

	DIN CEN/TS 19102	
ICS 91.080.99 Bemessung von vorgespannten Membrantragwerken; Deutsche Fassung CEN/TS 19102:2023 Design of tensioned membrane structures; German version CEN/TS 19102:2023 Conception et calcul des structures en membrane tendue; Version allemande CEN/TS 19102:2023 Gesamtumfang 112 Seiten DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)		

Nationales Vorwort

Das Dokument CEN/TS 19102:2023 wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI (Vereinigtes Königreich) gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-51-08 AA „Eurocode für Membrantragwerke DIN 18204-1 sowie DIN 4134 (SpA zu CEN/TC 250/WG 5)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 48-4	siehe	DIN ISO 48-4
ISO 2395:1990	siehe	DIN ISO 2395:1999-01
ISO 16373-3:2014	siehe	DIN EN ISO 16373-3:2014-10

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 16373-3:2014-10, *Textilien — Farbstoffe — Teil 3: Verfahren zur Bestimmung von bestimmten karzinogenen Farbstoffen (Triethylamin/Methanol-Verfahren) (ISO 16373-3:2014); Deutsche Fassung EN ISO 16373-3:2014*

DIN ISO 48-4, *Elastomere oder thermoplastische Elastomere — Bestimmung der Härte — Teil 4: Eindringhärte durch Durometer-Verfahren (Shore-Härte)*

DIN ISO 2395:1999-01, *Analysensiebe und Siebanalyse — Begriffe (ISO 2395:1990)*

Deutsche Fassung

Bemessung von vorgespannten Membrantragwerken

Design of tensioned membrane structures

Conception et calcul des structures en membrane
tendue

Diese Technische Spezifikation (CEN/TS) wurde vom CEN am 24. August 2023 als eine künftige Norm zur vorläufigen Anwendung angenommen.

Die Gültigkeitsdauer dieser CEN/TS ist zunächst auf drei Jahre begrenzt. Nach zwei Jahren werden die Mitglieder des CEN gebeten, ihre Stellungnahmen abzugeben, insbesondere über die Frage, ob die CEN/TS in eine Europäische Norm umgewandelt werden kann.

Die CEN Mitglieder sind verpflichtet, das Vorhandensein dieser CEN/TS in der gleichen Weise wie bei einer EN anzukündigen und die CEN/TS verfügbar zu machen. Es ist zulässig, entgegenstehende nationale Normen bis zur Entscheidung über eine mögliche Umwandlung der CEN/TS in eine EN (parallel zur CEN/TS) beizubehalten.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	7
0 Einleitung	8
0.1 Einleitung zu CEN/TS 19102.....	8
0.2 In den Eurocodes verwendete Verbformen.....	8
0.3 Nationaler Anhang für CEN/TS 19102	8
1 Anwendungsbereich.....	10
1.1 Anwendungsbereich von CEN/TS 19102	10
1.2 Voraussetzungen	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe und Symbole	11
3.1 Begriffe	11
3.2 Symbole und Abkürzungen	19
3.2.1 Symbole mit lateinischen Großbuchstaben.....	19
3.2.2 Symbole mit lateinischen Kleinbuchstaben.....	19
3.2.3 Symbole mit griechischen Kleinbuchstaben	20
3.2.4 Abkürzungen.....	20
4 Grundlagen für die Tragwerksplanung.....	21
4.1 Allgemeine Regeln.....	21
4.1.1 Grundlegende Anforderungen.....	21
4.1.2 Stabilität, Sicherheit, Redundanz	22
4.1.3 Tragwerkszuverlässigkeit.....	22
4.1.4 Robustheit	22
4.1.5 Geplante Nutzungsdauer	22
4.1.6 Dauerhaftigkeit	23
4.2 Grundsätze der Bemessung nach Grenzzuständen	23
4.3 Basisvariablen	23
4.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse	23
4.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften	25
4.3.3 Geometrische Daten	25
4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten	25
4.4.1 Bemessungswert des Widerstands von Membranen	25
4.4.2 Bemessungswert der geometrischen Daten	25
4.4.3 Bemessungswiderstände.....	25
4.4.4 Nachweis des statischen Gleichgewichts	27
4.5 Versuchsgestützte Bemessung	27
5 Werkstoffe.....	27
5.1 Allgemeines	27
5.2 Gewebe	28
5.2.1 Festigkeit	28
5.2.2 Die Zugfestigkeit verringernde und erhöhende Auswirkungen	28
5.2.3 Steifigkeitsparameter	29
5.3 Folien.....	29
5.3.1 Festigkeit	29
5.3.2 Die Zugfestigkeit verringernde und erhöhende Auswirkungen	29
5.3.3 Steifigkeitsparameter	30

5.4	Verbindungsmittel	30
5.5	Tragwerkselemente	30
6	Dauerhaftigkeit	31
6.1	Allgemeines	31
6.2	Gewebe	31
6.3	Folien	31
7	Statische Berechnung.....	32
7.1	Allgemeines	32
7.1.1	Tragwerksmodellierung für Berechnungszwecke.....	32
7.1.2	Gesamttragwerksberechnung	33
7.1.3	Berechnungsverfahren.....	33
7.2	Pneumatische Tragwerke	33
7.2.1	Tragwerksmodellierung für Berechnungszwecke.....	33
7.2.2	Gesamttragwerksberechnung	34
7.2.3	Berechnungsverfahren.....	34
7.3	Zuschnittsermittlung	34
7.3.1	Berechnungsverfahren für die Zuschnittsermittlung.....	34
7.3.2	Berechnungsverfahren für Kompensation und Dekompensation.....	34
7.3.3	Simulation der Montage.....	35
7.3.4	Validierung	35
8	Grenzzustände der Tragfähigkeit.....	35
8.1	Allgemeines	35
8.2	Widerstand von Geweben und deren Verbindungen.....	35
8.2.1	Allgemeines	35
8.2.2	Klassen der Lasteinwirkungsdauer	36
8.2.3	Bemessungssituationen	37
8.3	Widerstand von Folien und deren Verbindungen.....	37
8.3.1	Allgemeines	37
8.3.2	Klassen der Lasteinwirkungsdauer	39
8.3.3	Bemessungswiderstand von Werkstoff und Verbindungen	40
8.3.4	Bemessungssituationen	40
8.4	Bemessungssituation Wassersackbildung.....	41
9	Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit	41
9.1	Allgemeines	41
9.2	Verformungen.....	42
9.2.1	Allgemeines	42
9.2.2	Abstand zu anderen Teilen	42
9.2.3	Wassersackbildung.....	42
9.3	Faltenbildung.....	42
9.4	Aufrechterhaltung von Vorspannung und Nachspannen	42
9.5	Begrenzung des Weiterreißen.....	43
9.6	Besondere Bestimmungen für Folien	43
9.6.1	Allgemeines	43
9.6.2	Charakteristischer Widerstand von Folien.....	44
9.6.3	Charakteristische Bemessungssituationen	45
9.6.4	Besondere Bestimmungen für Folienkissen	46
9.6.5	Besondere Bestimmungen für einlagige Folientragwerke	46
10	Verbindungen	47
10.1	Einleitung	47
10.1.1	Bemessungsannahmen.....	48
10.1.2	Berechnung und Prüfungen.....	48
10.1.3	Allgemeine Anforderungen	49
10.2	Nicht lösbare Membranverbindungen	50

10.3	Lösbare Membranverbindungen	52
10.3.1	Allgemeines	52
10.3.2	Membranverbindungen mit Klemmplatten (Klemmverbindungen)	52
10.3.3	Membranverbindungen mit Kederschienen	54
10.4	Membranränder	54
10.4.1	Flexible Membranränder	54
10.4.2	Starre Membranränder	55
10.5	Ecken	56
10.5.1	Allgemeines	56
10.5.2	Bemessungsannahmen	57
10.5.3	Bauausführung	57
10.6	Feldaufleger	58
10.7	Sonstige Verbindungsmittel	58
Anhang A (informativ) Klassifizierung tragender Membranen		59
A.1	Anwendung dieses Anhangs	59
A.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	59
A.3	Allgemeines	59
A.4	Festigkeitsklassifizierung für PES-PVC	60
A.5	Zugfestigkeitsklassifizierung für Glas-PTFE	60
A.6	Typische Festigkeitswerte für ETFE-Folie	61
Anhang B (normativ) Verfahren zur Bestimmung von Modifikationsfaktoren		62
B.1	Anwendung dieses Anhangs	62
B.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	62
B.3	Allgemeine Bestimmung von Modifikationsfaktoren	62
B.4	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung veränderter Temperatur	62
B.4.1	Allgemeines	62
B.4.2	Besonderheiten bei Folien	63
B.5	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung ständiger Last	64
B.6	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung von Langzeit-Last	66
B.7	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung der Alterung	66
B.8	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung biaxialer Spannungszustände	66
B.9	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung der Membranfeldgröße	67
Anhang C (informativ) Modifikationsfaktoren		68
C.1	Anwendung dieses Anhangs	68
C.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	68
C.3	Typische Modifikationsfaktoren für PES-PVC-Membranen	68
C.4	Typische Modifikationsfaktoren für Glas-PTFE-Membranen	69
C.5	Typische Modifikationsfaktoren für ETFE-Folienmembranen für den GZT-Nachweis	69
C.6	Typische Modifikationsfaktoren für ETFE-Folienmembranen für den GZG-Nachweis	70
Anhang D (informativ) Prüfverfahren zur Berücksichtigung von knickempfindlichen Geweben		71
D.1	Anwendung dieses Anhangs	71
D.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	71
D.3	Laufende doppelte Knickfalte	72
D.4	Rollen über die Schlaufe	73
Anhang E (informativ) Prüfverfahren zur Bestimmung von Folieneigenschaften		75
E.1	Anwendung dieses Anhangs	75
E.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	75
E.3	Biaxiale Kriechversuche für Folien	75
E.4	Biaxiale Hysterese-Lastversuche für Folien	77
E.5	Auswertung der biaxialen Prüfungen nach Abschnitt E.4	79
Anhang F (informativ) Besondere Bestimmungen bezüglich Brandeinwirkung		82
F.1	Anwendung dieses Anhangs	82

