsbeschränkung	34
8.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	35
8.3.1	Allgemeines	35
8.3.2	Dehnungsbeschränkung	35
8.3.3	Durchbiegungsbegrenzung	35
8.4	Verbindungen	36
8.4.1	Allgemeines	36
8.4.2	Lösbare Verbindungen	36
8.4.3	Nicht lösbare Verbindungen	39
9	BAULICHE DURCHBILDUNG	42
9.1	Grundsätzliches	42
9.2	Bauteile	42
9.2.1	Allgemeines	42
9.2.2	Hohlkästen und Hohlbauteile	43
9.2.3	Plattenförmige Bauteile	43
9.2.4	Schalenförmige Bauteile	44
9.2.5	Behälter	44
9.2.6	Sandwichkonstruktionen	45
9.2.7	Absturzsichernde Bauteile	45
9.2.8	Brücken	45
9.3	Verbindungen und Auflagerungen	46
9.4	Herstellung und Konstruktion	47
9.4.1	Faserverbundkunststoffe	47
9.4.2	Unverstärkte Kunststoffe	47
10	AUSFÜHRUNG UND ÜBERWACHUNG	48
10.1	Rohprodukte	48
10.1.1	Allgemeines	48
10.1.2	Eigenüberwachung	48
10.1.3	Fremdüberwachung	50
10.1.4	Probenentnahme	50
10.2	Halbzeuge und Verbindungsmittel	51

10.2.1	Allgemeines	51
10.2.2	Prüfung der Halbzeuge (Thermoplaste sowie Duroplaste und Elastomere)	52
10.2.3	Prüfung der Klebstoffe	52
10.2.4	Prüfung von Schweißzusätzen	52
10.3	Bauausführung	52
10.3.1	Allgemeines	52
10.3.2	Personal und Ausstattung des ausführenden Betriebes	52
10.3.2.1	Personal	52
10.3.2.2	Führungskraft	53
10.3.2.3	Bauleiter	53
10.3.2.4	Baustellenfachpersonal	53
10.3.2.5	Geräteausstattung	53
10.4	Überwachung	53
10.4.1	Überwachung auf der Baustelle	53
10.4.1.1	Allgemeines	53
10.4.1.2	Eigenüberwachung	53
10.4.1.3	Fremdüberwachung	53
10.4.1.4	Wiederkehrende Prüfungen	54
10.4.2	Zustandsklassifizierung	55
10.4.2.1	Beweissicherung	55
10.4.2.2	Schadensstufen	55
10.4.2.3	Zustandskategorien	56
11	NORMEN UND RICHTLINIEN	57
11.1	Grundnormen	57
11.2	Stoffnormen	58
11.3	Prüfnormen	59
11.4	Normen für Halbzeuge	60
11.5	Bemessungsnormen	60
11.6	Richtlinien / Merkblätter	60
12	LITERATUR	62
13	ANHANG A: EINFLUSSFAKTOREN (RICHTWERTE) FÜR UNVERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE	A-1
14	ANHANG B: EINFLUSSFAKTOREN FÜR FASERVERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE	A-3
15	ANHANG C: EINFLUSSFAKTOREN FÜR SCHAUMSTOFFE	A-6
16	ANHANG D: BEMESSUNGSWERTE DER EINWIRKUNGEN	A-7
17	ANHANG E: TEILSICHERHEITSBEIWERTE γ_M	A-12
18	ANHANG F: ERLÄUTERUNGEN ZU FASEREIGENSCHAFTEN UND SANDWICKKERNEN	A-13

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4-1:	Unterschiede der Eigenschaften von Duro- und Thermoplasten	13
Tabelle 5-1:	Faktoren k_s zur Ermittlung von $R_{k0,95}$ (bei 75% Aussagewahrscheinlichkeit).....	16
Tabelle 6-1:	Klassen der Last-Einwirkungsdauer (KLED) für Hochbaukonstruktionen ..	20
Tabelle 6-2:	Einteilung der Lasteinwirkungen in (KLED).....	22
Tabelle 8-1:	Übersicht der zu führenden Nachweise und der zugehörigen Einflussfaktoren.....	28
Tabelle 8-2:	Bemessungswert C_d der Durchbiegung	36
Tabelle 10-1:	Art und Umfang der Probenentnahme von Ausgangsstoffen für Halbzeuge sowie Verbindungsmittel.....	49
Tabelle 10-2:	Prüfung der erhärteten Produkte (Halbzeug)	50
Tabelle A-1:	Einflussfaktor A_1^f , A_1^E bzw. A_1^D infolge Belastungsdauer von 20 Jahren.....	A-1
Tabelle A-2:	Einflussfaktor A_2^f , A_2^E bzw. A_2^D infolge Medieneinfluss für Deponiebauwerke.....	A-1
Tabelle A-3a:	Einflussfaktor A_3^f , A_3^E bzw. A_3^D infolge Temperatureinfluss bei 40° C.....	A-1
Tabelle A-3b:	Einflussfaktor A_3^f , A_3^E bzw. A_3^D infolge Temperatureinfluss bis zur Anwendungsgrenze.....	A-2
Tabelle B-1a:	Einflussfaktor A_1^f infolge Belastungsdauer von 20 Jahren (Bezeichnungen M, MW, FM und FMU gemäß DIN 18820)	A-3
Tabelle B-1b:	Einflussfaktor A_1^E und A_1^D infolge Belastungsdauer von 20 Jahren (Bezeichnungen M, MW, FM und FMU gemäß DIN 18820)	A-4
Tabelle B-2:	Einflussfaktor A_2^f , A_2^E bzw. A_2^D infolge Medieneinfluss	A-5
Tabelle C-1:	Einflussfaktor A_1^f , A_1^E infolge Belastungsdauer	A-6
Tabelle C-2:	Einflussfaktor A_2^f , A_2^E infolge Freibewitterung über 25 Jahre durch Deckschichten geschützt	A-6
Tabelle C-3:	Einflussfaktor A_3^f , A_3^E infolge Temperatureinfluss.....	A-6
Tabelle D-1:	Teilsicherheitsbeiwerte γ_E der Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit.....	A-8
Tabelle D-2:	Kombinationsbeiwerte ψ für den Hochbau (DIN 1055-100).....	A-9
Tabelle D-3:	Kombinationsbeiwerte ψ für Straßenbrücken (DIN FB 101)	A-10
Tabelle D-4:	Kombinationsbeiwerte ψ für Fußgänger und Radwegbrücken (DIN FB 101)	A-10
Tabelle E-1:	Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte γ_M im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Vorschläge des Arbeitskreises).....	A-12
Tabelle F-1:	Fasereigenschaften	A-13
Tabelle F-2:	Mechanische Eigenschaften einiger Polymer-Hartschäume für Sandwichkerne (Richtwerte).....	A-13

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1: Ermittlung der vorhandenen Sicherheit	5
Abbildung 3-2: Einwirkungskollektiv im Bemessungszeitraum t_R	7
Abbildung 3-3: Beispiel einer Lebensdauerlinie (Zeitstandbeanspruchbarkeit) am Beispiel GFK.....	8
Abbildung 3-4: Anwendung der Gleichung 3.1 für 2 Einwirkungen und Ermittlung der Neigung der Zeitstandgeraden für faserverstärkte duroplastische Produkte	9
Abbildung 3-5: Bemessung am Ende des Bemessungszeitraumes t_R am Beispiel GFK.....	10
Abbildung 6-1: E-Modul und Festigkeit ausgewählter Kunststoffe in Abhängigkeit der Temperatur [27], [47]	24
Abbildung 8-1: Abhängigkeit des Einflussfaktors A_1 von dem Tabellenwert $A_{1,20J}$. und der akkumulierten Last-Einwirkungsdauer t_a	29
Abbildung 8-2: Quotient des Einflussfaktors $1/A_1$ im doppelt-logarithmischen Maßstab, gerade Kurvenverläufe	29
Abbildung 8-3: Versagensarten einer Laminatschicht entsprechend den Gleichungen 8.9 und 8.10 [35], VDEI RiLi 2019, Blatt 3	32
Abbildung 8-4: Stabwerkmodell zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraubenverbindung [33]	37
Abbildung 8-5: Typische Versagensmechanismen für geschraubte Verbindungen in GFK.....	38
Abbildung 8-6: Scherfuge in einem pultrudierten Flachprofil mit zweischrittiger Verklebung unter zentrischer Zugkraft	41
Abbildung 8-7: Interaktion in der Klebefuge	41

Zeichenerklärungen

Sämtliche im Folgenden nicht angegebenen Formelzeichen sind der DIN EN 1990 bzw. DIN 1055-100 zu entnehmen.

Physikalische Kenngrößen

E	Elastizitätsmodul (Kurzzeitkennwert)
G	Schubmodul
K	Kompressionsmodul
ν	Querdehnzahl
σ	Spannung
τ	Schubspannung
γ	Schubverzerrung
ε	Dehnung
σ_t	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 Umlenkkraft
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
γ	Teilsicherheitsbeiwert (stets mit Fußzeiger)
$\gamma_{E,i}$	Teilsicherheitsbeiwert der i -ten Einwirkung
γ_M	Teilsicherheitsbeiwert für die Widerstandsgrößen
ψ	Kombinationsbeiwert
δ	Glasmassenanteil (entspricht ψ 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}
Pf	Versagenswahrscheinlichkeit
S_e	Ersatzbeanspruchung für den Bruchzustand
S_{RK}	Charakteristischer Widerstand am Ende des Bemessungszeitraums
μ_R	Mittelwert einer Widerstandsgröße
σ_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

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>mean</i>	Mittelwert
0	Winkel 0° zwischen Kraft- und Faserrichtung bzw. Verstärkungsrichtung
90	Winkel 90° zwischen Kraft- und Faserrichtung bzw. Verstärkungsrichtung
<i>cr</i>	kritisch
<i>el</i>	elastisch
<i>max</i>	maximal
<i>inf</i>	unterer Wert
<i>sup</i>	oberer Wert
<i>N</i>	Normalkraft
<i>B</i>	Biegung
τ	Schub

Hochzeiger

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

Weitere Begriffe und Formelzeichen werden bei Verwendung erläutert.

1. Anwendungsbereich und Anwendungsbedingungen

1.1 Allgemeines

(1) Diese Empfehlungen sind anzuwenden für den Entwurf und die Bemessung tragender Konstruktionen des Hoch- und Ingenieurbaus, die ganz oder teilweise aus Duroplasten oder Thermoplasten bestehen.

(2) Nicht in den Anwendungsbereich dieser Empfehlungen fallen u. a.:

- Elemente mit bauaufsichtlicher Zulassung (z.B. Dübel, Lager aus Elastomere)
- Hilfsbauteile für rein konstruktive Zwecke
- Schaumstoff-Leichtbeton, kunststoff- oder textilibewehrter Beton

1.2 Temperaturbereich

(1) Bei der Materialauswahl (speziell der Harze) ist auf die Temperaturen im Einsatzbereich zu achten.

1.3 Materialkennwerte

(1) Bei der Berechnung von Bauteilen sind neben den Teilsicherheitsbeiwerten der maßgeblichen Kurzzeitkennwerte auch die Einflüsse der Zeit, des Mediums, einer nicht ruhenden Beanspruchung sowie der Temperatur bei der Ermittlung der charakteristischen Werte zu berücksichtigen.

1.4 Dichtheit

(1) Ein Nachweis der Wasser- bzw. Gasdichtheit ist zu führen, wenn es aus Umweltschutzgründen oder zur Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit des Bauteils notwendig ist.

1.5 Brandverhalten und erhöhte Temperaturen

Kunststoffe haben ein temperaturabhängiges Verhalten und sind aufgrund ihres organischen Aufbaus generell brennbar. Für die einzelnen Regelungen werden folgende Temperaturbereiche betrachtet:

- Normaltemperatur von minimal -20°C (bei Duroplasten -30°C), bis maximal 40°C
- erhöhte Temperatur bis zur Anwendungsgrenze
- hohe Temperatur über der Anwendungsgrenze (Brandfall)

Die Anwendungsgrenze ist eine für jeden Kunststoff individuell unterschiedliche Temperatur, bei der irreversible chemische Zersetzungsvorgänge beginnen bzw. die Elastizität des Materials überproportional abnimmt.

1.6 Toxizität

(1) Die Toxizität (Grad der schädigenden Wirkung in Abhängigkeit von der Art der Einwirkung, Umweltschutz) regelt DIN 53436.

1.7 Resistenz gegen Säure und Laugen

(1) Die Resistenz der Materialien gegen Säuren und Laugen ist gegebenenfalls nachzuweisen. Für glasfaserverstärkte Kunststoffe aus GF-UP und GF-PHA regelt dies DIN 18820-3. Bei PE-HD gilt das Beiblatt 1 der DIN 8075.

1.8 Anwendungsbedingungen

(1) Die Anwendung dieser Empfehlungen setzt eine entsprechende Qualifikation und Sorgfalt der Tragwerksplaner und Ausführenden, der Prüfsingenieure und Überwachenden voraus. Die Bemessungsverfahren sind nur dann gültig, wenn die Anforderungen an die Bauausführung nach Abschnitt 9 und 10 erfüllt sind.

1.9 Nicht genormte Baustoffe

(1) Kommen Werkstoffe zur Anwendung, die nicht geregelt sind, dann sind die Werkstoffkennwerte durch eine dafür kompetente Materialprüfanstalt oder gleichwertige Institution experimentell zu ermitteln. Die Ergebnisse sind hinsichtlich der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit für die geplante Konstruktion oder die Bauteile gutachterlich zu bewerten.

(2) Es wird empfohlen die Vorgehensweise zur Ermittlung der Werkstoffkennwerte rechtzeitig mit der für die Bauaufsicht zuständigen Stelle und die Schritte im Zuge des Genehmigungsverfahrens mit der Bauaufsicht selbst abzustimmen.

1.10 Nichtruhende Belastungen / Beanspruchungen

Bauteile mit nichtruhender Belastung / Beanspruchung sind gesondert nachzuweisen. Die Ermüdungsfestigkeit bedarf einer gesonderten Untersuchung im Einzelfall.

2. Bautechnische Unterlagen

2.1 Art der bautechnischen Unterlagen

(1) Zu den bautechnischen Unterlagen gehören die wesentlichen Zeichnungen, die statische Berechnung und eine ergänzende Baubeschreibung sowie etwaige Zulassungs- und Prüfbescheide.

2.2 Zeichnungen

(1) Die tragenden Bauteile, ihr Querschnittsaufbau sowie alle Einbauteile und Verbindungen sind zeichnerisch eindeutig und übersichtlich darzustellen und zu vermaßen. Die Darstellungen müssen mit den Angaben in der statischen Berechnung übereinstimmen und alle Maße, die für die Ausführung der Bauteile und für die Prüfung der Berechnungen erforderlich sind, enthalten.

(2) Auf den Ausführungsplänen ist insbesondere anzugeben:

- Art der Kunststoffe, der Reaktionsharze und der Zusatzstoffe
- Art und Aufbau der Verstärkungswerkstoffe
- Aufbau der Oberflächen- und Chemieschutzschichten
- Angabe der Dicken zu den Gesamt- und Teilschichten der Lamine mit den dazugehörigen Toleranzen
- Angabe des Herstellungsverfahrens und der dazugehörigen Aushärtungsbedingungen
- Hinweise für das Entformen, die Lagerung, den Transport und die Montage
- Angaben zu den Verbindungsmitteln. Bei Schweißungen gehören dazu Einzelheiten der Schweißnahtvorbereitung und zum Aufbau der Nähte.

(3) Für den Zusammenbau der Bauteile sind Montagepläne anzufertigen.

(4) Die Übereinstimmung der statischen Berechnung und der Ausführungspläne ist verantwortlich festzustellen.

2.3 Statische Berechnung

(1) Die Standsicherheit bzw. die ausreichende Bemessung einer Konstruktion und ihrer Bauteile sowie die Gebrauchstauglichkeit sind in der statischen Berechnung übersichtlich und prüffähig nachzuweisen. Die Bearbeitung muss durch einen Ingenieur erfolgen, der für Kunststoffbauteile im Bauwesen entsprechende Erfahrungen hat.

(2) Die statische Berechnung muss ausreichende Angaben enthalten zu:

- Nutzungsdauer der Konstruktion
- Größe und Zeitdauer der Einwirkungen, z. B. auch den auftretenden Temperaturen, den Umweltbedingungen und den Druckverhältnissen
- verwendeten Kunststoffen, Reaktionsharzen, Verstärkungsmaterialien und Zusatzstoffen
- gewählten Herstellungsverfahren
- vorgenommenen Idealisierungen zum statischen System für den Bau- und Endzustand
- Kenndaten des Baugrundes und/oder der Hinterfüllung
- Verbindungsmitteln.

(3) Es sind die Grundlagen zur Berechnung der Verformungen, Spannungen und Schnittgrößen aus den Einwirkungen sowie für die Erfassung der Zeit-, Temperatur- und Medienabhängigkeit zu erläutern.

(4) Die statische Berechnung ist in einer Form aufzustellen, die es gestattet, den Einfluss außergewöhnlicher Einwirkungen oder Zwängungen nachträglich mit einfachen Hilfsmitteln festzustellen (ggf. Einflusslinien, Schnittgrößen infolge Einheitslasten).

(5) In den Nachweisen sind baupraktisch unvermeidliche Toleranzen bei Herstellung und Montage zu berücksichtigen. Das gilt insbesondere für alle beanspruchungserhöhenden Einflüsse (Bohrungen, Randausschnitte unter Berücksichtigung von Eckausrundungen, Einspannungen, Deformationen der Unterstützungsstruktur, Temperaturdehnungen, Lagerexzentrizitäten, Montagezwängungen).

(6) Ergeben sich statische Wechselwirkungen der Bauteile aus Kunststoffen zu Bauwerken oder Bauteilen aus anderen Baustoffen, die an anderer Stelle technisch bearbeitet werden, so ist vom Bauherrn des gesamten Bauvorhabens ein technischer Koordinator einzusetzen.

(7) Wechselwirkungen zwischen Bauwerk und Baugrund bzw. Hinterfüllung sind aufzuzeigen und, wenn statisch von Bedeutung, rechnerisch zu verfolgen. Dazu sind ausreichende Baugrundaufschlüsse sowie Aussagen eines Baugrundsachverständigen zu den bodenphysikalischen Kennwerten Voraussetzung (Gründungsbeurteilung).

(8) Um für die Ausführungsunterlagen eine gesicherte Grundlage zu haben, ist es erforderlich, dass die übersichtlich zusammengestellten Lastannahmen vom späteren Nutzer des Bauwerks bestätigt werden. Das gilt insbesondere für Verkehrslasten, Drücke, Temperaturen, Beanspruchungen infolge Korrosion sowie für Einwirkungen oder Widerstände aus Schüttgütern und Hinterfüllungen.

2.4 Baubeschreibung

(1) Angaben, die für die Herstellung des Bauteils, die Prüfung der Zeichnungen und der statischen Berechnungen notwendig sind, insbesondere die aus den vorgenannten Unterlagen nicht ohne weiteres entnommen werden können, müssen in einer Baubeschreibung enthalten und erläutert sein. Für Bauteile, die im Werk hergestellt und auf einer Baustelle zu Konstruktionen zusammengesetzt werden, sind beispielsweise detaillierte Angaben zur Lagerung, zum Transport und zur Montage der Bauteile erforderlich.

3. Sicherheitskonzept

3.1 Allgemeines

(1) Alle Konstruktionen, deren Versagen eine Gefährdung von Menschen oder Sachen darstellen kann, bedürfen eines Nachweises ausreichender Tragfähigkeit. Üblicherweise werden in der praktischen Tätigkeit eines Ingenieurs die in Normen und Regelwerken festgeschriebenen Sicherheitsbeiwerte zur Erfüllung o.g. Anforderungen verwendet. Prinzipiell gilt, dass für eine Konstruktion die möglichen Schadensszenarien betrachtet und die Eintrittswahrscheinlichkeit durch verschiedene Maßnahmen so begrenzt werden, dass das resultierende Risiko akzeptabel klein ist. Für übliche Bauwerke sind die anzustrebenden Versagenswahrscheinlichkeiten der GruSiBau [8] zu entnehmen. Sind bei dem Versagen besondere Gefahren wie Umweltgefährdung, chemische Verunreinigung u. a. zu befürchten, reicht das versagenswahrscheinlichkeits-orientierte Vorgehen der GruSiBau [8] nicht aus. Es muss das resultierende Risiko begrenzt werden. Abbildung 3-1 zeigt das Vorgehen stark vereinfacht.

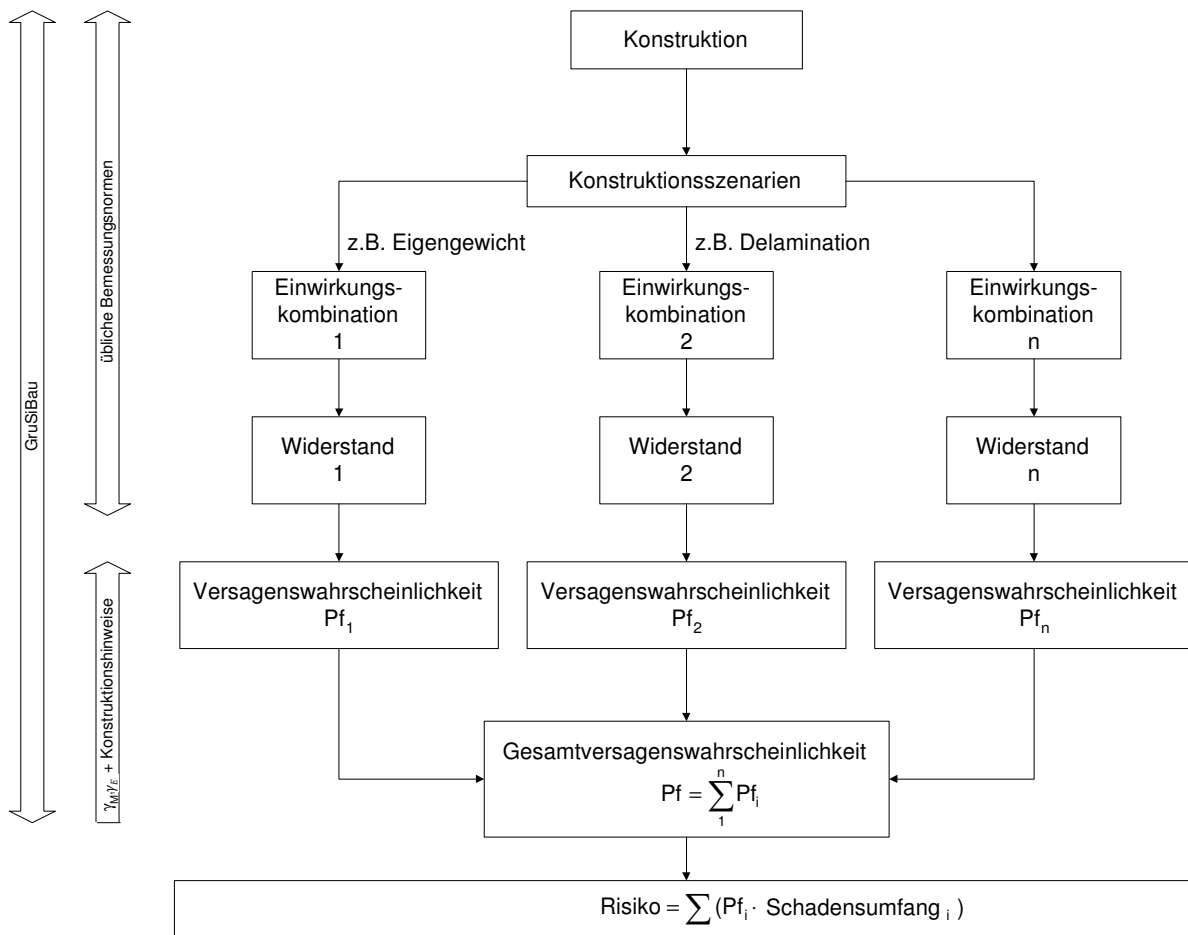


Abbildung 3-1: Ermittlung der vorhandenen Sicherheit

(2) Die dem Ingenieur bereitzustellenden Instrumente sollten möglichst einfach sein, jedoch wichtige Systemeigenschaften beinhaltende Maßnahmen umfassen.

3.2 Sicherheitsnachweis

(1) Zielsetzung einer ausreichenden Bemessung in Form eines Sicherheitsnachweises ist es sicherzustellen, dass die Konstruktion während ihrer planmäßigen Nutzungsdauer mit ausreichender Wahrscheinlichkeit den Einwirkungen widersteht.

(2) Für die Bemessung von tragenden Kunststoffbauteilen hat sich der Einsatz von Teilsicherheitsbeiwerten (gesplittet nach Widerstand und Einwirkungen) bei gleichzeitiger Formulierung von material- und konstruktionsspezifischen Ausführungshinweisen als sicher und wirtschaftlich herausgestellt. Zu berücksichtigen ist insbesondere der von der Dauereinwirkung abhängige Einfluss auf den Widerstand. Die rechnerischen Beanspruchungen (unter Berücksichtigung aller Einwirkungen) müssen unterhalb der Zeitstand- bzw. Lebensdauerlinie liegen, welche die Widerstandscharakteristik wiedergibt. Für kurzzeitig wirkende Lasten kann ein weiterer Kurzzeitanachweis erforderlich werden, wenn, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben, mit Einflussfaktoren gearbeitet wird. Bei Anwendung der Schadensakkumulationsregel, wie im Abschnitt 3.4 beschrieben, ist dies nicht erforderlich. Es können beide Nachweise in einen überführt werden. Alle im Versuch zur Ermittlung der Zeitstandfestigkeit realisierten Einflüsse spiegeln sich in der ermittelten Zeitstandlinie wieder. Einflüsse, die nicht berücksichtigt werden konnten, müssen zusätzlich mit genügender Sicherheit, mit Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für nicht ruhende Lasten, die in erster Linie die Neigung der Zeitstandlinie beeinflussen.

(3) Für Bauteile aus Kunststoff werden Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen in Tabelle D-1 empfohlen (siehe auch Abschnitt 6). Für die Widerstandsseite werden die charakteristischen Werte und die Modifikationsfaktoren A_{mod} zur Erfassung der Dauer der Einwirkungen, der vorhandenen Temperatur und des umgebenden Mediums in Abschnitt 5 definiert.

(4) Die zugehörigen Konstruktionshinweise, die Teil des Sicherheitskonzepts sind, befinden sich in Abschnitt 9.

