

BÜV-Empfehlung

Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen [TKB]

- Entwurf, Bemessung und Konstruktion -

Diskussionsentwurf

Fassung Oktober 2002

Tragende Kunststoffbauteile im Bauwesen

-Entwurf, Bemessung und Konstruktion-

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 ab Dezember angefordert werden (siehe unten). Folgende Beispiele wurden gerechnet:

1. Profiliertes Einfeldträger aus glasfaserverstärktem Laminat (Günter Ackermann, mit Ergänzungen von Hans-Jürgen Meyer),
2. Zylinderwand eines Behälters mit Kegeldach und Bodenplatte (Günter Ackermann),
3. Dreischichtige Zweifeld- Sandwichplatte (Günter Ackermann),
4. Deckenplatten aus PMMA (Uwe Gleiter),
5. Sickerwasserschacht aus PE-HD (Rolf Schadow).

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. Matthias Gerold

Dr.-Ing. Uwe Gleiter

Dipl.-Ing. Claus Jung

Dr.-Ing. Jürgen Kruppe

Dr.-Ing. Hans-Jürgen Meyer

Dr.-Ing. Karl Morgen

Dipl.-Ing. Hans-Joachim Niebuhr

Dipl.-Ing. Hans-Georg Pühl

Dipl.-Ing. Rolf Schadow

Prof. Dr.-Ing. Rainer Taprogge

Dr.-Ing. Günter Timm

Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner

Dipl.-Ing. Gerhard Böhme †

INHALTSVERZEICHNIS

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	1
1.6 Toxizität	1
1.7 Resistenz gegen Säure und Laugen	1
1.8 Anwendungsbedingungen	2
1.9 Nicht genormte Baustoffe	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	7
3.4.1 Allgemeines	7
3.4.2 Zeitstandbeanspruchung im Hinblick auf die Lebensdauer (Einwirkungen)	7
3.4.3 Zeitstandbeanspruchbarkeit im Hinblick auf die Lebensdauer (Widerstand)	8
3.4.4 Bemessungsverfahren mit Ersatzbeanspruchung	9
3.4.5 Bemessungsverfahren mit Hilfe der Schadensakkumulation	11
4 AUSGANGSSTOFFE	13
4.1 Allgemeines	13
4.2 Fasern	13
4.2.1 Allgemeines	13
4.2.2 Glasfasern	13
4.2.3 Aramidfasern	13
4.2.4 Carbonfasern	14
4.3 Kunststoffe	14
4.4 Schaumstoffe	14
4.4.1 Allgemeines	14
4.4.2 Polyurethan-Hartschäume (PUR-Schaum)	15
4.4.3 Polyvinylchloridschäume (PVC-Schaum)	15
5 MATERIALEIGENSCHAFTEN UND BAUTEILE	16
5.1 Allgemeines	16
5.2 Unverstärkte Kunststoffe	18
5.2.1 Thermoplaste	18
5.2.2 Duroplaste	18

5.3	Faserverstärkte Kunststoffe	19
5.3.1	Vorbemerkungen	19
5.3.2	Glasfaserverstärkte Lamine mit Duroplasten	19
	Kennwerte	19
	Erfassung der Einsatzbedingungen (rechnerische Abminderung)	19
5.4	Sandwichkonstruktionen	20
5.5	Bemessungswert des Widerstandes	20
6	EINWIRKUNGEN	22
6.1	Allgemeines	22
6.2	Ständige Einwirkungen	23
6.3	Veränderliche Einwirkungen	23
6.4	Außergewöhnliche Einwirkungen	25
7	VERFORMUNGEN, SCHNITTGRÖßEN UND SPANNUNGEN	26
8	NACHWEISE	28
8.1	Grundlegende Anforderungen	28
8.2	Grenzzustand der Tragfähigkeit	28
8.2.1	Allgemeines	28
8.2.2	Festigkeit	28
8.2.3	Stabilitätsversagen	31
8.2.4	Dehnungsbeschränkung	32
8.3	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	32
8.3.1	Allgemeines	32
8.3.2	Dehnungsbeschränkung	33
8.3.3	Durchbiegungsbegrenzung	33
8.4	Verbindungen	34
8.4.1	Allgemeines	34
8.4.2	Lösbare Verbindungen	34
8.4.3	Nicht lösbare Verbindungen	36
9	BAULICHE DURCHBILDUNG	37
9.1	Grundsätzliches	37
9.2	Bauteile	37
9.2.1	Allgemeines	37
9.2.2	Hohlkästen und Hohlbauteile	38
9.2.3	Plattenförmige Bauteile	38
9.2.4	Schalenförmige Bauteile	39
9.2.5	Behälter	39
9.2.6	Sandwichkonstruktionen	40
9.2.7	Absturzsichernde Bauteile	40
9.3	Verbindungen und Auflagerungen	41
9.4	Herstellung und Konstruktion	41
9.4.1	Faserverbundkunststoffe	41
9.4.2	Unverstärkte Kunststoffe	42
10	AUSFÜHRUNG UND ÜBERWACHUNG	43
10.1	Rohprodukte	43
10.1.1	Allgemeines	43
10.1.2	Eigenüberwachung	43
10.1.3	Fremdüberwachung	45

10.1.4	Probenentnahme	45
10.2	Halbzeuge und Verbindungsmittel	46
10.2.1	Allgemeines	46
10.2.2	Prüfung der Halbzeuge (Thermoplaste sowie Duroplaste und Elastomere)	47
10.2.3	Prüfung der Klebstoffe	47
10.2.4	Prüfung von Schweißzusätzen	47
10.3	Bauausführung	47
10.3.1	Allgemeines	47
10.3.2	Personal und Ausstattung des ausführenden Betriebes	47
10.3.2.1	Personal	47
10.3.2.2	Führungskraft	48
10.3.2.3	Bauleiter	48
10.3.2.4	Baustellenfachpersonal	48
10.3.2.5	Geräteausstattung	48
10.4	Überwachung	48
10.4.1	Überwachung auf der Baustelle	48
10.4.1.1	Allgemeines	48
10.4.1.2	Eigenüberwachung	48
10.4.1.3	Fremdüberwachung	49
10.4.1.4	Wiederkehrende Prüfungen	49
10.4.2	Zustandsklassifizierung	50
10.4.2.1	Beweissicherung	50
10.4.2.2	Schadensstufen	50
10.4.2.3	Zustandskategorien	51
11	NORMEN UND RICHTLINIEN	52
11.1	Grundnormen	52
11.2	Stoffnormen	53
11.3	Prüfnormen	53
11.4	Normen für Halbzeuge	54
11.5	Bemessungsnormen	55
11.6	Richtlinien / Merkblätter	55
11.7	Empfehlenswerte Literatur	56
12	LITERATUR	56

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 4-1: Unterschiede der Eigenschaften von Duro- und Thermoplasten.....	14
Tabelle 5-1: Faktoren k_s	17
Tabelle 5-2: Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte γ_M im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Vorschläge des Arbeitskreises).....	21
Tabelle 6-1: Klassen der Einwirkungsdauer nach DIN 1055 - 100	22
Tabelle 6-2: Schneelastanteil in Abhängigkeit der Einwirkungsdauer.....	24
Tabelle 6-3: Windlastanteil in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer	24
Tabelle 8-1: Bemessungswert C_d der Durchbiegung (Vorschlag des Arbeitskreises)	34
Tabelle 10-1: Art und Umfang der Probenentnahme von Ausgangsstoffen für Halbzeuge sowie für Verbindungsmittel.....	44
Tabelle 10-2: Prüfung der erhärteten Produkte (Halbzeug)	45

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 3-1: Ermittlung der vorhandenen Sicherheit.....	5
Abbildung 3-2: Einwirkungskollektiv im Bemessungszeitraum t_R	8
Abbildung 3-3: Beispiel einer Lebensdauerlinie (Zeitstandbeanspruchbarkeit)	8
Abbildung 3-4: Anwendung der Gleichung 3.1 für 2 Einwirkungen und Ermittlung der Neigung der Zeitstandgeraden	9
Abbildung 3-5: Bemessung am Ende des Bemessungszeitraumes t_R	11

ANHÄNGE

Anhang A: Modifikationsfaktoren für unverstärkte Kunststoffe
Anhang B: Modifikationsfaktoren für faserverstärkte Kunststoffe
Anhang C: Erläuterungen
Anhang D: Bemessungswerte der Einwirkungen

Zeichenerklärungen

Sämtliche im folgenden nicht angegebenen Formelzeichen sind DIN V ENV 1991 Teil 1 (EUROCODE 1) 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
φ_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