F.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	82
Anhang G (informativ)	Verhalten von Membrantragwerken unter Brandeinwirkung	84
G.1	Sicherheitsbewertung von Membrantragwerken unter Brandeinwirkung	84
Anhang H (informativ)	Technische Managementmaßnahmen zur Umsetzung von	
	Membrantragwerken.....	85
H.1	Anwendung dieses Anhangs.....	85
H.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	85
H.3	Festlegung der technischen Managementmaßnahmen	85
H.4	Qualitätsanforderungen für die Planung.....	85
H.5	Prüfung der Planung	85
H.6	Qualität der Bauausführung.....	86
H.7	Überwachung während der Bauausführung	86
H.8	Technische Managementmaßnahmen	86
H.9	Laufende Qualitätskontrolle der Herstellung von Grundmaterialien	87
H.10	Erstprüfung von Membranfeldern.....	89
H.11	Laufende Qualitätskontrolle der Membranfeldherstellung	90
H.12	Technische Unterlagen und Werkstattplanung.....	93
H.12.1	Allgemeines	93
H.12.2	Zuschnittsermittlung	94
H.12.3	Bauteilspezifikationen, technische Hinweise, Kontrollmaßnahmen und Toleranzen.....	94
H.13	Beschaffung des Membranwerkstoffs.....	95
H.13.1	Allgemeines	95
H.13.2	Bestellung des Membranwerkstoffs.....	95
H.13.3	Überwachung eingehender Werkstoffe	95
H.13.4	Dokumentation der Zertifikate	96
H.14	Inspektion vor dem Verpacken	96
H.14.1	Allgemeines	96
H.14.2	Maßkontrolle	96
H.14.3	Sichtprüfung der Verbindungen	96
H.15	Falten, Verpacken und Transportieren.....	96
H.15.1	Allgemeines	96
H.15.2	Faltplan	96
H.15.3	Festlegungen zur Kennzeichnung	97
H.16	Errichtung	97
H.16.1	Allgemeines	97
H.16.2	Toleranzen der Stützkonstruktion	97
H.17	Montage.....	99
H.17.1	Allgemeines	99
H.17.2	Montage (Heben und Spannen) von Seilen	99
H.17.3	Montage (Heben und Spannen) von Membranfeldern	99
H.17.4	Besondere Bestimmungen für die Montage von Folien	99
H.18	Handhabung der Einflüsse von Knickfalten	100
Anhang I (normativ)	Tragende Folien – Bestimmung der Zugeigenschaften unter monoaxialen	
	Spannungszuständen	101
I.1	Anwendung dieses Anhangs.....	101
I.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich	101
I.3	Begriffe.....	101
I.4	Kurzbeschreibung.....	101
I.5	Prüfeinrichtung.....	101
I.6	Probekörper.....	102
I.6.1	Form und Maße	102
I.6.2	Vorbereitung der Probekörper	102
I.6.3	Messmarken	102
I.6.4	Prüfung der Probekörper.....	102

I.6.5	Anisotropie	102	
I.7	Anzahl der Probekörper	102	
I.8	Durchführung der Prüfung	102	
I.8.1	Prüfatmosphäre	102	
I.8.2	Maße der Probekörper	103	
I.8.3	Einspannen	103	
I.8.4	Vorspannung	104	
I.8.5	Anbringen des Extensometers	104	
I.8.6	Prüfgeschwindigkeit.....	104	
I.8.7	Aufzeichnung.....	104	
I.9	Berechnung und Auswertung der Ergebnisse.....	105	
I.9.1	Spannung	105	
I.9.2	Dehnung.....	105	
I.9.3	Zugmodul.....	105	
I.9.4	Querkontraktionszahl	105	
I.9.5	Signifikante Stellen	105	
I.10	Präzision	105	
I.11	Auswertung der Prüfungen.....	105	
I.12	Prüfbericht.....	105	
Anhang J (normativ) Tragende beschichtete Gewebe – Bestimmung der Zugeigenschaften unter monoaxialen Spannungszuständen			106
J.1	Anwendung dieses Anhangs	106	
J.2	Anwendungs- und Gültigkeitsbereich.....	106	
J.3	Vorbereitung der Probekörper	106	
J.3.1	Probekörper des Grundmaterials	106	
J.3.2	Verbindungsprobekörper	106	
J.4	Durchführung der Prüfung	107	
J.5	Prüfungen bei anderen Temperaturen als Raumtemperatur.....	107	
J.6	Auswertung der Prüfungen.....	108	
Literaturhinweise.....			109

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (CEN/TS 19102:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 250 „Eurocodes für den konstruktiven Ingenieurbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von BSI gehalten wird. CEN/TC 250 ist für alle Eurocodes des konstruktiven Ingenieurbaus zuständig. Die Verantwortung für alle Angelegenheiten der Tragwerks- und geotechnischen Planung wurde dem CEN/TC 250 von CEN übertragen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Diese Technische Spezifikation wurde im Rahmen des Normungsauftrages M/515 erarbeitet, den die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelsassoziation CEN erteilt haben.

Diese Technische Spezifikation wurde erarbeitet, um in Verbindung mit einschlägigen Ausführungs-, Werkstoff-, Produkt- und Prüfnormen angewendet zu werden und um Anforderungen an Ausführung, Werkstoffe, Produkte und Prüfung zu identifizieren, auf denen die Eurocodes beruhen.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist auf der CEN-Internetseite abrufbar.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Technische Spezifikation zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die Republik Nordmazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Serbien, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

0 Einleitung

0.1 Einleitung zu CEN/TS 19102

Dieses Dokument zur Bemessung und Konstruktion von vorgespannten Membrantragwerken, die im Einklang mit den Eurocodes hergestellt werden, ist für die Anwendung durch Tragwerksplaner, Bauherren, Hersteller, Ausführende, zuständige Behörden (bei der Wahrnehmung ihrer Aufgaben in Übereinstimmung mit nationalen oder internationalen Vorschriften), Lehrkräfte, Softwareentwickler und Normenausschüsse, in denen verwandte Produktnormen, Prüfnormen und Ausführungsnormen erarbeitet werden, gedacht.

ANMERKUNG Einige Entwurfs- und Bemessungsaspekte werden am zutreffendsten von den zuständigen Behörden festgelegt oder können, sofern keine Festlegungen getroffen wurden, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien wie Tragwerksplanern und Bauherren vereinbart werden. In den Eurocodes werden solche Aspekte durch ausdrückliche Bezugnahme auf die zuständigen Behörden und die beteiligten Parteien gekennzeichnet.

0.2 In den Eurocodes verwendete Verbformen

Das Verb „muss“ beschreibt eine Anforderung, die zwingend zu befolgen ist und von der bei Anwendung der Eurocodes keine Abweichung zulässig ist.

Das Verb „sollte“ beschreibt eine streng empfohlene Auswahl oder Vorgehensweise. In Abhängigkeit von nationalen Regeln und/oder relevanten Vertragsbestimmungen können alternative Lösungen verwendet/angenommen werden, wenn sie technisch gerechtfertigt sind.

Das Verb „darf“ beschreibt eine erlaubte Vorgehensweise innerhalb der Anwendungsgrenzen der Eurocodes.

Das Verb „kann“ beschreibt Möglichkeiten und Fähigkeiten; es wird für Tatsachenfeststellungen und Erklärungen verwendet.

0.3 Nationaler Anhang für CEN/TS 19102

Dieses Dokument gibt Werte in Anmerkungen an, die anzeigen, an welcher Stelle nationale Festlegungen getroffen werden können. Hierzu kann die jeweilige nationale Ausgabe von CEN/TS 19102 einen Nationalen Anhang mit allen national festgelegten Parametern enthalten, die für die Beurteilung von Hoch- und Ingenieurbauten im jeweiligen Land Verwendung finden.

Wird keine nationale Festlegung im Nationalen Anhang angeführt, muss der in der maßgebenden Technischen Spezifikation festgelegte Standardwert angewendet werden.

Die nationale Festlegung kann durch eine zuständige Behörde getroffen werden.

Sofern keine Festlegung in der Technischen Spezifikation, im Nationalen Anhang oder durch eine zuständige Behörde getroffen wird, können die beteiligten Parteien im Einzelfall eine Vereinbarung bezüglich der nationalen Festlegung treffen.

Nationale Festlegungen sind in CEN/TS 19102 zu den folgenden Abschnitten gestattet:

4.3.1.2(3)	4.4.3.2(1)	8.2.1(3)	8.3.1(3)
9.2.1(1)	9.6.1(3)	C.3	C.4
C.5	C.6		

Nationale Festlegungen sind in CEN/TS 19102 bei der Anwendung der folgenden informativen Anhänge gestattet:

Anhang A

Anhang H

Der Nationale Anhang kann, direkt oder durch Verweisungen, ergänzende nicht widersprechende Angaben zur Erleichterung der Umsetzung enthalten, sofern dadurch keine Bestimmungen der Eurocodes geändert werden.

1 Anwendungsbereich

1.1 Anwendungsbereich von CEN/TS 19102

(1) Dieses Dokument ist anwendbar für die Bemessung und Konstruktion von Hochbauten und Tragwerken aus tragenden Membranwerkstoffen. Es enthält Hinweise zur Bemessung und Konstruktion von vorgespannten Membrantragwerken mit entweder mechanischer oder pneumatischer Vorspannung mit festgelegtem Wert.

ANMERKUNG 1 Membranwerkstoffe umfassen tragende Gewebe, beschichtete tragende Gewebe und Folien.

ANMERKUNG 2 Zu Bauelementen von Flächenzugtragwerken, die nicht Gegenstand dieses Dokuments sind (z. B. aus Stahl, Aluminium, Holz oder anderen Werkstoffen), siehe die maßgebenden Eurocode-Teile.

(2) Dieses Dokument behandelt die Anforderungen an Widerstand, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von vorgespannten Membrantragwerken, wie sie in EN 1990 angegeben sind.

ANMERKUNG 1 Die Sicherheitskriterien folgen EN 1990 und berücksichtigen spezifische Grenzzustände für vorgespannte Membrantragwerke.

ANMERKUNG 2 Besondere Anforderungen an die Bemessung gegen Erdbeben werden nicht berücksichtigt.

(3) Bemessung und Nachweis in diesem Dokument beruhen auf der Bemessung nach Grenzzuständen in Verbindung mit dem Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten.

ANMERKUNG Besonderes Augenmerk gilt der Einwirkung von Vorspannung, Schnee, Wind und Regen auf Membrantragwerke sowie der kombinierten Auswirkung von Wind und Regen oder Schnee.

(4) Dieses Dokument behandelt für vorgespannte Membrantragwerke geeignete Berechnungsmethodologien von analytischen bis hin zu vollständig numerischen Simulationsverfahren.

(5) Dieses Dokument berücksichtigt Verbindungen von Membranwerkstoffen untereinander sowie mit anderen Werkstoffen.

(6) Dieses Dokument ist anwendbar für Hybridmembrantragwerke, die verschiedene Arten des Tragverhaltens (Zug, Druck, Biegung, Luftstützung usw.) so einschließen, dass sich die tragende Membran die Tragkraft mit anderen Tragwerkselementen aus unterschiedlichen Werkstoffen teilt.

ANMERKUNG Der Begriff „Hybridtragwerk“ bezieht sich auf diese(s) kombinierte Tragverhalten oder Verwendung von Werkstoffen.

1.2 Voraussetzungen

(1) Die Annahmen nach EN 1990 gelten für dieses Dokument.