3.3 Nachweisverfahren – Regelverfahren

(1) Die Nachweise sollen bewirken, dass zu jedem kritischen Zeitpunkt die einwirkenden Spannungen, die während der planmäßigen Nutzungsdauer erwartet werden, in Verbindung mit der Einwirkungszeit mit genügender Wahrscheinlichkeit den Grenzwert der Tragfähigkeit nicht überschreiten, der durch die Zeitstand- bzw. Lebensdauerlinie (zeitabhängige Beanspruchbarkeit) vorgegeben ist.

(2) Die nachfolgenden Regeln stellen ein Verfahren für den Kurzzeit- und Zeitstandfestigkeitsnachweis von Bauteilen dar.

(3) Da sich bei Kunststoffen die Widerstandscharakteristik durch die Einwirkungsgeschichte des Bauteils ändert, müssen die Versagenswahrscheinlichkeiten infolge der zeitabhängigen Einwirkungen mit einer Schadensakkumulationsregel berücksichtigt werden. Dies geschieht vereinfachend mit Einflussfaktoren. Dieser Regelnachweis ist in Abschnitt 8 ausführlich dargestellt.

3.4 Nachweisverfahren auf Basis einer Schadensakkumulation

3.4.1 Allgemeines

(1) Mit Kenntnis der statistischen Werte der einwirkenden Spannungen und der Widerstände der Kunststoffe (Zeitstandverhalten, Verhalten bei Einwirkung von nicht ruhenden Lasten usw.) kann ein genauerer Nachweis, als im Regelnachweis beschrieben, geführt werden. Die im Abschnitt 3.4.4 vorgestellte Schadensakkumulationsregel ist Grundlage dieses genaueren Nachweises unter Zugrundelegung

von Versuchsergebnissen, entsprechend Abschnitt 5.1, Materialprüfungen, zur Ermittlung einer Zeitstand- bzw. Lebensdauerlinie (Beanspruchbarkeit).

(2) In der für die Bemessungssituation formulierten Grenzzustandsgleichung können unter Zugrundelegung der Begrenzung der maßgebenden Versagenswahrscheinlichkeit die exakten Teilsicherheitsbeiwerte ermittelt werden. Dicht an der Zeitstand- bzw. Lebensdauerlinie liegende und stark streuende Einwirkungen ergeben eine große Versagenswahrscheinlichkeit. Wenig streuende und in großer Entfernung liegende Einwirkungen weisen eine niedrige Versagenswahrscheinlichkeit auf. Eine Abschätzung der erforderlichen Teilsicherheitsbeiwerte für eine angestrebte, genügend geringe Versagenswahrscheinlichkeit ist erforderlich. Hierzu kann die Schadensakkumulationsregel mit den empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerten nach Anhang D genutzt werden.

3.4.2 Zeitstandsbeanspruchung im Hinblick auf die Lebensdauer (Einwirkungen)

(1) Die theoretische Lebensdauer eines Bauteils, gerechnet als Zeitspanne der Beanspruchung bis zum Versagen, hängt hauptsächlich ab von:

- der Art, Größe und Dauer der Einwirkungen
- der Temperatur
- dem umgebenden Medium
- den nicht ruhenden Lasten (z. B. den Schwingungen hervorgerufen durch Wind, Wellen oder akustische Erregung usw.)
- den Konstruktionsgegebenheiten (Bauteilabmessungen, Form, Laminataufbau, Anschlussdetails usw.)

(2) Die für den Zeitstandfestigkeitsnachweis zugrunde gelegte Belastung sollte die normale Zeitstandsbelastung einschließlich nicht ruhender Einwirkungen, Temperatur- und Medieneinfluss möglichst genau wiedergeben.

(3) Die maßgebenden Werte für die einwirkende Zeitstandsbeanspruchung sind in Vorschriften z. B. DIN 1055 geregelt oder können Abschnitt 6 entnommen werden. Die Zeitstandsbelastung kann aus verschiedenen Lastfällen zusammengesetzt werden, die jeweils durch Ort und Größe der Lasten und ihre Häufigkeit beschrieben werden und in einem Kollektiv zusammengefasst sind. Die experimentell nicht erfassten Einflüsse müssen mit Einflussfaktoren geeignet berücksichtigt werden.

(4) Die vollständigen Belastungsfolgen werden sinnvollerweise als Beanspruchungs-Zeit-Verlauf in einem Kollektiv wie folgt dargestellt (Abbildung 3-2). Dieses Kollektiv sollte mindestens in drei Einwirkungsblöcke geteilt werden, in kurzzeitig und mittel-lang wirkende Lasten sowie ständige Lasten.

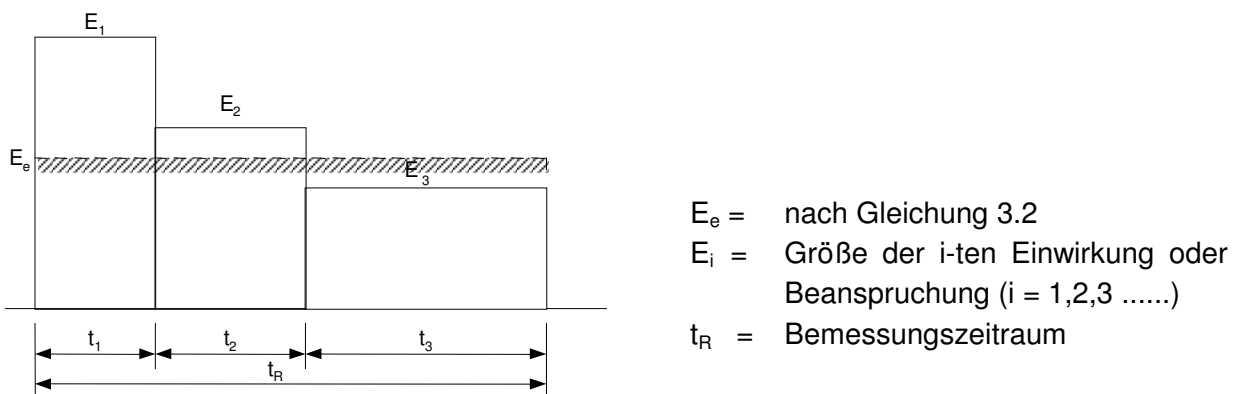


Abbildung 3-2: Einwirkungskollektiv im Bemessungszeitraum t_R

(5) Für kurzzeitige Einwirkungen, für mittellange Einwirkungen und ständige Einwirkungen wie Eigenlasten können die Teilsicherheitsbeiwerte in Anhang D entnommen werden.

(6) Bei höheren Sicherheitsanforderungen wird insbesondere empfohlen, die Kontrollen bei Herstellung und Montage sowie die Überwachung im Betrieb zu verbessern oder höhere Teilsicherheitsbeiwerte einzuführen.

3.4.3 Zeitstandbeanspruchbarkeit im Hinblick auf die Lebensdauer (Widerstand)

(1) Die Zeitstandbeanspruchbarkeit ist durch Versuche als Lebensdauerlinie im log-log-Diagramm darzustellen (Abbildung 3-3).

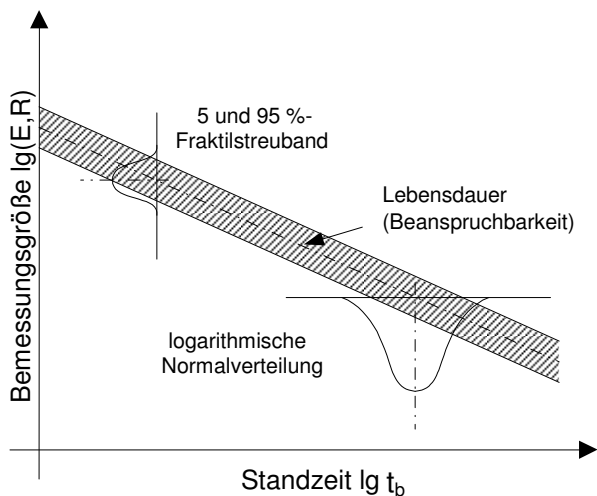


Abbildung 3-3: Beispiel einer Lebensdauerlinie (Zeitstandbeanspruchbarkeit) am Beispiel GFK

(2) Die Zeitstandbeanspruchbarkeit kann unter Zugrundelegung einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 95 % dargestellt werden. Diese ergibt sich sowohl in Zeitrichtung als auch in Beanspruchungsrichtung bei Eintragung paralleler Streubänder. Die unteren Grenzwerte ergeben die charakteristischen Werte des Widerstandes.

(3) Mit den Versuchsproben ist der Beanspruchungszustand in der realen Konstruktion möglichst genau nachzustellen.

(4) Risse und Delaminierungen entstehen oft an Punkten mit Spannungskonzentrationen, hervorgerufen durch abrupte Querschnittsänderungen. Erhebliche Verbesserungen der Zeitstandfestigkeit können durch Reduktion der Spannungskonzentration bewirkt werden (siehe Abschnitt 9, bauliche Durchbildung).

3.4.4 Bemessungsverfahren mit Ersatzbeanspruchung

(1) Der Sicherheitsnachweis beruht auf der Anwendung einer Schadensakkumulationsregel auf Basis der Miner-Regel. Die Schadensakkumulationsregel stellt sich für Wechsellasten (nicht ruhende Lasten) entsprechend der Miner-Regel wie auch für konstante Zeitstandlasten (entsprechend der Robinson-Thaira-Regel) nach dem gleichen Formalismus dar (siehe Gleichung (3.1) und Abbildung 3-4).

$$\sum_{i=1}^n \frac{t_{E,i}}{t_{b,i}} \leq 1 \tag{3.1}$$

mit:

- E_i i-te Beanspruchung infolge äußerer Einwirkungen
- $t_{E,i}$ Einwirkungsdauer auf dem Beanspruchungsniveau E_i
- $t_{b,i}$ ertragbare Zeit auf dem Beanspruchungsniveau E_i

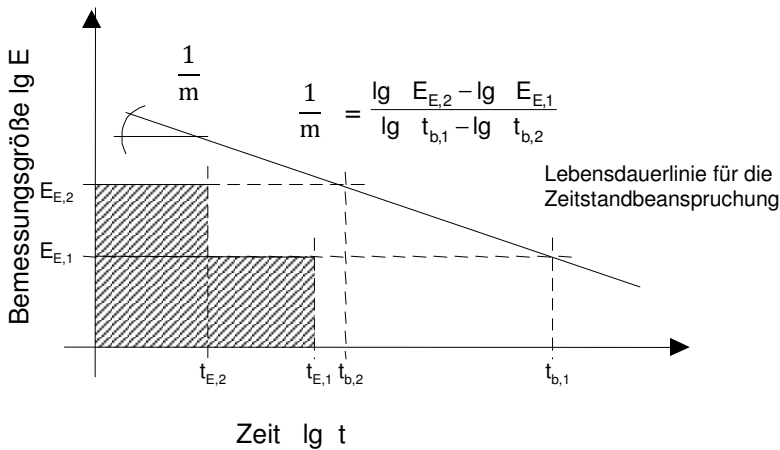


Abbildung 3-4: Anwendung der Gleichung 3.1 für 2 Einwirkungen und Ermittlung der Neigung der Zeitstandsgeraden für faserverstärkte duroplastische Produkte

(2) Ist die Zeitstandsgerade abschnittsweise linear (als Approximation), so ist m_i für die einzelnen Abschnitte zu berechnen und mit den Einwirkdauern zu korrelieren.

(3) Die Einzelschädigungen auf der Stufe verschiedener Beanspruchungen E_i können summiert und in eine schadensgleiche konstante Beanspruchung E_e umgerechnet werden. Gleichung (3.2) zeigt die Berechnung der Ersatzbeanspruchung für den Nutzungszeitraum t_R .

$$E_e = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (\gamma_{E,i} \cdot E_i)^{m_i} \cdot t_{E,i}}{t_R} \right\}^{\frac{1}{m^*}} \tag{3.2}$$

mit:

- E_e Ersatzbeanspruchung auf der Ebene des Bruchzustandes
- E_i i-te Beanspruchung infolge äußerer Einwirkungen
- $t_{E,i}$ Einwirkungsdauer auf dem Beanspruchungsniveau E_i
- t_R Bemessungszeitraum
- $\gamma_{E,i}$ Teilsicherheitsbeiwert der i-ten Einwirkung
- m_i Neigung der Zeitstandsgeraden im doppellogarithmischen Maßstab für den intern Abschnitt
- m^* Für eine Zeitstandsgerade gilt $m^* = m - m_i$

Für abschnittsweise lineare Zeitstandlinien wird m^* als Mittelwert aller m_i eingesetzt.

(4) Diese mittels der Schadensakkumulationsregel berechnete Ersatzbeanspruchung E_e , die zu derselben Schädigung des Bauteils geführt hätte, wie die real einwirkenden Beanspruchungen des Einwirkkollektives, wird am Ende des Bemessungszeitraumes der noch vorhandenen Widerstandscharakteristik gegenüber gestellt (Abbildung 3-5).

(5) Es ergibt sich:

$$\gamma_M \cdot A_{mod}^* \cdot \frac{E_e}{E_{R,k}} \leq 1 \quad (3.3)$$

mit:

E_e	Ersatzbeanspruchung für den Bruchzustand (Bemessungswert)
γ_M	Teilsicherheitswert des Widerstandes
$E_{R,k}$	charakteristischer Widerstand am Ende des Bemessungszeitraumes
A_{mod}^*	werkstoffspezifischer Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung von Einflüssen die im Experiment nicht realisiert werden konnten

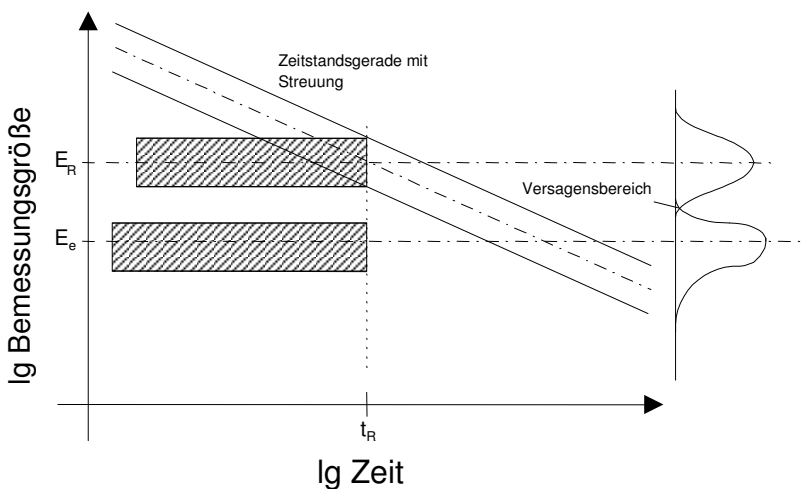


Abbildung 3-5: Bemessung am Ende des Bemessungszeitraumes t_R am Beispiel GFK

3.4.5 Bemessungsverfahren mit Hilfe der Schadensakkumulation

(1) Alternativ zum Nachweis mit Ersatzspannungen (Abschnitt 3.4.4) kann insbesondere bei gekrümmten Widerstandslinien der Nachweis über die Einzelschädigungen erbracht werden (vergl. auch DVS 2205-1).

(2) Die theoretische Lebensdauerlinie stellt sich für glasfaserverstärkte Kunststoffe mit duroplastischer Matrix in der Regel als Gerade im doppeltlogarithmischen Maßstab dar. Ansonsten sollte sie abschnittsweise als Polygonzug approximiert werden.

(3) Der Nachweis für die Zeitstandbeanspruchung wird anhand der Schädigungen durchgeführt.

Gleichung (3.4) zeigt den Nachweis in Abhängigkeit von der Zeit.

$$\sum_{i=1}^n \gamma'_{E,i} \cdot \gamma'_M \cdot \frac{t_i(E_i)}{t_{b,i}(E_i)} \leq 1$$

mit:

- $\gamma'_{E,i}$ Teilsicherheitsbeiwert für die i-te Einwirkungen
- γ'_M Teilsicherheitsbeiwert für die Widerstände
bei nicht parallelen Streubändern ist eine besondere Betrachtungsweise notwendig
- E_i i-te Beanspruchung infolge der Einwirkungen
- $t_i(E_i)$ Belastungsdauer auf dem Beanspruchungsniveau E_i
- $t_{b,i}(E_i)$ ertragbare Zeit (Bruchzeitpunkt) auf dem Beanspruchungsniveau E_i (Beanspruchbarkeit)

(4) Da in Gleichung (3.4) andere Teilsicherheitsbeiwerte eingeführt werden, ist der Nachweis in Beanspruchungsrichtung zu bevorzugen. Umgerechnet auf die Beanspruchungsebene ergibt sich Gleichung (3.5)

$$\sum_{i=1}^n \left\{ \left(\gamma_{E,i} \cdot \gamma_M \cdot \frac{E_i}{R_i} \right)^{m_i} \right\}^{\frac{1}{m^*}} \leq 1 \quad (3.4)$$

mit:

- $\gamma_{E,i}$ Teilsicherheitsbeiwert der i-ten Einwirkung
- γ_M Teilsicherheitsbeiwert des Widerstandes
- E_i Beanspruchung infolge der i-ten Einwirkungen
- R_i zugehörige Beanspruchbarkeit aus der Gleichung der Zeitstandbeanspruchung
- m^* Mittelwert der Neigungen des Polygonzuges der Lebensdauerlinie
- m_i Neigung des betrachteten Abschnittes des Polygonzuges der Lebensdauerlinie

(5) Es ist zu beachten, dass Änderungen der Zeitstandbelastung oder der Beanspruchungsverteilung, die z.B. durch nachträgliche Änderung von Details entstehen können, die Lebensdauer reduzieren und deshalb einen neuen Zeitstandfestigkeitsnachweis notwendig machen (siehe auch Abschnitt 9).

4. Ausgangsstoffe

4.1 Allgemeines

(1) Die Auswahl eines Kunststoffes bzw. Verbundkunststoffes setzt eine genaue Kenntnis der Ausgangsstoffe, der verwendeten Fertigungsverfahren, der Faserorientierung und der geplanten Einsatzbedingungen voraus.

(2) Im Folgenden werden die Grundwerkstoffe wie Fasern, Kunststoffe und Schaumstoffe kurz erläutert.

4.2 Fasern

4.2.1 Allgemeines

(1) Für Faserverbundkunststoffe, welche als tragende Teile im Baubereich eingesetzt werden, kommen in erster Linie Glas-, Carbon- und Aramid-Fasern zur Anwendung. Die Wahl der Faser hängt im Wesentlichen vom Einsatzgebiet des Faserverbundkunststoffes ab und damit von der erwarteten Medienbelastung (z. B. alkalisches Milieu des Betons), von dem erforderlichen E-Modul und der elektrischen oder thermischen Leitfähigkeit.

(2) Die besonderen Eigenschaften der Fasern werden im Folgenden beschrieben.

(3) Auf die Fasern kann in diesem Zustand noch eine Schlichte zum Oberflächenschutz und zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit und der Verbundeigenschaften (Haftung) mit dem Harz aufgebracht werden.

4.2.2 Glasfasern

(1) Standard E-Glasfasern bestehen im Wesentlichen aus Quarz (SiO_2) und Kalk (CaCO_3). Zur Herstellung der Glasfasern werden die Bestandteile bei ca. 1350°C geschmolzen. Nach einigen Tagen Läuterung wird dann die flüssige Glasmasse durch Düsen abgezogen und verstreckt.

(2) Glasfasern werden von anorganischen Basen und anderen Medien angegriffen und sind daher durch eine wirksame Oberflächenbearbeitung zu schützen. Es wird auf die DIN 18820-3 verwiesen.

(3) Die thermischen und mechanischen Eigenschaften von Glasfasern sind weitestgehend isotrop.

4.2.3 Aramidfasern

(1) Aramidfasern werden aus polymeren Grundmaterialien unter Zugabe von Schwefelsäure (H_2SO_4) gesponnen. Danach werden die Fasern gewaschen und eventuell bei erhöhter Temperatur gereckt.

(2) Die Struktur der Aramidfasern ist aufgrund der eindimensionalen Bindungen der PPD-T Moleküle und des Verstreckens linienförmig. Hierdurch ergibt sich ein anisotropes Verhalten der Fasern.

4.2.4 Carbonfasern

(1) Carbonfasern werden durch Karbonisieren einer Grundfaser, in der Regel einer PAN-Faser, hergestellt.

(2) Der negative Ausdehnungskoeffizient liegt im Normaltemperaturbereich vor. Unter erhöhten und hohen Temperaturen wird dieser positiv.

(3) Carbonfasern besitzen einen hohen E-Modul und eine hohe Festigkeit.

4.3 Kunststoffe

(1) Kunststoffe können eingeteilt werden in:

- Duroplaste (chemisch aushärtende, räumlich vernetzte Reaktionsharze)
- Thermoplaste (Harze, die bei hoher Temperatur erweichen und bei niedriger Temperatur erstarren)
- Elastomere (räumlich schwach vernetzte Harze)

Für Faserverbundwerkstoffe werden im Allgemeinen nur Duroplaste und Thermoplaste eingesetzt. Zu den Duroplasten gehören z.B. ungesättigte Polyesterharze (UP), Epoxidharze (EP) und Vinylesterharz (VE). Thermoplaste, welche bei Faserverbundkunststoffen zur Anwendung kommen, sind z.B. Polyamid (PA), Polycarbonat (PC), Polyoxymethylen (POM).

(2) Bedingt durch die großen Unterschiede in den Eigenschaften der einzelnen Kunststoffe und Harzhersteller kann eine allgemeine Beurteilung nur grob geschehen. Die wesentlichen Unterschiede zwischen Thermo- und Duroplasten sollen durch die Angaben in Tabelle 4-1 beschrieben werden.

Tabelle 4-1: Unterschiede der Eigenschaften von Duro- und Thermoplasten

	Vorteile	Nachteile
Duroplaste	sehr geringe Kriechneigung hohe Temperaturbeständigkeit	keine Möglichkeit des nachträglichen Verformens
Thermoplaste	kurze Zykluszeiten bei der Herstellung Nachträgliche Verformbarkeit des Faserverbundkunststoffes	Erhöhte Kriechneigung

4.4 Schaumstoffe

4.4.1 Allgemeines

(1) Als Kernwerkstoffe in Sandwichkonstruktionen mit Deckschichten aus Faserverbundkunststoffen werden überwiegend Hartschäume auf der Basis von Polyurethan (PUR) eingesetzt, der Einsatz von aufgeschäumten Polyvinylchlorid (PVC) oder Polymethacrylimid (PMI) oder ähnlichen Kunststoffen ist jedoch ebenfalls möglich.

(2) Im Falle der statischen Tragfunktion muss der Schaumstoff eine Mindestdichte von 40 kg/m³ aufweisen.

(3) Vereinfachend können Schäume als isotrop betrachtet werden. Aufgrund des Aufschäumprozesses können sich jedoch Zellorientierungen einstellen, welche zu anisotropem Verhalten führen. Aufgrund des Herstellungsprozesses ergibt sich beispielsweise auch eine unterschiedliche Haftzugfestigkeit an den beiden Deckschichten.

(4) Einige Schaumstoffe werden im Folgenden kurz erläutert.

4.4.2 Polyurethan-Hartschäume (PUR-Schaum)

(1) PUR-Schäume werden üblicherweise durch Vermischen von Polyolen und Isocyanat unter Zugabe eines Treibmittels hergestellt (FCKW-haltige Schäume sind nicht zulässig).

(2) PUR-Schäume sind Duroplaste. Sie besitzen eine mittlere thermische Belastbarkeit bis ca. 80 °C.

(3) Für alleintragende Anwendungen (z. B. Radardome) werden PUR-Schäume mit einem spezifischen Gewicht von bis zu 300 kg/m^3 hergestellt, für Sandwichanwendungen werden spezifische Gewichte von bis zu 100 kg/m^3 verwandt.

(4) Herstellbedingt können PUR-Schäume richtungsabhängige Eigenschaften aufweisen.

4.4.3 Polyvinylchloridschäume (PVC-Schaum)

(1) PVC-Schäume werden aus einer PVC-Schmelze unter Zugabe eines Treibmittels beziehungsweise zusätzlich eines Isocyanat-Vernetzungsmittels hergestellt. Dementsprechend gibt es PVC-Schäume mit vernetzten und unvernetzten Molekülketten. Sie sind jedoch beide thermisch verformbar.

(2) PVC-Schäume besitzen eine relativ hohe Feuerbeständigkeit, dies ist jedoch verbunden mit einer unerwünschten Chlor-Abspaltung.

5 Materialeigenschaften und Bauteile

5.1 Allgemeines

(1) In diesen Empfehlungen wird zwischen drei Bauarten unterschieden:

- Bauarten aus unverstärkten Kunststoffen
- Bauarten aus faserverstärkten Kunststoffen
- Sandwichkonstruktionen mit faserverstärkten Deckschichten

(2) Die Festlegung der Kennwerte für die mechanischen Kurz- und Langzeiteigenschaften setzt eine genaue Kenntnis des Werkstoffes, der verwendeten Fertigungsverfahren und der geplanten Einsatzbedingungen voraus. Die Materialeigenschaften können den in Abschnitt 11 zitierten Normen, oder allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen entnommen werden. Alternativ sind sie durch Versuche unter Beachtung der Ausgangswerkstoffe und der Herstellungsverfahren sowie der Aushärtungs- und Nachbehandlungsbedingungen zu ermitteln. Die Versuchsdurchführung ist mit der Bauaufsicht abzustimmen.

(3) Der charakteristische Wert einer Eigenschaft für den Grenzzustand der Tragfähigkeit - z.B. der Festigkeit f_k - ist der Kurzzeitwert, ermittelt als 5% Fraktile bei 75% Aussagewahrscheinlichkeit. Er wird mit $R_{k0,05}$ bezeichnet. Für die charakteristischen Werte des E-Moduls als Kennwert für die Stabilität und die Dehngrenze darf ohne weiteren Nachweis auf der sicheren Seite liegend von $E_{k0,05}$ und $D_{k0,05}$ ausgegangen werden. Höhere Werte, jedoch maximal $E_{k0,50}$, dürfen auf der Grundlage entsprechender statistischer, bauteilspezifischer Nachweise angesetzt werden.

(4) Der charakteristische Wert einer Eigenschaft für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit - z.B. der E-Modul zur Ermittlung der Durchbiegung- ist der Kurzzeitwert, ermittelt als 50% Fraktile (Mittelwert) bei 75% Aussagewahrscheinlichkeit. Er wird mit $E_{k0,50}$ bezeichnet. Für andere Eigenschaften, wie z.B. die Temperaturdehnzahl, sind als charakteristische Werte ebenfalls die Mittelwerte einzuführen.