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 Einwirkungs-dauer, der Umweltbedingungen und der Temperatur auf die Bauteileigenschaften
A_i	Einflussfaktoren zur Ermittlung von A_{mod}
k_{def}	Werkstoffspezifischer Deformationsfaktor
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
k_a	Faktor zur Berechnung der Schneelast
n_a	Anzahl des Betrachtungszeitraums in Jahren
q_{ref}	Charakteristischer Wert des Staudruckes aus der mittleren Bezugswindgeschwindigkeit

Fußzeiger

f	Faserverbund
d	Bemessungswert
k	charakteristischer Wert
m	Material, Biegung
t	Zug
u	Bruchzustand
0,05	5%-Fraktil-Wert
0,95	95%-Fraktil-Wert
mean	Mittelwert
0	Winkel 0° zwischen Kraft- und Faserrichtung bzw. Verstärkungsrichtung
90	Winkel 90° zwischen Kraft- und Faserrichtung bzw. Verstärkungsrichtung
cr	kritisch
el	elastisch
max	maximal
inf	unterer Wert
sup	oberer Wert
N	Normalkraft
B	Biegung
τ	Schub

Hochzeiger

f	Festigkeit
E	E-Modul
D	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 textildbewehrter 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 Dichte

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

1.5 Brandverhalten

(1) Kunststoffe erreichen aufgrund ihres organischen Aufbaus in Anlehnung an DIN 4102 die Brandklasse B1 bzw. B2.

1.6 Toxizität

(1) Die Toxizität (Grad der schädigenden Wirkung in Abhängigkeit von der Art der Einwirkung, Umweltschutz) regelt DIN 53 436.

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 18 820 Teil 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.

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 zu entnehmen. Sind bei dem Versagen besondere Gefahren wie Umweltgefährdung, chemische Verunreinigung u. a. zu befürchten, reicht das versagenswahrscheinlichkeitsorientierte Vorgehen der GruSiBau nicht aus. Es muss das resultierende Risiko begrenzt werden. Abbildung 3-1 zeigt das Vorgehen stark vereinfacht.

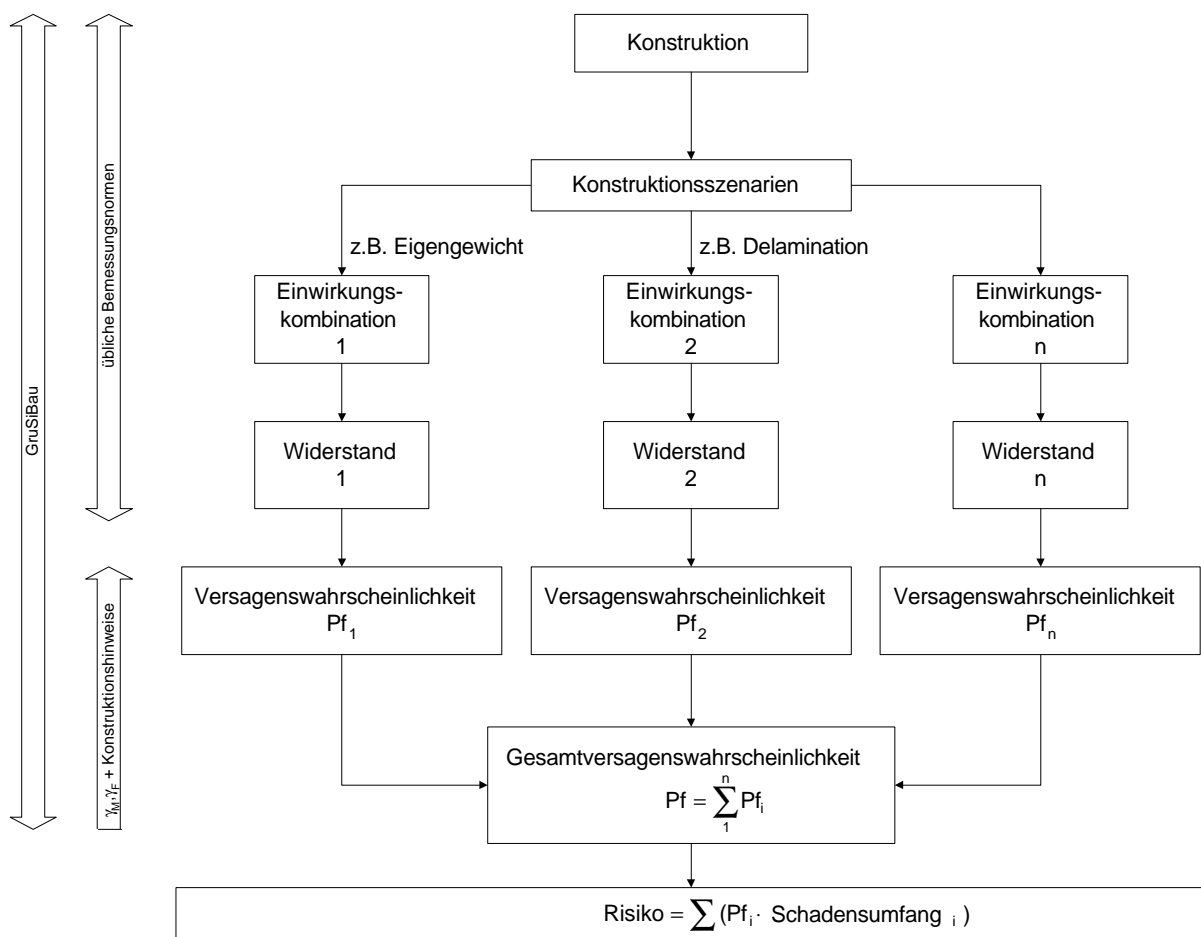


Abbildung 3-1: Ermittlung der vorhandenen Sicherheit

(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 Kurzzeitsnachweis erforderlich werden, wenn, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben, mit Abminderungsfaktoren 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 Abminderungsfaktoren berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere für nicht ruhende Lasten, die in erster Linie die Neigung der Zeitstandlinie beeinflussen.

(3) Für Bauteile aus Kunststoff werden die Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen aus der DIN 1055 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 Abminderungsfaktoren.

Dieser Regelnachweis ist in Abschnitt 8 ausführlich dargestellt.

3.4 Nachweisverfahren auf Basis einer Schadensakkumulation

3.4.1 Allgemeines

(1) Mit Kenntnis der genauen Werte der einwirkenden Spannungen und der Widerstände der Kunststoffe (Zeitstandverhalten, Verhalten bei Einwirkung von nicht ruhenden Lasten usw.) kann ein genauere 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 der Tabelle 5-2 und 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 und Größe 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 Zeitstandbelastung 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 Abminderungsfaktoren geeignet berücksichtigt werden.

(4) Die vollständigen Belastungsfolgen werden sinnvollerweise als Beanspruchungs-Zeitverlauf 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.

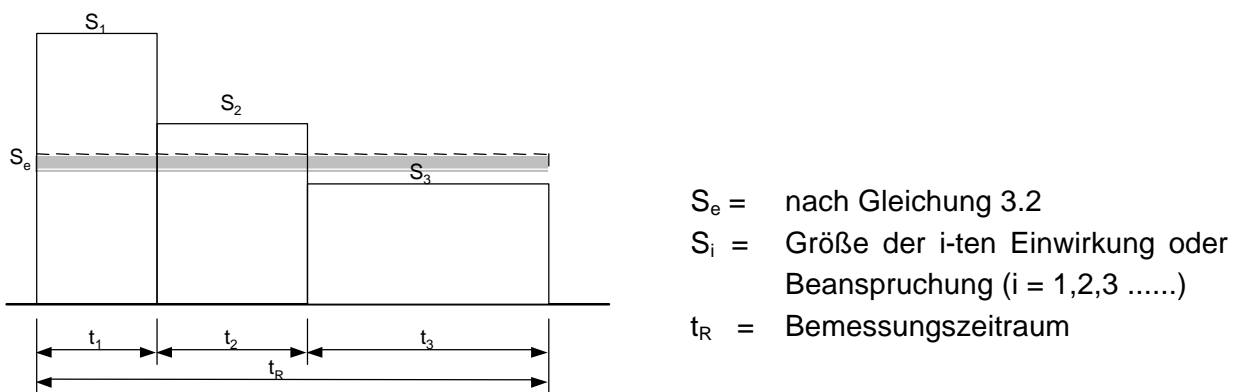


Abbildung 3-2: Einwirkungskollektiv im Bemessungszeitraum t_R

(5) Für kurzzeitige Einwirkungen (z. B. Montagelasten und Windböen), für mittel-lange Einwirkungen (z.B. Schnee, 3 Monate pro Jahr) und ständige Einwirkungen wie Eigenlasten können die Teilsicherheitsbeiwerte 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).