(2) Dieses Dokument ist zur Anwendung in Zusammenhang mit EN 1990, der EN 1991-Reihe, der EN 1993-Reihe, der EN 1999-Reihe, EN, EAD und ETA für Bauprodukte, die für vorgespannte Membrantragwerke maßgebend sind, vorgesehen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ANMERKUNG In den Literaturhinweisen sind weitere zitierte Dokumente aufgelistet, die keine normativen Verweisungen sind, einschließlich solcher Dokumente, die als Empfehlungen (d. h. durch „sollte“-Sätze), Erlaubnisse („darf“-Sätze), Möglichkeiten („kann“-Sätze) sowie in Anmerkungen in Bezug genommen werden.

EN 1990:2023, Eurocode — Grundlagen der Planung von Tragwerken und geotechnischen Bauwerken

EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*

EN 1993 (alle Teile), *Eurocode 3 — Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten*

EN 1999 (alle Teile), *Eurocode 9 — Bemessung und Konstruktion von Aluminiumtragwerken*

EN ISO 527-1:2019, *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften — Teil 1: Allgemeine Grundsätze (ISO 527-1:2019)*

EN ISO 527-3:2018, *Kunststoffe — Bestimmung der Zugeigenschaften — Teil 3: Prüfbedingungen für Folien und Tafeln (ISO 527-3:2018)*

EN ISO 1421:2016, *Mit Kautschuk oder Kunststoff beschichtete Textilien — Bestimmung der Zugfestigkeit und der Bruchdehnung (ISO 1421:2016)*

EN ISO 13934-1, *Textilien — Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden — Teil 1: Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraft-Dehnung mit dem Streifen-Zugversuch (ISO 13934-1)*

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1990 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1 Begriffe

3.1.1

Anker

gewöhnlich erdüberdeckte Einrichtung zur Befestigung einer Membran oder eines Seils an einem Auflager, die so eingebaut wird, dass sie einen starren Befestigungspunkt für den Widerstand gegen Abheben bietet

3.1.2

biaxial

Spannungszustand mit zwei gleichzeitig auftretenden Spannungen entlang zwei orthogonaler Achsen

3.1.3

Randseil

Seil am Rand oder Abschluss der Membran

3.1.4

Seil

flexibles lineares oder krummliniges Bauelement unter Zug

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Seil kann ein Rundlitzenseil, ein Spiralseil oder ein Gurt sein.

3.1.5

Seilfitting/Seilbeschlag

jedes Zubehörteil, das als Befestigung oder Halterung für ein Seil verwendet wird

3.1.6

Seiltasche

Verfahren der Umwicklung des Seils mit der Membran an einem Rand

3.1.7

Klemmverbindung

Verbindung, die aus einer Reihe von miteinander verschraubten, geformten, sich überlappenden Platten besteht

3.1.8

beschichtetes Gewebe

Gewebe mit einer ein- oder beidseitigen fest haftenden Beschichtung eines polymeren Werkstoffs, wobei das beschichtete Produkt biegsam bleibt

[QUELLE: ISO 472:2013, 2.152]

3.1.9

Kompensation

Maßverringerung des Zuschnitts, um bei der Montage durch Dehnung des Membranfeldes eine Ausgangsnennvorspannung zu erreichen

[QUELLE: EN 17117-2:2021, 3.2]

3.1.10

Kompensationswert

Betrag, um den die Maße des Zuschnitts durch Kompensation verringert werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Kompensationswert wird als Prozentsatz der Länge in der zu kompensierenden Richtung angegeben.

[QUELLE: EN 17117-2:2021, 3.3]

3.1.11

Verbindung

konstruktiver Punkt, an dem sich zwei oder mehrere Bauteile treffen, z. B. zwei tragende Membranfelder oder eine tragende Membran und die Stützkonstruktion; für die Bemessung besteht die Verbindung aus einer Anordnung von Grundkomponenten, die für die Bestimmung des Verhaltens der Verbindung bei der Übertragung der Schnittgrößen notwendig sind

[QUELLE: EN 1993-1-8:—¹, 3.1.3, modifiziert, um den möglichen Beitrag der tragenden Membran zu klären]

3.1.12

Zuschnittsbahn

zweidimensionale, aus einer Bahn abgewickelte Geometrie, die aus einem einzelnen Membranstück/einer einzelnen Membranrolle zu schneiden ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bahn bezieht sich auf eine Unterteilung der dreidimensionalen Oberfläche auf Grundlage des Nahtbildes.

[QUELLE: EN 17117-2:2021, 3.4, modifiziert — „beschichtetem Textil“ durch „Membranstück/Membranrolle“ ersetzt]

1 In Vorbereitung. Stufe zum Zeitpunkt der Veröffentlichung: FprEN 1993-1-8:2023.

3.1.13

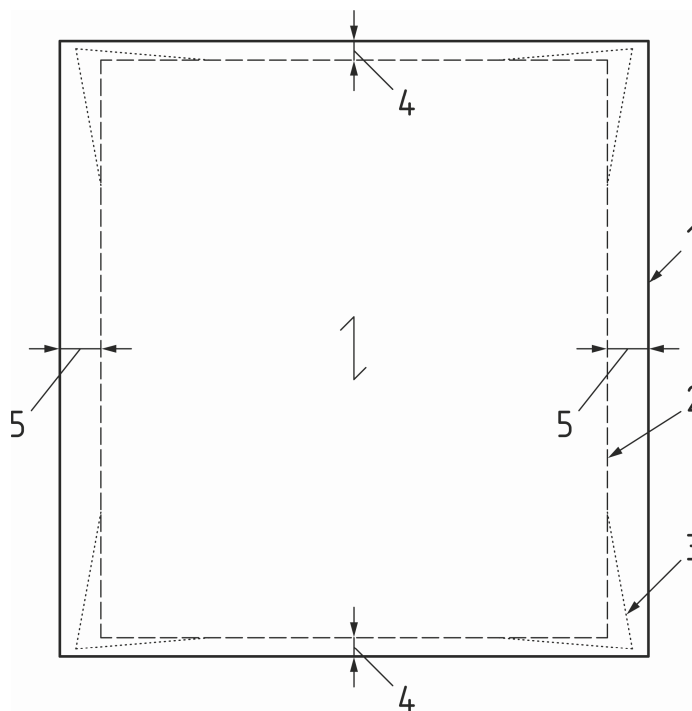
Dekompensation

teilweise oder vollständige Verringerung der Kompensation

Anmerkung 1 zum Begriff: Zur Vereinfachung des Montageprozesses kann eine Dekompensation angewendet werden, üblicherweise in der Nähe von Rändern.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine typische Anwendung von Kompensation und Dekompensation bei einer Zuschnittsbahn einer Membran ist in Bild 3.1 dargestellt.

[QUELLE: EN 17117-2:2021, 3.5, modifiziert — in Anmerkung 2 zum Begriff „beschichtetem Textil“ durch „Membran“ ersetzt]



Legende

- 1 endgültige Geometrie bei Belastung mit Nennvorspannung
- 2 Geometrie kompensiert, unbelastet
- 3 Geometrie dekompensiert, unbelastet
- 4 Hälfte des Kompensationsmaßes in Kettrichtung
- 5 Hälfte des Kompensationsmaßes in Schussrichtung

Bild 3.1 — Typische Anwendung von Kompensation und Dekompensation bei einer Zuschnittsbahn einer Membran

3.1.14

Europäische Technische Produktspezifikation

Europäische Produktnorm (EN) oder eine Europäische Technische Bewertung (ETA), basierend auf einem Europäischen Bewertungsdokument (EAD) oder eine transparente oder reproduzierbare Bewertung, die allen Anforderungen des maßgebenden EAD entspricht

3.1.15

Öse

Metallring zur Verstärkung einer kleinen runden Öffnung in der Membran zum Durchführen einer Schnur, eines Fadens oder eines Seils

3.1.16

äußeres Tragwerk

Tragwerkelemente der Konstruktion, mit denen das Membrantragwerk verbunden ist und die vertikalen und horizontalen Lasten vom Membrantragwerk bis zu den Gründungen der Konstruktion aufnehmen

Anmerkung 1 zum Begriff: Das äußere Tragwerk fällt nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokuments.

3.1.17

Extrusionsrichtung

ED, en: extrusion direction

Maschinenrichtung

MD, en: machine direction

Richtung der Extrusion einer Folie, die der Längsrichtung einer aufgerollten Bahn entspricht

3.1.18

Gewebe

Membranmaterial aus Garn oder Vorgarn, das durch Weben hergestellt wird

3.1.19

Schussrichtung

Schuss

alle rechtwinklig zur Webrichtung verlaufenden Fäden eines Membrangewebes

[QUELLE: ISO 2395:1990, 3.2.22]

3.1.20

Folie

Film

unverstärkte Folie mit einheitlicher Dicke

[QUELLE: CEN ISO/TS 80004-11:2020, 3.1.4]

Anmerkung 1 zum Begriff: Strenggenommen bezieht sich der Begriff Folie auf eine Metallmembran. Derzeit ist es jedoch der gebräuchlichste Begriff für alle isotropen tragenden Kunststoffmembranen, einschließlich ETFE-Folien.

3.1.21

Formfindungsgeometrie

Gleichgewichtsform der Membran in Abhängigkeit von der Geometrie der Ränder und dem Verhältnis der Vorspannung in den Hauptrichtungen des Tragwerks

3.1.22

Saum

Rand eines Membranfeldes, gefaltet und genäht oder geschweißt oder beides

3.1.23

Hochpunkt

gebräuchlicher Ausdruck für ein konisches Tragwerk mit radialem Zuschnitt und erhöhtem Mittelring

3.1.24

Erstprüfung

erste Prüfungen zur Bestimmung der erreichbaren Festigkeit von Nähten und Randverbindungen

3.1.25

Montage

Errichtung des Membrantragwerks auf der Baustelle

3.1.26

Keder

mit Membran ummantelte Randschnur, entweder in Verbindung mit Kederprofilen oder mit Klemmplatten für das Verbinden mit starren Rändern, Eckplatten und Randseilen verwendet

3.1.27

Konfektion

Verarbeitung des Membranmaterials in ein montagefertiges Membranfeld

3.1.28

Materialherstellung

Herstellung des Membran(grund)materials in Form einer Rolle

3.1.29

Membranmaterial

Grundmaterial

dünnere, bahnförmiger Werkstoff zur Erzeugung von zugbeanspruchten Flächentragwerken, bestehend aus tragenden Geweben, beschichteten tragenden Geweben und Folien

3.1.30

Nennvorspannung

Eingabeinformation der Vorspannung, vorgegeben während der Formfindung und der statischen Berechnung und Teil der Tragwerksplanung

[QUELLE: EN 17117-2:2021, 3.10]