(5) Bei der Ermittlung der charakteristischen Werte des Widerstandes aus Versuchen an Prüfkörpern kann die Bestimmung von $R_{k0,05}$ nach Gleichung (5.1) erfolgen. Es muss sich dabei um repräsentative Proben aus der laufenden Produktion handeln, für die die Normalverteilung zugrunde gelegt werden kann. Die Versuchskörpergröße sollte den tatsächlichen Begebenheiten angepasst sein, um starke Schwankungen der Ergebnisse zu vermeiden.

$$R_{k0,05} = \mu_R - k_s \cdot \sigma_R \quad (5.1)$$

Hierin ist:

μ_R Mittelwert einer Widerstandsgröße

σ_R Standardabweichung der Widerstandsgröße

k_s Faktor gemäß Tabelle 5-1 in Anlehnung an Tabelle D-1 der DIN EN 1990 für unbekannte Variationskoeffizienten

Tabelle 5-1: Faktoren k_s zur Ermittlung von $R_{k0,95}$ (bei 75% Aussagewahrscheinlichkeit)

Anzahl der Versuche	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
k_s -Wert	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Die Temperatur, die Belastungsgeschwindigkeit, und die Methoden der Auswertung sind in den jeweiligen Prüfnormen (z.B. DIN EN ISO 527-4, DIN EN ISO 14125) festgelegt.

Für Zeitstandsversuche können die Normen DIN EN ISO 527-4 und DIN EN ISO 899-1 zugrunde gelegt werden.

(6) Wenn keine Zeitstandskurven zur Erfassung der vorhandenen Temperatur und des umgebenden Mediums vorliegen, sind die charakteristischen Werte einer Eigenschaft aus dem Kurzzeitwert unter Normalklima abzumindern.

Rechnerisch wird dazu ein werkstoffspezifischer Wert, der Modifikationsfaktor A_{mod} als Produkt von drei Einflussfaktoren entsprechend den o.g. Einsatzbedingungen gebildet:

$$A_{mod} = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \quad (5.2)$$

wobei A_1 der Einflussfaktor zur Berücksichtigung der Einwirkungsdauer (wie z.B. aus Belastung),
 A_2 der Einflussfaktor zur Berücksichtigung des Medieneinflusses, wie z.B. Bewitterung, Feuchtigkeit, Chemikalien, etc.,
 A_3 der Einflussfaktor zur Berücksichtigung der Umgebungstemperatur nach Abschnitt 5.2 , 5.3 und 5.4 erfasst.

Für einige Kunststoffe sind Richtwerte der Einflussfaktoren in den Anhängen angegeben, dort nicht angegebene Werte sind durch Versuche zu ermitteln.

(7) Der Bemessungswert einer Eigenschaftsgröße zur Ermittlung des Widerstandes ergibt sich dann zu

$$R_d^u = \frac{R_k}{\gamma_M \cdot A_{mod}}$$

Hierin ist: R_d Bemessungswert des Widerstandes
 R_k Widerstand gebildet aus dem charakteristischen Wert einer Eigenschaft und einem Querschnittswert
 γ_M Teilsicherheitsbeiwert nach Abschnitt 5.5

Die Festigkeit ergibt sich damit zu

$$f_d = \frac{f_{k0,05}}{\gamma_M \cdot A_{mod}^f} \quad (5.3)$$

5.2 Unverstärkte Kunststoffe

5.2.1 Thermoplaste

Kennwerte

(1) Die Kennwerte der mechanischen Eigenschaften und die thermischen Kenndaten sind gemäß Abschnitt 5.1 zu ermitteln.

Erfassung der Einsatzbedingungen (rechnerische Abminderung)

- Dauer der Einwirkung

(2) Der Einflussfaktor A_1 erfasst den Einfluss der zeit- und lastabhängigen Verminderung des Festigkeitsverhalten (A_1^f), des E-Moduls (A_1^E) bzw. der Dehngrenze (A_1^D) infolge einer Belastungsdauer bis zu 20 Jahre. Bei einer Belastungsdauer größer 20 Jahre sind die Zeitstandkurven in der DIN EN 1778 zu beachten.

(3) Für eine kurze Belastungsdauer kann der Faktor A_1 der Tabelle A-2 Firmenangaben entnommen bzw. auf der Basis entsprechender Versuche ermittelt werden, sofern diese bauaufsichtlich anerkannt sind. Für außergewöhnliche Kurzzeitbelastungen kann $A_1 = 1$ gesetzt werden.

- Medieneinfluss

(4) Der Einflussfaktor A_2^f , A_2^E bzw. A_2^D erfasst die Abminderungen aus dem Einfluss der Umgebungsmedien und kann für Deponiebauwerke der Tabelle A-2 entnommen werden.

- Temperatureinfluss

(5) Der Einflussfaktor A_3 der Tabellen A-3a und A-3b erfasst den Einfluss einer erhöhten Umgebungstemperatur auf das Festigkeitsverhalten (A_3^f), den E-Modul (A_3^E) bzw. die Dehngrenze (A_3^D).

(6) Zwischenwerte der Einflussfaktoren gemäß Anhang A können bei Bedarf linear interpoliert werden, wobei für Temperaturen zwischen -20 °C und $+20\text{ °C}$ $A_3 = 1$ gesetzt werden kann.

(7) Sind ständige Betriebstemperaturen $T > 40\text{ °C}$ zu erwarten, dann ist durch Materialprüfung des Werkstoffes der notwendige Einflussfaktor zu ermitteln.

5.2.2 Duroplaste

(1) Im Bauwesen werden unverstärkte Duroplaste in der Regel nur für nicht tragende Konstruktionen und Beschichtungen eingesetzt, auf eine Beschreibung der Kennwerte und Materialeigenschaften wird darum hier verzichtet.

(2) Einflussfaktoren zur Erfassung der Einsatzbedingungen sind jedoch in den Tab. A-1, A-2 und A-3b angegeben.

5.3 Faserverstärkte Kunststoffe

5.3.1 Vorbemerkungen

(1) Um eine Verstärkungswirkung durch Fasern zu erreichen, muss die Steifigkeit und Festigkeit der Faser höher sein als die des Harzes. Dies ist bei allen gängigen Fasertypen gegeben. Im Baubereich werden in erster Linie glasfaserverstärkte Duroplaste (UP, PHA, EP) verarbeitet.

(2) Für Glasfaserlamine in Verbindung mit ungesättigten Polyesterharzen (UP) und Phenacrylatharzen (PHA) sind Kennwerte genormt (DIN 18820). Diese Kennwerte sind in Abschnitt 5.3.2 eingearbeitet.

5.3.2 Glasfaserverstärkte Lamine mit Duroplasten

Kennwerte

(1) Grundlegende mechanische und thermische Kurzzeitkennwerte für Lamine aus textilglasverstärkten und ungesättigten Polyester- und Phenacrylatharzen können DIN 18820 entnommen werden oder sind analog Abschnitt 5.1 zu ermitteln.

(2) Bei der Verwendung von anderen Harz-Faser-Kombinationen und bei nicht in der Norm erfassten Einsatzbedingungen (z.B. kombinierten Einwirkungsmedien) sind in der Regel Untersuchungen gemäß Abschnitt 5.1 durchzuführen.

Erfassung der Einsatzbedingungen (rechnerische Abminderung)

- Dauer der Einwirkung

(3) Der Einflussfaktor A_1 berücksichtigt den Einfluss der langzeitigen Lasteinwirkung auf die Festigkeit (A_1^f), den E-Modul (A_1^E) bzw. die Dehngrenze (A_1^D) auf das Bauteil. Er ist stets mit $A_1 \geq 1,0$ anzusetzen.

(4) Für eine kurze Belastungsdauer kann der Faktor A_1 ($\geq 1,0$) auf der Basis entsprechender Versuche ermittelt oder im doppelt-logarithmischen-Maßstab aus Langzeitwerten linear interpoliert werden. Für außergewöhnliche, kurzzeitig wirkende Belastungen kann $A_1 = 1$ gesetzt werden (siehe Abschnitt 6).

- Medieneinfluss

(5) Die Einwirkung der umgebenden Medien hat einen unterschiedlichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften von glasfaserverstärkten Kunststoffen. Der Einflussfaktor A_2 enthält die sich daraus ergebenden Abminderungen aus dem Einfluss der Umgebungsmedien auf das Festigkeitsverhalten, den E-Modul bzw. die Dehngrenze.

(6) Bei aggressiven Medien gemäß DIN 18820 kann beim Aufstellen in geschlossenen Räumen $A_2 = 1,0$ bzw. im Freien $A_2 = 1,2$ bis $1,3$ gesetzt werden. Genauere Angaben hierzu siehe Abschnitt 4.3 der DIN 18820-3. Die Anordnung einer Chemie-Schutz-Schicht (CSS) ist dann zwingend erforderlich. Sie zählt nicht zum tragenden Laminat und muss gemäß Tabellen 5 und 6 der DIN 18820-3 hergestellt werden.

- Temperatureinfluss

(7) Die mechanischen Kennwerte sind in starkem Maße von der einwirkenden Temperatur abhängig. Mit steigender Temperatur nehmen E-Modul und Festigkeit stetig ab, Verformungen nehmen dagegen zu. Der Einflussfaktor A_3 berücksichtigt den Einfluss einer erhöhten Umgebungstemperatur auf das Festigkeitsverhalten, den E-Modul bzw. die Dehngrenze. Es ist stets $A_3 \geq 1,0$ einzuhalten.

(8) Bei einer Betriebstemperatur $T > 60$ °C ist der Einflussfaktor mit $A_3 \geq 1,4$ anzusetzen, sofern keine anderen Ergebnisse bekannt sind. Sind ständige Betriebstemperaturen $T > 60$ °C zu erwarten, dann ist durch Materialprüfung des glasfaserverstärkten Kunststoffes der notwendige Einflussfaktor zu ermitteln.

- Weitere Abminderung des E-Modules

(9) Werden ungetemperte Lamine (nur MW, FM und FMU, nicht M) verwendet, so sind die Zug- und Biege-E-Module für die Ermittlung der Verformungen und Dehnungen auf 90% der in DIN 18820 für Mattenlamine ausgewiesenen Richtwerte abzumindern, wobei die o.g. Einflussfaktoren entsprechend zu wählen sind.

(10) Für Wickellamine (nur FM) sind bei einer Zugbelastung mit $\epsilon_t > 0,2\%$ quer zur Wickelrichtung die E-Module für die Ermittlung der Verformungen und Dehnungen auf 70 bis 80% der in DIN 18820 ausgewiesenen Richtwerte abzumindern, wobei die o.g. Einflussfaktoren entsprechend zu wählen sind. Genauere Angaben hierzu siehe Tabelle 8 der DIN 18820-2.

5.4 Sandwichkonstruktionen

(1) Die mechanischen Eigenschaften einiger in Sandwichkonstruktionen verwendeter Hartschäume sind in Tabelle F-2 in Anhang F aufgelistet. Es handelt sich hierbei um Richtwerte für die Mittelwerte.

Kennwerte

(2) Das Verhalten der Sandwichkonstruktionen wird maßgebend bestimmt durch das Verhalten der Deck- und Kernschichten sowie durch den Verbund zwischen diesen Schichten. Die mechanischen Eigenschaften einiger in Sandwichkonstruktionen verwendeten Hartschäume sind in Tabelle F-2 aufgelistet. Es handelt sich hierbei um Richtwerte für die Mittelwerte. Im Allgemeinen sind bei der Ermittlung der Festigkeits- und Verformungseigenschaften nach Abschnitt 5.1 (3) die Besonderheiten der Schaumstoffe im Aufbau des Zellgerüsts und der Zusammensetzung des Zellgases zu beachten.

- Dauer der Einwirkung

(3) Der Einflussfaktor A_1 erfasst für die Hartschäume den Einfluss der langzeitigen Einwirkungen auf die Schub- und Druckfestigkeit (A_1^f) und den Schub- und Druckmodul ($A_1^{G,E}$). Dabei ist die unterschiedliche Rohdichte zu berücksichtigen. Im Anhang C Tabelle C-1 sind einige Beiwerte für den Schaumstoff PUR in Abhängigkeit von der Belastungsdauer angegeben.

- Medieneinfluss

(4) Der Einflussfaktor A_2 berücksichtigt allgemein die Veränderungen in den mechanischen Eigenschaften der Hartschäume durch einwirkende Medien. Der Schaumstoffkern ist jedoch durch die Deckschichten gegen Medieneinflüsse, wie z.B. die Witterung, weitgehend geschützt. Insbesondere über offene Begrenzungsflächen können jedoch durch Zellgasaustausch die mechanischen Eigenschaften verändert werden. Im Anhang C Tabelle C-2 ist ein Beiwert für die Freibwitterung für den Schaumstoff PUR aufgeführt.

- Temperatureinfluss

(5) Der Einflussfaktor A_3 erfasst den Einfluss der Temperatureinwirkung auf die Schub- und Druckfestigkeit (A_3^f) und den Schub- und Druckmodul ($A_3^{G,E}$). Durch die Farbe / Art der vorhandenen Deckschichten wird die Temperatureinwirkung von außen, wie z.B. durch Sonneneinstrahlung, beeinflusst. Die Kerntemperatur sollte $T=80^\circ\text{C}$ nicht überschreiten. Im Anhang C Tabelle C-3 sind einige Beiwerte für den Schaumstoff PUR für verschiedene Temperaturen angegeben.

5.5 Bemessungswert des Widerstandes

(1) Im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann für den Elastizitätsmodul (E) und die Dehngrenze (D) einheitlich mit $\gamma_M = 1,0$ gerechnet werden. Sollen die Unsicherheiten in den geometrischen Eigenschaften und im Tragwiderstandsmodell mit berücksichtigt werden, so ist $\gamma_M = 1,1$ zu setzen.

Im Übrigen sind für die Ermittlung der Bemessungswerte auf der Widerstandsseite im Grenzzustand der Tragfähigkeit die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M der Tabelle E-1 zu berücksichtigen und die Einflussfaktoren A_1 , A_2 und A_3 der Tabellen im Anhang zu beachten.

6 Einwirkungen

6.1 Allgemeines

(1) Bei den Einwirkungen wird zwischen direkten und indirekten Einwirkungen unterschieden. Direkte Einwirkungen sind Lasten, die auf das Tragwerk wirken; indirekte Einwirkungen sind eingeprägte Verformungen (z.B. Klimabedingungen, Herstellungsbedingungen, Setzung des Baugrundes), die bei statisch unbestimmten Tragwerken zu Schnittgrößen führen.

Ferner werden die Einwirkungen, entsprechend ihrer Veränderlichkeit mit der Zeit, klassifiziert nach:

- ständigen Einwirkungen (G)
- veränderlichen Einwirkungen (Q)
- außergewöhnlichen Einwirkungen (A)

(2) Hinsichtlich der Einwirkungsdauer können die Einwirkungen in "Klassen der Lasteinwirkungsdauer" eingeteilt werden. Für Kunststoffbauteile ist die Größenordnung der akkumulierten Dauer der charakteristischen Einwirkung in Anlehnung an DIN 1052 (12.2008) in den Tabellen 6-1 und 6-2 angeben. Vereinfacht dürfen Einwirkungen ohne Abminderung in Klassen längerer Einwirkungsdauer eingestuft werden.

Tabelle 6-1: Klassen der Last-Einwirkungsdauer (KLED) für Hochbaukonstruktionen

Klasse der Last-Einwirkungsdauer für Hochbaukonstruktionen	Akkumulierte Dauer der charakteristischen Last-Einwirkung
ständig	> 10 Jahre
lang	6 Monate bis 10 Jahre
mittel	1 Woche bis 6 Monate
kurz	< 1 Woche
sehr kurz	< 1 Minute

(3) Als charakteristische Werte E_k der Einwirkungen gelten grundsätzlich die Werte der eingeführten Normen (z. B. DIN 1055).

(4) Für Einwirkungen, die nicht oder nicht vollständig in Normen oder anderen bauaufsichtlichen Bestimmungen angegeben sind, müssen entsprechende charakteristische Werte, ggf. in Absprache mit der Bauaufsicht, vom Bauherrn bzw. in Absprache mit dem Bauherrn vom Tragwerksplaner festgelegt werden. Voraussetzung hierbei ist jedoch, dass die in den Normen vorgegebenen Werte nicht unterschritten werden.

6.2 Ständige Einwirkungen

(1) Es wird auf die Tabelle D-1 verwiesen.

6.3 Veränderliche Einwirkungen

(1) Zu den veränderlichen Einwirkungen zählen Nutz- und Verkehrslasten, Schnee, Wind und Temperaturänderungen. Oft sind mehrere dieser Einwirkungen gleichzeitig zu berücksichtigen. Die Wahrscheinlichkeit, dass diese alle zur gleichen Zeit mit ihrem maximalen Wert auftreten, ist allerdings gering.

(2) Für Nutz- und Verkehrslasten ist die zu erwartende akkumulierte Einwirkungsdauer über die Lebensdauer des Bauteils sinnvoll abzuschätzen.

(3) Zur Orientierung können die in Tabelle 6-2 in Anlehnung an DIN 1052 (12-2008) vorgeschlagenen Einstufungen angenommen werden, diese sind im Einzelfall zu prüfen.

Tabelle 6-2: Einteilung der Lasteinwirkungen in (KLED)

Einwirkung		KLED
Eigengewicht		ständig
Lotrechte Nutzlasten im Hochbau		
A,B	Spitzböden, Wohn- und Aufenthaltsräume, Büroflächen, Arbeitsflächen, Flure	mittel
C	Räume, Versammlungsräume und Flächen, die Ansammlungen von Personen dienen können (außer A,B,D,E)	kurz
D	Verkaufsräume	mittel
E	Fabriken und Werkstätten, Ställe, Lagerräume und Zugänge, Flächen mit erheblichen Menschenansammlungen	lang
F	Verkehrs- und Parkflächen für leichte Fahrzeuge	mittel
	Zufahrtsrampen zu Verkehrs- und Parkflächen	kurz
G	Flächen für den Betrieb mit Gegengewichtsstaplern	mittel
H, K, T, Z	nicht begehbare Dächer, Treppen oder Treppenpodeste, Zugänge, Balkone oder ähnliches	kurz
Horizontale Nutzlasten im Hochbau		
	Nutzlasten infolge von Personen auf Brüstungen, Geländer und andere Rückhaltekonstruktionen	kurz
	Horizontallasten aus Kran- und Maschinenbetrieb	kurz
Vertikale Verkehrslasten auf Brücken		
UDL / TS	Autobahnen und Straßen mit hohem oder mittlerem LKW-Anteil, Hauptstrecken mit geringem LKW-Anteil	lang ¹
	Örtliche Straßen mit geringem LKW-Anteil	mittel ¹
	Wirtschaftswege	kurz ¹
Windlasten		kurz
Schnee- und Eislast		
H ≤ 1000 m	Gelände des Bauwerksstandortes über NN	kurz
H > 1000 m	Gelände des Bauwerksstandortes über NN	mittel
Temperaturlasten		
Jährliche Amplitude		lang
Tägliche Amplitude		mittel
Anpralllasten		sehr kurz

¹ Einordnung der Verkehrslasten auf Brücken unter Berücksichtigung der zu erwartenden Lastkraftwagen pro Jahr in Anbetracht einer Nutzungsdauer von 100 Jahren abgeschätzt. Endgültige Bestätigung steht noch aus.

(4) Für die Ermittlung der Einwirkungen einer Lasteinwirkungsdauer t_a sind alle Einwirkungen mit höherer Lasteinwirkungsdauer zu addieren, s. Tabelle 8-1. Das Eigengewicht ist für alle Lasteinwirkungsdauer t_a zu berücksichtigen.

(5) Für die Ermittlung der Temperaturlasten ist die Aufstelltemperatur T_0 abzuschätzen und in den bautechnischen Unterlagen kenntlich zu machen. Die tatsächliche Aufstelltemperatur ist aufzuzeichnen, ggf. sind die Auswirkungen einer Abweichung zur tatsächlichen Aufstelltemperatur abzuschätzen.

(6) Ggf. ist eine schnelle Abkühlung von erwärmten Bauteilen, z.B. durch Niederschläge, zu berücksichtigen.

(7) Einwirkungen, die sich bei der Herstellung von Bauteilen ergeben, wie z.B. infolge des Zusammenlebens von Einzelteilen oder innerer Spannungen aus einem Herstellungsverfahren, sind abzuschätzen. Der zeitliche Verlauf von Einwirkungen, die sich aus der Herstellung einer Konstruktion ergeben, wie z.B. Zwängungen aus der Montage beim Auftreten ungünstiger Toleranzen, ist zu erfassen.

(8) Beanspruchungen in Folge von Einwirkungen wie Feuchtigkeit, Bewitterung oder aggressiven Medien, sind in A_{mod} zu berücksichtigen.

6.4 Außergewöhnliche Einwirkungen

(1) Außergewöhnliche Einwirkungen sind i.d.R. von kurzer Dauer und von geringer Wahrscheinlichkeit hinsichtlich ihres Auftretens, wie z.B. Explosion, (Fahrzeug-) Anprall oder Erdbeben. Diese Einwirkungen sind unter Berücksichtigung ihres zeitabhängigen Verlaufs zu untersuchen.

Die Tatsache, dass Kunststoffe sich bei den Anregungen spröde verhalten, ist zu berücksichtigen (siehe DIN 4149 bzw. DIN EN 1998-1). Für die Nachweise kann von den Kurzzeitwerten ausgegangen werden.

6.5 Brandeinwirkung und erhöhte Temperaturen

(1) Organische Polymere sind grundsätzlich brennbar und daher nicht bei besonderen Brandschutzanforderungen einsetzbar. Die mechanischen Kenngrößen sind in hohem Maße temperaturabhängig.

(2) Die Anwendungsgrenze von Kunststoffen wird i.d.R. in Abhängigkeit von der Glasübergangstemperatur T_g definiert, die den Übergang von einem spröde-elastischen zu einem zäh-viskoelastischen Verhalten beschreibt. Anders als Thermoplaste erreichen Duroplaste jedoch keinen viskosen Zustand, da sie sich bei höheren Temperaturen zersetzen. Dennoch wird der Begriff der Glasübergangstemperatur T_g in der Literatur auch für Duroplaste verwendet. Es wird empfohlen, die Anwendungsgrenze bis 15K unterhalb von T_g anzusetzen.

(3) Mit im Bauwesen üblichen Kunststoffen ist i.d.R. maximal Brandklasse B1, oft nur B2 nach DIN 4102 erreichbar. Bei den üblichen Duroplasten entstehen keine toxischen Gase und sie tropfen nicht brennend ab. Phenolharze haben eine höhere Glasübergangstemperatur als andere Duroplaste. Sie werden daher für Bauteile mit erhöhten Brandschutzanforderungen verwendet. Darüber hinaus werden der Matrix feuerhemmende Füllstoffe (Halogene, Aluminiumtrihydrit) beigemischt, die eine Selbstverlöschung unterstützen.

(4) Die aus dem Stahlbau bekannten konstruktiven Brandschutzmaßnahmen wie dämmschichtbildende Anstriche, profilfolgende Putze oder kastenförmige Bekleidungen sind auf Kunststoffkonstruktionen nicht ohne Weiteres übertragbar.

(5) Für die Abminderungen des E-Moduls von ausgewählten Kunststoffen werden die Zusammenhänge aus Abbildung 6-1 herangezogen.

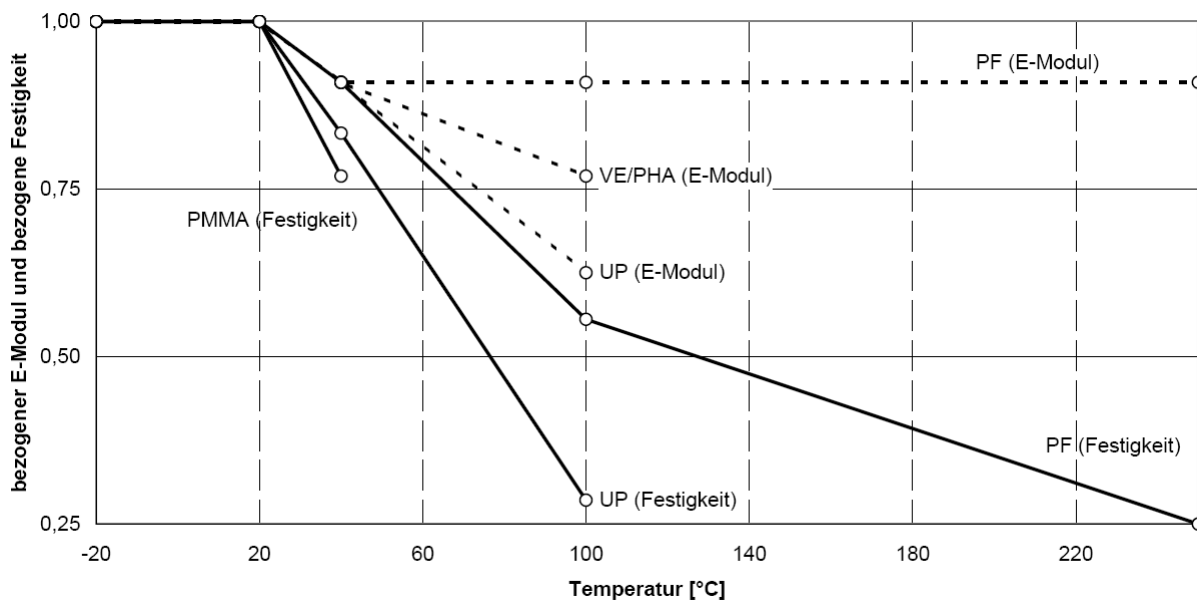


Abbildung 6-1: E-Modul und Festigkeit ausgewählter Kunststoffe in Abhängigkeit der Temperatur [27], [47]

6.6 Bemessungswert der Einwirkungen

Der Bemessungswert der Einwirkung wird aus den einzelnen Einwirkungen mit den in Anhang E angegebenen Kombinationen gebildet.

7 Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen

(1) Die Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen für die Tragwerke sind in Abhängigkeit von den in Abschnitt 6 genannten, maßgebenden Einwirkungen mit der zugehörigen Zeitdauer zu berechnen. Dabei sind die Veränderungen der Verformungseigenschaften der Werkstoffe infolge aller auftretenden, äußeren Einwirkungen zu berücksichtigen.

(2) Die Zeit- und Temperaturabhängigkeit der Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen sind im Allgemeinen unter Beachtung der Theorie der Thermoviskoelastizität und Thermoviskoplastizität zu berechnen [9],[28],[36],[37]. Das Verformungsgesetz ist zeitabhängig unter Berücksichtigung der Einwirkung von Temperatur und umgebenden Medium einzuführen. Die Querschnittsgrößen der Tragwerke sind aus den Nennwerten der Bauteilzeichnungen abzuleiten.