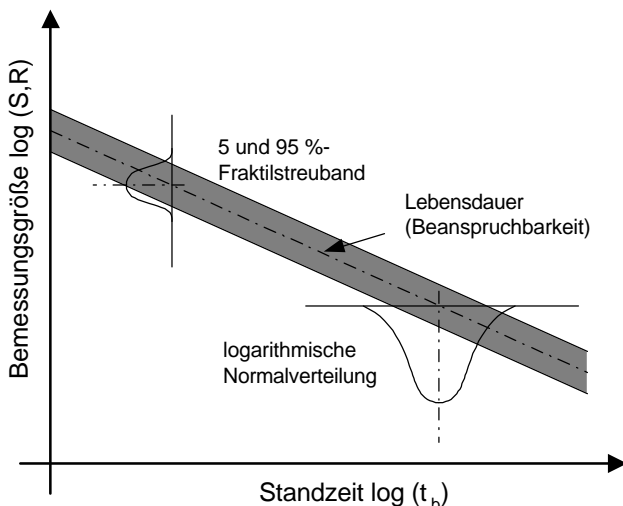


Abbildung 3-3: Beispiel einer Lebensdauerlinie (Zeitstandbeanspruchbarkeit)

(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).

$$\sum_{i=1}^n \frac{t_{E,i}(S_{E,i})}{t_{b,i}(S_{E,i})} \leq 1 \quad (3.1)$$

mit:

$S_{E,i}$ i-te Beanspruchung infolge äußerer Einwirkungen

$t_{E,i}(S_{E,i})$ Einwirkungsdauer auf dem Beanspruchungsniveau $S_{E,i}$

$t_{b,i}$ ertragbare Zeit auf dem Beanspruchungsniveau $S_{E,i}$

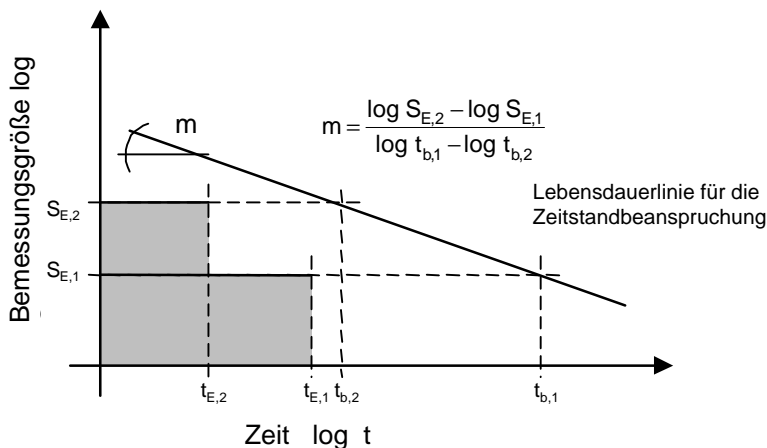


Abbildung 3-4: Anwendung der Gleichung 3.1 für 2 Einwirkungen und Ermittlung der Neigung der Zeitstandgeraden

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

$$S_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (g_{E,i} \cdot S_{E,i})^m \cdot t_{E,i}(S_{E,i})}{t_R} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (3.2)$$

mit:

S_e Ersatzbeanspruchung auf der Ebene des Bruchzustandes

$S_{E,i}$ i-te Beanspruchung infolge äußerer Einwirkungen

$t_{E,i}(S_{E,i})$ Einwirkungsdauer auf dem Beanspruchungsniveau $S_{E,i}$

t_R Bemessungszeitraum

$\gamma_{E,i}$ Teilsicherheitsbeiwert der i-ten Einwirkung

m Neigung der Zeitstandgeraden im doppellogarithmischen Maßstab

(3) Diese mittels der Schadensakkumulationsregel berechnete Ersatzbeanspruchung S_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).

(4) Es ergibt sich:

$$g_M \cdot A_{\text{mod}}^* \cdot \frac{S_e}{S_{R,k}} \leq 1 \quad (3.3)$$

mit:

S_e Ersatzbeanspruchung für den Bruchzustand (Bemessungswert)

γ_M Teilsicherheitswert des Widerstandes

$S_{R,k}$ charakteristischer Widerstand am Ende des Bemessungszeitraumes

A_{mod}^* werkstoffspezifischer Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung von Einflüssen die im Experiment nicht realisiert werden konnten

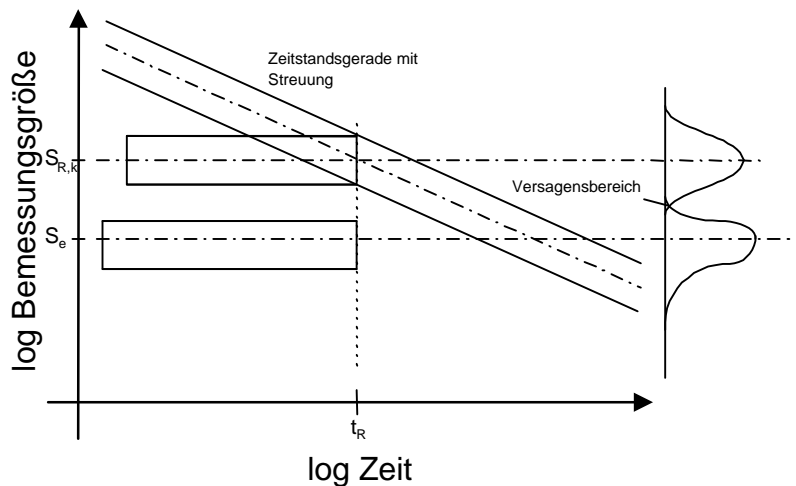


Abbildung 3-5: Bemessung am Ende des Bemessungszeitraumes t_R

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 Zeitstandsbeanspruchung wird anhand der Schädigungen durchgeführt.

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

$$\sum_{i=1}^n g'_{E,i} \cdot g'_M \cdot \frac{t_{E,i}(S_{E,i})}{t_{b,i}(S_{E,i})} \leq 1 \quad (3.4)$$

mit:

$\gamma'_{E,i}$ Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen
es kann angesetzt werden $\gamma'_{E,i} = \gamma_{E,i}$

γ'_M Teilsicherheitsbeiwert für die Widerstände
 $\gamma'_M = \gamma_M$ gilt für parallele Streubänder

$S_{E,i}$ i-te Beanspruchung infolge der Einwirkungen

$t_{E,i}(S_{E,i})$ Belastungsdauer auf dem Beanspruchungsniveau $S_{E,i}$

$t_{b,i}(S_{E,i})$ ertragbare Zeit (Bruchzeitpunkt) auf dem Beanspruchungsniveau $S_{E,i}$ (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)

$$\left(\sum_{i=1}^n \left(\gamma_{E,i} \cdot g_M \cdot \frac{S_{E,i}}{S_{b,i}} \right)^{m_i} \right)^{\frac{1}{m^*}} \leq 1 \quad (3.5)$$

mit:

$\gamma_{E,i}$ Teilsicherheitsbeiwert der i-ten Einwirkung

g_M Teilsicherheitsbeiwert des Widerstandes

$S_{E,i}$ i-te Beanspruchung infolge der Einwirkungen

$S_{b,i}$ 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 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. Die Materialeigenschaften können den in Abschnitt 11 zitierten Normen, oder allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen entnommen werden. Alternativ ist aber auch eine Bestimmung der Eigenschaften durch Versuche möglich. Die Versuchsdurchführung ist mit der Bauaufsicht abzustimmen.

(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.

4.2.2 Glasfasern

(1) Glasfasern bestehen im wesentlichen aus Quarz (SiO_2) und Kalk (CaCO_3). Weitere Bestandteile sind Kaolin ($\text{Al}_4[\text{OH}_8\text{Si}_4\text{O}_{10}]$), Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) und Borsäure (B_3O_6). 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. Auf die Glasfasern kann in diesem Zustand noch eine Schlichte zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit oder der Verbundeigenschaften mit dem Harz aufgebracht werden.

(2) Glasfasern sind empfindlich gegenüber Laugen und manchen Säuren.

(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) hergestellt. Mit Hilfe eines Extruders werden aus dieser Mischung die Fasern gepresst. 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) Ähnlich wie Aramidfasern sind auch Carbonfasern anisotrop, hierdurch ergibt sich der negative Wärmeausdehnungskoeffizient in Längsrichtung.

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

4.3 Kunststoffe

(1) Kunststoffe können eingeteilt werden in:

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

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 FVK	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) Die Dichte dieser Schaumstoffe liegt üblicherweise bei ca. 50-100 kg/m³, sie muss größer als 40 kg/m³ sein.