3.1.31

numerisches Modell

numerische Umsetzung eines physikalischen Modells

3.1.32

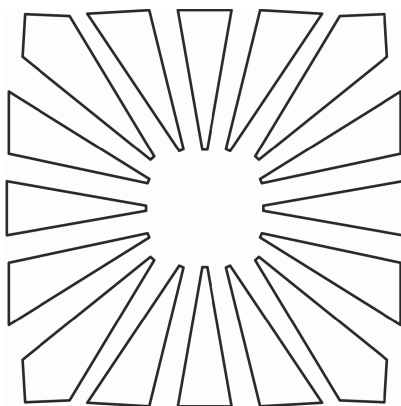
Membranfeld

endgültiger dreidimensionaler Zusammenbau von Zuschnittsbahnen einer Membran, geschnitten entsprechend der Zuschnittsplanung, bereit für die Montage vor Ort

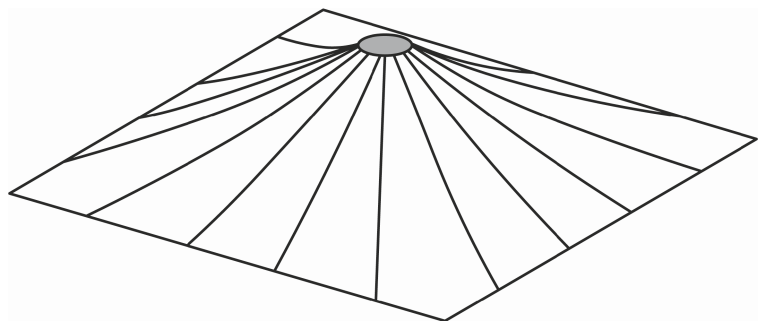
[QUELLE: EN 17117-2:2021, 3.8, modifiziert — „beschichtetem Textil“ durch „Membran“ ersetzt]

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Membranhülle kann aus mehr als einem Membranfeld bestehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ein Membranfeld aus Zuschnittsbahnen der Membran ist in Bild 3.2 dargestellt.



a) Zuschnittsbahnen der Membran,
geschnitten nach dem Schnittmuster



b) Membranfeld

Bild 3.2 — Beispiel für ein Membranfeld aus Zuschnittsbahnen der Membran

3.1.33

Membranstück

zweidimensionales Stück, geschnitten von einer Rolle der Membran

[QUELLE: EN 17117-2:2021, 3.9, modifiziert — „beschichteten Textils“ durch „Membran“ ersetzt]

3.1.34

Wassersackbildung

Ansammlung von Wasser oder Schnee in ebenen Bereichen oder Senken

3.1.35

Vorspannung

Auswirkung des Vorspannvorgangs, konkret Schnittkräfte in den Querschnitten und Verformungen des Tragwerks

[QUELLE: EN 1992-1-1:2023, 3.1.64]

3.1.36

Primärtragwerk

stabiles Tragsystem, das zum Halten der tragenden Membran ausgelegt ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Dieser Begriff wird ausschließlich in Zusammenhang mit Stabilität verwendet.

3.1.37

Naht

Verbindung von zwei oder mehr Zuschnittsbahnen eines Membranmaterials, in der Regel geschweißt, genäht oder geklebt

3.1.38

Nahtbild

Festlegung der Position und Richtung von Nähten auf der Fläche einer Membranhülle

[QUELLE: EN 17117-2:2021, 3.12]

3.1.39

Sekundärtragwerk

nur dann stabil, wenn es mit einem Primärtragwerk (oder einem angrenzenden Hochbau) verbunden ist; es kann aus folgenden Bauteilen bestehen: Membran, Klemmprofil, Eckbeschläge, Randseil, Gratseil, Kehlseil, Pendeldruckstäbe, Pendelzugstäbe, gelenkig gelagerte Masten, Trageile, „Stützluft“, Abspannseile usw.

Anmerkung 1 zum Begriff: Am Beispiel eines Vier-Punkt-Segels mit vier Masten und Abspannseilen: Alle überirdisch angeordneten Bauteile bilden das Sekundärtragwerk, während die Gründungen das Primärtragwerk bilden. Sind die obersten Punkte der vier Masten jedoch miteinander verbunden (z. B. mittels Seilen), wird das Sekundärtragwerk nur durch Membran, Eckbeschläge und Randseile gebildet, da der Rest ohne diese Bauteile stehen bleibt und somit das Primärtragwerk bildet.

Anmerkung 2 zum Begriff: Dieser Begriff wird ausschließlich in Zusammenhang mit Stabilität verwendet.

3.1.40

tragende Membran

vorgespannte Membran

zugbeanspruchte Membran

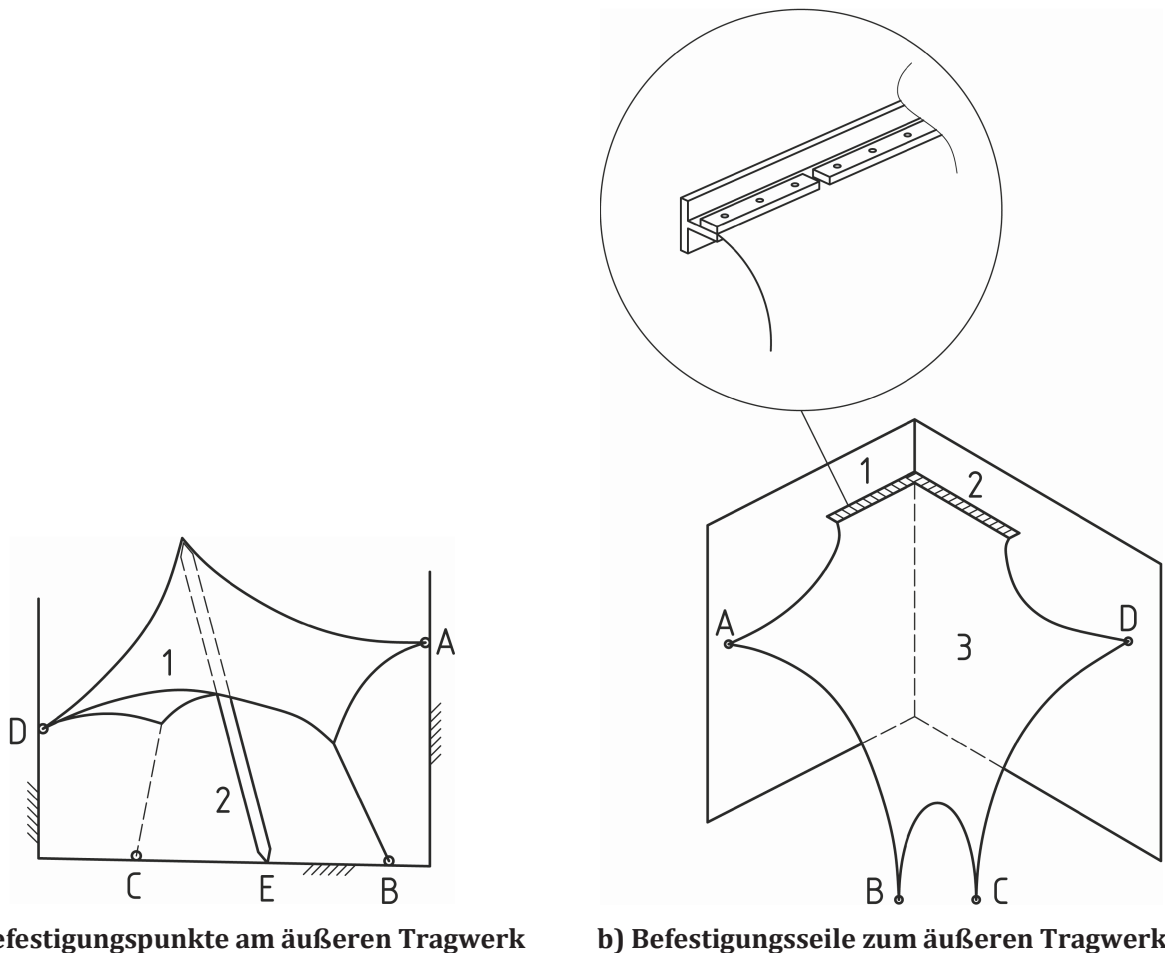
an der Stützkonstruktion angebrachtes Flächentragwerk, das die Lasten durch Zug in Membranebene aufnimmt

3.1.41

Stützkonstruktion

Membranstützkonstruktion

Baugruppe konstruktiver Bauteile (Stützen, Seile, Bögen usw.), welche die tragende Membran trägt und Lasten widersteht, denen dieses Tragwerk ausgesetzt ist



a) Befestigungspunkte am äußeren Tragwerk

b) Befestigungsseile zum äußeren Tragwerk

Legende

A, B, C, D, E Befestigungspunkte am äußeren Tragwerk
1 tragende Membran
2 Membranstützkonstruktion (Stützen)

Legende

A, B, C, D Befestigungspunkte am äußeren Tragwerk
1, 2 Stützkonstruktion mit Befestigungsseilen zu den äußeren Tragwerken
3 tragende Membran

Bild 3.3 — Beispiele für Stützkonstruktionen

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Membrantragwerk endet stets an Befestigungspunkten oder Befestigungsseilen zu Gründungen oder äußeren Tragwerken (z. B. angrenzenden Wänden). Bauelemente (z. B. Träger, Stützen usw.), die für das Membrantragwerk statisch nicht erforderlich sind, fallen nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokuments. Vorhersehbare Abweichungen wie Durchbiegungen, Verkürzungen oder Verlängerungen der Bauelemente des äußeren Tragwerks sollten dem Planer des Membrantragwerks mitgeteilt werden, um bei der Bemessung berücksichtigt werden zu können.

3.1.42

vorgespanntes Membrantragwerk

Membrantragwerk

zugbeanspruchtes Flächentragwerk

Kombination aus der tragenden Membran und ihrer Stützkonstruktion

3.1.43

textiles Flächengebilde

Web- und Wirkwaren usw., die durch das Ineinandergreifen von Fasern und Garnen mit einer bestimmten Bindekraft gebildet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Textilien enthalten oftmals bestimmte Typen von Vliesstoffen.

[QUELLE: ISO 16373-3:2014, 2.1]

3.1.44

Querrichtung

TD, en: transversal direction

Richtung quer zur Extrusionsrichtung einer Folie, entsprechend der Breite einer aufgerollten Bahn

3.1.45

Spannschloss

Einrichtung, die aus einem Doppelgewindezylinder besteht und gewöhnlich zur Längenanpassung eines Seils verwendet wird

3.1.46

monoaxial

Spannungszustand mit entlang einer Achse auftretenden Spannungen

3.1.47

Kettrichtung

Kette

alle parallel zur Webrichtung verlaufenden Fasern eines Gewebes

[QUELLE: ISO 9044:2016, 3.4]

3.1.48

Schweißen

Verfahrensweise zum Verbinden beschichteter Membran- oder Folienwerkstoffe durch einen Schmelzvorgang, wie z. B. mittels Heißluft, erhitzter Druckkante, Heizbalken, Hochfrequenz- oder Ultraschalltechnik

3.1.49

Kaltverfestigung

Verfestigung eines Polymers in Kombination mit plastischer Dehnung

Anmerkung 1 zum Begriff: Innerhalb des Anwendungsbereichs dieses Dokuments ist die Verfestigung eines Folienwerkstoffs wie ETFE infolge einfacher oder mehrfacher Beanspruchung gemeint.