(3) Zur Ermittlung der Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen können auch geeignete Näherungsverfahren angewendet werden.

(4) Bei statisch bestimmten Tragwerken im Bereich der Theorie I. Ordnung können die Schnittgrößen infolge Lasteinwirkungen allein aus Gleichgewichtsbedingungen berechnet werden. Für die Berechnung der Verformungen für verschiedene Zeitpunkte t_i kann die elastische Anfangsverformung vereinfacht mit dem Verhältnis $E(t_0)/E(t_i)$ multipliziert werden. Entsprechend kann bei der Ermittlung von Schnittgrößen infolge Verformungseinwirkungen vorgegangen werden.

(5) Bei statisch unbestimmten Tragwerken (z. B. Platten) ist neben den Gleichgewichtsbedingungen die Verträglichkeit der Verformung erforderlich, um die Schnittgrößen zu bestimmen. Sofern ein mehrdimensionaler Spannungszustand vorhanden ist, ist die Querkontraktionszahl in Abhängigkeit des Elastizitätsmoduls zum jeweiligen Zeitpunkt zu bestimmen:

$$\nu(t_i) = 0,5 - E(t_i)/(6K) \quad (7.1)$$

mit

$E(t_i)$ = Elastizitätsmodul zum Zeitpunkt t_i

K = Kompressionsmodul des Materials

$$K = E(t_0) / (3(1 - 2\nu(t_0)))$$

$E(t_0)$ = Elastizitätsmodul zum Beginn der Lasteinwirkung (aus Materialtest)

$\nu(t_0)$ = Querkontraktion zum Beginn der Lasteinwirkung (aus Materialtest)

(6) Im allgemeinen wird die Berechnung der Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen für eine bestimmte Lastkombination nach Abschnitt 6 mit einer zugehörigen, zeitlich konstanten Temperatur und einer zeitlich konstanten Umweltbedingung mit den dazu entsprechenden Verformungseigenschaften durchgeführt und für diese die zeitabhängige Lösung ermittelt.

(7) Stark veränderliche Temperaturen über die Fläche oder Höhe eines Tragwerkes sowie in der Zeit sind bei der Ermittlung der Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen zu berücksichtigen.

(8) Der Einfluss der Schubverzerrungen auf die Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen kann im Allgemeinen bei faserverstärkten Kunststoffen und Thermoplasten in der Berechnung vernachlässigt werden. In besonderen Fällen, wie z.B. bei unidirektional verstärkten Laminaten, ist der Einfluss der Schubverzerrungen zu erfassen.

(9) Bei Tragwerken mit einem besonderen Kernaufbau, wie z.B. mehrschichtigen Tragwerken mit einer Kernschicht aus schubweichen Schaumstoffen, sind spezielle Berechnungsverfahren anzuwenden [5], [31].

(10) Bei Thermoplasten mit einer ausgeprägten Richtungsabhängigkeit der Werkstoffeigenschaften und bei faserverstärkten Kunststoffen mit orientierten Faserrichtungen, die gegebenenfalls in mehreren Schichten unterschiedlich angeordnet sein können, sind die Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen unter Erfassung dieser Anisotropie zu berechnen. (z.B. für faserverstärkte Kunststoffe nach klassischer Laminattheorie CLT.)

(11) Bei der Ermittlung der Spannungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit sind die Querschnittsgrößen des Tragwerkes unter Berücksichtigung der Toleranzen, bedingt durch das Herstellungsverfahren, zu bestimmen.

8 Nachweise

8.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Das Bemessungskonzept basiert auf so genannten Grenzzuständen, bei deren Überschreitung die an das Tragwerk gestellten Anforderungen nicht mehr erfüllt werden. Je nach dem, ob das Versagen durch Erreichen des rechnerischen Versagenszustandes oder durch ein Überschreiten der Nutzungsbedingungen erreicht wird, unterscheidet man zwischen den

- Grenzzuständen der Tragfähigkeit
und den
- Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit.

Die genaueren Definitionen sind den nachfolgenden Abschnitten zu entnehmen.

(2) Für die Gewährleistung der Dauerhaftigkeit über den vorgegebenen Nutzungszeitraum sind die zu erwartenden Umweltbedingungen zu bestimmen, denen das Tragwerk ausgesetzt sein wird. Darauf aufbauend ist die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen, wie z.B. Chemie-Schutz-Schichten, zu bestimmen. Die Einhaltung von Rissbreiten ist für den Einsatzbereich von wassergefährdenden Stoffen und aggressiven Medien gesondert zu untersuchen.

(3) Anzustreben und vorzuziehen ist eine Zugrundelegung der Festigkeitswerte aus ermittelten Tabellen und Zeitstanddiagrammen, um eine höhere Genauigkeit zu erlangen. Ansonsten kann näherungsweise mit den Einflussfaktoren aus den Anhängen A, B und C gerechnet werden.

8.2 Grenzzustand der Tragfähigkeit

8.2.1 Allgemeines

(1) Die Grenzzustände der Tragfähigkeit werden durch das Gefährdungspotential definiert, das von einem Tragwerksversagen ausgeht. Hierzu ist der Verlust des statischen Gleichgewichtes, der Bruchzustand von Tragwerksteilen und Querschnitten, kritische Dehnungszustände, Materialermüdung sowie Stabilitätsversagen zu zählen.

Aufgrund des besonderen zeitabhängigen Verhaltens von Kunststoffen sind die Nachweise im Grenzzustand der Tragfähigkeit unter Beachtung der Einwirkungsdauer zu führen. Grundlagen zur Zeitstandsfestigkeit werden in dem Kapitel 3.4.2 erläutert. Die Einwirkungen und deren Einordnung in Einwirkungs-dauern werden in Kapitel 6.3 dargestellt.

(2) Für die Grenzzustände ist nachzuweisen, dass:

$$E_d(t) \leq R_d(t_a) \tag{8.1}$$

$E_d(t_a)$ Bemessungswert der Einwirkungen für die
akkumulierte Last-Einwirkungsdauer t_a

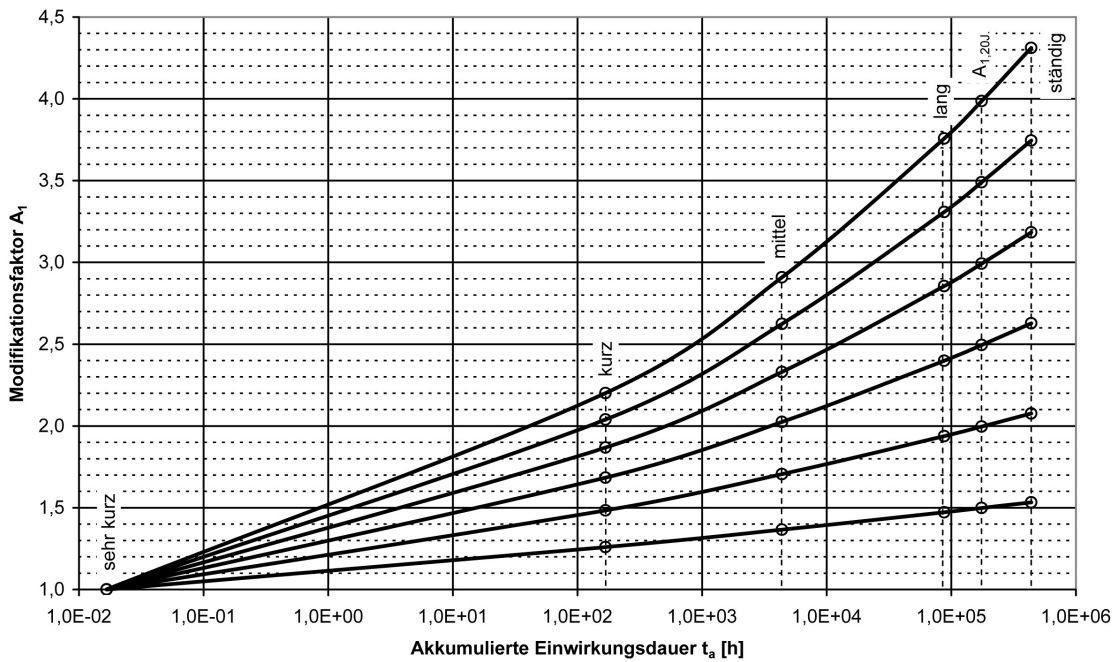


Abbildung 8-1: Abhängigkeit des Einflussfaktors A_1 von dem Tabellenwert $A_{1,20J}$ und der akkumulierten Last-Einwirkungsdauer t_a

(6) Die Nachweise für die unterschiedlichen Zeitstandsniveaus werden nicht im Sinne einer Schadensakkumulation überlagert. Es ist ausreichend, dass der Nachweis der Tragfähigkeit bei allen relevanten Einwirkungsdauern erfüllt ist, da in den einzelnen Nachweisen bereits alle relevanten Belastungen überlagert sind.

(7) Wird der Quotient des Einflussfaktors $1/A_1$ im doppelt-logarithmischen Maßstab gegen die akkumulierte Einwirkungsdauer aufgetragen, ergeben sich gerade Kurvenverläufe. Siehe auch Kapitel 3.4.2.

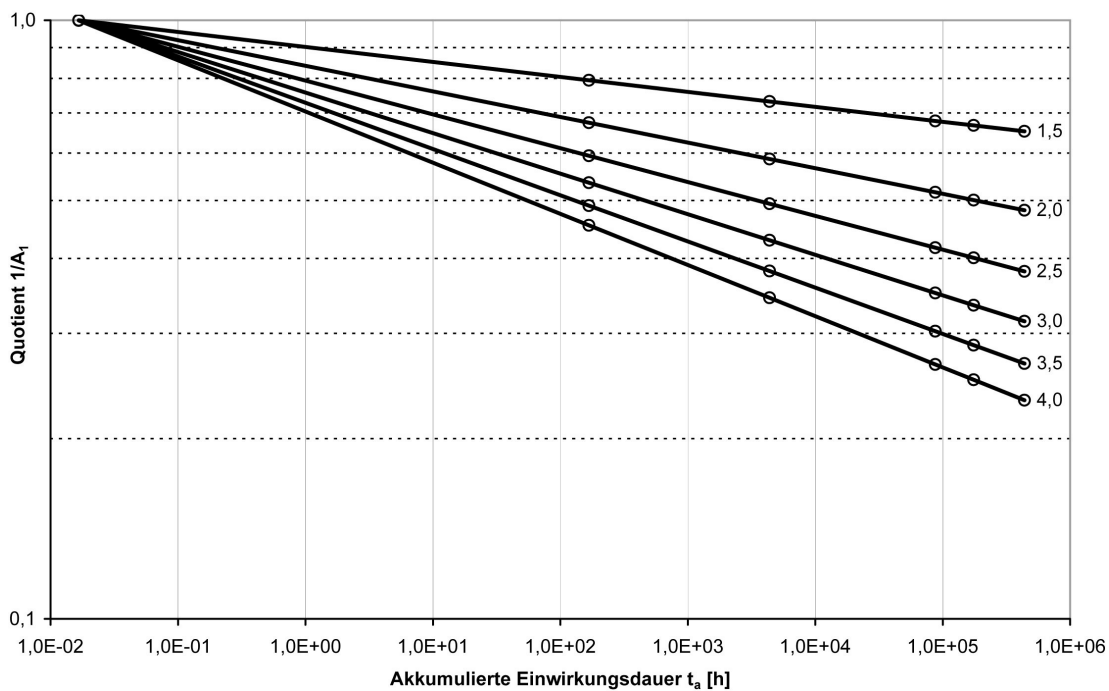


Abbildung 8-2: Quotient des Einflussfaktors $1/A_1$ im doppelt-logarithmischen Maßstab, gerade Kurvenverläufe

8.2.2 Festigkeit

Grundmaterial

(1) Es ist nachzuweisen, dass während der Nutzungsdauer in einem Querschnitt kein Bruch eintritt.

Der Nachweis erfolgt auf der Basis der Schnittgrößen

$$E_d(t) \leq \frac{R_{k0,05}}{\gamma_M \cdot A_{mod}^f} \quad (8.3)$$

oder auf der Basis der Spannungen

$$\sigma_d(t) \leq \frac{f_{k0,05}}{\gamma_M \cdot A_{mod}^f} \quad (8.4)$$

(2) Für die interlaminare Scherbeanspruchung ist der Nachweis analog Gleichung (8.3) oder (8.4) zu führen, wobei für $\sigma_d(t)$ oder $E_d(t)$ die Schubspannung $\tau_d(t)$ aus dem Bemessungswert $V_d(t)$ für einen allgemeinen Querschnitt

$$\tau_d(t) = V_d(t) \frac{S}{I \cdot b} \quad (8.5)$$

und für einen Rechteckquerschnitt

$$\tau_d(t) = V_d(t) \frac{1,5}{A} \quad (8.6)$$

lauten.

Mit:

S	statisches Moment (Flächenmoment 1. Grades)
I	Trägheitsmoment (Flächenmoment 2. Grades)
A	Querschnittsfläche
b	Querschnittsbreite

(3) Bei Laminaten gemäß DIN 18820 ist für $f_{k0,05}$ die interlaminare Scherfestigkeit nach DIN 18820-2 einzuführen. Sie kann für das Matrixmaterial der Wirr-, Misch- und Wickellamine mit 8 N/mm² angesetzt werden, sofern nicht für das verwendete Matrixmaterial durch Versuche günstigere 5% Fraktilewerte bei 75%iger Aussagewahrscheinlichkeit ermittelt werden. Für andere Kunststoffe (z. B. Thermoplaste) ist für $f_{k0,05}$ die entsprechende Scherfestigkeit anzusetzen.

(4) Für die interlaminare Zugfestigkeit ist der Nachweis ebenfalls nach Gleichung (8.3) und (8.4) zu führen, wobei für $\sigma_d(t)$ oder $E_d(t)$ die Normalspannung $\sigma_{zd}(t)$ senkrecht zur Faserrichtung aus dem Bemessungswert der Abreiß- oder Umlenkraft $F_{zd}(t)$

$$\sigma_{zd}(t) = \frac{F_{zd}(t)}{A_z} \quad (8.7)$$

lautet.

Mit: A_z mitwirkende Querschnittsfläche in der Ebene der Fasern zur Übertragung der Abreiß- oder Umlenkkraft

(5) Bei Laminaten gemäß DIN 18820 kann für $f_{k,0,05}$ die interlaminare Zugfestigkeit nach DIN 18820-2 angenommen werden. Sie kann für das Matrixmaterial der Wirt-, Misch- und Wickellamine mit 4 N/mm² angesetzt werden oder es ist wie bei der interlaminaren Scherbeanspruchung zu verfahren.

(6) Bei Sandwichkonstruktionen gelten für die Nachweise der Deckschichten analog die Gleichungen (8.3) bis (8.6). Der Bemessungswert der Spannungen $\sigma_d(t)$ in Gleichung (8.4) ergibt sich dabei aus den Schnittgrößen der Deckschichten N , M und V (Normalkraft, Moment, Querkraft) oder im Sonderfall bei dünnen Deckschichten nur aus der Normalkraft, diese sind aus der statischen Berechnung nach den Grundsätzen des Abschnitts 7 zu ermitteln.

Für Deckschichten aus Stahl, Aluminium und anderen Werkstoffen sind für die Nachweise die zugehörigen Normen verbindlich.

(7) Bei Sandwichkonstruktionen gelten für die Nachweise der Kernschicht aus Schaumstoff ebenso die Gleichungen (8.3) bis (8.6). Der Bemessungswert der Spannung $\sigma_d(t) \equiv \tau_d(t)$ in Gleichung (8.4) ergibt sich hier aus der Querkraft V der Kernschicht, die nach den Gleichungen (8.5) oder (8.6) zu bestimmen ist.

Überlagerung verschiedener Beanspruchungsarten

(8) Bei faserverstärkten Kunststoffen unter zusammengesetzter Beanspruchung kann vereinfachend der Nachweis auf der Grundlage der Quotienten der Bemessungswerte aus den Einwirkungen E_d und den Widerständen R_d für die verschiedenen Beanspruchungsarten aus Normalkraft N , Biegemoment M und Querkraft V während der Nutzungsdauer geführt werden:

$$\frac{E_{dN}}{R_{dN}} + \frac{E_{dM}}{R_{dM}} + \frac{E_{dV}}{R_{dV}} \leq 1 \quad (8.8)$$

mit:

R_{dN} , R_{dM} , R_{dV} Bemessungswerte des Widerstands für Normalkraft, Biegemoment und Querkraft siehe vorherigen Abschnitt

E_{dN} , E_{dM} , E_{dV} Bemessungswerte der Einwirkungen für Normalkraft, Biegemoment und Querkraft

Weitere Beanspruchungen (z.B. Torsionsmomente, mehraxiale Spannungszustände) sind additiv zu berücksichtigen. Es wird empfohlen, den Nachweis auf Spannungsebene zu führen.

(9) Eine bessere Ausnutzung für einachsige verstärkte Kunststoffe gewährleistet das vereinfachte Versagenskriterium nach [35]. Dort werden die Spannungen auf Laminebene betrachtet.

$$\frac{\sigma_{11,Ed}}{\sigma_{11,Rd}} \leq 1 \text{ mit } \sigma_{11,Rd} = \begin{cases} \sigma_{11,Rd}^t \text{ für } \sigma_{11,Ed} > 0 \\ \sigma_{11,Rd}^c \text{ für } \sigma_{11,Ed} < 0 \end{cases} \quad (8.9)$$

$$\left(\frac{\sigma_{22,Ed}}{\sigma_{22,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{12,Ed}}{\tau_{12,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{11,Ed}}{E_{11} \cdot \varepsilon_{m1}}\right)^2 < 1 \text{ mit } \sigma_{22,Rd} = \begin{cases} \sigma_{22,Rd}^t \text{ für } \sigma_{22,Ed} > 0 \\ \sigma_{22,Rd}^c \text{ für } \sigma_{22,Ed} < 0 \end{cases} \quad (8.10)$$

$\sigma_{11,Ed/Rd}$:	Normalspannung in Faserrichtung, Einwirkung / Widerstand
$\sigma_{22,Ed/Rd}$:	Normalspannung senkrecht zur Faserrichtung, Einwirkung / Widerstand
$\tau_{12,Ed/Rd}$:	Schubspannung in Scheibenebene (in-plane-shear) , Einwirkung / Widerstand
$\sigma_{11,Ed}^t/c$:	Normalspannung in Faserrichtung infolge Zug- bzw. Druckkraft, Widerstand
$\sigma_{22,Ed}^t/c$:	Normalspannung senkrecht zur Faserrichtung infolge Zug- bzw. Druckkraft, Widerstand
E_{11} :	E-Modul in Faserrichtung (Gesamtlaminat)
ε_{m1} :	Grenzdehnung der Matrix in Faserrichtung

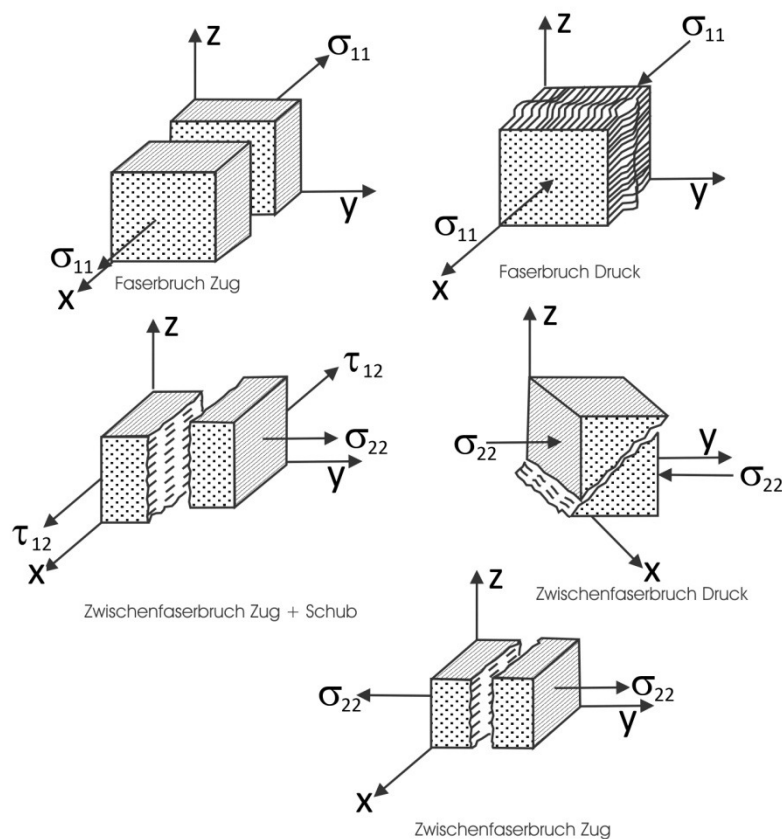


Abbildung 8-3: Versagensarten einer Laminatschicht entsprechend den Gleichungen 8.9 und 8.10 [35], VDEI-RiLi 2019, Blatt 3.

(10) Bei unverstärkten Kunststoffen ist ein Vergleichspannungsnachweis analog Gleichung 8.21 (Kleben) zu führen.

Verbindungen

(11) Verbindungen können analog den oben aufgeführten Grundsätzen dimensioniert werden. Hierbei ist jedoch bezüglich der Beanspruchbarkeiten zu beachten, dass das Harz bei manchen Konstruktionen stark beansprucht wird.

(12) Bei Sandwichkonstruktionen ist die Verbindung zwischen den Deckschichten und der Kernschicht sowie zwischen den Deckschichten, der Kernschicht und den Randprofilen konstruktiv so zu gestalten und technologisch so vorzubereiten, dass die Tragfähigkeit dieser Verbindungen größer ist als die der Grundmaterialien. Kann das nicht gewährleistet werden, dann sind die Nachweise nach den Gleichungen (8.3) bis (8.6) für diese Verbindungen entsprechend zu führen oder durch Versuche zu erbringen. Dabei sind die zeit-, medien- und temperaturabhängigen Einflüsse zu berücksichtigen.

8.2.3 Stabilitätsversagen

(1) Der Stabilitätsnachweis soll gewährleisten, dass während der Nutzungsdauer sowohl die örtliche Stabilität (z. B. ein Trägersteg) als auch die Gesamtstabilität des Systems erfüllt ist. Es werden hierbei die γ -fachen Lasten aus Tabelle D-1 im Anhang D angesetzt.

(2) Der Nachweis erfolgt auf der Basis der Schnittgrößen

$$E_d(t) \leq F_{cr}(t) \quad (8.11)$$

oder gegebenenfalls auf der Basis der Spannungen

$$\sigma_d(t) \leq \sigma_{cr}(t) \quad (8.12)$$

$F_{cr}(t)$ und $\sigma_{cr}(t)$ sind die Bemessungswerte des Knick-, Biegedrillknick- oder Beulwiderstandes bei Berücksichtigung der Zeitdauer der Einwirkungen, der Temperatur und des umgebenden Mediums sowie der auftretenden Lastanordnung und Lastkombination.

(3) Die Bemessungswerte der Widerstände bei Stabilitätsversagen sind unter Beachtung der Grundsätze der Thermoviskoselastizität zu ermitteln (z. B. nach [3]), (siehe Kapitel 8.3).

(4) Die Berechnung kann auch näherungsweise so erfolgen, dass in den Beziehungen für die Verzweigungslast elastischer Tragwerke die elastischen Verformungsgrößen durch die für den Zeitpunkt geltenden Bemessungswerte nach Abschnitt 5 ersetzt werden. Damit können z.B. die idealen Beulspannungen nach DIN 18800-3 ermittelt werden und die damit in Zusammenhang stehenden Nachweise geführt werden.

(5) Für die Bemessungswerte sind die dem jeweiligen Stabilitätsfall zugeordneten Teilsicherheitsbeiwerte γ_M einzuführen und der Modifikationsfaktor A_{mod}^E zu berücksichtigen.

(6) Imperfektionen aus Material-, Bauteil- und Herstellungseinflüssen sind in geeigneter Weise anzusetzen. Beispielhaft seien dafür die in [45] experimentell hergeleiteten Imperfektionsbeiwerte und Knickspannungslinien für Beulen, Biegeknicken und Biegedrillknicken von standardisierten pultrudierten glasfaserverstärkten Polymerprofilen genannt.

(7) Der Stabilitätsnachweis kann auch als Spannungsnachweis nach Theorie II. Ordnung geführt werden, wenn geeignete geometrische Ersatzimperfektionen bekannt sind.

(8) Auf der sicheren Seite kann die Erfassung der Belastungsdauer durch den Kriechfaktor ϕ_t erfolgen:

$$A_1^E = (1 + \varphi_t) \quad (8.13)$$

Ansätze hierfür befinden sich in den Prüfgrundsätzen des IfBt für den Gewässerschutz (siehe Abschnitt 11.6).

(9) Der Kriechfaktor wird in DIN 18820-2 für verschiedene Lamine unter Dauerlast angegeben. Seine Ermittlung kann zum Beispiel analog zu DIN EN ISO 899-1 erfolgen.

Überlagerung verschiedener Beanspruchungsarten

(10) In Anlehnung an DIN 18800-4 kann z. B. für Zylinderschalen folgende Beziehung für kombinierte Beanspruchungen angewendet werden:

$$\left(\frac{E_{xd}(t)}{E_{xcr}(t)}\right)^{1,25} + \left(\frac{E_{\varphi d}(t)}{E_{\varphi cr}(t)}\right)^{1,25} + \left(\frac{E_{\tau d}(t)}{E_{\tau cr}(t)}\right)^2 \leq 1 \quad (8.14)$$

mit

E_{xd} Bemessungswert der Einwirkung infolge Längskraft (x-Richtung)

$E_{\varphi d}$ Bemessungswert der Einwirkung infolge Kraft in Umfangsrichtung (φ -Richtung)

$E_{\tau d}$ Bemessungswert der Einwirkung infolge Schubkraft

$F_{xcr}(t)$ Bemessungswert des Beulwiderstandes bei Längskraft (x-Richtung)

$F_{\varphi cr}(t)$ Bemessungswert des Beulwiderstandes bei Kraft in Umfangsrichtung (φ -Richtung)

$F_{\tau cr}(t)$ Bemessungswert des Beulwiderstandes bei Schubbeanspruchung

8.2.4 Dehnungsbeschränkung

(1) Durch eine Beschränkung der Dehnungen wird die Mediendiffusion durch das Harz vermindert. Dadurch wird die Dauerstandsfestigkeit vergrößert und damit der Schädigungsfortschritt verringert. Es ist daher speziell bei Faserverbundkonstruktionen, welche starkem chemischen Angriff ausgesetzt sind, sinnvoll, den Tragfähigkeitsnachweis auch über eine Beschränkung der Dehnungen zu führen.