(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 von ca. 100°C.

(3) Für alleintragende Anwendungen (z. B. Radardome) werden PUR-Schäume mit einem spezifischen Gewicht von bis zu 300 kg/m³ hergestellt.

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 Kennwerte der Eigenschaften können eingeführten technischen Baubestimmungen 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.

(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.

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.

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

Hierin ist:

- μ_R Mittelwert einer Widerstandsgröße
- σ_R Standardabweichung der Widerstandsgröße
- k_s Faktor gemäß Tabelle 5-1

Tabelle 5-1: Faktoren k_s

Anzahl der Versuche	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	≥ 30
k_s -Wert	3,15	2,68	2,46	2,34	2,25	2,19	2,14	2,10	2,07	2,05	2,03	2,01	1,99	1,65

Die Temperatur, die Belastungsgeschwindigkeit, und die Methoden der Auswertung sind in den jeweiligen Prüfnormen (z.B. DIN EN 61, DIN EN 63) festgelegt. Die Prüfungen sind im allgemeinen bei einer Prüftemperatur von 23°C und mit einer dehnungsgesteuerten Belastung von ca. 1% Dehnung je Minute durchzuführen.

Für Zeitstandversuche können die Normen DIN EN 61 und DIN 53 444 (Prüfung von Kunststoffen, Zeitstand - Zugversuche) zugrunde gelegt werden.

(5) 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 :

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

wobei A_1 die Einwirkungsdauer,
 A_2 den Medieneinfluss, wie z.B. Bewitterung, Feuchtigkeit, Chemikalien, etc.,
 A_3 die Umgebungstemperatur

nach Abschnitt 5.2 , 5.3 und 5.4 erfasst.

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

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

$$R_d^u = \frac{R_k}{\gamma_M \cdot A_{\text{mod}}^u} \quad (5.3)$$

mit: u Platzhalter für Festigkeit f , oder E-Modul E , oder Dehngrenze D
 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

$$f_d = \frac{f_{k0,05}}{g_M \cdot A_{\text{mod}}^f} \quad (5.4)$$

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).

(3) Für eine kurze Belastungsdauer kann der Faktor A_1 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.

- Temperatureinfluss

(5) Der Einflussfaktor A_3 erfasst den Einfluss einer erhöhten Umgebungstemperatur auf das Festigkeitsverhalten (A_{A3}^f), den E-Modul (A_3^E) bzw. die Dehngrenze (A_3^D).

(6) Zwischenwerte der Modifikationsfaktoren gemäß Anhang A können bei Bedarf linear interpoliert werden, wobei für 23 °C $A_3 = 1$ zu setzen ist.

(7) Sind ständige Betriebstemperaturen $T > 40$ °C zu erwarten, dann ist durch Materialprüfung des Werkstoffes der notwendige Abminderungsfaktor 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.

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) mit $t > 2000$ Stunden bis zu 20 Jahren 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 log/log-Maßstab aus Langzeitwerten linear interpoliert werden. Für außergewöhnliche, kurzzeitig wirkende Belastungen kann $A_1 = 1$ gesetzt werden.

- 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 $A_2 = 1,2 \div 1,3$ gesetzt werden. Genauere Angaben hierzu siehe Abschnitt 4.3 der DIN 18820 Teil 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 Teil 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 $T > 60 \text{ °C}$ ist der Einflussfaktor stets mit $A_3 \geq 1,4$ anzusetzen. Sind ständige Betriebstemperaturen $T > 60 \text{ °C}$ zu erwarten, dann ist durch Materialprüfung des glasfaserverstärkten Kunststoffes der notwendige Abminderungsfaktor 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 $\varepsilon_t > 0,2\%$ 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 C-2 in Anhang C aufgelistet. Es handelt sich hierbei um Richtwerte für die Mittelwerte.

5.5 Bemessungswert des Widerstandes

(1) Für den Elastizitätsmodul (E), die Dehngrenze (D) im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann 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 5-2 zu berücksichtigen.

Tabelle 5-2: Empfohlene Teilsicherheitsbeiwerte γ_M im Grenzzustand der Tragfähigkeit (Vorschläge des Arbeitskreises)

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

v Variationskoeffizient

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 den Tabellen 6.1, 6.2 und 6.3 angeben. Vereinfacht dürfen Einwirkungen ohne Abminderung in Klassen längerer Einwirkungsdauer eingestuft werden. Für den Regelnachweis wird empfohlen, einen Kurz- und kombinierte Langzeitnachweise zu führen.

Tabelle 6-1: Klassen der Einwirkungsdauer

Klasse der Einwirkungsdauer	Dauer der charakteristischen Einwirkung	
ständig	> 10 Jahre	Langzeit
lang	3 Monate bis 10 Jahre	
mittel	1. Woche bis 3 Monate	
kurz	8 Stunden bis 1. Woche	Kurzzeit
sehr kurz	< 8 Stunden	

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

(4) Auf Grund der Abhängigkeit der Materialeigenschaften von der Zeit t und der Temperatur T sind, abweichend von DIN 1055, die Schnee- und Windlasten entsprechend Abschnitt 6.3 anzusetzen.

(5) 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) Die charakteristischen Werte der Eigenlasten dürfen aus der mittleren Dichte der Baustoffe bestimmt werden. Für ständige Einwirkungen, die sich während der Nutzungsdauer des Bauwerkes ändern können (z.B. einzurechnende Lasten aus nachträglicher Aufstockung) oder in weiten Grenzen schwanken, sind zwei charakteristische Werte, ein oberer Wert $G_{k,sup}$ und ein unterer Wert $G_{k,inf}$, zu untersuchen, wobei:

$\gamma_{G,sup} = 1,1$ für die ungünstig wirkenden (An-) Teile

und

$\gamma_{G,inf} = 0,9$ für die günstig wirkenden (An-) Teile

einzusetzen ist.

(2) Grundkombinationen mit $\gamma_{G,sup}$ und $\gamma_{G,inf}$ sind insbesondere dann zu bilden, wenn Teile ständiger Einwirkungen Beanspruchungen aus veränderlichen Einwirkungen verringern. Ansonsten ist ein charakteristischer Wert G_k ($\gamma_G = 1,35$) ausreichend.

(3) Bei Durchlaufträgern kann, zur Rechenvereinfachung, für alle Felder der gleiche Bemessungswert der Eigenlasten angesetzt werden.

6.3 Veränderliche Einwirkungen

(1) Zu den veränderlichen Einwirkungen zählen Nutzlasten, 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. Aus diesem Grund werden neben dem Hauptwert Q_k noch folgende Werte gebildet:

$\psi_0 \cdot Q_k$ Kombinationswert (selten auftretender Anteil von Q_k)

$\psi_1 \cdot Q_k$ häufig auftretender Wert der veränderlichen Einwirkung (Werte können längere Zeit überschritten werden)

$\psi_2 \cdot Q_k$ quasi-ständiger Wert (Anteil) der veränderlichen Einwirkung (Werte können im Bezugszeitraum nur kurzzeitig überschritten werden)

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

(2) Die Größe der Schneelast in Abhängigkeit von ihrer Einwirkungsdauer ist, entsprechend dem charakteristischen Wert der Schneelast s_k nach DIN 1055 - 5, nach Tabelle 6-2 anzusetzen.

Tabelle 6-2: Schneelastanteil in Abhängigkeit der Einwirkungsdauer

Schneelastanteil in [%] von s_k	Durchschnittliche Einwirkungsdauer / Jahr	
		$H \leq 575 \text{ m [1]}$
25	lang	70 Tage
50	mittel	35 Tage
100	kurz	9 Tage

H = Geländehöhe über N.N.

(3) Die Angaben in Tabelle 6-2 sind Durchschnittswerte für eine mindestens 10-jährige Betrachtungsdauer. Wird eine kürzere Betrachtungsdauer zugrunde gelegt, so ist die Einwirkungsdauer, z. B. ausgedrückt in Tagen, mit dem Faktor k_a zu erhöhen, wobei gilt:

$$k_a = 2,25 - 0,125 \cdot n_a \quad (6.1)$$

mit n_a Anzahl der betrachteten Jahre (< 10)

(4) Bei Verwendung der Nachweisverfahren nach Abschnitt 3.4.4 oder 3.4.5 wird Schnee üblicherweise drei Monate pro Jahr angesetzt.

(5) Der statische Anteil der Windlast in Abhängigkeit von ihrer Einwirkungsdauer ist, entsprechend des zu erwartenden Staudruckes q_{ref} nach DIN 1055 - 4, nach Tabelle 6-3 anzusetzen.