3.1.50

Falte

lokale Knickverformung einer Membran unter Druckspannungen

3.2 Symbole und Abkürzungen

3.2.1 Symbole mit lateinischen Großbuchstaben

E	Elastizitätsmodul
P	Druck
R_d	Bemessungswert des Widerstands
R_k	charakteristischer Wert des Widerstands
T	Temperatur
V	Volumen
V_x	Variationskoeffizient

3.2.2 Symbole mit lateinischen Kleinbuchstaben

f_E	charakteristischer Wert der Folienspannung in der im Rahmen des GZG-Nachweises betrachteten Richtung
f_{Ed}	Bemessungswert der Membranspannung in der betrachteten Richtung
f_{el23}	charakteristischer Wert (= 5 %-Fraktil) der Elastizitätsgrenze einer Folie im Rahmen des GZG-Nachweises bei Bestimmung durch einen monoaxialen Kurzzeit-Zugversuch bei $T = 23\text{ °C}$
f_{k23}	charakteristischer Wert (= 5 %-Fraktil) der Zugfestigkeit einer Membran oder Verbindung in einem monoaxialen Kurzzeit-Zugversuch bei $T = 23\text{ °C}$
f_{str23}	Spannungsgrenzwert einer Folie im Rahmen des GZG-Nachweises
f_R	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit einer Folie oder Folienverbindung im Rahmen des GZG-Nachweises
f_{Rd}	Bemessungswert der Zugfestigkeit einer Membran oder Membranverbindung
$f_{R,mod}$	charakteristischer Wert der Zugfestigkeit einer Folie oder Folienverbindung bezogen auf die jeweilige Bemessungssituation im GZG
$f_{Rd,mod}$	Bemessungswert der Zugfestigkeit einer Folie oder Folienverbindung bezogen auf die jeweilige Bemessungssituation
f_{u23}	charakteristischer Wert (= 5 %-Fraktil) der Zugfestigkeit einer Folie in einem monoaxialen Kurzzeit-Zugversuch bei $T = 23\text{ °C}$
f_{uw23}	charakteristischer Wert (= 5 %-Fraktil) der Zugfestigkeit einer Folienverbindung in einem monoaxialen Kurzzeit-Zugversuch bei $T = 23\text{ °C}$
k	Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung der einzelnen spezifischen Auswirkungen mit Einfluss auf die Membraneigenschaften in bestimmten Bemessungssituationen

3.2.3 Symbole mit griechischen Kleinbuchstaben

β	Zuverlässigkeitsindex
ε_{irr}	irreversible Dehnung
ε_{res}	Restdehnung nach einer Relaxationszeit
ε_{sat}	Dehnung nach dem Ende der Kriechverformung in einem Kriechversuch
γ	Schubwinkel
γ_{m}	Teilsicherheitsbeiwert für einen Werkstoff
γ_{M}	Teilsicherheitsbeiwert für einen Werkstoff, auch zur Berücksichtigung von Modellunsicherheiten und Maßabweichungen
γ_{M0}	Teilsicherheitsbeiwert für das Grundmaterial
γ_{M1}	Teilsicherheitsbeiwert für Verbindungen
$\gamma_{\text{M,ser}}$	Teilsicherheitsbeiwert für das Grundmaterial im GZG-Nachweis
γ_{Rd}	Teilsicherheitsbeiwert in Zusammenhang mit der Unsicherheit des Widerstandsmodells
ν	Querkontraktionszahl (Poisson'sche Zahl)
φ	Spreizwinkel in einer Seiltasche

3.2.4 Abkürzungen

CC	Versagsfolgeklasse (en: consequence class)
Cl.	Abschnitt (en: clause)
D	Maß (en: dimension)
EXC	Ausführungsklasse (en: execution class)
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-(Monomer-)Kautschuk
ETFE	Ethylen-Tetrafluorethylen
FEP	Fluorethylen-Propylen
PES	Polyester
PET	Polyethylenterephthalat
PFA	Tetrafluorethylenperfluoralkoxyvinylether-Copolymer
PP	Polypropylen
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
PVDF	Polyvinylidenfluorid
QL	Qualitätsstufe (en: quality level)
UV	Ultraviolett

4 Grundlagen für die Tragwerksplanung

4.1 Allgemeine Regeln

4.1.1 Grundlegende Anforderungen

(1) Die Form einer tragenden Membran sollte als Gleichgewichtsform in Abhängigkeit von der Geometrie der Ränder und dem Verhältnis der Vorspannungen in den Hauptrichtungen des Tragwerks ermittelt werden. Die erzielte Gleichgewichtsform ist die Formfindungsgeometrie.

(2) Die tragende Membran sollte durch stützende Bauteile im Gleichgewicht gehalten werden. Die Stützkonstruktion besteht aus den Bauelementen, welche die Vorspannung in der tragenden Membran sicherstellen.

ANMERKUNG 1 Tragende Membranen sind vorgespannt und die räumliche Form ist meist doppelt gekrümmt. Beide Eigenschaften stellen sicher, dass die Membran allein durch die Aktivierung von Zugspannungen Lasten tragen kann.

ANMERKUNG 2 Die Form kann antiklastisch (im Allgemeinen mechanisch vorgespannt wie in sattelförmigen Tragwerken) oder synklastisch (im Allgemeinen pneumatisch vorgespannt durch Aufblasen) oder sogar monoklastisch oder eben sein.

ANMERKUNG 3 Üblicherweise sind Membrantragwerke Mischtragwerke. Die Stützkonstruktion für die tragende Membran kann aus Stahl, Holz oder anderem Werkstoff bestehen. Die Membran selbst überträgt die äußeren Lasten auf die Stützkonstruktion.

ANMERKUNG 4 Die Bemessung von Membrantragwerken besteht aus mehreren Bemessungsschritten (siehe Tabelle 4.1): Formfindung, statische Berechnung, Zuschnittsermittlung und Montageplanung.

Tabelle 4.1 — Bemessungsschritte für die Bemessung von Membrantragwerken

Formfindung <	> Statische Berechnung <	> Zuschnittsermittlung <	> Montageplanung
Form in Abhängigkeit der Geometrie der Ränder und der Vorspannung	Lastannahmen für die räumliche Oberflächengeometrie Annahme geeigneter Steifigkeitskennwerte des Werkstoffs Statische Berechnung	Unterteilung in einzelne Zuschnittsbahnen Bestimmung der ebenen ungespannten Schnittmuster für die Zuschnittsbahnen	Planung des Montage- und Vorspannverfahrens

ANMERKUNG 5 Zwischen den verschiedenen Bemessungsschritten bestehen Wechselwirkungen. Die Bemessung ist häufig ein iterativer Prozess. Die statische Berechnung hat beispielsweise Einfluss auf die Wahl des Vorspannungsniveaus und damit auf die Formfindung.

ANMERKUNG 6 Szenarien für die Instandhaltung und das Ende der Lebensdauer können in die Bemessung einbezogen werden.

(3) Die Zuschnittsermittlung muss aus der Unterteilung in einzelne Zuschnittsbahnen, der „Abwicklung“ der dreidimensionalen Geometrie auf die Ebene und der Kompensation bestehen.

ANMERKUNG Die Kompensation ist eine Verringerung der Größe einer Zuschnittsbahn, so dass während der Montage eine Längsdehnung des Membranfeldes erfolgt, um eine Ausgangsvorspannung zu erzielen.

(4) Die Montageplanung sollte das Errichtungs- und Vorspannverfahren berücksichtigen.

(5) Die Bemessung von Membrantragwerken muss entsprechend den Regeln nach EN 1990 sowie den ergänzenden Bestimmungen für Membrantragwerke nach diesem Dokument erfolgen.

(6) Die grundlegenden Anforderungen nach EN 1990 werden für Membrantragwerke als erfüllt angesehen, wenn die folgenden Punkte gemeinsam angewendet werden:

- Bemessung nach Grenzzuständen in Verbindung mit dem Verfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten nach EN 1990;
- Einwirkungen nach der EN 1991-Reihe, zu Vorspannung siehe 4.3.1.2;
- Einwirkungskombinationen nach EN 1990;
- die in diesem Dokument angegebenen Grundsätze und Anwendungsregeln; und
- Widerstände, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit in Übereinstimmung mit diesem Dokument.

(7) Der Mindestwert der planmäßigen Vorspannung sollte während der gesamten geplanten Nutzungsdauer beibehalten werden.

(8) Die Bemessung des Membrantragwerks muss die Verträglichkeit der Verformungen zwischen der Stützkonstruktion und der tragenden Membran sicherstellen.

(9) Die Ausführungsklasse sollte vom Planungsteam vorgeschlagen werden.

ANMERKUNG Zur Bedeutung der Ausführungsklassen siehe Anhang H (informativ).

4.1.2 Stabilität, Sicherheit, Redundanz

(1) Die Stützkonstruktion sollte ohne die tragende Membran oder Teile davon stabil sein.

ANMERKUNG Ist die Stützkonstruktion ohne die tragende Membran oder Teile davon stabil, handelt es sich um das Primärtragwerk, und die tragende Membran ist dann das Sekundärtragwerk.

(2) Zur Erhöhung der Sicherheit an kritischen Punkten, wie z. B. den Masten für Hochpunkte, Bögen oder Rahmen, sollten ergänzende Seile und redundante Vorrichtungen vorgesehen werden, um Einsturz zu verhindern.

ANMERKUNG Die Stabilität des gesamten Tragwerks ist von der Unversehrtheit jedes einzelnen Bauteils abhängig. Ein lokales Versagen (z. B. infolge Brandeinwirkung) kann leicht zu einem gesamten Einsturz führen.

4.1.3 Tragwerkszuverlässigkeit

(1) Die in EN 1990 angegebenen Regeln für die Tragwerkszuverlässigkeit müssen befolgt werden.

4.1.4 Robustheit

(1) Die in EN 1990 angegebenen Regeln für Robustheit müssen befolgt werden.

4.1.5 Geplante Nutzungsdauer

(1) Die in EN 1990 angegebenen Regeln für die geplante Nutzungsdauer müssen befolgt werden, einschließlich der Festlegung der vorgesehenen geplanten Nutzungsdauer von vorübergehenden oder dauerhaften Hochbauten.

(2) Ein Membrantragwerk darf für eine geplante Nutzungsdauer von 50 Jahren bemessen werden. Die Membran darf so bemessen werden, dass sie austauschbar ist.

ANMERKUNG 1 Die geplante Nutzungsdauer von 50 Jahren bezieht sich auf die Definition der Belastung nach EN 1990.