(2) Der Nachweis erfolgt durch:

$$\varepsilon_d(t) \leq \frac{D_{k0,05}}{\gamma_M \cdot A_{mod}^D} \quad (8.15)$$

mit:

γ_M (siehe Abschnitt 5.5 und Tabelle E-1)

$\varepsilon_d(t)$ maßgebende Dehnung (elastische Dehnung und Kriechdehnung)

$D_{k0,05}$ charakteristischer Wert der Dehngrenze, ermittelt aus Dauerstandsversuchen unter Last bei entsprechendem chemischen Angriff, z. B. nach DIN 53393 und DIN EN ISO 22088. Die Auswertung der Dauerstandsversuche erfolgt nach DIN EN ISO 22088

8.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit

8.3.1 Allgemeines

(1) Die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit für einen Tragwerkszustand werden durch die Nutzungsbedingungen definiert. Dazu sind im Wesentlichen die Beschränkung der Rissbreite, der Dichtheit und die zulässige Verformung zu zählen.

Für die Grenzzustände ist nachzuweisen, dass:

$$E_d \leq C_d \quad (8.16)$$

E_d Bemessungswert aus den Einwirkungen

C_d zugehöriger Bemessungswert der Bauteil- oder Werkstoffeigenschaft

8.3.2 Dehnungsbeschränkung

(1) Durch eine Beschränkung der Dehnung können technische Anforderungen wie z.B. Dichtheit und Rissbreitenbeschränkung, oder ästhetische Anforderungen, wie z. B. Schädigungen an den Oberflächen, erfüllt werden.

Es ist folgender Nachweis zu erfüllen:

$$\varepsilon_d(t) \leq \varepsilon_{max}(t) \quad (8.17)$$

$\varepsilon_d(t)$ maßgebende Dehnung (elastische Dehnung und Kriechdehnung)

$\varepsilon_{max}(t)$ Bemessungswert zur Erfüllung technischer und ästhetischer Anforderungen für einen Zeitpunkt t.

(2) In der Regel ist $\varepsilon_{max}(t)$ durch Versuche abzuleiten oder aus Erfahrungen festzulegen (bei GFK $\varepsilon_{max}(t)=0,20\%$). Weitere Angaben zu Kunststoffen im Behälterbau können der DIN EN 13121-3 entnommen werden.

8.3.3 Durchbiegungsbegrenzung

(1) Die maximalen Verformungen des Tragwerks als Folge aller Beanspruchungen, wie Einwirkungen, Umwelteinflüsse, u. a. sind zu begrenzen. Der Bemessungswert C_d als Bauteileigenschaft ist von der Art des Tragwerkes, von technischen Anforderungen, wie z. B. Veränderung des statischen Systems oder Zusatzbeanspruchungen infolge von Längskräften und ästhetischen Anforderungen, wie zum Beispiel Durchhängen abhängig.

(2) Durchbiegungsbegrenzungen sind für jeden Einzelfall zwischen Bauherr und Planer festzulegen.

(3) Es werden folgende Nachweise empfohlen:

$$u_d(t) \leq u_{d,max} \quad (8.18)$$

$u_d(t)$ maßgebende Verschiebung zum Zeitpunkt t (elastische Verschiebung und Kriechverschiebung unter Berücksichtigung der Einflussfaktoren A)

$u_{d,max}$ Bemessungswert C_d nach Tabelle 8-2

Tabelle 8-2: Bemessungswert C_d der Durchbiegung

Einwirkung	$U_{d,max}$
Tragwerke ohne Anforderungen	$l/50$
Tragwerke mit geringen Anforderungen	$l/80$
Tragwerke mit normalen Anforderungen	$l/125$
Tragwerke mit hohen Anforderungen	$l/200$

mit: l = für das Bauteil maßgebende Stützweite

8.4 Verbindungen

8.4.1 Allgemeines

(1) Verbindungen sollen den Kraftfluss zwischen den zu verbindenden Bauteilen nur im unbedingt erforderlichen Maße beeinflussen. Die Beanspruchung der Verbindungen eines Querschnittsteiles soll aus den Schnittgrößen dieses Querschnittsteiles berechnet werden. Exzentrizitäten und lokale Umlenkungen sowie Einleitungen von Kräften sind in den Nachweisen zu berücksichtigen. Der Einfluss der Nachgiebigkeit von Verbindungsteilen ist zu berücksichtigen. Die anteiligen Kräfte sind nach dem Verfahren elastisch-elastisch zu berechnen. Dabei sind die zeit-, medien- und temperaturabhängigen Einflüsse zu berücksichtigen.

(2) Die Ergebnisse von Bauteilversuchen können rechnerische Nachweise ersetzen.

(3) Es wird zwischen lösbaren und ohne Zerstörung nicht lösbaren Verbindungen unterschieden.

(4) Es können vorgespannte Verbindungen eingesetzt werden, wobei die zeitabhängige Abnahme der Vorspannkraft zu berücksichtigen ist.

8.4.2 Lösbare Verbindungen

Schraubverbindungen für faserverstärkte Kunststoffe

(1) Die Tragsicherheitsnachweise gelten für die in DIN 18800-1 dargestellten Ausführungsformen. Bei unmittelbar beanspruchten Laschen- und Stabanschlüssen dürfen in Krafrichtung hintereinander liegend höchstens 2, bei pultrudierten Profilen höchstens 3 Schrauben, für den Nachweis berücksichtigt werden. Jeder Anschluss sollte aus mindestens 2 Verbindungsmitteln bestehen. Bei kontinuierlicher Krafteinleitung ist eine Begrenzung nicht erforderlich.

(2) Zur Ermittlung der Grenzabscherkraft je Scherfuge sind für die Schrauben die folgenden Nachweise für den Grenzzustand nach Gl. (8.19) und Gl. (8.20) zu erbringen:

- Abscheren von Stahlschrauben: DIN 18800-1 Abschnitt 8.2

$$E_d(t) \leq \frac{\alpha_a \cdot f_{u,b,k} \cdot A}{\gamma_{Mb}} \quad (8.19)$$

- Abscheren von Kunststoffschrauben:

$$E_d(t) \leq \frac{\alpha_a \cdot f_{k0,05} \cdot A}{\gamma_M \cdot A_{mod}^f} \quad (8.20)$$

mit:

$E_d(t)$ Grenzabscherkraft

α_a darf für Stahlschrauben nach DIN 18800-1, Abschnitt 8.2.1.2 angesetzt werden, für Kunststoffschrauben ist α_a durch Versuche zu ermitteln

$f_{u,b,k}$ charakteristischer Wert der Zugfestigkeit der Stahlschraube

γ_{Mb} Teilsicherheitsbeiwert für Stahlschrauben; $\gamma_{Mb} = 1,25$

$f_{k,0,05}$ charakteristischer Wert der Kurzzeitfestigkeit des Schraubenwerkstoffes

A Spannungsquerschnittsfläche der Schrauben

(3) Die Spannungsverteilung unter Beanspruchung in Bauteilebene kann in Analogie zur Stabwerkstheorie (Abbildung 8-4) beschrieben werden.

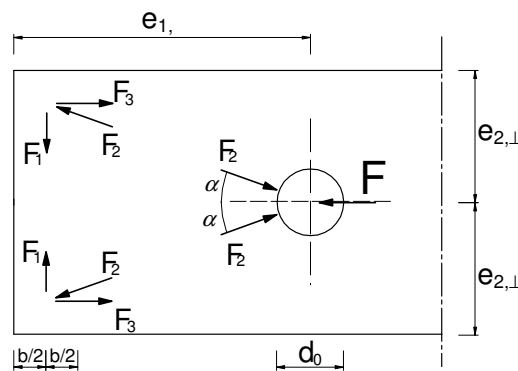


Abbildung 8-4: Stabwerkmodell zur Berechnung der Tragfähigkeit einer Schraubenverbindung [33]

Die Tragfähigkeit des anzuschließenden Bauteils aus Kunststoff unter Schubbeanspruchung ist dann ausreichend, wenn die auftretenden Spannungen die Widerstände nicht überschreiten.

$$\sigma_d(t) \leq \frac{f_{k,0,05}}{\gamma_M \cdot A_{mod}^f} \quad (8.21)$$

mit:

$\sigma_d(t)$ Einwirkende Spannung für den jeweiligen Versagensmechanismus (Abbildung 8-5)

$f_{k,0,05}$ charakteristischer Wert der für den jeweiligen Versagensmechanismus relevanten Kurzzeitfestigkeit (diese sind vorab in Kleinteilversuchen experimentell zu ermitteln, für GFK siehe auch DIN 18820-2, Abschnitt 2.4.2) des anzuschließenden Bauteils aus Kunststoff

Die möglichen auftretenden Versagensmechanismen sind in Abbildung 8-5 zusammengestellt.

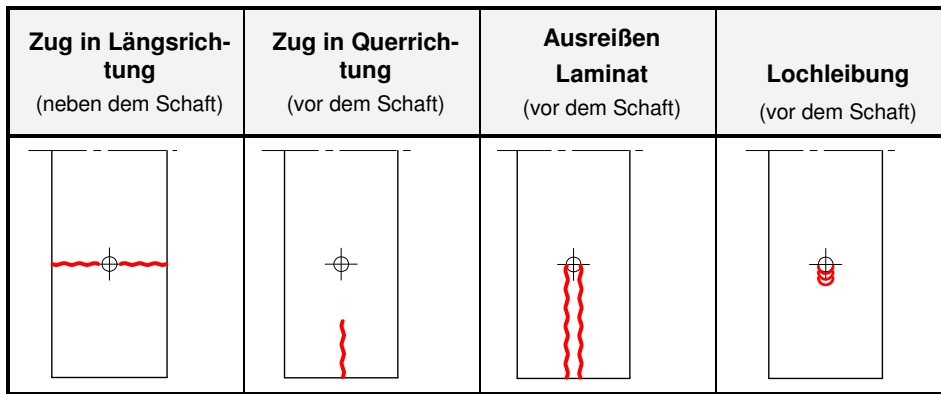


Abbildung 8-5: Typische Versagensmechanismen für geschraubte Verbindungen in GFK

In Kunststoffbauteilen sind die einwirkenden Spannungen für die dargestellten Versagensmechanismen mit den folgenden Formeln getrennt voneinander zu bestimmen [33]:

Zug in Längsrichtung (neben dem Schaft)

$$f_{t,0^\circ} = F_d / [\alpha_l (2e_{2\perp} - d_0) t] \tag{8.22a}$$

Zug in Querrichtung (vor dem Schaft)

$$f_{t,90^\circ} = F_{1d} / (b \cdot t) \tag{8.22b}$$

Ausreißen Laminat (vor dem Schaft)

$$f_\tau = F_d / [2(e_{1\parallel} - d_0/2) t] \tag{8.22c}$$

Lochleibungsversagen (unmittelbar vor dem Schaft)

$$f_{pb,0^\circ} = F_d / (d \cdot t) k_{cc} \tag{8.22d}$$

mit:

F_d Einwirkende Schraubenkraft

t Laminatstärke

d Durchmesser des Schraubenschafts

d_0 Lochdurchmesser

$e_{1,\parallel}$ Randabstand in Krafrichtung

$e_{2,\perp}$ Randabstand senkrecht zur Krafrichtung

α_l ist durch Versuche zu ermitteln. Maßgebend ist die maximale Lochrandspannung, die unter der Annahme elastischen Verhaltens bis zum Bruch berechnet werden kann

Für genauere Nachweise können für Matten- bzw. Mischlaminat gem. DIN 18820-2 die Rechenansätze nach [40] verwendet werden ($\alpha_l = 0,53$ bzw. $0,58$) oder nach [14].

Für maschinell gefertigte Faserverbundwerkstoffe (pultrudierte Polymerprofile) kann nach [33] $\alpha_l = 0,60$ angesetzt werden.

F_{1d} Querzugkraft am Bauteilrand; näherungsweise gilt: $F_{1d} = \tan 30^\circ \times F_d / 2$

b effektive Breite auf der die Querzugkraft angreift; näherungsweise $b = d$

$f_{t,0^\circ}$ Einwirkende Zugspannung in Krafrichtung

- $f_{t,90^\circ}$ Einwirkende Zugspannung senkrecht zur Krafrichtung
- f_r Einwirkende Schubspannung in Laminebene (in Krafrichtung)
- $f_{pb,0^\circ}$ Einwirkende Lochleibungsspannung in Krafrichtung
- k_{cc} Spannungskonzentrationsfaktor zur Berücksichtigung von Spannungsspitzen infolge Lochspiel unmittelbar vor dem Schraubenschaft ist durch Versuche zu ermitteln.
Für maschinell gefertigte Faserverbundwerkstoffe (pultrudierte Polymerprofile) kann nach [33] näherungsweise $k_{cc} = (d_0 / d)^2$ angesetzt werden.

Die Beziehungen wurden für maschinell hergestellte Profile aus glasfaserverstärktem Kunststoff entwickelt. Die Angaben sind jedoch auch auf manuell gefertigte oder unverstärkte Bauteile übertragbar. Die Unterscheidung der Kennwerte in Längs- und Querrichtung trifft keine Aussage über die Orientierung einer möglichen Vorzugsrichtung einer Faserverstärkung. Bei unverstärkten Bauteilen sind die Materialkonstanten in Längs- und Querrichtung identisch.

(4) In Abhängigkeit der Beanspruchung ist die Grenzzugkraft der Schrauben (Stahlschrauben nach DIN 18800-1) sowie der Ausknöpfungswiderstand / Durchstanzwiderstand des Kunststoffs zu bestimmen.

(5) Für eine kombinierte Beanspruchung infolge Zug und Abscheren gilt für Stahlschrauben die Interaktionsbedingung nach DIN 18800-1. Für alle Kunststoffbauteile kann der Bemessungswert der Tragfähigkeit auf der sicheren Seite liegend mit der linearen Interaktionsbeziehung entsprechend Gleichung (8.8) abgeschätzt werden.

Verbindungen mit Ankern, Bolzen und vergleichbaren Tragelementen

(6) Die Schnittkräfte der zu verbindenden Bauteile sind anteilmäßig durch die Verbindungselemente zu übertragen. Diese werden auf Zug und Querkraft beansprucht. Die Einleitung aus dem Bauteil in die Anker kann über Steifen erfolgen, die nach den Regeln der Krafteinleitung in Steifen nachzuweisen sind, wobei stets linear elastisches Materialverhalten anzunehmen ist.

(7) Angaben zu den konstruktiven Regeln, wie Einleitungslänge oder abhebende Kräfte sind Abschnitt 9 oder Versuchsberichten zu entnehmen, wenn nicht mit auf der sicheren Seite liegenden Annahmen die erforderlichen Nachweise geführt werden können.

Zusammenwirkung verschiedener Verbindungsmittel

(8) Verschiedene Verbindungsmittel dürfen für die Übertragung von Schnittgrößen im Stoß- bzw. Anschlussquerschnitt gemeinsam herangezogen werden, wenn die unterschiedlichen Kraft-Weg-Beziehungen sowohl im Gebrauchs- als auch im Tragzustand bei den Nachweisen berücksichtigt werden. Die Ergebnisse von Versuchen sind vor der Verwendung auf Vergleichbarkeit zu überprüfen. Die Kraftanteile eines Teilquerschnitts sollen in der Regel nur durch ein Verbindungsmittel übertragen werden.

8.4.3 Nicht lösbare Verbindungen

(1) Die Verbindung erfolgt bei GFK-Konstruktionen überwiegend durch Überlaminieren bzw. Kleben durch Überlappung [41] oder Verwendung von Verbindungsteilen.

Überlaminieren

(2) Es sollten symmetrische, den Kraftverlauf möglichst nur gering beeinflussende Ausführungen gewählt werden. Die Überlappungslänge muss mindestens gleich der 10-fachen Materialdicke des anzuschließenden Bauteils sein.

(3) Bei Überlaminierung sind die einzelnen Laminatschichten abgetreppt gesondert zu stoßen. Der Versatz der einzelnen Schichten soll mindestens 10 cm betragen. Stärkere Aufdickungen im Verbindungsbereich sind zu vermeiden.

(4) Bei nicht voller Stoßdeckung sind die entsprechenden Nachweise zu führen, wobei etwaige Exzentrizitäten zu berücksichtigen sind. Insbesondere bei nicht gestützten Verbindungen sind auch die Einflüsse auf die zu verbindenden Bauteile im Hinblick auf Spannungen bzw. Dehnungen und auf die Stabilität bei den Nachweisen zu berücksichtigen.

Schweißen

(5) Bei Thermoplasten wird die Verbindung hauptsächlich durch Heißschweißen und Kleben [17] hergestellt.

(6) Beim Heißschweißen muss die werkstoffmäßige charakteristische Spannung um einen Schweißfaktor verringert werden, mit dem das Langzeitverhalten der Schweißnaht gegenüber dem Grundwert berücksichtigt wird.

Kleben allgemein

(7) Klebstoffe müssen für den vorgegebenen Verwendungszweck geeignet sein. Die Eignung ist nachzuweisen. Die Klebflächen der zu verbindenden Teile sind geeignet vorzubereiten.

Kleben von faserverstärkten Kunststoffen

(8) Es sollten symmetrische, den Kraftverlauf möglichst nur gering beeinflussende Ausführungen gewählt werden. Die Überlappungslänge muss mindestens die 10-fache Materialdicke des anzuschließenden Bauteils betragen.

(9) Bei nicht kontinuierlichen Verklebungen entstehen abschälende Spannungen senkrecht zur Klebefuge, diese sind zu ermitteln und anzusetzen. Ebenfalls sind etwaige Exzentrizitäten zu berücksichtigen.

(10) Prinzipiell sind drei Versagensmechanismen möglich:

- kohäsiver Bruch des Klebstoffs
- adhäsiver Bruch an der Klebefuge
- interlaminarer Scherbruch des FVK-Bauteils (Zwischenschichtbruch)

(11) Bei allen Versagensarten sind neben den mechanischen Eigenschaften des Klebstoffs auch die Bauteilabmessungen der Fügebauteile und ihr Laminataufbau für die Spannungsverteilung maßgebend. Die Beanspruchbarkeit der Verbindung wird zudem von der Oberflächenbeschaffenheit der Kontaktflächen bestimmt. Der rechnerische Nachweis einer Klebeverbindung ist daher von vielen Einflussfaktoren abhängig und kann nur am Gesamtbauteil geführt werden.

(12) Klebeverbindungen im Bauwesen werden häufig mit Epoxidharzmörtel hergestellt. Solche Verbindungen versagen in der Regel nicht in der Klebefuge, sondern auf Grund der geringen interlaminaren Scherfestigkeit des faserverstärkten Bauteils oberflächennah im Grundmaterial [46].

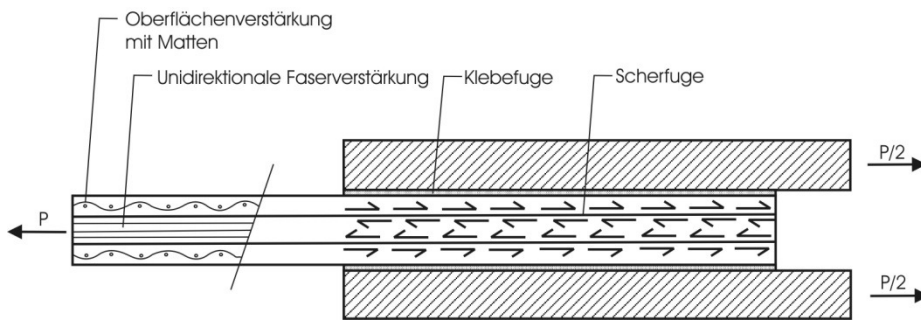


Abbildung 8-6: Scherfuge in einem pultrudierten Flachprofil mit zweiseitiger Verklebung unter zentrischer Zugkraft

(13) Bei allen drei Versagensarten leisten die Fasern (insofern es sich um einen faserverstärkten Kunststoff handelt) keinen nennenswerten Beitrag zum Lastabtrag. Die Interaktionsbeziehung aus Gleichung 8.23 konnte in mehreren Versuchsreihen bestätigt werden [32], [34], [47]. Die angegebenen Widerstände sind Anschlusskenngrößen für den schwächsten Versagensmechanismus der Verbindung (kohäsiver Bruch, adhäsiver Bruch, interlaminares Versagen). Zur Anwendung der Interaktionsbeziehung müssen jedoch die Widerstände rechtwinklig und längs zur Klebefuge aus dem gleichem Versagen resultieren.

$$\left(\frac{\sigma_{33,Ed}}{\sigma_{33,Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{31,Ed}}{\tau_{31,Rd}}\right)^2 \leq 1 \tag{8.23}$$

- $\sigma_{33,Ed}$: einwirkende Zugspannung senkrecht zur Klebefläche
- $\sigma_{33,Rd}$: Widerstand senkrecht zur Klebefläche
- $\tau_{31,Ed}$: einwirkende Schubspannung längs zur Klebefläche
- $\tau_{31,Rd}$: Widerstand längs zur Klebefläche

(14) Die Interaktionsbeziehung aus Gleichung (8.23) kann auch auf unverstärkte Kunststoffe übertragen werden.

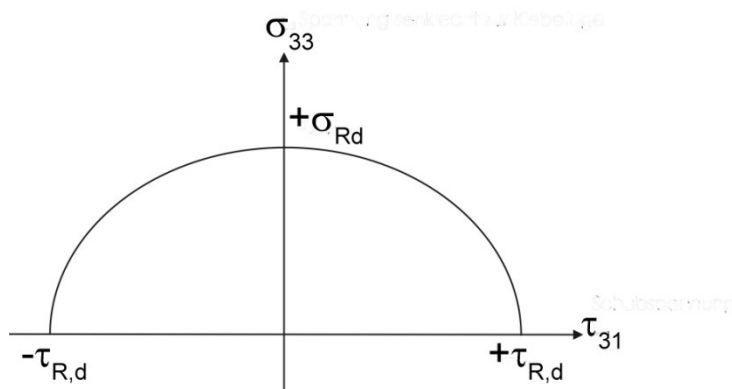


Abbildung 8-7: Interaktion in der Klebefuge

9 Bauliche Durchbildung

9.1 Grundsätzliches

(1) Die bauliche Durchbildung der Bauteile und Querschnitte ist geprägt durch die Anwendung dünnwandiger, einschichtiger Konstruktionen aus Kunststoffen, deren Eigenschaften durch hohes Verformungsverhalten gekennzeichnet sind. Große Verschiebungen und Verdrehungen sowie örtliche und gesamte Stabilität sind daher besonders zu beachten.

(2) Die Form von Kunststoffbauten und deren Gestaltung hat entscheidende Auswirkung auf die Durchführbarkeit und Wirksamkeit der Oberflächenschutzmaßnahmen. Sie beeinflusst auch den Aufwand für die zum Umweltschutz nötigen Maßnahmen bei späterer Instandhaltung. Die am Standort vorhandenen korrosiven Belastungen und Umweltbedingungen sind zu beachten und in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit einzubeziehen.

(3) Alle Kunststoffbauteile sollen zugänglich und erreichbar sein, damit der Oberflächenschutz ausgeführt, geprüft und instand gesetzt werden kann. Für die Durchführung späterer Instandsetzungsarbeiten sollen die nötigen Hilfsmittel, wie zum Beispiel feste Stege, bewegliche Arbeitsbühnen, Rüsthilfen, Haken oder Ösen schon beim Entwurf des Bauwerks berücksichtigt werden.

(4) Spalten sollten möglichst vermieden werden. Unvermeidbare Spalten sind zu verschließen, zum Beispiel durch Abdichten oder Verfugen. Sämtliche Maßnahmen sind auch für den Übergang zu Konstruktionen aus anderen Werkstoffen erforderlich.

(5) Flächen, auf denen sich aggressive Medien wie z.B. Staub, Salze, aggressive Lösungen, Wasser usw. ansammeln können, sollen vermieden werden. Geeignete Maßnahmen hierzu sind zum Beispiel:

- Überhöhung unter Berücksichtigung der zeitabhängigen Verformungen,
- geneigte und gewölbte Flächen,
- Vermeiden oben offener Profile oder Anordnen in Schräglage,
- Durchbrüche oder Öffnungen,
- Ablauföffnungen, Tropfnasen und Tropfüllen unter Beachtung möglicher Windverwehungen.

(6) Einspringende Ecken von Ausschnitten sind auszurunden. Die Ausschnittsränder sind aufgrund statischer Nachweise zu verstärken, wobei die Verstärkung ausreichend einzubinden ist.

(7) Flansche sind ausreichend auszurunden. Die interlaminare Zugfestigkeit im Krümmungsbereich ist nachzuweisen.

9.2 Bauteile

9.2.1 Allgemeines

(1) Gegenüberliegende, von beiden Seiten erreichbare Flächen von Profilen mit einer Höhe $h < 100$ mm sollen einen Abstand $a > 15$ mm haben. Bei kleineren Abständen ist der Zwischenraum auszufüttern. Um Rinnen zu vermeiden, sollten die Futterflächen überstehen.

(2) In Bauteilen im Freien und bei erhöhten aggressiven Einwirkungen sollen Zwischenräume bis 25 mm ausgefüllt werden, oder es sollen Oberflächenschutzverfahren gewählt werden, welche auch bei kleineren Zwischenräumen anwendbar sind.

(3) Der Abstand zwischen Profilen mit einer Höhe $h > 1000$ mm sowie zwischen diesen Profilen und anderen Bauwerksteilen sollte mindestens 500 mm betragen.

(4) Bauteile, die aggressiven Medien ausgesetzt und nach den Montagen nicht mehr zugänglich beziehungsweise nicht mehr erreichbar sind, müssen aus einem entsprechend beständigem Werkstoff bestehen oder einen so wirksamen Oberflächenschutz erhalten, dass während der Nutzungsdauer des Objektes keine Beeinträchtigung der Standsicherheit eintritt. Anderenfalls sind ausreichende Zuschläge zu den statisch erforderlichen Mindestquerschnitten vorzusehen oder Maßnahmen für eine vorzeitige Bauteilerneuerung einzuplanen. Die Querschnitte eines Oberflächenschutzes sind bei den Nachweisen nicht anzusetzen.