Tabelle 6-3: Windlastanteil in Abhängigkeit von der Einwirkungsdauer

Windlastanteil in [%] von q_{ref}	Durchschnittliche Einwirkungsdauer	
15	lang	9 Monate/ Jahr
65	mittel	6 Monate/ Jahr
100	kurz	3 Monate/ Jahr

Der dynamische Anteil der Windlast kann bei schwingungsunempfindlichen Konstruktionen durch einen dynamischen Beiwert entsprechend DIN 1055-4 berücksichtigt werden. Bei schwingungsempfindlichen Konstruktionen ist ggf. eine Schwingungsberechnung durchzuführen.

(6) Die jährlichen Temperaturbeanspruchungen auf die Gesamtkonstruktion sind in der Klasse "mittel" der Lasteinwirkungsdauer zu erfassen.

Temperaturbeanspruchungen für einzelne Bauteile, die sich aus tageszeitlichen Schwankungen ergeben, sind in der Klasse "kurz" der Lasteinwirkungsdauer anzusetzen.

Eine schnelle Abkühlung von erwärmten Bauteilen, z.B. durch Niederschläge, ist ggf. zu berücksichtigen.

(7) Einwirkungen, die sich bei der Herstellung von Bauteilen ergeben, wie z.B. infolge des Zusammenklebens 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, sind zu erfassen.

(8) Beanspruchungen in Folge von Einwirkungen wie Feuchtigkeit, Bewitterung oder aggressive 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.

Bei Ansatz von Anregungen gemäß DIN 4149 bzw. DIN V ENV 1998 kann die Sprödigkeit des Materials vereinfacht durch Erhöhung des Erregerspektrums (DIN 4149) um den Faktor 1,8 bzw. Ansatz eines Verhaltensfaktors $q=1,0$ (EC 8) berücksichtigt werden. Für die Nachweise kann von den Kurzzeitwerten ausgegangen werden.

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 Thermo-viskoplastizität zu berechnen [7], [9], [10], [11]. 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 bestimmten Tragwerken im Bereich der Theorie I. Ordnung, wie z.B. Stabwerke, sind die Schnittgrößen und Spannungen, berechnet nach der Elastizitätstheorie, unabhängig von den Verformungseigenschaften. In diesen Fällen sind die Schnittgrößen und Spannungen unabhängig von der Zeit. Bei diesen Tragwerken kann weiterhin bei zeitkonstanter Einwirkung der zeitabhängige Verlauf der Verformungen für eine betrachtete Zeit t_i aus der elastischen Verformung durch Multiplikation mit dem Quotienten $E(t_0)/E(t_i)$ ermittelt werden [3].

(5) Bei bestimmten Tragwerken im Bereich der Theorie I. Ordnung, wie z.B. Platten, sind bei zeitkonstanter Einwirkung die Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen, berechnet nach der Elastizitätstheorie, nur von einer Verformungseigenschaft (z.B. E oder ν) abhängig. Der zeitabhängige Verlauf der Verformungen, Schnittgrößen und Spannungen kann in diesen Fällen ermittelt werden, indem die nach der Elastizitätstheorie ermittelten Lösungen mit der Verformungseigenschaft (z.B. $E(t_i)$ oder $\nu(t_i)$) für die betrachtete Zeit t_i ausgewertet werden. Für diese Fälle ist damit die Zeitabhängigkeit exakt erfasst. Unter der Annahme eines zeitkonstanten Kompressionsmoduls K kann die Zeitabhängigkeit der Querdehnzahl $\nu(t)$ auch durch die Beziehung

$$\mu(t_i) = 0,50 - \frac{E(t_i)}{6 \cdot K} \quad (7.1)$$

ermittelt werden [5].

(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. Hinsichtlich der anzusetzenden Vorverformungen wird auf die DIN 18800 - 3 verwiesen.

(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 Schaumstoffen, sind spezielle Berechnungsverfahren anzuwenden [5], [13].

(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.

(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 sogenannten 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 Abminderungsfaktoren aus den Anhängen A und B 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 sind der Verlust des statischen Gleichgewichtes, der Bruchzustand von Tragwerksteilen und Querschnitten, kritische Dehnungszustände, Materialermüdung sowie Stabilitätsversagen zu zählen.

Für die Grenzzustände ist nachzuweisen, dass:

$$E_d \leq R_d \tag{8.1}$$

E_d Bemessungswert aus den Einwirkungen

R_d zugehöriger Bemessungswert des Widerstands

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

$$S_d(t) \leq \frac{R_{k0,05}}{g_M \cdot A_{\text{mod}}^f} \quad (8.2)$$

oder zum Beispiel auf Basis der Spannungen

$$s_d(t) \leq \frac{f_{k0,05}}{g_M \cdot A_{\text{mod}}^f} \quad (8.3)$$

(2) Für die interlaminare Scherbeanspruchung ist der Nachweis analog Gleichung (8.2) oder (8.3) zu führen, wobei für $\sigma_d(t)$ oder $S_d(t)$ die Schubspannung $\tau_d(t)$ aus dem Bemessungswert $V_d(t)$ für einen allgemeinen Querschnitt

$$t_d(t) \geq V_d(t) \frac{S}{I \cdot b} \quad (8.4)$$

und für einen Rechteckquerschnitt

$$t_d(t) \geq V_d(t) \frac{1,5}{A} \quad (8.5)$$

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% Fraktilwerte 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 (8.2) und (8.3) zu führen, wobei für $\sigma_d(t)$ oder $S_d(t)$ die Normalspannung $\sigma_{zd}(t)$ senkrecht zur Faserrichtung aus dem Bemessungswert der Abreiß- oder Umlenkraft $F_{zd}(t)$

$$s_{zd}(t) = \frac{F_{zd}(t)}{A_z} \quad (8.6)$$

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/mm^2 angesetzt werden oder es ist wie bei der interlaminaren Scherbeanspruchung zu verfahren.

(6) Bei Sandwichkonstruktionen gelten für die Nachweise der Deckschichten analog die Gleichungen (8.2) bis (8.5). Der Bemessungswert der Spannungen $\sigma_d(t)$ in Gleichung (8.3) 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 (8.2) bis (8.5). Der Bemessungswert der Spannung $\sigma_d(t) \equiv \tau_d(t)$ in Gleichung (8.3) ergibt sich hier aus der Querkraft V der Kernschicht, die nach den Gleichungen (8.4) oder (8.5) zu bestimmen ist.

Überlagerung verschiedener Beanspruchungsarten

(8) Bei faserverstärkten Kunststoffen unter zusammengesetzter Beanspruchung kann 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:

$$\frac{E_{dN}}{R_{dN}} + \frac{E_{dM}}{R_{dM}} + \frac{E_{dV}}{R_{dV}} \leq 1 \quad (8.7)$$

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, mehrachsiale Spannungszustände) sind additiv zu berücksichtigen. Es wird empfohlen, den Nachweis auf Spannungsebene zu führen.

(9) Bei unverstärkten Kunststoffen ist ein Vergleichspannungsnachweis entsprechend der Literatur zu führen.

Verbindungen

(10) 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.

(11) 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 (8.2) bis (8.5) 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 angesetzt.

(2) Der Nachweis erfolgt auf der Basis der Schnittgrößen

$$E_d(t) \leq F_{cr}(t) \quad (8.8)$$

oder gegebenenfalls auf der Basis der Spannungen

$$\sigma_d(t) \leq \sigma_{cr}(t) \quad (8.9)$$

$F_{cr}(t)$ ist hierbei die kritische Last und $\sigma_{cr}(t)$ die kritische Spannung bei Berücksichtigung der Zeitdauer der Einwirkungen, der Temperatur und des umgebenden Mediums sowie der auftretenden Lastanordnung und Lastkombination.

(3) Die kritische Last und die kritische Spannung ist unter Beachtung der Grundsätze der Thermoviskoselastizität zu ermitteln.

(4) Die Berechnung kann auch näherungsweise so erfolgen, dass in den Beziehungen für die kritische Last und die kritischen Spannungen elastischer Tragwerke die elastischen Verformungsgrößen durch die für den Zeitpunkt geltenden Bemessungswerte nach Abschnitt 5 ersetzt werden. Damit können z.B. die kritischen Spannungen 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 Abminderungsfaktor A_{mod}^E zu berücksichtigen.

(6) Imperfektionen aus Material-, Bauteil- und Herstellungseinflüssen sind in geeigneter Weise anzusetzen.

(7) Der Stabilitätsnachweis kann auch als Spannungsnachweis nach Theorie II. Ordnung geführt werden.

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

$$A_1^E = (1 + j_t) \quad (8.10)$$

Ansätze hierfür befinden sich in den Prüfgrundsätzen für den Gewässerschutz [17].