ANMERKUNG 2 Die Lebenserwartung der Membran kann unterschiedlich sein. Für beschichtete Gewebe und ETFE-Folien beträgt die Nutzungsdauer typischerweise mehr als 25 Jahre.

ANMERKUNG 3 Zu Tragwerkselementen, die nicht für die gesamte geplante Nutzungsdauer des Bauwerks bemessen sind, siehe 4.1.6(6).

4.1.6 Dauerhaftigkeit

(1) In Abhängigkeit von der Art der Einwirkung auf die Dauerhaftigkeit und der geplanten Nutzungsdauer (siehe EN 1990:2023, A.1.4) sollten Membrantragwerke wie folgt bemessen werden:

- für Schwächung infolge Umgebungsfaktoren;
- für Abnutzung; und
- für außergewöhnliche Einwirkungen (siehe EN 1991-1-7).

ANMERKUNG Ein Brand kann als außergewöhnliche Einwirkung angesehen werden (siehe Anhang F).

(2) Bei der Planung von Membrantragwerken sollte eine einfache Inspektion und Instandhaltung berücksichtigt werden.

(3) Die in EN 1990 angegebenen Regeln für Dauerhaftigkeit müssen befolgt werden.

(4) Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit sollten Hochbauten und deren Bauteile gegebenenfalls entweder für Umwelteinwirkungen und Ermüdung bemessen oder andernfalls davor geschützt werden.

(5) Die Auswirkungen der Verschlechterung der Werkstoffeigenschaften sollten gegebenenfalls durch eine geeignete Wahl des Werkstoffs (siehe Abschnitt 6) und der Verbindungen (siehe Abschnitt 10) oder durch bauliche Redundanz berücksichtigt werden.

(6) Enthält ein Hochbau Bauteile, die austauschbar sein müssen, sollte deren sichere Austauschbarkeit in Form einer vorübergehenden Bemessungssituation nachgewiesen werden.

(7) Bei der Tragwerksplanung sollte Stützluftausfall bei luftgestützten Bauteilen als außergewöhnlicher Zustand betrachtet werden (z. B. Wassersackbildung).

4.2 Grundsätze der Bemessung nach Grenzzuständen

(1) Bemessungsbedingungen, Grenzzustände der Tragfähigkeit sowie Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit müssen nach EN 1990 berücksichtigt werden.

4.3 Basisvariablen

4.3.1 Einwirkungen und Umgebungseinflüsse

4.3.1.1 Allgemeines

(1) Einwirkungen müssen für die Bemessung von Membrantragwerken entsprechend den maßgebenden Teilen von EN 1991 angesetzt werden, sofern in diesem Dokument nicht anders festgelegt.

ANMERKUNG 1 Bei Hybridtragwerken werden die Regeln für die verschiedenen Werkstoffe angewendet, auch wenn die Teilsicherheitsbeiwerte unterschiedlich sind.

ANMERKUNG 2 Es besteht die Notwendigkeit der Weiterentwicklung bezüglich klimatischer Einwirkungen auf Membrantragwerke in EN 1991.

4.3.1.2 Vorspannung

(1) Zur Sicherstellung des biaxialen Tragverhaltens und zur Vermeidung von schlaffen Bereichen sowie großen Verformungen müssen Membrantragwerke biaxial vorgespannt werden.

ANMERKUNG Die in diesem Dokument betrachtete Vorspannung wird mechanisch durch Kompensation der Membrane oder pneumatisch durch Innendruck aufgebracht.

(2) Das Vorspannungsniveau sollte in Übereinstimmung mit der statischen Berechnung gewählt werden.

ANMERKUNG Das gewählte Vorspannungsniveau, die Begrenzung von Faltenbildung und die Aufrechterhaltung der Vorspannung werden als projektspezifisch betrachtet. Mindest-Vorspannungsniveaus können im Nationalen Anhang festgelegt werden.

(3) Zusätzliche Anforderungen an das gewählte Vorspannungsniveau, die Begrenzung von Faltenbildung und die Aufrechterhaltung der Vorspannung sollten den Festlegungen entsprechen oder, sofern keine Festlegungen vorliegen, für ein bestimmtes Bauvorhaben zwischen den beteiligten Parteien vereinbart werden.

(4) Kompensationswerte müssen entsprechend der Bemessung berücksichtigt und, wo angebracht, aus Kompensationsversuchen ermittelt werden. Kompensationswerte dürfen nach EN 17117-2 bestimmt werden.

4.3.1.3 Wind

(1) Für Membrantragwerke dürfen die in EN 1991-1-4:2005, 7.3, angegebenen Kraftbeiwerte verwendet werden. Die Kraftbeiwerte legen die Gesamtauswirkung von Wind auf ein Tragwerk als Ganzes fest.

ANMERKUNG Die Regeln nach EN 1991-1-4 sind nicht in allen Fällen für komplexe, dreidimensional gekrümmte Formen geeignet.

(2) Wenn für die betrachtete doppelt gekrümmte Form keine annehmbare (von den beteiligten Parteien oder Fachleuten akzeptierte) Näherung verfügbar ist, sollten experimentelle Messungen oder numerische Simulationen (z. B. Windkanalversuche, CFD-Simulationen) verwendet werden.

(3) Die Auswirkung einer Perforation (wie bei Gittergeweben oder im Fall von Mikroperforationen) der Membran darf berücksichtigt werden.

4.3.1.4 Schnee

(1) Für Membrantragwerke dürfen die Einwirkungen infolge von Schnee nach EN 1991-1-3:2003/A1:2015 verwendet werden.

ANMERKUNG Die Regeln nach EN 1991-1-3 sind nicht in allen Fällen für komplexe, dreidimensional gekrümmte Formen geeignet.

(2) Wenn für die betrachtete doppelt gekrümmte Form keine annehmbare (von den beteiligten Parteien oder Fachleuten akzeptierte) Näherung verfügbar ist, sollten experimentelle Messungen oder numerische Simulationen verwendet werden.

4.3.1.5 Auswirkung von Toleranzen

(1) Toleranzen in der Stützkonstruktion könnten das Vorspannungsniveau beeinflussen, daher sollte die Empfindlichkeit von Membrantragwerken gegenüber diesen Toleranzen besonders berücksichtigt werden.

(2) Die zulässigen Toleranzen der Stützkonstruktion an der Grenzfläche zur tragenden Membran sollten in der Planungsphase vereinbart werden.

ANMERKUNG Zu weiteren Angaben bezüglich Toleranzen der Stützkonstruktion siehe informativen Anhang H, H.16.2.

4.3.2 Werkstoff- und Produkteigenschaften

4.3.2.1 Allgemeines

(1) Die bei der Bemessung zu verwendenden Tragwerkseigenschaften von Membranwerkstoffen sollten die in einer Europäischen Technischen Produktspezifikation festgelegten Eigenschaften sein, sofern nicht anders in Abschnitt 5 dieses Dokuments angegeben.

(2) Für die Bemessung von Membrantragwerken müssen charakteristische Werte X_k oder Nennwerte X_n der Werkstoffeigenschaften verwendet werden.

(3) Für die Tragwerksplanung und die statische Berechnung dürfen Nennwerte der Maße verwendet werden.

4.3.2.2 Kriechen und Relaxation

(1) Beim Nachweis von Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit sollte im Allgemeinen die Auswirkung von Kriechen oder Relaxation berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Kriechen und Relaxation sind zeitabhängige Eigenschaften von Membranwerkstoffen, welche die Vorspannung oder die Geometrie beeinflussen können.

ANMERKUNG 2 Da Kriechen und Relaxation die Vorspannung beeinflussen können, ist das entsprechende Verhalten nicht vollständig durch Anwendung eines Modifikationsfaktors auf die Festigkeit abgedeckt.

4.3.3 Geometrische Daten

(1) Die in EN 1990:2023, 6.3, angegebenen Regeln für geometrische Daten müssen befolgt werden.

(2) Die Geometrie der dreidimensionalen Form eines Membrantragwerks sollte zusammen mit den Größentoleranzen an den Verbindungspunkten berücksichtigt werden, an denen Komponenten aus verschiedenen Werkstoffen zusammengefügt werden.

4.4 Nachweisverfahren mit Teilsicherheitsbeiwerten

4.4.1 Bemessungswert des Widerstands von Membranen

(1) Der Bemessungswert für eine Werkstoff- oder Verbindungseigenschaft muss mittels Division seines charakteristischen Wertes durch einen entsprechenden Teilsicherheitsbeiwert γ_M ermittelt werden.

(2) Modifikationsfaktoren k sollten zur Berücksichtigung verschiedener spezifischer Einflüsse auf die Membraneigenschaften in bestimmten Bemessungssituationen verwendet werden.

4.4.2 Bemessungswert der geometrischen Daten

(1) Geometrische Daten für tragende Membranen dürfen den Bemessungszeichnungen entnommen und als Nennwerte behandelt werden.

4.4.3 Bemessungswiderstände

4.4.3.1 Allgemeines

(1) Der Bemessungswiderstand für eine bestimmte Bemessungssituation muss auf der Grundlage von EN 1990:2023, Gleichung (8.18), berechnet werden.

(2) Für Textiltragwerke sollte der Bemessungswert R_d eines Widerstands nach Gleichung (4.1) berechnet werden.

$$R_d = \frac{1}{\gamma_M} R_k(k_{age}; k_{biax}; k_{dur,*}; k_{temp,*}; k_{size}; k_x) \quad (4.1)$$

Dabei ist

- R_k der charakteristische Wert des jeweiligen Widerstands, der anhand von charakteristischen Werten oder Nennwerten für die Werkstoffeigenschaften und Maße bestimmt wird;
- γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für den Werkstoff, der zwecks Vereinfachung aus den nach EN 1990:2023, Gleichung (8.18), angegebenen Teilsicherheitsbeiwerten γ_m und γ_{Rd} kombiniert werden darf ($\gamma_M = \gamma_m \cdot \gamma_{Rd}$); zum Wert von γ_M siehe 8.2.1, Widerstand von Geweben und ihren Verbindungen;
- k_{age} der Modifikationsfaktor für Umgebungsauswirkungen (Alterung, Verschlechterung);
- k_{biax} der Modifikationsfaktor für biaxiale Auswirkungen;
- $k_{dur,*}$ der Modifikationsfaktor für unterschiedliche Lasteinwirkungsauern (ständig, langfristig, mittelfristig und kurzfristig);
- $k_{temp,*}$ der Modifikationsfaktor für Temperatureinwirkungen;
- k_{size} der mit der Membranfeldgröße verbundene Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung des mit größerer Oberfläche steigenden Risikos von Schadstellen;
- k_x eine Variable für einen Modifikationsfaktor für noch nicht festgelegte Auswirkungen.

ANMERKUNG 1 Die Begrenzung des Weiterreißen wird in 9.5 behandelt.