9.2.2 Hohlkästen und Hohlbauteile

(1) Hohlkästen (zugänglich) und Hohlbauteile (nicht zugänglich) sind, wenn nachstehende Forderungen erfüllt werden, eine besonders günstige Querschnittsform im Hinblick auf aggressive Medien. Sie reduzieren die der atmosphärischen Einwirkung ausgesetzten Oberflächen auf ein Minimum. Hohlkästen und Hohlbauteile im Sinne dieser Empfehlungen werden konstruktiv in offene und dicht geschlossene Kästen unterteilt.

(2) Offene Hohlkästen und offene Hohlbauteile mit Einwirkung von Oberflächenfeuchte müssen, je nach konstruktiver Belastung, nach Anzahl und Größe ausreichend Umluft- und Entwässerungsöffnungen haben.

(3) Dicht geschlossene Hohlkästen und Hohlbauteile dürfen weder Luft noch Feuchtigkeit eindringen lassen. Daher sind umlaufende dichte Fügenähte und dichte Verschlüsse vorzusehen. Bei der Herstellung ist eine Prüfung der Dichtheit nach Art und Umfang zu vereinbaren. Bei der Montage ist darauf zu achten, dass kein Wasser eingeschlossen wird.

Zur weiteren Kontrolle der Dichtheit sind an den tiefsten Stellen des Hohlbauteils Schraubstopfen vorzusehen.

Die Bereiche von Stabdübeln und Schraubstößen sind zum Hohlraum hin abzudichten.

Handlöcher im Stoßbereich sind möglichst nur an der Unterseite vorzusehen und gegen Eindringen von Fremdkörpern zu sichern. Der im Stoßbereich abgeschottete Hohlraum sollte im Tiefpunkt eine Wasserablauföffnung erhalten. Die Abläufe sind regelmäßig zu reinigen. Der wechselnde Innendruck infolge Temperaturänderung ist bei den Nachweisen bei luftdichtem Abschluss zu berücksichtigen.

9.2.3 Plattenförmige Bauteile

(1) Zur Erhöhung der Biegesteifigkeit der Platten sind bei vorwiegend einachsig gespannten Platten in Spannrichtung Profilierungen des Querschnittes durch einachsige Krümmungen und Faltungen und bei zweiachsig gespannten Platten in den beiden Spannrichtungen Rippen, die in ihren Steifigkeiten dem Stützweitenverhältnis angepasst sind, zur Reduzierung der Verformungen und zur Vermeidung von Stabilitätsversagen der gedrückten Bereiche, anzuordnen.

(2) Bei der Querschnittsausbildung sind gleichmäßige Dicken (keine Massenanhäufungen) anzustreben, um ein unterschiedliches Aushärten und Schwinden zu vermeiden. Ecken und Kanten in den Querschnitten der Platten sind durch ausreichende Krümmungsradien auszurunden, um ein Knicken der Fasereinlagen bei der Herstellung auszuschließen. Die interlaminaeren Zugbeanspruchungen infolge von Krümmungen sind nachzuweisen.

- (3) Zur Entformung der Bauteile und zum besseren Einbringen der Fasereinlagen sind die senkrechten Stege mit einer Seitenneigung je nach der Höhe des Querschnittes auszuführen.
- (4) An den Längsrändern serienmäßig gefertigter, profilierter Platten sind Verbindungen an der Oberseite der Profilierungen anzuordnen.
- (5) An der Kontur der Platten und an Öffnungen sind zur Sicherung freier Ränder Randprofile oder Aufkantungen vorzusehen. Aufkantungen sind stets ausreichend auszurunden.
- (6) Zur Einleitung konzentrierter Lasten an den Auflager- und Lastpunkten sind Aussteifungen anzuordnen.

9.2.4 Schalenförmige Bauteile

- (1) Die Formgebung der dünnwandigen Schalen sollte nach den Grundsätzen für zugbeanspruchte Membrane erfolgen, wobei eine gleichmäßige Dicke anzustreben ist.
- (2) Zur Sicherung der Formstabilität von Schalen mit großen Krümmungsradien sind für den Transport und die Montage eine ausreichende Anzahl von Aussteifungsrippen anzuordnen.
- (3) In Bereichen mit großer Druckbeanspruchung sind die Krümmungsradien der Schalen zu verkleinern, die Schalendicke zu vergrößern oder in den Hauptbeanspruchungsrichtungen Rippen vorzusehen.
- (4) Durch Vorspannen und Verspannen der Schalen kann eine günstige Schalenform und ein günstiges Tragverhalten erreicht werden.
- (5) Die Randkonturen der Schalen sind durch Kunststoff- oder Stahlprofile (Rohre / Hohlkästen) zu versteifen, wobei eine kraftschlüssige Verbindung mit der Schalenfläche durch Überlaminierung herzustellen ist.
- (6) An den Verbindungsstellen zu benachbarten Bauteilen und zu den Unterstützungsstrukturen ist auf eine hohe Maßgenauigkeit zu achten, um Zwängungsspannungen bei der Herstellung der Verbindung, z.B. durch Anziehen von Schrauben, zu verhindern.

9.2.5 Behälter

- (1) Die Formgebung der Behälter erfolgt in der Regel durch Zusammenfügen verschiedener Formen von Rotationsschalen, wie Zylinder, Kegel, Kugel, u.a.m.
- (2) Die Verbindung der Lamine untereinander und mit den anderen Bauteilen ist mit symmetrischer Stoßanordnung auszuführen.
- (3) Beim Herstellen der Behälterwand aus vorgefertigten, ebenen Laminaten sind die Krümmungsradien beim Einrollen der ebenen Lamine für den Transport, wegen der zu erwartenden Schädigungen durch Rissbildung, zu begrenzen.
- (4) Die Dicke der Behälterwand kann bei stehenden Behältern entsprechend der Beanspruchung abgestuft werden.
- (5) An Rohreinführungen sind die Ränder entsprechend den auftretenden höheren Beanspruchungen ausreichend zu verstärken.
- (6) Bei Wasserbehältern, welche im Freien stehen, sind zur Vermeidung einer Algenbildung die Lamine dunkel einzufärben oder zu streichen.

9.2.6 Sandwichkonstruktionen

Allgemeines

(1) Sandwichbauteile bestehen aus einer leichten Kernschicht mit hohem Wärmedämmvermögen und dünnen beidseitigen Deckschichten mit hohem Tragvermögen. Die Kernschicht besteht vorwiegend aus geschäumten Kunststoffen, die Deckschichten bestehen aus faserverstärkten Kunststoffen, Stahl, Aluminium oder auch anderen Werkstoffen.

Zur Einleitung von Stützkräften und zur Randverstärkung können örtliche Verstärkungen in Form von Profilen aus Stahl, Aluminium, Holz oder durch Randprofilierung der Deckschichten angeordnet werden.

Die Herstellung kann erfolgen durch:

- Erstellen des Sandwiches aus Kern und Deckschichten in einem Arbeitsgang (z.B. durch Vakuuminfusion, RTM- oder Prepreg-Verfahren)
- Ausschäumen des Kerns zwischen den Deckschichten im Stand- oder Durchlaufverfahren

(2) Die Kernschicht hat im Regelfall eine gleichmäßige Dicke. Im Falle der statischen Tragfunktion muss der Schaumstoff eine Mindestdichte von 40 kg/m^3 aufweisen. Sie überträgt vorwiegend die Querkräfte zu den Auflagern und gegebenenfalls zu den Randprofilen. Die Stöße zwischen den Kernteilen, den Rand- und Auflagerprofilen sind kraftschlüssig herzustellen.

(3) Um das statische Zusammenwirken zwischen Kern- und Deckschichten zu gewährleisten sind die Verbundflächen technologisch vorzubereiten, z. B. durch Entfetten, Aufbringen von Einbrennlacken etc.

Die Verbindung der Deckschichten mit den Auflager- und Randprofilen ist kraftschlüssig zu konstruieren. Die Mindestdicke der Deckschichten aus Kunststoffen soll, ohne Ansatz von Schutzschichten, 1,0 mm betragen.

Die Mindestlagenüberlappung soll 10 cm betragen (Stöße versetzen).

(4) Die Verbindungen zwischen den Sandwichbauteilen an den Längs- und Querrändern hat so zu erfolgen, dass durch auftretende Einwirkungen keine undichten Fugen entstehen.

Die leichten Sandwichbauteile sind ausreichend sicher gegen abhebende Wirkungen, wie z. B. Windsog, mit der Unterkonstruktion zu verankern.

(5) Nach der Herstellung der Bauteile ist eine ausreichende Aushärtungszeit vorzusehen. Dazu sind die Bauteile so zu lagern, dass Vorverformungen auszuschließen sind.

(6) Sandwichbauteile können statische und bauphysikalische Anforderungen erfüllen, wie z.B. erhöhte Wärme- oder Schalldämmung.

9.2.7 Absturzsichernde Bauteile

(1) Absturzsichernde Bauteile aus Kunststoffen können in Anlehnung an die Regeln im konstruktiven Glasbau ausgeführt werden.

9.2.8 Brücken

(1) Bei Brücken mit Bauteilen aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) oder kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff (CFK) sollte darauf geachtet werden, alle Detailpunkte und Verbindungsmittel korrosionsfest auszuführen.

(2) Fahrbahntafeln aus pultrudiertem GFK können auf Stahlträger durch Kopfbolzendübel oder eine Klebefuge verbunden werden. Zur Vorbereitung der Verklebung ist eine geeignete Oberflächenvorbehandlung notwendig. Es ist eine trockene, ausreichend warme und staubfreie Umgebung sicherzustellen.

(3) Bei Straßenbrücken sollten die Einwirkungen aus konzentrierten Radlasten durch Versuche nachgewiesen werden. Die lastabtragende Funktion eines Fahrbahnbelags kann angesetzt werden, dabei sollte die Zugfestigkeit des Belags jedoch nicht in Rechnung gestellt werden.

(4) Für die Herstellung einer rauen Oberfläche wird ein Reaktionsharz - Dünnbelag nach ZTV-ING, Abschnitt 7, Teil 5 empfohlen.

9.3 Verbindungen und Auflagerungen

(1) Verbindungen zwischen den einzelnen Bauteilen können im Werk und auf der Baustelle hergestellt werden.

Bei Duroplasten durch

- Kleben
- Laminieren
- Schrauben (mit und ohne Vorspannung)

Bei Thermoplasten durch

- Kleben
- Schweißen
- Schrauben (nur ohne Vorspannung)

Bei der Ausführung auf der Baustelle sind geeignete Maßnahmen zum Schutz gegen Regen und niedrige Temperaturen vorzusehen.

(2) Die der aggressiven Medienbelastung ausgesetzten Oberflächen von Kunststoffbauten sollen möglichst klein und wenig gegliedert sein. Verschweißte Konstruktionen sind wegen der glatten Flächen mechanisch verbundenen Konstruktionen vorzuziehen. Unterbrochene Fugennähte sind zu vermeiden.

(3) Im Auflagerbereich können einzelnen Bauteile durch Verstärkung der Bauteildicken oder Anordnung von Aussteifungen, wie z.B. Querschotte versteift werden. Gegebenfalls sind Einbauteile aus Stahl oder anderen Materialien vorzusehen, deren Eignung nachzuweisen ist.

(4) Die Auflagerkonstruktion muss in der Lage sein, konzentrierte Druck- und Sogkräfte aufzunehmen und größere Verformungen zuzulassen.

(5) Bei allen stiftförmigen Verbindungsmitteln wie Schrauben, Bolzen sollen die Achsabstände $5 d_s$ und die Randabstände $2,5 d_s$, jedoch mindestens 30 mm nicht unterschreiten.

(6) Bei Passverbindungen darf das Lochspiel höchstens 0,5 mm betragen.

(7) Im Lochbereich darf kein Gewinde vorhanden sein. In der Regel sind bei geschraubten Verbindungen Unterlegscheiben zu verwenden.

9.4 Herstellung und Konstruktion

9.4.1 Faserverbundkunststoffe

- (1) Für GFK-Lamine gelten die einschlägigen Regelungen der DIN 18820.
- (2) Alle tragenden GFK-Lamine beginnen und enden im Schichtenaufbau mit einer Wirrfaserschicht von mindestens 450 g/m² flächenbezogener Masse (Symmetrie). Dies gilt nicht für pultrudierte Profile.
- (3) Bei Bauteildicken $t > 15$ mm sind gezielte Maßnahmen wegen exothermer Reaktionen erforderlich.
- (4) Fasern dürfen nicht frei liegen. Schnittkanten und Bohrlöcher sind mit Gelcoat (auf Reaktionsharzbasis) zu versiegeln.
- (5) Die im Verbund liegenden Matten- und Rovinglagen sind ohne Unterbrechung um Krümmungen mit planmäßigem Kraftfluss herumzuführen und ausreichend auszurunden. Die interlaminare Zugfestigkeit ist nachzuweisen analog zu DIN 18820-2, Abschnitt 2.4.4. Abstufungen der Materialdicke sollen möglichst stetig verlaufen. Überlappungen müssen jeweils ausreichend lang sein, die Laminatstöße sind ausreichend abzustufen. Die Ränder von Aussparungen sind durch Randsteifen zu verstärken, die Ecken sind auszurunden.
- (6) Alle Fasern müssen gleichmäßig vom Kunststoff umhüllt sein (Verbund möglichst luftporenfrei).
- (7) In Bereichen mit starker Krümmung sind unverstärkte Harzdicken von über 1 mm unzulässig. Hier ist besonders sorgfältig durch Ausrollen bzw. Eindrücken eine gute Haftung der Laminatschichten ohne verbleibende Lufträume herzustellen.
- (8) Die Lamine sind regelmäßig auf ihren ordnungsgemäßen Zustand hin zu untersuchen. Oberflächenrisse und Delaminierungen sind fachgerecht auszubessern.

9.4.2 Unverstärkte Kunststoffe

- (1) Die im Vergleich zu anderen Baustoffen großen Temperaturendeckungskoeffizienten sind bei Berechnung und Konstruktion zu berücksichtigen.
- (2) Flächen und Spalten, auf bzw. in denen sich Wasser oder aggressive Medien wie z.B. Staub, Salze, angreifende Lösungen, usw. ansammeln können, müssen konstruktiv vermieden werden.
- (3) Begehbare Flächen sind zu profilieren oder in einer anderen geeigneten Weise zu gestalten, um Rutschgefahr bei Nässe zu vermeiden.

10 Ausführung und Überwachung

10.1 Rohprodukte

10.1.1 Allgemeines

(1) Die Eigenüberwachung ist vom Hersteller bzw. in dessen Auftrag durchzuführen. Die Fremdüberwachung muss im Auftrag des Herstellers / Unternehmers oder Importeurs durch eine hierfür anerkannte Prüf-, Überwachungs- oder Zertifizierungsstelle vorgenommen werden.

(2) Die serienmäßige Herstellung der Stoffe für Bauprodukte bzw. Bauarten hat in Betrieben (Herstellerwerken) zu erfolgen. Ausgenommen ist die Erstellung von Stoffen (z.B. Überlaminieren oder Stoffverbindungen) im Verlauf von Montagearbeiten oder bei Einzelfertigungen vor Ort.

(3) Herstellerwerke und Montagefirmen müssen organisatorisch, personell und technisch so ausgestattet sein, dass eine weitestgehend gleich bleibende, unbedingt aber den jeweiligen Anforderungen des Einzelfalles entsprechende Qualität garantiert werden kann.

(4) Bei der Eigen- sowie der Fremdüberwachung ist allgemein die DIN 18200, für Laminate / Formstoffe aus GF-UP und GF-PHA – sinngemäß aber auch für EP-, VE- und weitere GFK-Materialien – zugrunde zu legen. Bauaufsichtlich eingeführte Material- oder Anwendungsnormen bei geregelten Bauprodukten sowie bauaufsichtliche Zulassungen / Zustimmungen / Prüfzeugnisse bei ungeregelten Bauprodukten können detailliertere, davon abweichende bzw. darüber hinausgehende Vorschriften enthalten.

(5) Die Verpflichtung des Unternehmers / Herstellers / Importeurs zur ordnungsgemäßen Qualitätssicherung seiner geregelten, wie auch ungeregelten Bauprodukte ist unabhängig davon, ob die damit hergestellten baulichen Anlagen genehmigungspflichtig oder -frei sind.

Der Hersteller ist für die Erbringung der Materialnachweise verantwortlich. Der Bauherr beziehungsweise der von ihm bestellte Entwurfsverfasser ist gemäß Bauordnung uneingeschränkt dafür verantwortlich, dass die Bauausführung dem öffentlichen Baurecht entspricht.

10.1.2 Eigenüberwachung

(1) Während der Herstellung sind an jeder Produktionsstätte kontinuierliche Aufzeichnungen über alle für die Identifizierung sowie für die Güte und Gleichmäßigkeit (Qualität) der Stoffe (Bauprodukte) wichtigen Fakten zu führen, z.B.

- Bezeichnung, Typ- und Seriennummer
- Art, Aufbau, Zusammensetzung, Rezeptur
- Herstellungsort und -datum
- Produktionsanlage, zuständiger Mitarbeiter
- Eventuelle Probenentnahmen

(2) Während beziehungsweise nach der Herstellung ist die Einhaltung charakteristischer Eigenschaftswerte (zwecks Übereinstimmung mit den jeweiligen Anforderungen) durch zeitnahe Kontrollprüfungen an bzw. aus Produktionsteilen nachzuweisen und zu dokumentieren. Der Nachweis kann auch an repräsentativen, unter gleichen Bedingungen gefertigten Proben erbracht werden.

Beispielsweise sind dies für GFK-Lamine nach DIN 18820-4, der Glasverstärkungsaufbau nach Art, Lage und Menge sowie der Verformungsmodul, der den Biegemodul (zur Steifigkeitskontrolle) und das Kriechverhalten (zur Aushärtungskontrolle) enthält.

Diese zeitnah ermittelten Kontrollwerte sind laufend zwischen Qualitäts- und Produktionsverantwortlichen abzustimmen um bei eingetretenen oder absehbaren Abweichungen / Vorgaben umgehend die erforderlichen Produktionskorrekturen zu veranlassen.

(3) Art, Umfang und Häufigkeit der Eigenüberwachung (Zeitabstände, Anzahl der zu kontrollierenden Bauprodukte und daraus zu entnehmenden Prüfkörper) müssen den jeweiligen Vorschriften (Normen, Zulassungen, Prüfzeugnissen, ggf. auch zusätzlichen vertraglichen Vereinbarungen) entsprechen.

Beispielsweise sollen bei GFK-Laminaten nach DIN 18820-4 die Glasmenge und der Verformungsmodul an jedem Bauteil, jedoch mindestens einmal arbeitstäglich überprüft werden. Ergänzende DSC-Messungen werden empfohlen.

(4) Beim Wechsel von Rohstoffen (z. B. Harz- und Glaschargen bei GFK) und Einfärbungen sind die Prüfungen je Rohstoffvariante durchzuführen.

(5) Die Häufigkeit der Eigenüberwachungsprüfung ist entsprechend der Tabelle 10-1 und Tabelle 10-2 durchzuführen. Die Überwachung der Füller je Charge oder Abfüllung hat sinngemäß zu erfolgen.

(6) Bei einer sehr geringen Produktion muss mindestens 1 x jährlich geprüft werden.

(7) Das Protokoll der werksseitigen Produktionskontrolle muss folgende Angaben enthalten:

- Erzeuger
- Name / Typ des Stoffes
- Form und Größe der Proben nebst der Kennung
- Datum und Chargennummer der Herstellung
- Ort und Datum der Entnahme, evtl. Name des Bauvorhabens
- Unterschrift des / der Verantwortlichen

(8) Die Aufzeichnungen sind statistisch auszuwerten und über 5 Jahre im Herstellerwerk aufzubewahren sowie auf Verlangen der Bauaufsicht zur Einsicht freizugeben.

Tabelle 10-1: Art und Umfang der Probenentnahme von Ausgangsstoffen für Halbzeuge sowie für Verbindungsmittel

Prüfung	Mindesthäufigkeit der Eigenüberwachungsprüfungen	
	Prod. je Woche	Prod. je Menge
Dichte bzw. Faservolumenanteil	1 * je Produkt und Woche	alle 10 t
Kornzusammensetzung (Granulat)	1 * je Produkt und Woche	alle 50 t

Tabelle 10-2: Prüfung der erhärteten Produkte (Halbzeug)

Prüfung	Anzahl der Prüfungen je Charge	Toleranz
Biegezug- und Druckfestigkeit	jede	- 10% ¹
Wärmedehnkoeffizient	jede 10.	± 10% ²
Rohdichte bzw. Faservolumenanteil	jede	± 5% ²

¹ bezogen auf Fraktilwert der Festigkeit

² bezogen auf Mittelwert

10.1.3 Fremdüberwachung

(1) Es ist zwischen dem Hersteller und der die Fremdüberwachung durchführenden Prüfstelle ein Überwachungsvertrag abzuschließen, in welchem der Überwachungsgegenstand, die Grundlagen und der Prüfumfang sowie die Produkte einzeln aufgeführt sind.

(2) Der Fremdüberwacher hat die personelle und technische Ausstattung des Herstellerbetriebes zu überprüfen.

Dies betrifft im Besonderen:

- Lagerung der Stoffe
- Verfallsdaten der Stoffe
- Zustand der Fertigungsstätten Maschinen und Geräte
- Eignung des Produktions- und Prüfpersonals

(3) Die regelmäßigen Kontrollprüfungen betreffen im Besonderen:

- Wand- und Schichtdicken
- Materialaufbau
- Mechanische Kennwerte

(4) Die Regelprüfung ist jährlich mindestens 2 x durchzuführen, kann aber bei einer geringeren oder nur saisonalen Produktion einzelner Bauprodukte auf 1x jährlich reduziert werden.

10.1.4 Probenentnahme

(1) Die Proben sind im Herstellerwerk aus der Produktion nach statistischen Grundsätzen zu entnehmen.

(2) Die statistische Auswertung soll analog der DIN EN 13791 erfolgen. Es sind mindestens 12 Proben zu entnehmen. Liegt nur ein Ausreißer vor, so kann dieser unter Wegfall des Besten bei der Auswertung unberücksichtigt bleiben. Zwei und mehr Ausreißer sind prinzipiell zu werten.

(3) Die Proben sind unverwechselbar wie folgt zu kennzeichnen:

- Hersteller
- Ort und Datum
- Bauprodukt / Stoffbezeichnung
- Proben-Nr.

- Herstellerdatum und Chargennummer
- Unterschrift des Verantwortlichen

(4) Der Fremdüberwacher / die Prüfstelle hat bei den Regelprüfungen stichprobenartig die Ergebnisse, statistischen Auswertungen und Dokumentationen der werkseigenen Produktionskontrolle zu sichten und zu beurteilen, ggf. bei Unregelmäßigkeiten Nachprüfungen zu veranlassen oder durchzuführen.

Bei über die Festlegungen / Grenzen der Überwachungsgrundlagen (Norm, Zulassung, Prüfzeugnis) hinausgehenden Abweichungen sind Bauprodukte oder Produktionslose zu verwerfen und Produktionsumstellungen zu veranlassen.

(5) Der Fremdüberwacher stellt einen Überwachungsbericht aus, der u. a. folgende Angaben enthalten muss:

- Nr. und Datum des Überwachungsvertrages
- Nr. und Datum des Berichtes
- Herstellerwerk
- Überwachungsgegenstand
- Überwachungsgrundlage
- anwesende Personen (Verantwortliche)
- Beurteilung der Fertigungsstätten, Geräte und Lagerungsbedingungen
- Beurteilung der Proben
- Beurteilung der Eigenüberwachung
- Beurteilung der Verwendbarkeit
- Unterschriften der Überwachungsstelle und des Prüfverantwortlichen

(6) Der Fremdüberwacher / die Prüfstelle hat entsprechend der festgelegten Überwachungshäufigkeit mit den Berichten die eingeschaltete Zertifizierungsstelle über den aktuellen Stand der Eigen- und Fremdüberwachung, insbesondere dabei aufgetretene Besonderheiten / Unregelmäßigkeiten/Mängel zu informieren und mit ihr ggf. erforderliche Maßnahmen abzustimmen.

Ggf. sind auch – bei bauaufsichtlicher Vorgabe oder entsprechender vertraglicher Regelung – zuständige Behörden oder dritte Vertragsparteien zu informieren.

10.2 Halbzeuge und Verbindungsmittel

10.2.1 Allgemeines

(1) Prüfung der Halbzeuge in der Eingangskontrolle und Beurteilung von Qualität und Gebrauchstauglichkeit im Hinblick auf die schweißtechnische Praxis siehe DVS 2201-1.

(2) Die Prüfung der Schweißignung einer gegebenen Kombination von Halbzeugen miteinander sowie von Schweißzusätzen siehe DVS 2201-2.

(3) Bei GFK-Materialien erfolgt die Eingangskontrolle der Einzelkomponenten in Übereinstimmung mit DIN 18820-1 durch Werkszeugnisse der Zulieferer nach DIN 50049, Absatz 2.2, mit Angabe für Harz nach DIN 16945 und 16946 bzw. für Glaserzeugnisse nach DIN 61853, DIN 61854 und DIN EN 14020.

(4) Es ist ein Lagerbuch über Eingangs-, Lager- und Verarbeitungsdaten der Komponenten zu führen.

10.2.2 Prüfung der Halbzeuge (Thermoplaste sowie Duroplaste und Elastomere)

- (1) Es gelten die
- | | |
|------------|---|
| DVS 2201-1 | Prüfen von Halbzeug aus Thermoplasten:
Grundlagen |
| DVS 2201-2 | Prüfen von Halbzeug aus Thermoplasten:
Schweißbeignung, Prüfverfahren. |
- (2) Die Prüfungen gehen nicht auf die Qualität ein. Sie lassen auch keine Aussagen über die Güte der mit den Schweißpartnern hergestellten Schweißverbindungen zu.
- (3) Eine Aussage über die Schweißbeignung im Hinblick auf die Güte der Schweißausführung ist in der DVS 2203 und in der DVS 2212 geregelt.
- (4) Die Qualitätsbeurteilung ist den einschlägigen DIN-Normen bzw. den Lieferbedingungen der Hersteller zu entnehmen.

10.2.3 Prüfung der Klebstoffe

- (1) Duroplaste sowie Elastomere sind Klebprodukte.
- (2) Die Verarbeitung sowie die Begriffe sind in der DVS 2204-3 geregelt.

10.2.4 Prüfung von Schweißzusätzen

- (1) Die Prüfung der Schweißzusätze ist in der DVS 2211 geregelt.