(9) Der Kriechfaktor wird in DIN 18820-2 für verschiedene Lamine unter Dauerlast angegeben. Seine Ermittlung kann zum Beispiel analog zu DIN 53444 erfolgen.

Überlagerung verschiedener Beanspruchungsarten

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

$$\left(\frac{E_{xd}(t)}{F_{xcr}(t)} \right)^{1,25} + \left(\frac{E_{jd}(t)}{F_{jcr}(t)} \right)^{1,25} + \left(\frac{E_{td}(t)}{F_{tcr}(t)} \right)^2 \leq 1 \quad (8.11)$$

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

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:

$$e_d(t) \leq \frac{D_{k0,05}}{g_M \cdot A_{mod}^D} \quad (8.12)$$

mit:

$\varepsilon_d(t)$ 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 53449. Auswertung der Versuche nach DIN 53449

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:

$$E_d \leq C_d \quad (8.13)$$

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

$$e_d(t) \leq e_{\max}(t) \quad (8.14)$$

$\varepsilon_d(t)$ 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 $\varepsilon_{\max}(t)=0,20\%$).

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.

Es ist nachzuweisen:

$$u_d(t) \leq u_{d,\max} \quad (8.15)$$

$u_d(t)$ maßgebende Verschiebung zum Zeitpunkt t (elastische Verschiebung und Kriechverschiebung)

$u_{d,\max}$ Bemessungswert C_d nach Tabelle 8-1

Tabelle 8-1: Bemessungswert C_d der Durchbiegung (Vorschlag des Arbeitskreises)

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

(1) Die Tragsicherheitsnachweise gelten für die in DIN 18800-1 dargestellten Ausführungsformen. Bei unmittelbar beanspruchten Laschen- und Stabanschlüssen dürfen in Krafrichtung hintereinanderliegend höchstens 2 Schrauben für den Nachweis berücksichtigt werden. Jeder Anschluss muss aus mindestens 2 Verbindungsmitteln bestehen. Bei kontinuierlicher Kraffteinleitung ist eine Begrenzung nicht erforderlich.

(2) Es sind die folgenden Nachweise für den Grenzzustand nach Gl. (8.8) zu erbringen:

- Abscheren von Stahlschrauben: DIN 18800-1 Abschnitt 8.2

$$E_d(t) \leq \frac{\mathbf{a}_a \cdot f_{u,b,k} \cdot A}{\mathbf{g}_M} \quad (8.16)$$

- Abscheren von Kunststoffschrauben:

$$E_d(t) \leq \frac{\alpha_a \cdot f_{k 0,05} \cdot A}{\gamma_M \cdot A_{\text{mod}}^f} \quad (8.17)$$

mit:

- α_a darf für Stahlschrauben nach DIN 18800-1 Abschnitt 8.2.1.2 ermittelt werden, für Kunststoffschrauben ist α_a durch Versuche zu ermitteln
- $f_{u,b,k}$ charakteristischer Wert der Abscherspannung der Stahlschraube
- $f_{k 0,05}$ charakteristischer Wert der Kurzzeitfestigkeit des Schraubenwerkstoffes
- A Spannungsquerschnitt der Schrauben

- Lochleibung und Nachweis im Nettoquerschnitt bei Passschraubenverbindungen ohne Vorspannung:

$$E_d(t) \leq \frac{\alpha_l \cdot f_{k 0,05} \cdot t \cdot d}{\gamma_M \cdot A_{\text{mod}}^f} \quad (8.18)$$

mit:

- α_l ist durch Versuche zu ermitteln. Maßgebend ist die maximale Lochrandspannung, die unter der Annahme elastischen Verhaltens bis zum Bruch berechnet werden kann.
- $f_{k 0,05}$ charakteristischer Wert der Kurzzeitfestigkeit des anzuschließenden Bauteils aus Kunststoff (für GFK siehe auch DIN 18820, Teil 2, Abschnitt 2.4.2)

Für genauere Nachweise können für Matten- bzw. Mischlamine gem. DIN 18820 - 2 die Rechenansätze nach [12] verwendet werden.

Verbindungen mit Ankern, Bolzen und vergleichbaren Tragelementen

(3) 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.

(4) 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

(5) 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 [15] oder Verwendung von Verbindungsteilen. 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.

(2) 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.

(3) 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.

(4) Bei Thermoplasten wird die Verbindung hauptsächlich durch Heißschweißen und Kleben [16] hergestellt.

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

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

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 instandgesetzt 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 Tropftüllen 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:

- Ausschäumen des Kerns zwischen den Deckschichten im Stand- oder Durchlaufverfahren
- Zusammenkleben von Teilen des Kernes untereinander und der Kern- und Deckschichten.

(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 werden in Anlehnung an die „Empfehlungen für die Bemessung und Konstruktion von Glas im Bauwesen“ [14] ausgeführt.

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 $5d$ und die Randabstände $2,5d$, 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 Unterlagsscheiben zu verwenden.

9.4 Herstellung und Konstruktion

9.4.1 Faserverbundkunststoffe

- (1) Für Lamine gelten die einschlägigen Regelungen der DIN 18 820.
- (2) Alle tragenden Lamine beginnen und enden im Schichtenaufbau mit einer Wirrfaserschicht von mindestens 450 g/m² flächenbezogener Masse (Symmetrie).
- (3) Bei Bauteildicken $t > 15$ mm sind gezielte Maßnahmen wegen exothermer Reaktionen erforderlich.
- (4) Glasfasern dürfen nicht frei liegen. Schnittkanten sind mit Gelcoat zu versiegeln, ebenfalls Bohrlöcher (auf Reaktionsharzbasis).
- (5) Die im Verbund liegenden Matten- und Rovinglagen sind ohne Unterbrechung um Krümmungen mit planmäßigem Kraftfluss herumzuführen und ausreichend auszurunden. 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 Glasfasern 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 Temperatúrausdehnungskoeffizienten 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.
- (4) Bauteile unbedingt spannungsfrei einbauen.

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. Überlaminierten 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 gleichbleibende, unbedingt aber den jeweiligen Anforderungen des Einzelfalles entsprechende Qualität garantiert werden kann.

(4) Bei der Eigen- sowie der Fremdüberwachung ist allgemein die DIN 18 200, für Lamine/Formstoffe aus GF-UP und GF-PHA – sinngemäß aber auch für EP-, VE- und weitere GFK-Materialien - zugrunde zu legen. Bauaufsichtlich eingeführte Material- oder Anwendungs-normen bei geregelten Bauprodukten sowie bauaufsichtliche Zulassungen/Zustimmungen/Prüfzeugnisse bei unregulierten Bauprodukten können detailliertere, davon abweichende bzw. darüber hinausgehende Vorschriften enthalten.

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

Neben der Herstellerverantwortung für die Erbringung der Materialnachweise gilt gemäß Bauordnung uneingeschränkt die Verantwortung des Bauherrn beziehungsweise des von ihm bestellten Entwurfsverfassers dafür, 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) wichtige 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 oder repräsentativen, unter gleichen

Bedingungen gefertigten Parallelproben nachzuweisen und zu dokumentieren. Beispielsweise sind für GFK-Laminat 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, ggfs. 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.

(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	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	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
- 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 1048 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, ggfs. 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 ggfs. erforderliche Maßnahmen abzustimmen.

Ggfs. 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 Schweißeignung 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 51049-2.2 mit Angabe für Harz nach DIN 16945 und 16946 beziehungsweise für Glaserzeugnisse nach DIN 61853 bis 61855.