ANMERKUNG 2 Für $k_{temp,*}$ beträgt eine typische erhöhte Prüftemperatur 70 °C, wobei die zu berücksichtigende Temperatur von den jeweiligen Umgebungsbedingungen und Werkstoffeigenschaften, wie z. B. der farbabhängigen Energieaufnahme, abhängig ist.

(3) Für Folientragwerke sollte der Bemessungswert R_d (GZT) oder R (GZG) eines Widerstands nach Gleichung (4.2) berechnet werden.

$$R_d \text{ (oder } R) = \frac{1}{\gamma_M} R_k(k_{age}; k_{biax}; k_{dur,*}; k_{temp,*}; k_{single}; k_{QL}; k_x) \quad (4.2)$$

Dabei ist

- R_k der charakteristische Wert des jeweiligen Widerstands, der anhand von charakteristischen Werten oder Nennwerten für die Werkstoffeigenschaften und Maße bestimmt wird;
- γ_M der Teilsicherheitsbeiwert für den Werkstoff, der zwecks Vereinfachung aus den in EN 1990:2023, Gleichung (8.18), angegebenen Teilsicherheitsbeiwerten γ_m und γ_{Rd} kombiniert werden darf ($\gamma_M = \gamma_m \cdot \gamma_{Rd}$);
- k_{age} der Modifikationsfaktor für Umgebungsauswirkungen (Alterung, Verschlechterung);
- k_{biax} der Modifikationsfaktor für biaxiale Auswirkungen;
- $k_{dur,*}$ der Modifikationsfaktor für unterschiedliche Lasteinwirkungsauern (ständig, langfristig, mittelfristig und kurzfristig);
- $k_{temp,*}$ der Modifikationsfaktor für unterschiedliche Temperatureinwirkungen (0 °C, 40 °C oder 50 °C);

- k_{single} der Modifikationsfaktor für einlagige ETFE-Tragwerke, der ausschließlich im GZG angewendet wird;
- k_{QL} der Modifikationsfaktor zur Berücksichtigung der Qualitätsstufe des Herstellers;
- k_x eine Variable für einen Modifikationsfaktor für noch nicht festgelegte Auswirkungen.

ANMERKUNG Die empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte für Werkstoffeigenschaften γ_M sind in 8.3.1 für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZT) und in 9.6.1 für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZG) angegeben.

(4) Die Werte für die k -Faktoren nach Anhang C dürfen verwendet werden.

4.4.3.2 Einwirkungskombination

(1) Die Einwirkungskombination für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sowie die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen müssen EN 1990 entsprechen. Die empfohlenen unteren und oberen Teilsicherheitsbeiwerte für die Vorspannung sind $\gamma_{\text{Pinf}} = 0,9$ bzw. $\gamma_{\text{Psup}} = 1,25$.

ANMERKUNG Einwirkungen für besondere regionale oder klimatische oder außergewöhnliche Situationen, wie z. B. Brandfall, können im Nationalen Anhang angegeben werden.

(2) Lastkombinationen aus äußeren Einwirkungen müssen auf den Gleichgewichtszustand der tragenden Membran [siehe 4.1.1(1)] nach der Formfindung unter Vorspannung unter Berücksichtigung des ungünstigsten Vorspannungsniveaus (*1, *0,9 oder *1,25) angewendet werden.

4.4.3.3 Anwendung von Teilsicherheitsbeiwerten auf die Einwirkung oder die Auswirkung der Einwirkung

(1) Die Berechnung von Membrantragwerken muss mittels geometrisch nichtlinearer Berechnung erfolgen, da das Verhältnis zwischen Einwirkung und Auswirkung nicht proportional ist.

(2) Unsicherheiten in Bezug auf die Auswirkungen der Einwirkung aufgrund von Modellunsicherheiten und der Art der statischen Berechnung sollten berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Wie EN 1990 anzuwenden ist, kann im Nationalen Anhang festgelegt werden.

4.4.4 Nachweis des statischen Gleichgewichts

(1) Für den Nachweis des statischen Gleichgewichts sollten die Bemessungswerte von Einwirkungen verwendet werden, die in EN 1990:2023, Abschnitt A.1, Tabelle A.1.2(A), Bemessungswerte der Einwirkungen (EQU) (Gruppe A), festgelegt sind.

4.5 Versuchsgestützte Bemessung

ANMERKUNG Für die versuchsgestützte Bemessung bezieht sich dieses Dokument auf EN 1990:2023, Anhang D.

5 Werkstoffe

5.1 Allgemeines

(1) Dieses Dokument gilt für die Bemessung von vorgespannten Membrantragwerken, die aus Geweben, Folien oder anderen Werkstoffen hergestellt werden, deren Eigenschaften mindestens den Anforderungen nach 5.2 und 5.3 entsprechen.

ANMERKUNG 1 Beispiele für durch diesen Abschnitt abgedeckte Werkstoffe, sind mit Polyvinylchlorid (PVC) beschichtete Polyethylenterephthalat (PET)-Gewebe (kurz: PES-PVC), mit Polytetrafluorethylen (PTFE) beschichtete Glasfasergewebe (kurz: Glas-PTFE) und Folien aus Ethylen-Tetrafluorethylen (ETFE). Andere Werkstoffe können verwendet werden.

ANMERKUNG 2 PET wird im Allgemeinen als Polyester bezeichnet und üblicherweise mit PES abgekürzt. In diesem Dokument wird die Abkürzung PES verwendet.

(2) Werden andere als die vorstehend aufgeführten Werkstoffe verwendet, müssen die Eigenschaften anhand geeigneter Prüfungen und Verfahren bestimmt werden.

5.2 Gewebe

5.2.1 Festigkeit

(1) Festigkeitswerte müssen durch experimentelle Prüfungen nach EN ISO 1421 für beschichtete Gewebe bzw. EN ISO 13934-1 für unbeschichtete Gewebe bestätigt werden. Die Berechnung des 5 %-Fraktils sollte auf einer Lognormalverteilung beruhen.

ANMERKUNG 1 EN 1990:2023, Anhang D, enthält ein Verfahren zur Bestimmung des charakteristischen Wertes.

ANMERKUNG 2 Prüfverfahren werden in Abschnitt H.9 für die Qualitätskontrolle und in H.13.2 für die Eingangsprüfung von Werkstoffen vorgeschlagen.

ANMERKUNG 3 Probekörper werden sorgfältig vorbereitet. Auf beiden Seiten wird ein Faden entfernt. Die genaue Breite jedes Probekörpers wird gemessen und im Bericht angegeben.

(2) Die erforderlichen Mindestwerte der Zugfestigkeit müssen entsprechend der statischen Berechnung festgelegt werden (siehe 8.2.1).

(3) Weiterreißfestigkeitswerte sollten nach EN 1875-3:2023, Verfahren B, bestimmt werden.

ANMERKUNG Für eine genauere Beurteilung können Weiterreißversuche an biaxial gespannten Probekörpern mit großem Messfeld („wide panel“) durchgeführt und die Ergebnisse bei der Bemessung berücksichtigt werden.

(4) Für beschichtete Gewebe sollten die Haftfestigkeitswerte nach EN ISO 2411 bestimmt werden. Zur Vorbereitung der Probekörper sollte Verfahren 2 angewendet und die Werkstoffe sollten verschweißt werden.

(5) Neben herkömmlichen PES-PVC- und Glas-PTFE-Geweben dürfen auch andere Gewebearten und beschichtete Gewebe verwendet werden. In jedem Fall müssen die erforderlichen Zugfestigkeitswerte von den Tragwerksplanern in Abhängigkeit von den spezifischen Anforderungen des Projekts festgelegt werden.

ANMERKUNG Zu Orientierungszwecken enthält Anhang A Zugfestigkeitsklassifizierungen für herkömmliche PES-PVC- und Glas-PTFE-Gewebe sowie ausgewählte Weiterreiß- und Haftfestigkeitswerte für jede Zugfestigkeitsklasse.

5.2.2 Die Zugfestigkeit verringernde und erhöhende Auswirkungen

(1) Die Zugfestigkeit verringernde Auswirkungen müssen berücksichtigt werden.

(2) Die Zugfestigkeit erhöhende Auswirkungen dürfen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Die Zugfestigkeit verringernde Auswirkungen sind beispielsweise höhere Temperaturen als die Bezugstemperatur $T = 23\text{ °C}$ oder Knickfalten in Glas-PTFE-Geweben, die Zugfestigkeit erhöhende Auswirkungen sind beispielsweise niedrigere Temperaturen als die Bezugstemperatur $T = 23\text{ °C}$.

(3) Modifikationsfaktoren entsprechend 4.4.3.1 sollten verwendet werden, um verringernde und erhöhende Auswirkungen zu berücksichtigen.

(4) Anhang B, der die Grundsätze und die Prüfverfahren für die Bestimmung von Modifikationsfaktoren enthält, sollte bei der Bemessung angewendet werden.

ANMERKUNG Zum Zweck der Orientierung und vorläufigen Bemessung sind in Anhang C typische Wertebereiche für Modifikationsfaktoren für verschiedene beschichtete Gewebe angegeben.

(5) Sofern nicht in diesem Dokument angegeben, sollten geeignete Prüfverfahren zur Bestimmung der Modifikationsfaktoren entwickelt und angewendet werden.

(6) Ungünstige Einflüsse auf die Zugfestigkeit müssen berücksichtigt werden, indem Prüfungen an Probekörpern durchgeführt werden, die diesen Einflüssen ausgesetzt sind oder waren.

(7) Die Auswirkung von Knickfalten auf die Zugfestigkeit von Glas-PTFE-Geweben sollte berücksichtigt werden, wenn Knickfalten während Herstellung, Verpackung, Transport oder Montage festgestellt werden. Der schädigende Einfluss darf mittels Modifikationsfaktor beschrieben werden; in einem solchen Fall muss der Grundsatz nach Abschnitt B.3 befolgt werden.

5.2.3 Steifigkeitsparameter

(1) Die Zugsteifigkeit des Werkstoffs darf nach EN 17117-1 bestimmt werden.

(2) Bei der Bemessung muss überprüft werden, ob die Spannungsverhältnisse und Spannungsniveaus für das betrachtete Projekt denjenigen entsprechen, die zur Bestimmung der Steifigkeitswerte verwendet wurden. Ist dies nicht der Fall, dürfen sie projektspezifisch bestimmt werden.

(3) Die Schubsteifigkeit des Werkstoffs darf nach einem geeigneten experimentellen Verfahren bestimmt werden, z. B. mittels Picture-Frame-Versuch, Bias-Extension-Versuch oder einer biaxialen Prüfung mit „Schubrampe“.

5.3 Folien

5.3.1 Festigkeit

(1) Festigkeitswerte müssen durch experimentelle Prüfungen bestätigt werden.

ANMERKUNG Prüfverfahren werden in Abschnitt H.9 für die Qualitätskontrolle und in H.13.2 für die Überwachung eingehender Waren vorgeschlagen.