10.3 Bauausführung

10.3.1 Allgemeines

- (1) Die Eigenüberwachung ist vom Bauleiter durchzuführen.
- (2) Die Fremdüberwachung ist von einem anerkannten Prüfenieur bzw. einem anerkannten Sachverständigen für Standsicherheit durchzuführen.
- (3) In Fällen von geringfügigen Mängeln kann die Nachbegehung von der objektverantwortlichen Stelle durchgeführt werden.

10.3.2 Personal und Ausstattung des ausführenden Betriebes

- (1) Die Betriebe müssen über Einrichtungen verfügen, mit denen die Arbeiten sachgerecht durchgeführt werden können. Die einschlägigen Unfallverhütungsvorschriften sowie die Merkblätter der Berufsgenossenschaften der Chemischen Industrie sind zu beachten.

10.3.2.1 Personal

- (1) Das Herstellen, Verarbeiten, Prüfen und Überwachen von Kunststoffprodukten erfordert eine nach DVS 2220 ausgebildete Fachkraft, Bauleiter sowie Fachpersonal, welche sowohl in der Fertigung als auch auf der Baustelle auf diesem Gebiet mit Erfolg schon tätig waren und ausreichende Kenntnisse und Erfahrung besitzen.

10.3.2.2 Führungskraft

(1) Sie ist zuständig und verantwortlich für alle Belange im Betrieb und auf der Baustelle.

10.3.2.3 Bauleiter

(1) Der Bauleiter ist für ein fachlich qualifiziertes und sicheres Arbeiten auf der Baustelle zuständig.

10.3.2.4 Baustellenfachpersonal

(1) Auf der Baustelle muss eine nach DVS 2220 ausgebildete Fachkraft mit Kunststoffkenntnissen ständig anwesend sein.

10.3.2.5 Geräteausstattung

(1) Auf der Baustelle müssen folgende Arbeiten jederzeit fachgerecht ausgeführt werden können:

- Lagern der Baustoffe
- Messen
- Verarbeiten
- Prüfen

Dabei sind ausreichende Vorkehrungen gegen Witterungseinflüsse vorzusehen.

10.4 Überwachung

10.4.1 Überwachung auf der Baustelle

10.4.1.1 Allgemeines

(1) Für jede Baumaßnahme ist eine Überwachung gemäß DIN 18200 „Überwachung“ von Baustoffen, Bauteilen und Bauarten durchzuführen.

(2) Der Nachweis über die Eigen- und Fremdüberwachung der Rohprodukte sowie der Halbzeuge ist auf der Baustelle vorzuhalten.

10.4.1.2 Eigenüberwachung

(1) Es ist ein Bautagebuch mit folgendem Inhalt zu führen:

- Beginn und Ende der Arbeiten
- Witterungsverhältnisse
- Bauwerkstemperatur
- Bauteiltemperatur
- verarbeitete Stoffe
- Lieferwerk, Chargennummer
- Arbeitsabläufe
- Untergrund, Verankerung, Maßgenauigkeit
- Geräteeinsatz
- Personal

(2) Die Aufzeichnungen sind ständig an der Baustelle vorzuhalten.

(3) Sie sind bei der Herstellerfirma mindestens 5 Jahre aufzubewahren.

10.4.1.3 Fremdüberwachung

(1) Dem Fremdüberwacher ist Einsicht in alle Unterlagen zu gewähren.

(2) Es ist besonders auf folgende Punkte zu achten:

- ordnungsgemäße Nachweise der Eigen- bzw. Fremdüberwachung
- Beschaffenheit und Lagerung der Baustoffe
- Gerätepark
- Vollständigkeit der Planunterlagen
- Qualifikation des Personals

(3) Der Überwachungsbericht soll mindestens folgende Angaben enthalten:

- Bauherr
- Baustelle
- Unternehmen
- Bauleiter
- Material der Produkte
- Ergebnisse der Kontrollen insbesondere der Eigenüberwachung
- Datum, Unterschrift des Überwachers

(4) Als fachlich qualifiziert sind alle Personen anzusehen, die eine nach DVS 2220 ausgebildete Fachkraft sind.

(5) Die Überwachung der Herstellung und der Materialien erfolgt in der Regel stichprobenartig.

(6) Bei der Feststellung Gefahr drohender Schäden sind sofort alle Beteiligten, die Planenden, der Bauherr sowie die kommunale Bauaufsicht zu benachrichtigen.

(7) Bei Außenbauteilen ist eine Gefährdung von Fußgängern sowie des Straßenverkehrs auszuschließen.

10.4.1.4 Wiederkehrende Prüfungen

(1) Art und Umfang der Prüfungen sowie der Anforderungen und Toleranzen im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung sind wie folgt festgelegt:

- Werden an einem Objekt umfangreiche bauliche Veränderungen bzw. Instandsetzungen vorgenommen, so gelten dann die Regelungen wie bei Neubauten.
- Nach der ersten 5 - Jahresbegehung ist dann alle 3 Jahre eine Zwischenbegehung durchzuführen.
- Bei der Untersuchung bzw. Begutachtung sind die Sicherheit des Verkehrs sowie die Einhaltung der Unfallverhütungsvorschriften zu gewährleisten.
- Vor Ablauf der Verjährungsfrist für Gewährleistungsansprüche ist immer eine Begehung durchzuführen.
- Bauwerke, die nur mit Hilfe von Rüstungen oder Besichtigungsgeräten zugänglich sind, können im Rahmen einer Voruntersuchung auch mit dem Fernglas inspiziert werden. Dies liegt in der Eigenverantwortlichkeit des Abnehmenden.
- Im Rahmen der Untersuchung sollen vorrangig die bei einer vorangegangenen Begehung festgestellten Mängel und Schäden beobachtet und Veränderungen am Bauwerk festgehalten werden.

(2) Es sind folgende Schwerpunkte zu kontrollieren:

- Aufhängung bzw. Auflagerung
- Setzungen, Deformation
- Schiefstellungen bzw. Verdrehungen und Verzug
- Die Maßgenauigkeit im Hochbau ist anzuwenden, wobei die Forderungen an den Stahlbau anzusetzen sind (DIN 18202)

- Befestigungen von weiteren Bauteilen
- Lockerung der Verbindungsmittel
- Stöße
- Fugenausbildung
- Stirndichtungen als Profil sowie als aufgeklebte Manschette
- Dichtigkeit bei Bauteilen, die im Wasser stehen bzw. im Außenbereich
- Bei Innenentwässerung, ob eingedrungenes Wasser ungehindert abfließen kann
- Bei einem Materialwechsel z. B. von Kunststoff zu Holz sind die Randbedingungen zu überprüfen (Quellen und Schwinden)
- Farbbeständigkeit
- Konstruktionen zur Befahrung und Reinigung
- Absturzsicherung
- Leit-, Schutzschienen und Schutzsicherungen
- brandschutztechnische Belange
- Beschädigungen
- Reinigung bzw. Verschmutzung

10.4.2 Zustandsklassifizierung

10.4.2.1 Beweissicherung

- (1) Schäden erfordern eine Zwischenkontrolle.
- (2) Dabei sind alle relevanten Randbedingungen wie z. B. Standsicherheit, Material, Brandschutz, Arbeitssicherheit sowie versicherungstechnische Belange zu berücksichtigen.
- (3) Es sind folgende Angaben festzuhalten:
 - Datum der Schadens- und Zustandsbewertung
 - Angaben zum Ort und der Lage des Objektes
 - Art der Konstruktion, statisches System
 - allgemeine Angaben zu den vorhandenen Schäden
 - Angaben zu früheren Schäden
 - detaillierte Angaben zu vorhandenen Sicherheitsmängeln, Schadensstufe, Anzahl, Größenordnung
 - skizzenhaftes Sichern, Fotos
 - Bewertung des baulichen Zustandes der Bauwerksteile / des Gesamtbauwerkes
 - Angaben zu Sofortmaßnahmen
 - Verkehrssicherung

10.4.2.2 Schadensstufen

- (1) Es ist eine Einstufung in Schadensstufen vorzunehmen.
 - Schadensstufe 0 Merkschaden (sonst ohne Bedeutung)
 - Schadensstufe 1 geringfügige Schäden
 - Schadensstufe 2 Schäden und Mängel mittleren Umfangs
 - Schadensstufe 3 Schäden und Mängel großen Umfangs
 - Schadensstufe 4 völlige Verrottung, Zerstörung

10.4.2.3 Zustandskategorien

(1) Es gelten folgende Zustandskategorien:

Zustandskategorie 1

Am Bauwerksteil, welche die Sicherheit nicht beeinflussen. Maßnahmen des vorbeugenden Unterhalts sind bei langfristig (länger als 10 Jahre) zu erhaltenden Bauwerksteilen auf ihre Wirtschaftlichkeit zu überprüfen.

Zustandskategorie 2

Punktuelle Schäden am Bauwerksteil, welche die Sicherheit nicht beeinflussen. Maßnahmen des vorbeugenden Unterhalts sind bei langfristig (länger als 5 Jahre) zu erhaltenden Bauwerksteilen auf ihre Wirtschaftlichkeit zu überprüfen.

Zustandskategorie 3

Umfangreiche Schäden am Bauwerksteil, welche die Sicherheit nicht beeinflussen. Eine Instandsetzung ist noch möglich, ihre Wirtschaftlichkeit ist zu prüfen.

Zustandskategorie 4

Gravierende Schäden am Bauwerksteil, welche die Sicherheit noch nicht beeinflussen. Eine wirtschaftliche Instandsetzung ist nicht mehr möglich.

11 Normen und Richtlinien

11.1 Grundnormen

DIN 1055	Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen (06/02) Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten (03/06) Teil 4: Windlasten (03/05) Teil 5: Schnee- und Eislasten (07/05) Teil 6: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter (03/05) Teil 7: Temperatureinwirkungen (11/02) Teil 8: Einwirkungen während der Bauausführungen (01/03) Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen (08/03) Teil 10: Einwirkungen infolge Krane und Maschinen (07/04)
DIN 1055-100	Einwirkungen auf Tragwerke Grundlagen der Tragwerksplanung Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln (03/01)
DIN 4149	Bauten in deutschen Erdbebengebieten Lastannahmen, Bemessung und Ausführung (04/05)
DIN 7724	Polymere Werkstoffe, Gruppierung polymerer Werkstoffe aufgrund ihres mechanischen Verhaltens (04/93)
DIN 18200	Übereinstimmungsnachweis für Bauprodukte (05/00)
DIN 18202	Maßtoleranzen im Hochbau (10/05)
DIN 18800	Stahlbauten Teil 1 : Bemessung und Konstruktion (08/11) Teil 2 : Stabilitätsfälle – Knicken von Stäben und Stabwerken (08/11) Teil 3 : Stabilitätsfälle – Plattenbeulen (08/11) Teil 4 : Stabilitätsfälle – Schalenbeulen (08/11)
DIN 18820	Lamine aus textilverstärkten ungesättigten Polyester- und Phenacrylatharzen für tragende Bauteile Teil 1 : Aufbau und Eigenschaften (03/91) Teil 2 : Physikalische Kennwerte der Regellamine (03/91) Teil 3 : Schutzmaßnahmen für das tragende Laminat Teil 4 : Prüfung und Güteüberwachung
DIN EN 1990	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung (04/06)
DIN EN 1991	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke; Wichten, Eigenlasten und Nutzlasten im Hochbau (10/02) Teil 1-2: Allgemeine Einwirkungen; Brandeinwirkungen auf Tragwerke (09/03) Teil 1-3: Allgemeine Einwirkungen; Schneelasten (09/04) Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen;

	Windlasten (07/05)
	Teil 1-5: Allgemeine Einwirkungen; Temperatureinwirkungen (07/04)
	Teil 1-6: Allgemeine Einwirkungen; Einwirkungen während der Bauausführung (09/05)
	Teil 1-7: Allgemeine Einwirkungen; Außergewöhnliche Einwirkungen (07/06)
	Teil 2: Allgemeine Einwirkungen; Verkehrslasten auf Brücken (05/04)
	Teil 3: Allgemeine Einwirkungen; Einwirkungen infolge von Kranen und Maschinen (03/07)
	Teil 4: Allgemeine Einwirkungen; Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter (12/06)
DIN EN 1998	Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen (04/06)
DIN EN 10204	Bescheinigungen über Materialprüfungen
DIN EN 13706	Spezifikation für pultrudierte Profile Teil 1 : Bezeichnungen (02/03) Teil 2 : Prüfverfahren und allgemeine Anforderungen (02/03) Teil 3 : Besondere Anforderungen (02/03)
DIN EN ISO 1043-1	Kunststoffe, Kennbuchstaben und Kurzzeichen Basis-Polymere (01/00)
DIN EN ISO 1043-2	Kunststoffe, Kennbuchstaben und Kurzzeichen Füllstoffe und Verstärkungsstoffe (04/02)

11.2 Stoffnormen

DIN 16944	Glasfaserverstärkte Reaktionsharzformstoffe (07/88)
DIN 16945	Reaktionsharze, Reaktionsmittel und Reaktionsharzmasse (03/89)
DIN 16946	Reaktionsharzformstoffe, Gießharzformstoffe (03/89)
DIN 61853	Textilglas, Textilglasmatten für die Kunststoffverstärkung (04/87)
DIN 61854	Textilglas, Textilglasgewebe für die Kunststoffverstärkung (04/87)
DIN EN 1778	Charakteristische Kennwerte für geschweißte Thermoplast-Konstruktionen - Bestimmung der zulässigen Spannungen und Moduli für die Berechnung von Thermoplast-Bauteilen (12/99)
DIN EN 14020	Verstärkungsfasern – Spezifikation für Textilglasrovings (03/03)
DIN EN ISO 1872	Kunststoffe, Polyethylen (PE)-Formmassen Teil 1 : Bezeichnungssystem und Basis für Spezifikation (10/99) Teil 2 : Herstellung von Probekörpern und Bestimmung von Eigenschaften (12/00)
DIN EN ISO 1163	Kunststoffe – Polyvinylchlorid (PVC) – Formmasse (10/99)

DIN EN ISO 8257	Kunststoffe – Polymethylmethacrylat (PMMA) – Formmasse (06/06)
DIN EN ISO 1873	Kunststoffe – Polypropylen (PP) – Formmasse (12/95)
ISO 15014	Kunststoffe – Extrudierte Tafeln aus Polyvinylidenfluorid (PVDF) Anforderungen und Prüfverfahren (10/07)
DIN EN ISO 12162	Thermoplastische Werkstoffe für Rohre und Formstücke bei Anwendung unter Druck - Klassifizierung und Werkstoffkennzeichnung (04/1996)

11.3 Prüfnormen

DIN 16889-1	Bestimmung der chemischen Resistenzfaktoren aus Thermoplasten (06/89)
DIN 52612	Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät (09/79)
DIN 53390	Biegeversuch an unidirektional glasfaserverstärkten Rundstablaminaten (06/88)
DIN 53393	Prüfung von glasfaserverstärkten Kunststoffen, Verhalten beim Einwirken von Chemikalien (03/76)
DIN 53436	Erzeugung thermischer Zersetzungsprodukte von Werkstoffen unter Luftzufuhr und ihre toxikologische Prüfung (07/03)
DIN 53766-1	Bestimmung der Haftfestigkeit im Stirnzugversuch (11/91)
DIN ISO 1887	Textilglas; Bestimmung des Glühverlustes (12/84)
DIN ISO 8013	Elastomere; Bestimmung des Kriechens bei Druck- oder Schubbeanspruchung; (07/93)
DIN EN 921	Kunststoff-Rohrleitungssysteme, Rohre aus Thermoplasten Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens (01/95)
DIN EN 13121-3	Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter Teil 3: Auslegung und Herstellung; (09/04)
DIN EN 13820	Wärmedämmstoffe für das Bauwesen Bestimmung des Gehalts an organischen Bestandteilen (12/03)
DIN EN ISO 178	Kunststoffe - Bestimmung der Biegeeigenschaften (06/03)
DIN EN ISO 527-1	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 1: Allgemeine Grundsätze (04/96)
DIN EN ISO 527-2	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 2: Prüfbedingungen für Form- und Extrusionsmassen (07/96)
DIN EN ISO 527-4	Kunststoffe - Bestimmung der Zugeigenschaften - Teil 4: Prüfbedingungen für isotrop und anisotrop faserverstärkte Kunst- stoffverbundwerkstoffe; (07/97)
DIN EN ISO 604	Kunststoffe - Bestimmung von Druckeigenschaften (02/97)
DIN EN ISO 899-1	Kunststoffe – Bestimmung des Kriechverhaltens Teil 1: Zeitstand - Zugversuch
DIN EN ISO 14125	Faserverstärkte Kunststoffe - Bestimmung der Biegeeigenschaften; (06/98)

DIN EN ISO 14129	Bestimmung des Schermoduls und der Scherfestigkeit in der Lagenebene mit dem $\pm 45^\circ$ Zugversuch (10/03)
DIN EN ISO 14130	Faserverstärkte Kunststoffe - Bestimmung der scheinbaren interlaminaren Scherfestigkeit nach dem Dreipunktverfahren mit kurzem Balken (02/98)
DIN EN ISO 22088	Kunststoffe – Bestimmung der Beständigkeit gegen umgebungsbedingte Spannungsrissbildung (11/06)

11.4 Normen für Halbzeuge

DIN 4266-1	Sickerrohre für Deponien aus PVC-U, PE-HD, PP; Anforderungen, Prüfungen, Überwachung (01/92)
DIN 8075	Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 63, PE 80, PE 100; Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen (08/1999)
DIN 16961	Rohre und Formstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohrinnefläche Teil 1 : Maße (03/00) Teil 2 : Technische Lieferbedingungen (03/00)
DIN EN 1636	Kunststoff-Rohrleitungssysteme (GFK) auf Basis von ungesättigtem Polyesterharz (UP) Teil 3 : Formstücke (12/99) Teil 4 : Gebrauchstauglichkeit der Verbindungen (12/99)

11.5 Bemessungsnormen

DIN EN 1295	Statische Berechnung von erdverlegten Rohrleitungen Teil 1: Allgemeine Anforderungen (09/97)
-------------	---

11.6 Richtlinien / Merkblätter

AD-Merkblatt N 1	Druckbehälter aus textildglasverstärkten duroplastischen Kunststoffen, Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter (07/87)
Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 127	Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen (08/00)
Merkblatt ATV-M 127, Teil 1	Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungsleitungen für Sickerwasser aus Deponien (03/96)
DIBT -	Richtlinie für den Nachweis der Standsicherheit von Metall-Kunststoff-Verbundprofilen, Deutsches Institut für Bautechnik (05/86)
DIBT -	Vorläufige Zulassungsgrundsätze für Rohre aus thermoplastischen Werkstoffen in Basisentwässerungssystemen von Deponien, Deutsches Institut für Bautechnik (12/95)
DIBT -	Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien und Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme, Deutsches Institut für Bautechnik (11/95)
DIBT -	Musterberechnung für Kunststoffbehälter zur Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten, Deutsches Institut für Bautechnik, Reihe B, Heft 4, (03/86)

- DIBT - Berechnungsempfehlungen für stehende Behälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin (02/00)
- DIBT - Berechnungsempfehlungen für auf Sattelschalen gelagerte Behälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin (10/98)
- DIBT-Richtlinie Richtlinie für die Kennwertbestimmung, Zulassungsprüfung, Bemessung und Güteüberwachung von zulassungspflichtigen Bauteilen aus glasfaserverstärktem ungesättigtem Polyesterharz, Deutsches Institut für Bautechnik (12/88)
- DVS-Richtlinie 2204 Kleben von thermoplastischen Kunststoffen
Teil 2 : Polyolefine (02/77)
Teil 3 : Polystyrol und artverwandte Kunststoffe (04/81)
- DVS-Richtlinie 2205 Berechnung von Behältern und Apparaten aus Thermoplasten, Kennwerte
Teil 1 : Kennwerte (06/87)
Beiblatt 6 bis 8 : Zeitstandkurven für Rohre (07/97)
Teil 2 : Stehende runde, drucklose Behälter (10/00)
Teil 3 : Schweißverbindungen (04/75)
Teil 4 : Flanschverbindungen (11/88)
Teil 5 : Rechteckbehälter (07/87)
- DVS-Richtlinie 2207 Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen
Teil 1 : Heizelementschweißen von Rohren, Rohrleitungsteilen und Tafeln aus PE-HD (08/95)
Teil 3 : Warmgasschweißen von Tafeln und Rohren (04/86)
Teil 4 : Extrusionsschweißen von Tafeln und Rohren (07/93)
Teil 5 : Schweißen von PE-Mantelrohren (02/93)
- DVS-Richtlinie 2209 Schweißen von thermoplastischen Kunststoffen
Teil 1 : Extrusionsschweißen (12/81)
Teil 2 : Warmgasextrusionsschweißen (08/97)
- EBGEO - Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen, Entwurf 02/2009
- IfBt - Bau- und Prüfgrundsätze für den Gewässerschutz, Schriften des Instituts für Bautechnik, Berlin (01/85)
- VDI-Richtlinie 2014 Entwicklung von Bauteilen aus Faser-Kunststoff-Verbund
Blatt 1 : Grundlagen (07/89)
Blatt 2 : Konzeption und Gestaltung (09/93)
Blatt 3 : Berechnung (09/06)

12 Literatur

- [1] Ackermann, G.; Beutner, M.: Dünnwandige einschichtige Konstruktionen aus Plastwerkstoffen, In: Bauforschung Baupraxis (1982), Heft 104, Abschnitt 2 Seite 7
- [2] Ackermann, G.; Beutner, M.: Viskoelastische Flächentragwerke, Schriftenreihe der Bauforschung, Heft 62, Bauinformation – DDR – Berlin 1973
- [3] Ackermann, G.; Beutner, M.: Viskoelastische Stabtragwerke, Schriftenreihe der Bauforschung, Heft 50, Bauinformation – DDR – Berlin 1972
- [4] Ackermann, G.: Turmartige Bauwerke aus glasfaserverstärkten Plasten, Plaste und Kautschuk 30 (1983), Heft 12, S. 693, Abschnitt 3 Seite 694
- [5] Ackermann, G.: Zum zeitabhängigen Tragverhalten dreischichtiger Träger unter Quer- und Längsbeanspruchung, Bauplanung-Bautechnik 39 (1985), H.7, S.319-324
- [6] Berner, K.: Stahl / Polyurethan-Sandwichtragwerke unter Temperatur- und Brandbeanspruchung, Dissertation D 17; Darmstadt 1978
- [7] Burkhardt, S.: Zeitabhängige Verformungen von Sandwichelementen, Bauingenieur 64 (1989)
- [8] Deutsches Institut für Normung e.V.: Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen (GruSiBau), Beuth-Verlag Berlin, 1.Auflage 1981
- [9] Drey, K.-D.; Müller, E.; Pabjanek, A.: Methoden der Viskoplastizität, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1972
- [10] Ehrenstein, G.W., Faserverbund-Kunststoffe, Hanser Verlag München, Wien, 1992
- [11] Einsfeld, U.: Bemessung von Tragwerken aus Kunststoffen, In: Der Ingenieurbau: Grundwissen (Hrsg.: G. Mehlhorn), Abschnitt 3.2, Seite 768, Verlag Ernst & Sohn, 1998
- [12] Erhard, G.: Konstruieren mit Kunststoffen, Hanser Verlag München, Wien, 1999
- [13] Franke, L.: Schadensakkumulation und Restfestigkeit im Licht der Bruchmechanik, Fortschritte im konstruktiven Ingenieurbau, Rehm - Festschrift (1984)
- [14] Franke, L., Meyer, H.-J.: Schadensakkumulation bei GFK, Endbericht zum Forschungsvorhaben, Berlin, Dez. 1991
- [15] Gleiter, U.: Einsatz von transparenten Thermoplasten im Bauwesen, Dissertation, TU Darmstadt, 2002
- [16] Großkopf, P. und Winkler, Th.: Auslegung von GFK / Hartschaum-Verbundwerkstoffen Kunststoffe 63 (1973), 881-888
- [17] Habenicht, G.; Kleben – Grundlagen, Technologie, Anwendungen, Springer Verlag, 1997
- [18] Haferkamp, H. und Winkler, T.: Design, Testing and Long-Term Experience with Sandwich Materials on Plastics Basis in the Building Sector
Proceedings of the Fourth International Conference on Composite Materials, ICCM-IV
Oct. 25-27, 1982 TOKYO JAPAN
- [19] Hintersdorf, G.: Tragwerke aus Plaste, Verlag für Bauwesen Berlin, 1969
- [20] Höninger, H.; Reichelt, E.: Langzeit-Deformationsverhalten von Plastwerkstoffen, Institut für Leichtbau, Schriftenreihe „Materialökonomie“ Heft 32

- [21] Jungbluth, O.: Verbund- und Sandwichtragwerke, Tragverhalten, Feuerwiderstand, Bauphysik; Springer-Verlag, Berlin 1986
- [22] Just, M.: Untersuchungen zum Langzeitverhalten von Sandwichplatten mit CO₂-getriebenen Polyurethan-Schaumstoffkernen, Forschungsvorhaben Nr. 10011B, IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH, Hermann-Reichelt-Str. 01109 Dresden
- [23] Just, M.: Zum Langzeitverhalten von Sandwichplatten mit einem Polyurethan-Hartschaumkern, Bauingenieur 67, 1992
- [24] Just, M.: Ergebnisse experimenteller Untersuchungen zum Langzeitverhalten von PUR-Hartschaumstoff – Stützkernbauteilen und Schlussfolgerungen für die Anwendung 1030.Mitteilung aus dem Institut für Leichtbau und ökonomische Verwendung von Werkstoffen, Dresden, IfL-Mitteilungen 22 (1983), Heft 3, 95-104
- [25] Just, M., Gerbet, und Kraaz: Auswertung und Zusammenfassung der europaweiten Versuche und Untersuchungen zum Kriechverhalten halogenfreier PUR-Isolierungen von Kunststoffmantelrohren, Abschlußbericht zum AiF-Forschungsvorhaben 9931 B, IMA Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH, Hermann-Reichelt-Straße; 01109 Dresden
- [26] Kuhlmann, U.: Stahlbau Kalender 2000, Verlag Ernst & Sohn, 2. Jahrgang, Seite 250, Tab.7
- [27] Ludwig, Carsten: Glasfaserverstärkte Kunststoffe unter hoher thermischer und mechanischer Belastung. Forschungsberichte des Instituts für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen (ITKE), Prof. Dr.-Ing. Jan Knippers, Universität Stuttgart, 2009
- [28] Malmeister, A.; Tamuzs, V.; Teters, G.: Mechanik der Polymerwerkstoffe, Akademie-Verlag Berlin 1977
- [29] Mehlhorn, G.; Bemessung, Grundwissen, Bemessung von Tragwerken aus Kunststoffen Faser-Kunststoff-Verband, Seite 750 – 923, Verlag Ernst und Sohn, Berlin, 1998
- [30] Meyer, H.-J; Reihe Werkstofftechnik, Zur Bemessung von GFK-Bauteilen unter Zuhilfenahme der Linear-Elastischen Bruchmechanik und probabilistischer Versagenskriterien, Verlag Shaker
- [31] Michaeli / Huybrechts / Wegener, Dimensionieren mit Faserverbundkunststoffen, Hanser Verlag München, Wien, 1994
- [32] Mini, P., Miller, S.: Versuche an Klebeverbindungen mit GFK-Profilen. Bericht Professur für Tragkonstruktionen, Prof. Dr. O. Künzle, 2000
- [33] Oppe, M., Zur Bemessung geschraubter Verbindungen von pultrudierten faserverstärkten Polymerprofilen, Schriftenreihe Stahlbau, Heft 66, Shaker-Verlag Aachen, ISBN: 978-3-8322-8247-9, 2009
- [34] Peters, S.: Kleben von GFK und Glas für baukonstruktive Anwendungen. Forschungsbericht 27, Institut für Tragkonstruktionen und Konstruktives Entwerfen, Prof. Dr.-Ing. J. Knippers, Universität Stuttgart, 2006
- [35] Puck, A.: Festigkeitsanalyse von Faser-Matrix-Laminaten. München, Wien, Hanser, 1996
- [36] Rabotnow, Ju. N.; Iljuschin, A. A.: Methoden der Viskoelastizitätstheorie, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1969
- [37] Roderic, S. Lakes: Viscoelastic Solids, CRC Press Boca Raton 1999
- [38] Saechtling, Kunststoff Taschenbuch, Hanser Verlag München, Wien, 29. Aufl., 2005

-
- [39] Schürmann, H.: Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden, Springer-Verlag, Berlin, 2005
- [40] Schulz, U.: Tragverhalten von vorgespannten und nicht vorgespannten Schraubenverbindungen mit Fügeteilen aus Glasfaserverstärktem Kunststoff. Bericht T867 der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe, IRB-Verlag Stuttgart
- [41] Schulz, U.: Kleben von glasfaserverstärkten Kunststoffen, Bautechnik 9/1971, S. 308-312
- [42] Stamm, K.: Witte, H.: Sandwichkonstruktionen, Springer Verlag, Wien / New York 1974
- [43] Structural Design of Polymer Composites, EUROCOMP Design Code and Handbook, Edited by John L. Clarke, E & FN SPON, Chapman & Hall, London, 1996
- [44] Taprogge, R.: Konstruieren mit Kunststoffen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1971; Band T21
- [45] Trumpf, H.: Stabilitätsverhalten ebener Tragwerke aus pultrudierten faserverstärkten Polymerprofilen, Shaker Verlag Aachen 2006
- [46] Vallée, T.: Adhesively bonded Lap Joints of pultruded GFRP shapes. Dissertation, ETH Lausanne, CCLab, 2003
- [47] Eabsy, R.C. et al.: Failure model for phenolic and polyester pultrusions under load in fire. *Plastics, Rubber and Composites*, Vol. 36, No. 9, S. 379ff., 2007

13 Anhang A: Einflussfaktoren (Richtwerte) für unverstärkte Kunststoffe

Die Einflussfaktoren sind stark abhängig von den äußeren Einwirkungen und müssen für den Einzelfall ermittelt werden. Nachfolgende Tabellen geben lediglich Richtwerte der Einflussfaktoren wieder. Grundlage sind Erfahrungswerte einzelner Arbeitskreismitglieder.