(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:
Schweißseignung, 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 Schweißseignung 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 Klebeprodukte.
(2) Die Verarbeitung sowie die Begriffe sind in der DIN 16 920 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 Prüffingenieur 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 qualifizierte Führungskraft, 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 ein Fachmann 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 18 200 „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

- Geräteinsatz
 - 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 statische und konstruktive Verhältnisse im Kunststoffbau beurteilen können.
- (5) Die Überwachung der Herstellung und der Materialien erfolgt in der Regel stichprobenartig.
- (6) Bei der Feststellung gefahrdrohender 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 18 203 Teil 2)
- 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 7724	Polymere Werkstoffe, Gruppierung polymerer Werkstoffe aufgrund ihres mechanischen Verhaltens (04/93)
DIN EN ISO 1043-1	Kunststoffe, Kennbuchstaben und Kurzzeichen Basis-Polymere (01/00)
E DIN EN ISO 1043-2	Kunststoffe, Kennbuchstaben und Kurzzeichen Füllstoffe und Verstärkungsstoffe (05/01)
DIN 18200	Übereinstimmungsnachweis für Bauprodukte (05/00)
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
E DIN EN 13706	Spezifikation für pultrudierte Profile Teil 1 : Bezeichnungen (01/00) Teil 2 : Prüfverfahren und allgemeine Anforderungen (01/00) Teil 3 : Besondere Anforderungen (01/00)
E DIN 1055	Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1: Wichte und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen (03/00) Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten (03/00) Teil 4: Windlasten (03/01) Teil 5: Schnee- und Eislasten (04/01) Teil 6: Einwirkungen auf Silos und Flüssigkeitsbehälter (09/00) Teil 7: Temperatureinwirkungen (09/00) Teil 8: Einwirkungen während der Bauausführungen (09/00) Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen (03/00) Teil 10: Einwirkungen infolge Krane und Maschinen (10/00)
DIN 1055-100	Einwirkungen auf Tragwerke Grundlagen der Tragwerksplanung - Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln (03/01)
DIN V ENV 1991	Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke Teil 1: Grundlagen der Tragwerksplanung (12/95) Teil 2-1: Einwirkungen auf Tragwerke - Wichten, Eigenlasten, Nutzlasten (01/96)

11.2 Stoffnormen

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 1778	Charakteristische Kennwerte für geschweißte Thermoplast-Konstruktionen - Bestimmung der zulässigen Spannungen und Moduli für die Berechnung von Thermoplast-Bauteilen (12/99)
DIN EN ISO 12162	Thermoplastische Werkstoffe für Rohre und Formstücke bei Anwendung unter Druck - Klassifizierung und Werkstoffkennzeichnung (04/1996)
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 61855	Textilglas, Textilglasrovings für die Kunststoffverstärkung (04/87)

11.3 Prüfnormen

DIN 16889-1	Bestimmung der chemischen Resistenzfaktoren aus Thermoplasten (06/89)
DIN 52330	Bestimmung des Glasgehaltes
DIN 52612	Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit
DIN 53390	Biegeversuch an unidirektional glasfaserverstärkten Rundstablaminaten
DIN 53393	Verhalten beim Einwirken von Chemikalien
DIN 53397	Bestimmung der interlaminaren Zugfestigkeit
DIN 53398	Biegeschwellversuch
DIN 53452	Bestimmung der Biegefestigkeit (alt)
DIN 53453	Bestimmung der Schlagzähigkeit
DIN 53454	Bestimmung der Druckfestigkeit
DIN 53455	Bestimmung der Zugfestigkeit (alt)
DIN 53457	Bestimmung des Biege-E-Modules
DIN 53547	Bestimmung des E-Modules aus dem Biegeversuch
DIN 537661	Bestimmung der Haftfestigkeit im Stirnzugversuch

DIN 53768	Extrapolationsverfahren für die Bestimmung des Langzeitversagensverhaltens von glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK), Ausgabe 1990
DIN EN 61	Bestimmung der Zugfestigkeit und Bruchdehnung
DIN EN 63	Biegeversuch, Dreipunkt-Verfahren
DIN EN 921	Kunststoff-Rohrleitungssysteme, Rohre aus Thermoplasten Bestimmung des Zeitstand-Innendruckverhaltens (01/95)
DIN EN ISO 572-2	Kunststoffe – Bestimmung der Zugeigenschaften (07/96)
DIN EN ISO 14129	Bestimmung des Schermoduls und der Scherfestigkeit in der Lagenebene mit dem $\pm 45^\circ$ Zugversuch

11.4 Normen für Halbzeuge

DIN 8075	Rohre aus Polyethylen (PE) - PE 63, PE 80, PE 100, PE-HD - Allgemeine Güteanforderungen, Prüfungen (08/1999)
DIN 16961	Rohre und Formstücke aus thermoplastischen Kunststoffen mit profilierter Wandung und glatter Rohrrinnenfläche 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

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)

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 (04/97)

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)

DASt-Richtlinie 013 Schalenbeulen, Deutscher Ausschuss für Stahlbau (07/80)

DiBt-GF-UP-Richtlinie Richtlinie für die Kennwertbestimmung, Zulassungsprüfung, Bemessung und Güteüberwachung von zulassungspflichtigen Bauteilen

aus glasfaserverstärktem ungesättigtem Polyesterharz, Deutsches Institut für Bautechnik (12/88)

AD-Merkblatt N 1 Druckbehälter aus textilglasverstärkten duroplastischen Kunststoffen, Arbeitsgemeinschaft Druckbehälter (07/87)

Richtlinie für den Nachweis der Standsicherheit von Metall-Kunststoff-Verbundprofilen, Deutsches Institut für Bautechnik (05/86)

Vorläufige Zulassungsgrundsätze für Rohre aus thermoplastischen Werkstoffen in Basisentwässerungssystemen von Deponien, Deutsches Institut für Bautechnik (12/95)

Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien und Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme, Deutsches Institut für Bautechnik (11/95)

Musterberechnung für Kunststoffbehälter zur Lagerung wassergefährdender Flüssigkeiten, Deutsches Institut für Bautechnik, Reihe B, Heft 4, (03/86)

Berechnungsempfehlungen für stehende Behälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin (02/00)

Berechnungsempfehlungen für auf Sattelschalen gelagerte Behälter aus glasfaserverstärkten Kunststoffen, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin (10/98)

11.7 Empfehlenswerte Literatur

Faserverbund-Kunststoffe, Ehrenstein, G.W., Hanser Verlag München, Wien, 1992

Dimensionieren mit Faserverbundkunststoffen, Michaeli/Huybrechts/Wegener, Hanser Verlag München, Wien, 1994

Structural Design of Polymer Composites, EUROCOMP Design Code and Handbook, Edited by John L. Clarke, E & FN SPON, Chapman & Hall, London, 1996

Kunststoff Taschenbuch, Saechtling, Hanser Verlag München, Wien, 1995

Konstruieren mit Kunststoffen, Gunter Erhard, Hanser Verlag München, Wien, 1999

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] Deutsches Institut für Normung e. V.: Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen, 1. Auflage 1981
- [7] Drey, K.-D.; Müller, E.; Pabjanek, A.: Methoden der Viskoplastizität, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1972
- [8] Einsfeld, U.: Bemessung von Tragwerken aus Kunststoffen, In: Der Ingenieurbau: Grundwissen (Hrsg.: G. Mehlhorn), Abschnitt 3.2, Seite 768, Verlag Ernst & Sohn, 1998
- [9] Malmeister, A.; Tamuzs, V.; Teters, G.: Mechanik der Polymerwerkstoffe, Akademie-Verlag Berlin 1977
- [10] Rabotnow, Ju. N.; Iljuschin, A. A.: Methoden der Viskoelastizitätstheorie, VEB Fachbuchverlag Leipzig 1969
- [11] Roderic, S. Lakes: Viscoelastic Solids, CRC Press Boca Raton 1999
- [12] Schulz, U.: Tragverhalten von vorgespannten und nicht vorgespannten Schraubverbindungen mit Fügeteilen aus Glasfaserverstärktem Kunststoff. Bericht T867 der Versuchsanstalt für Stahl, Holz und Steine, Universität Karlsruhe, IRB-Verlag Stuttgart
- [13] Stamm, K.; Witte, H.: Sandwichkonstruktionen, Springer Verlag, Wien / New York 1974
- [14] VPI: Empfehlungen für die Bemessung und Konstruktion von Glas im Bauwesen, Hamburg 2001
- [15] Schulz, U.: Kleben von glasfaserverstärkten Kunststoffen, Bautechnik 9/1971, S. 308-312
- [16] G. Habenicht, Kleben – Grundlagen, Technologie, Anwendungen, Springer Verlag, 1997
- [17] IfBt: Bau- und Prüfgrundsätze für den Gewässerschutz, Schriften des Instituts für Bautechnik, Berlin
- [18] Hans-Jürgen Meyer, Reihe Werkstofftechnik, Zur Bemessung von GFK-Bauteilen unter Zuhilfenahme der Linear-Elastischen Bruchmechanik und probabilistischer Versagenskriterien, Verlag Shaker
- [19] Gerhard Mehlhorn, Bemessung, Grundwissen, Bemessung von Tragwerken aus Kunststoffen Faser-Kunststoff-Verband, Seite 750 - 923, Verlag Ernst und Sohn, Berlin, 1998
- [20] L. Franke, Schadensakkumulation und Restfestigkeit im Licht der Bruchmechanik, Fortschritte im konstr. Ingenieurbau, Rehm - Festschrift (1984)
- [21] L. Franke, H.-J. Meyer, Schadensakkumulation bei GFK, Endbericht zum Forschungsvorhaben, Berlin, Dez. 1991

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_1^f , A_1^E bzw. A_1^D infolge Belastungsdauer bis zu 20 Jahre

	unverstärkte							
	Thermoplaste					Duroplaste		
	PP-H	PVC-NI	PVDF	PMMA	PE 80	UP	EP	PUR
A^f (Festigkeit)	2,0 ⁽⁴⁾	1,9 ⁽⁴⁾	1,2 ⁽⁴⁾	2,3 ⁽¹¹⁾	Druck: 1,5 ⁽⁶⁾	1,6 ⁽⁸⁾	1,5 ⁽⁸⁾	2,1 ⁽¹⁰⁾
					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⁾	Schub 4,4 ⁽¹⁰⁾
								Druck 3,4 ⁽¹⁰⁾
A^D (Dehngrenze)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0 ⁽¹⁰⁾

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

	unverstärkte							
	Thermoplaste					Duroplaste		
	PP-H	PVC-NI	PVDF	PMMA	PE 80	UP	EP	PUR
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⁾	1,2 ⁽¹⁰⁾
					Zug : 1,1 ⁽⁶⁾			
A^E (E-Modul)	1,1 ⁽¹⁾	1,4 ⁽¹⁾	k.A. ⁽⁹⁾	k.A. ⁽⁹⁾	1,1 α	k.A. ⁽⁹⁾	k.A. ⁽⁹⁾	1,2 ⁽¹⁰⁾
A^D (Dehngrenze)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0 ⁽¹⁰⁾

Tabelle A-3: Einflussfaktor A_3^f , A_3^E bzw. A_3^D infolge Temperatureinfluss bis zu 40° C

	unverstärkte							
	Thermoplaste					Duroplaste		
	PP-H	PVC-NI	PVDF	PMMA	PE 80	UP	EP	PUR
A ^f (Festigkeit)	1,3 ⁽⁴⁾	1,6 ⁽⁴⁾	1,2 ⁽⁴⁾	1,3 ⁽¹¹⁾	1,4 ⁽⁶⁾	k.A. ⁽⁹⁾	k.A. ⁽⁹⁾	1,1 ⁽¹⁰⁾
A ^E (E-Modul)	1,2 ⁽²⁾	1,3 ⁽²⁾	1,5 ⁽⁴⁾	1,2 ⁽¹¹⁾	1,3 ⁽¹⁾	k.A. ⁽⁹⁾	k.A. ⁽⁹⁾	1,1 ⁽¹⁰⁾
A ^D (Dehngrenze)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0 ⁽¹⁰⁾

In den Tabellen ist:

PP-H	Homo-Polypropylen, hergestellt aus Formmasse nach DIN 16774-1
PVC-NI	Polyvinylchlorid, normal schlagzäh, hergestellt aus Formmasse nach DIN 7748
PVDF	
PMMA	Polymethylmethacrylat
PE 80	Polyethen hoher Dichte, hergestellt aus Formmasse nach DIN 16776-1
UP	Polyesterharz
EP	Epoxydharz

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 der Richtlinie [22] - [27]
- (11) U. Gleiter, Einsatz von transparenten Thermoplasten im Bauwesen, Dissertation, TU Darmstadt, 2002

Anhang B: Einflussfaktoren für faserverstärkte Kunststoffe

Tabelle B.1a: Einflussfaktor A_1^f infolge Belastungsdauer bis zu 20 Jahre (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
	1,8	2,15	2,75	1,7	2,0	2,4
mit $\varepsilon_z > 0,2\%$	2,4	2,9	3,9	2,1	2,6	2,8
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	1,2					
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 enthalten, die Werte müssen durch Versuche bestätigt werden

Tabelle B.1b: Einflussfaktor A_1^E und A_1^D infolge Belastungsdauer (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 $\varepsilon_z > 0,2\%$	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		
	1,1			1,2		
Pultrusionsprofile P senkrecht zur Pultrusionsrichtung	Normalkraft			Biegung		
	1,5			1,8		
Pultrusionsprofile P parallel zur Pultrusionsrichtung mit $\varepsilon_z > 0,2\%$	Normalkraft			Biegung		
	1,4			1,6		
Pultrusionsprofile P senkrecht zur Pultrusionsrichtung mit $\varepsilon_z > 0,2\%$	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

Die Werte basieren auf DIN 18820 – 3.

Tabelle B.3: Einflussfaktor A_3^f, A_3^E, A_3^D bzw. A_3^D infolge Temperatureinfluss

Temperaturbereich	A_3^f, A_3^E, A_3^D	Bedingung
-20°C bis 30°C	1,0	Bauteile im Erdreich, im Freien, in Gebäuden und bis zu einer Betriebstemperatur von 30°C
> 30°C bis 40°C	1,6 - δ	Betriebstemperatur
> 40°C bis 60°C	1,8 - δ	Betriebstemperatur

δ - Glasmassenanteil

Die Werte basieren auf Tabelle 9 der DIN 18820 – 2.

Anhang C: Erläuterungen

Fasereigenschaften

Die Zugfestigkeit sowie der E-Modul einiger Fasern ist in der unten stehenden Tabelle angegeben.

Tabelle C-1: Fasereigenschaften

Faser	E_0 [N/mm ²]	Zugfestigkeit σ_0 [N/mm ²]
Aramid	80.300-186.000	1.800-3.800
E-Glas	73.000-80.000	1.500-3.400
C-Faser	240.000-500.000	4.600
AR-Glas	72.000	3.500

Sandwichkerne

Die mechanischen Eigenschaften einiger Polymer-Hartschäume sind in der unten stehenden Tabelle angegeben.

Tabelle C-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

Anhang D: Bemessungswerte der Einwirkungen

(1) Zur Ermittlung der Bemessungswerte S_d oder 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

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

für die Erdbebenbemessung

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

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

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

mit:

- ⊕ „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 V ENV 1998
 $\gamma_{G,j}$ Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen nach Tabelle D.1
 $\gamma_{Q,i}$ Teilsicherheitsbeiwerte für veränderliche Einwirkungen
 γ_I Wichtungsfaktor nach DIN V ENV 1998 (Erdbeben)
 $\psi_{0,i}$ Kombinationsbeiwerte nach Tabelle D.2
 $\psi_{1,1}, \psi_{2,i}$ Kombinationsbeiwerte für außergewöhnliche Bemessungssituationen

Tabelle D.1: Teilsicherheitsbeiwerte 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 $\gamma_{F,sup}$	$1,10 \cdot 1,35 = 1,50$	1,50	1,00
2		günstig $\gamma_{F,inf}$	$0,90 \cdot 1,0 = 0,90$	i.d.R. 0 ****)	0,95
3	Fall B **)	ungünstig $\gamma_{F,sup}$	1,35	1,50	1,00
4		günstig $\gamma_{F,inf}$	1,00	i.d.R. 0 ****)	1,00
5	Fall C ***)	ungünstig $\gamma_{F,sup}$	1,00	1,30	1,00
6		günstig $\gamma_{F,inf}$	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

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 *)</u> Garagen und Parkhäuser, Versammlungsräume, Turnhallen, Flure in Labor- und Lehrgebäuden, Tribünen, Büchereien, Archive	0,7	0,7	0,6
<u>Kategorie D *)</u> Geschäfts- und Warenhäuser, Ausstellungs- und Verkaufsräume ab 50m ²	0,7	0,7	0,6
<u>Kategorie E *)</u> Lagerräume, Behälterbauten, Deponien und Industrieanlagen	1,0	0,9	0,8
Schneelasten **)	0,6	0,2	0
Windlasten **)	0,6	0,5	0
Temperatureinwirkungen (-20°C ≤ T ≤ 60°C)**)	0,6	0,5	0

*) Abminderungsbeiwerte für Nutzlasten in mehrgeschossigen Hochbauten siehe DIN 1055-3

**) Abänderungen für unterschiedliche geografische Gegenden können erforderlich sein

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

Bei einer veränderlichen Einwirkung

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

für alle ungünstig wirkenden veränderlichen Einwirkungen.

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

Der ungünstigere Wert ist maßgebend.

(3) Beim Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit können ebenfalls vereinfachte Regeln angewendet werden:

bei nur einer veränderlichen Einwirkung

$$E_d = E \left\{ \sum_j G_{k,j} \oplus Q_{k,1} \right\} \quad (D-9)$$

für eine außergewöhnliche Einwirkung

$$E_d = E \left\{ \sum_j G_{k,j} \oplus A_d \right\} \quad (D-10)$$

für mehrere veränderliche Einwirkungen

$$E_d = E \left\{ \sum_j G_{k,j} \oplus 0,9 \cdot \sum_i Q_{k,i} \right\} \quad (D-11)$$

Die ungünstigste Kombination ist maßgebend.