Tabelle A-1: Einflussfaktor A^f , A^E bzw. A^D infolge Belastungsdauer von 20 Jahren

	unverstärkte						
	Thermoplaste					Duroplaste	
	PP-H	PVC-NI	PVDF	PMMA	PE 80	UP	EP
A^f (Festigkeit)	2,0 ⁽⁴⁾	1,9 ⁽⁴⁾	1,2 ⁽⁴⁾	2,3 ⁽¹⁰⁾	Druck : 1,5 ⁽⁶⁾	1,6 ⁽⁸⁾	1,5 ⁽⁸⁾
					Zug : 1,7 ⁽⁶⁾		
A^E (E-Modul)	5,8 ⁽³⁾	1,9 ⁽³⁾	1,1 ⁽⁴⁾	2,5 ⁽⁸⁾	4,7 ⁽³⁾	1,7 ⁽⁸⁾	2,0 ⁽⁸⁾
A^D (Dehngrenze)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Bei einer Belastungsdauer > 20 Jahre sind die Zeitstandkurven in der DIN EN 1778 zu beachten.

Tabelle A-2: Einflussfaktor A^f , A^E bzw. A^D infolge Medieneinfluss für Deponiebauwerke

	unverstärkte						
	Thermoplaste					Duroplaste	
	PP-H	PVC-NI	PVDF	PMMA	PE 80	UP	EP
A^f (Festigkeit)	1,1 ⁽⁵⁾	1,0 ⁽⁵⁾	k.A. ⁽⁹⁾	k.A. ⁽⁹⁾	Druck : 1,0 ⁽⁶⁾	k.A. ⁽⁹⁾	k.A. ⁽⁹⁾
					Zug : 1,1 ⁽⁶⁾		
A^E (E-Modul)	1,1 ⁽¹⁾	1,4 ⁽¹⁾	k.A. ⁽⁹⁾	k.A. ⁽⁹⁾	1,1	k.A. ⁽⁹⁾	k.A. ⁽⁹⁾
A^D (Dehngrenze)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Medieneinfluss für andere Bauwerke siehe z. B. DIN EN 1778, Tabelle A.1.3 oder in EBGE0

Tabelle A-3a: Einflussfaktor A^f , A^E bzw. A^D infolge Temperatureinfluss bei 40 °C

	unverstärkte Thermoplaste				
	PP-H	PVC-NI	PVDF	PMMA	PE 80
A^f (Festigkeit)	1,3 ⁽⁴⁾	1,6 ⁽⁴⁾	1,2 ⁽⁴⁾	1,3 ⁽¹⁰⁾	1,4 ⁽⁶⁾
A^E (E-Modul)	1,2 ⁽²⁾	1,3 ⁽²⁾	1,5 ⁽⁴⁾	1,2 ⁽¹⁰⁾	1,3 ⁽¹⁾
A^D (Dehngrenze)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Sind Temperaturen > 40°C zu erwarten, dann ist grundsätzlich durch Materialprüfung des Werkstoffes der notwendige Einflussfaktor zu ermitteln.

Tabelle A-3b: Einflussfaktor A_3^f , A_3^E bzw. A_3^D infolge Temperatureinfluss bis zur Anwendungsgrenze

	unverstärkte und faserverstärkte Duroplaste													
	UP Ungesättigtes Polyesterharz			EP Epoxidharz			VE (PHA) Vinylesterharz, Phenacrylatharz			PF Phenolharz				
°C	≤ 20	40	100*	≤ 20	40	100*	≤ 20	40	100*	≤ 20	40	100	250*	
A^f (Festigkeit)	1,0	1,2	3,5	1,0	--	--	1,0	--	--	1,0	1,1	1,8	4,0	
A^E (E-Modul)	1,0	1,1	1,6	1,0	--	--	1,0	1,1	1,3	1,0	1,0	1,1	1,1	
A^D (Dehngrenze)	1,0													

* Anwendungsgrenze

Zwischenwerte sind linear zu interpolieren

Die Einflussfaktoren für den Festigkeitseinfluss (A^f) gelten für Druckbelastung und dauernder Einwirkung, sie sind unabhängig von einer möglichen Faserverstärkung. Bei Vorlage von Versuchsergebnissen für spezielle Geometrien und Faserverstärkungen können abweichende Werte angewendet werden.

Quelle: [27] + [47]

In den Tabellen ist:

PP-H	Homo-Polypropylen, hergestellt aus Formmasse nach DIN EN ISO 1873
PVC-NI	Polyvinylchlorid, normal schlagzäh, hergestellt aus Formmasse nach DIN EN ISO 1163
PVDF	Polyvinylidenfluorid, hergestellt nach ISO 15014
PMMA	Polymethylmethacrylat, hergestellt aus Formmasse nach DIN EN ISO 8257
PE 80	Polyethen hoher Dichte, hergestellt aus Formmasse nach DIN EN ISO 1872
UP	Polyesterharz
EP	Epoxidharz
VE	Vinylester
PF	Phenol

Die Werte sind in Anlehnung entnommen aus:

- (1) DIN 4266-1, Tabelle 1, Sickerrohre für Deponien
- (2) DIN 4266-1, Tabelle 2, Sickerrohre für Deponien
- (3) Mitteilungen DIBt 1995, Seite 146
- (4) DIN EN 1778 Charakteristische Kennwerte für Thermoplast-Konstruktionen
- (5) DIN EN 1778, Anhang A, Tabelle A.1 Abminderungsfaktor für den Medieneinfluß
- (6) DIBt: Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien
- (7) DVS 2205-1, Abschnitt 10
- (8) Langzeit-Deformationsverhalten von Plastwerkstoffen, Institut für Leichtbau und ökonomische Verwendung von Werkstoffen, Dresden, Schriftenreihe „Materialökonomie“, Heft 32
- (9) keine Angaben, Versuche sind erforderlich
- (10) Siehe Literaturverzeichnis [15]

14 Anhang B: Einflussfaktoren für faserverstärkte Kunststoffe

**Tabelle B-1a: Einflussfaktor A_1^f infolge Belastungsdauer von 20 Jahren
(Bezeichnungen M, MW, FM und FMU gemäß DIN 18820)**

Materialtyp	A_1^f					
Wirrfaserlaminat M	1,6					
Mischlaminat MW	2,0 - δ					
Wickellaminat FM parallel zur Wickelrichtung	1,8 - δ					
Wickellaminat FM senkrecht zur Wickelrichtung	FM 1	FM 2	FM 3	FM 4	FM 5	FM 6
mit $\varepsilon_z > 0,2\%$	1,8	2,15	2,75	1,7	2,0	2,4
Wickellaminat FMU parallel zur Wickelrichtung	1,8 - δ					
Wickellaminat FMU senkrecht zur Wickelrichtung	FMU 1		FMU 2		FMU 3	
	1,9		1,7		1,6	
Pultrusionsprofile P parallel zur Pultrusionsrichtung	1,8 - δ					
Pultrusionsprofile P senkrecht zur Pultrusionsrichtung	2,0					
Pultrusionsprofile P parallel zur Pultrusionsrichtung mit $\varepsilon_z > 0,2\%$	2,0					
Pultrusionsprofile P senkrecht zur Pultrusionsrichtung mit $\varepsilon_z > 0,2\%$	3,0					

δ Glasmassenanteil

ε_z Dehnung bei Zugbeanspruchung senkrecht zur Wickelrichtung

Die Werte basieren auf DIN 18820-2.

Pultrusionsprofile **P** sind jedoch nicht in der DIN 18820-2 enthalten, die Werte müssen durch Versuche bestätigt werden

Tabelle B-1b: Einflussfaktor A_1^E und A_1^D infolge Belastungsdauer von 20 Jahren (Bezeichnungen M, MW, FM und FMU gemäß DIN 18820)

Materialtyp	A_1^E und A_1^D					
Wirrfaserlaminat M	getempert			ungetempert		
	2,4 - 2 δ			2,6 - 2 δ		
Mischlaminat MW	getempert			ungetempert		
	2,3 - 2 δ			2,5 - 2 δ		
Wickellaminat FM parallel zur Wickelrichtung	Normalkraft			Biegung		
	1,75 - δ			1,85 - δ		
Wickellaminat FM senkrecht zur Wickelrichtung	FM 1	FM 2	FM 3	FM 4	FM 5	FM 6
	2,2 - δ	2,45 - δ	3,0 - δ	2,15 - δ	2,3 - δ	3,2 - 2 δ
mit $\epsilon_z > 0,2\%$	2,7 - δ	3,1 - δ	4,1 - δ	2,6 - δ	2,8 - δ	4,0 - 2 δ
Wickellaminat FMU parallel zur Wickelrichtung	Normalkraft			Biegung		
	1,75 - δ			1,85 - δ		
Wickellaminat FMU senkrecht zur Wickelrichtung	FMU 1		FMU 2		FMU 3	
	2,3 - δ		1,9 - $\delta/2$		1,8 - $\delta/2$	
Pultrusionsprofile P parallel zur Pultrusionsrichtung	Normalkraft			Biegung		
	1,75 - δ			1,85 - δ		
Pultrusionsprofile P senkrecht zur Pultrusionsrichtung	Normalkraft			Biegung		
	1,75			1,85		
Pultrusionsprofile P senkrecht zur Pultrusionsrichtung mit $\epsilon_z > 0,2\%$	Normalkraft			Biegung		
	2,0			2,5		

δ Glasmassenanteil

Die Werte basieren auf DIN 18820-3.

Pultrusionsprofile **P** sind jedoch nicht in der DIN 18820 enthalten, die Werte müssen durch Versuche bestätigt werden

Tabelle B-2: Einflussfaktor A_2^f , A_2^E bzw. A_2^D infolge Medieneinfluss

Medienklasse 2)	A_2^f, A_2^E, A_2^D		Einfluss
	getempert	ungetempert	
I	1,0	1,0	ohne Einfluss, z.B. trockene Güter, Innenklima
II	1,1	1,2	sehr geringer Einfluß ¹⁾ , natürliche Witterung, <30 °C
III	1,3	1,4	geringer Einfluß ¹⁾ , starke UV-Belastung, 30 - 40 °C

1) Definition gemäß DIN 18820

2) Beschreibung der Medienklasse siehe DIN 18820-3

Für die Ermittlung von A_3 ist die Tabelle A-3b zu verwenden.

15 Anhang C: Einflussfaktoren für Schaumstoffe

Tabelle C-1: Einflussfaktor A_1^f , A_1^E infolge Belastungsdauer

	PUR				Quelle
	ρ	Belastungsdauer			
	kg/m ³	1000 h	5000 h	10000 h	
A_1^f Schubfestigkeit	50	1,8	1,9	2,1	[7]
	100	-	-	-	
Druckfestigkeit	50	-	-	2,1	
	100	-	-	-	
A_1^E Schubmodul	50	2,6	3,9	4,4	[22]
	100	1,7	-	-	[21]
Druckmodul	50	2,0	3,0	3,4	[20]
	100	1,8	-	-	

Tabelle C-2: Einflussfaktor A_2^f , A_2^E infolge Freibewitterung über 25 Jahre durch Deckschichten geschützt

	PUR		Quelle
	ρ		
	kg / m ³		
A_2^f Schubfestigkeit	50	1,2	[22]
Druckfestigkeit			
A_2^E Schubmodul	100	1,2	
Druckmodul			

Tabelle C-3: Einflussfaktor A_3^f , A_3^E infolge Temperatureinfluss

	PUR				Quelle
	ρ				
	kg / m ³	40° C	60° C	80° C	
A_3^f Schubfestigkeit	50	1,1	1,4	1,9	[6]
	100	-	-	-	
Druckfestigkeit	50	1,1	1,15	1,4	[23]
	100	-	-	-	
A_3^E Schubmodul	50	1,1	-	1,9	[21]
	70	-	1,5	1,7	
Druckmodul	50	1,2	1,2	1,4	[6]
	100	1,1	-	-	

Erläuterung: - keine Angaben

16 Anhang D: Bemessungswerte der Einwirkungen

(1) Zur Ermittlung der Bemessungswerte E_d der Beanspruchungen werden die einzelnen Einwirkungen nach der Teilsicherheitsmethode wie folgt kombiniert:

Grenzzustand der Tragfähigkeit:

für die "normalen" Bemessungssituationen (Grundkombinationen)

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_P \cdot P_k \oplus \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (D.1)$$

für die außergewöhnlichen Bemessungssituationen

$$E_{dA} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{GA,j} \cdot G_{k,j} \oplus \gamma_{PA} \cdot P_k \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \cdot A_d \right\} \quad (D.2)$$

für die Erdbebenbemessung

$$E_{dAE} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \oplus \gamma_l \cdot A_{Ed} \right\} \quad (D.3)$$

Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit:

seltene Kombination

$$E_{d,rare} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (D.4)$$

häufige Kombination

$$E_{d,frequ} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (D.5)$$

Quasi-ständige Kombination

$$E_{d,perm} = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\} \quad (D.6)$$

mit:

- \oplus „in Kombination mit“
- $G_{k,j}$ Charakteristische Werte der ständigen Einwirkungen
- $Q_{k,i}$ Charakteristische Werte der veränderlichen Einwirkungen
- P_k Charakteristischer Wert einer Vorspannung

A_d	Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung
A_{Ed}	Bemessungswert der Erdbebeneinwirkung nach DIN EN 1998-1 bzw. DIN 4149
$\gamma_{G,j}$	Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen nach Tabelle D-1
$\gamma_{Q,i}$	Teilsicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen nach Tabelle D-1
γ_I	Wichtungsfaktor nach DIN EN 1998 (Erdbeben) bzw. DIN 4149
$\psi_{0,i}, \psi_{1,i}, \psi_{2,i}$	Kombinationsbeiwerte nach Tabelle D-2

Tabelle D-1: Teilsicherheitsbeiwerte γ_E der Einwirkungen im Grenzzustand der Tragfähigkeit

Zeile / Spalte	1	2	3	4	5
	Nachweiskriterium	Auswirkung der Einwirkung	Ständige Einwirkungen γ_G bzw. γ_{GA}	Veränderliche Einwirkungen γ_Q bzw. γ_{QA}	Außergewöhnliche Einwirkungen γ_A
1	Fall A *)	ungünstig $\gamma_{E,sup}$	$1,10 \cdot 1,35 = 1,50$	1,50	1,00
2		günstig $\gamma_{E,inf}$	$0,90 \cdot 1,0 = 0,90$	i.d.R. 0 ****)	0,95
3	Fall B **)	ungünstig $\gamma_{E,sup}$	1,35	1,50	1,00
4		günstig $\gamma_{E,inf}$	1,00	i.d.R. 0 ****)	1,00
5	Fall C ***)	ungünstig $\gamma_{E,sup}$	1,00	1,30	1,00
6		günstig $\gamma_{E,inf}$	1,00	i.d.R. 0 ****)	1,00
7	Bauzustand		1,15	1,15	

*) Fall A: Verlust des statischen Gleichgewichts
 **) Fall B: Versagen des Tragwerks oder der tragenden Bauteile, einschließlich Fundamente, Pfahlgründungen usw.
 ***) Fall C: Versagen des Baugrundes durch Böschungs- oder Geländebruch
 ****) sofern in DIN 1055-100 nicht anders angegeben

Tabelle D-2: Kombinationsbeiwerte ψ für den Hochbau (DIN 1055-100)

Einwirkungen	Kombinationsbeiwerte		
	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Nutzlasten für Hochbauten *) **)			
<u>Kategorie A,B</u> Wohngebäude, Balkone, Büroräume, Verkaufsräume bis 50m ² , Räume in Krankenhäusern und Schulen, Flure (soweit nicht anders angegeben)	0,7	0,5	0,3
<u>Kategorie C,D</u> Garagen und Parkhäuser, Versammlungsräume, Turnhallen, Flure in Labor- und Lehrgebäuden, Tribünen, Büchereien, Archive sowie Geschäfts- und Warenhäuser, Ausstellungs- und Verkehrsräume ab 50m ²	0,7	0,7	0,6
<u>Kategorie E ^)</u> Lagerräume, Behälterbauten, Deponien und Industrieanlagen	1,0	0,9	0,8
Verkehrslasten			
Kategorie F, Fahrzeuglast ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Kategorie G, ≤ 30 kN \leq Fahrzeuglast ≤ 160 kN	0,7	0,5	0,3
Kategorie H – Dächer	0	0	0
Schnee- und Eislasten			
Orte bis NN + 1000 m	0,5	0,2	0
Orte über NN + 1000 m	0,7	0,5	0,2
Windlasten	0,6	0,5	0
Temperatureinwirkungen (-20 °C \leq T \leq 60 °C)	0,6	0,5	0
Baugrundsetzungen	1,0	1,0	1,0
Sonstige Einwirkungen **)	0,8	0,7	0,5
<p>^) Abminderungsbeiwerte für Nutzlasten in mehrgeschossigen Hochbauten siehe DIN 1055-3</p> <p>**) ψ-Beiwerte für Maschinenlasten und Flüssigkeitsdruck sind betriebsbedingt / standortbestimmt festzulegen.</p>			

Tabelle D-3: Kombinationsbeiwerte ψ für Straßenbrücken (DIN FB 101)

Einwirkung	Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	ψ_1^{-1}
Verkehrslasten	TS	0,75	0,75	0,2	0,80
	$gr\ 1$ (LM1) ⁴⁾ UDL ³⁾	0,40	0,40	0,2	0,80
	Einzelachse (LM 2)	0	0,75	0	0,80
	$gr\ 2$ (Horiz. Lasten)	0	0	0	0
	$gr\ 3$ (Fußg. Lasten)	0	0	0	0,80
Horizontallasten		0	0	0	0
Windlasten	F_{wk}	0,30	0,50	0	0,60
Temperatur	T_k	0 ⁵⁾	0,6	0,5	0,80

1) ψ_1^{-1} ist ein ψ -Beiwert zur Bestimmung der nicht häufigen Lasten

3) Die Beiwerte für die gleichmäßig verteilte Belastung beziehen sich nicht nur auf die Flächenlast des LM 1, sondern auch auf die abgeminderte Last aus Fußgänger- und Radwegbrücken.

4) Die Lastgruppe $gr\ 1$ (LM 1) besteht aus den Elementen TS und UDL, die wenn ungünstig wirkend, immer gemeinsam anzusetzen sind.

5) Falls nachweisrelevant, sollte $\psi_0=0,8$ gesetzt werden, siehe hierzu die relevanten DIN-Fachberichte für Bemessung.

Tabelle D-4: Kombinationsbeiwerte ψ für Fußgänger und Radwegbrücken (DIN FB 101)

Einwirkung	Bezeichnung	ψ_0	ψ_1	ψ_2	ψ_1^{-1}
Verkehrslasten	$gr\ 1$	0,40	0,40	0,20	0,80
	Q_{fwb}	0	0	0	0
	$gr\ 2$	0	0	0	1,00
Windlasten	F_{wk}	0 ²⁾	0,50	0	0,60
Temperatur	T_k	0 ³⁾	0,60	0,50	0,80

1) ψ_1^{-1} ist ein ψ -Beiwert, der zur Bestimmung der nicht häufigen Lasten dient.

2) Falls eine andere Haupteinwirkung als Verkehr oder Temperatur berücksichtigt werden soll, kann dieser Wert durch 0,30 ersetzt werden.

3) Falls nachweisrelevant, sollte $\psi_0=0,80$ gesetzt werden, siehe hierzu auch DIN-Fachbereiche für Bemessung.

(2) Zur Vereinfachung kann der Bemessungswert der Einwirkung bei Hochbauten im Grenzzustand der Tragfähigkeit auch anstelle von Gleichung (D-1) mit Hilfe der Gleichungen (D-7) und (D-8) bestimmt werden.

Bei Berücksichtigung nur einer veränderlichen Einwirkung gilt:

$$E_d = E \left\{ \sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus 1,5 \cdot Q_{k,1} \right\} \quad (\text{D.7})$$

Bei Berücksichtigung aller ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen gilt:

$$E_d = E \left\{ \sum_j \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \oplus 1,35 \cdot \sum_j Q_{k,1} \right\} \quad (\text{D.8})$$

Der ungünstigere Wert ist maßgebend.

Diese vereinfachten Einwirkungskombinationen entsprechen den Bemessungsnormen im Holz- und Stahlbau.

17 Anhang E: TEILSICHERHEITSBEIWERTE γ_M

Tabelle E-1: Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte γ_M im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Vorschläge des Arbeitskreises)

Bedingungen	Grundkombination				Außergewöhnliche Bemessungssituationen			
	Festigkeit	örtliche Stabilität	Gesamtstabilität	Verbindungen	Festigkeit	örtliche Stabilität	Gesamtstabilität	Verbindungen
maschinell gefertigte Faserverbundwerkstoffe ($\nu=0,10$)	1,2	1,4	1,2	1,5	1,0	1,2	1,0	1,2
manuell gefertigte Faserverbundwerkstoffe ($\nu=0,17$)	1,5	2,0	1,4	2,0	1,25	1,7	1,25	1,7
Thermoplaste auf Zug	1,5*	-	-	-	1,25	-	-	-
Thermoplaste auf Druck	1,2*	1,4	1,2	1,4	1,0	1,2	1,0	1,2
Schaumstoffe auf Schub	1,5	1,7	1,2	1,7	-	-	-	-
Schaumstoffe auf Druck	1,2	1,4	1,2	1,4	-	-	-	-

ν Variationskoeffizient

*Werte des semiprobabilistischen Sicherheitskonzeptes wegen fehlender Angaben zur Häufigkeitsverteilung durch Vergleichsrechnungen mit globalen Sicherheitsfaktoren ermittelt.

18 Anhang F: Erläuterungen zu Fasereigenschaften und Sandwichkernen

Fasereigenschaften

Die Zugfestigkeit sowie der E-Modul einiger Fasern sind in Tabelle F-1 angegeben.

Tabelle F-1: Fasereigenschaften

Faser	E_0 [N/mm ²]	Zugfestigkeit σ_0 [N/mm ²]
Aramid	80.000-186.000	1.800-3.800
Carbon	225.000-950.000	2.700-6.400
Glas	73.000-80.000	1.500-3.500

Sandwichkerne

Die mechanischen Eigenschaften einiger Polymer-Hartschäume sind in Tabelle F-2 angegeben.

Tabelle F-2: Mechanische Eigenschaften einiger Polymer-Hartschäume für Sandwichkerne (Richtwerte)

	Raumgewicht [kg/m ³]	Druckfestigkeit [N/mm ²]	Schubfestigkeit [N/mm ²]	E-Modul [N/mm ²]	G-Modul [N/mm ²]
Polyurethan (PUR)	50	0,3-0,5	ca. 0,2	6-10	4-5
	100	0,6-1,0	0,3-0,5	ca. 30	ca. 10
Polyvinylchlorid (PVC) - vernetzt - - linear -	40	0,5-0,8	0,3-0,4	20-30	ca. 10
	80	1,2-2,0	0,7-1,0	60-90	20-30
	80	ca. 0,9	0,5-1,0	ca. 50	ca. 20
Polymethacrylimid (PMI)	30	ca. 0,5	ca. 0,3	ca. 30	ca. 15
	70	ca. 1,5	ca. 1,0	ca. 90	ca. 30