(2) Die Zugfestigkeit bei 23 °C in Extrusions- und Querrichtung muss nach EN ISO 527-3 bestimmt werden. Die Bestimmungen nach Anhang I müssen für die Prüfparameter für monoaxiale Prüfungen verwendet werden. Die erforderlichen Mindestwerte müssen entsprechend der statischen Berechnung festgelegt werden (siehe 8.3.1).

ANMERKUNG EN 1990:2023, Anhang D, enthält ein Verfahren zur Bestimmung des charakteristischen Wertes.

(3) Die Weiterreißfestigkeit bei 23 °C in Extrusions- und Querrichtung sollte mittels Weiterreißversuchen nach EN 17679 bestimmt werden.

ANMERKUNG Die typischen Festigkeitswerte für ETFE-Folien sind in Tabelle A.5 angegeben.

5.3.2 Die Zugfestigkeit verringernde und erhöhende Auswirkungen

(1) Die Zugfestigkeit verringernde Auswirkungen müssen berücksichtigt werden.

(2) Die Zugfestigkeit erhöhende Auswirkungen dürfen berücksichtigt werden.

ANMERKUNG Die Zugfestigkeit verringernde Auswirkungen sind beispielsweise höhere Temperaturen als die Bezugstemperatur $T = 23\text{ °C}$, erhöhende Auswirkungen sind beispielsweise niedrigere Temperaturen als die Bezugstemperatur $T = 23\text{ °C}$ oder Kaltverfestigung von Folien.

(3) Modifikationsfaktoren entsprechend 4.4.3.1 sollten verwendet werden, um verringernde und erhöhende Auswirkungen zu berücksichtigen, oder die Prüfverfahren nach Anhang E mit impliziter Berücksichtigung von Temperatur, Lasteinwirkungsdauer und Lastwechselauswirkungen sollten angewendet werden.

(4) Anhang B, der die Grundsätze und die Prüfverfahren für die Bestimmung von Modifikationsfaktoren enthält, sollte bei der Bemessung angewendet werden.

ANMERKUNG Zum Zweck der Orientierung und vorläufigen Bemessung sind in Anhang C typische Wertebereiche für Modifikationsfaktoren für ETFE-Folien für den GZT und den GZG angegeben.

(5) Sofern nicht in diesem Dokument angegeben, sollten geeignete Prüfverfahren zur Bestimmung der Modifikationsfaktoren entwickelt und angewendet werden.

(6) Ungünstige Einflüsse auf die Zugfestigkeit müssen berücksichtigt werden, indem Prüfungen an Probekörpern durchgeführt werden, die diesen Einflüssen ausgesetzt sind oder waren. Ist der Einfluss umkehrbar (z. B. bei Kurzzeitprüfungen bei erhöhter Temperatur), sollte er während der Prüfung vorliegen, andernfalls (z. B. bei Langzeitbelastung) sollte er vor der Prüfung in die Probe eingebracht werden.

5.3.3 Steifigkeitsparameter

(1) Steifigkeitsparameter sollten mittels biaxialer Prüfung bestimmt werden.

ANMERKUNG Zu weiteren Einzelheiten siehe 8.3.

(2) Bei der Bemessung muss überprüft werden, ob die Spannungsverhältnisse und Spannungsniveaus für das betrachtete Projekt denjenigen entsprechen, die zur Bestimmung der Steifigkeitswerte verwendet wurden. Ist dies nicht der Fall, dürfen die Steifigkeitskennwerte projektspezifisch bestimmt werden.

(3) Steifigkeitsparameter dürfen temperaturabhängig sein.

ANMERKUNG Die Steifigkeitsparameter von ETFE-Folien sind stark temperaturabhängig.

5.4 Verbindungsmittel

(1) Die Werkstoffeigenschaften für Verbindungsmittel an Nähten oder Membranrändern wie Klemm- oder Eckplatten sollten den maßgebenden werkstoffspezifischen Eurocodes entnommen werden.

5.5 Tragwerkselemente

(1) Die Werkstoffeigenschaften für starre Tragwerkselemente sollten den maßgebenden werkstoffspezifischen Eurocodes entnommen werden.

(2) Die Werkstoffeigenschaften für Seile sollten EN 1993-1-11 und der EN 12385-Reihe entnommen werden.

(3) Die Werkstoffeigenschaften für Gurte aus synthetischen Fasern sollten mittels experimenteller Prüfungen bestimmt werden.

(4) Die Werkstoffeigenschaften für Faserseile aus synthetischen Fasern sollten entnommen werden aus:

- EN ISO 1141, *Faserseile — Polyester — 3-, 4-, 8- und 12-litzige Seile (ISO 1141)*;
- EN ISO 1346, *Faserseile — Polypropylen-Splitfilm, Monofilament und Multifilament (PP2) und hochfestes Polypropylen-Multifilament (PP3) — 3-, 4-, 8- und 12-litzige Seile (ISO 1346)*; und
- EN ISO 1969, *Faserseile — Polyethylen — 3- und 4-litzige Seile (ISO 1969:2004)*.

ANMERKUNG Für jedes andere Halbzeug oder Endprodukt, das in der Tragwerksplanung von Hochbauten verwendet wird, können die erforderlichen Eigenschaften einer Europäischen Technischen Produktspezifikation entnommen werden.

6 Dauerhaftigkeit

6.1 Allgemeines

(1) Die Auswirkungen der Verschlechterung von Werkstoffeigenschaften, z.B. aufgrund von Umgebungseinflüssen oder Ermüdungslasten, müssen berücksichtigt werden, sofern maßgebend.

(2) Um die Dauerhaftigkeit des Tragwerks sicherzustellen, sollte Folgendes angemessen berücksichtigt werden:

- a) bauliche Durchbildung zur Verhinderung von Beschädigung der Membran, die in Kontakt mit der Stützkonstruktion (Seile, Klemmränder usw.) steht, auch bei Wechselbeanspruchung und großen Membranverformungen;
- b) Sicherstellung, dass die verwendeten Werkstoffe für die Klemmung und die bauliche Durchbildung unter Berücksichtigung der vorgesehenen Nutzungsdauer der Membran ausreichend dauerhaft sind;
- c) Inspektion aller lasttragenden Bauteile entsprechend einem für jedes Produkt erstellten Inspektionsplan; und
- d) Sicherstellung, dass kein Weiterreißen auftritt, insbesondere in Bereichen mit Spannungskonzentration.

(3) Für Bauelemente, die nicht inspiziert werden können, muss die Schwächung angemessen berücksichtigt werden.

(4) Für mechanischen Verschleiß oder Ermüdung anfällige Teile sollten so bemessen werden, dass Inspektion, Instandhaltung und Instandsetzung in zufriedenstellender Weise durchgeführt werden können und der Zugang für Inspektion und Instandhaltung während des Betriebs möglich ist.

(5) Bei pneumatischen Tragwerken sollten geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um sicherzustellen, dass während der gesamten geplanten Nutzungsdauer der Luftdruck und die Luftfeuchteregelelung aufrechterhalten werden.

6.2 Gewebe

(1) Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der tragenden Membran sollte Folgendes angemessen berücksichtigt werden:

- a) Zugfestigkeit während der gesamten Nutzungsdauer des Gewebes, die nach EN ISO 1421 nach natürlicher Bewitterung oder beschleunigter Bewitterung gemessen werden darf;
- b) antimykotische Eigenschaften, zu beurteilen nach EN ISO 846:2019, Verfahren A, unter Berücksichtigung des erwarteten Klimas vor Ort;
- c) ausreichende Haftfestigkeit des Lacks, sofern verwendet;
- d) ausreichende Saugsperreneigenschaften (Anti-Wicking-Gewebe);
- e) ausreichende Festigkeit oder Verstärkungen, zur Verhinderung von Reißen.

6.3 Folien

(1) Zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der tragenden Membran sollte Folgendes angemessen berücksichtigt werden:

- a) Zugfestigkeit während der gesamten Nutzungsdauer der Folie, die nach EN ISO 527-3 nach natürlicher Bewitterung oder beschleunigter Bewitterung gemessen werden darf; und
- b) ausreichende Haftfestigkeit von Beschichtungen (z. B. Bedruckung, Low-E), sofern verwendet.

(2) Die Dauerhaftigkeit der Beschichtung von Folien muss mittels Prüfungen mit zyklischer Lastaufbringung nachgewiesen werden.

7 Statische Berechnung

7.1 Allgemeines

7.1.1 Tragwerksmodellierung für Berechnungszwecke

(1) Es gelten die in EN 1990 angegebenen allgemeinen Regeln für die statische Berechnung.

(2) Die Membranoberfläche muss anhand eines numerischen oder experimentellen Formfindungsverfahrens definiert werden, um einen Gleichgewichtszustand zu erreichen. Der Formfindungszustand muss zu annehmbaren Spannungs-, Dehnungs- und Geometriewerten unter Bemessungslasten führen.

ANMERKUNG Im Allgemeinen werden numerische Formfindungsverfahren angewendet.

(3) Die Berechnung muss auf mathematischen Modellen des Membrantragwerks beruhen, die in der Lage sind, Spannungen, Dehnungen und Verformungen mit ausreichender Genauigkeit und Detailliertheit für den betrachteten Grenzzustand vorherzusagen.

ANMERKUNG Der Begriff „ausreichend“ bezieht sich auf die Komplexität und die Fähigkeiten der mathematischen Modelle zur Beschreibung der Tragwerksphysik in der Simulation.

(4) Das mathematische Modell und die grundlegenden Annahmen für die Berechnungen sollten in der Lage sein, das Tragwerksverhalten für den jeweiligen Grenzzustand mit angemessener Genauigkeit und entsprechend dem erwarteten Verhalten der Werkstoffe und tragenden Bauteile, einschließlich der Verbindungen und anderer Einzelheiten, zu simulieren.

(5) Für jeden maßgebenden Grenzzustandsnachweis muss das Berechnungsmodell des Tragwerks aus Folgendem bestehen:

- eine Beschreibung des Membrantragwerks, der Werkstoffe, aus denen es hergestellt ist, sowie der maßgebenden Umgebung seines Standorts;
- das Verhalten des gesamten Tragwerks oder von Teiltragwerken, bezogen auf die maßgebenden Grenzzustände; und
- die Einwirkungen und wie sie aufgebracht werden.

(6) Das für die Berechnung angewendete Verfahren muss mit den Bemessungsannahmen übereinstimmen.

(7) Berechnungen müssen unter Verwendung von Idealisierungen sowohl der Geometrie als auch des Verhaltens der Tragwerksdetails (z. B. Verbindungsrotation) durchgeführt werden. Die gewählten Idealisierungen müssen für das betrachtete Tragwerk geeignet sein.

(8) Alle Lastfälle müssen auf das Formfindungsmodell angewendet werden. Die aufgebrachten Lasten müssen entsprechend der Formfindungsgeometrie bestimmt werden. Während der iterativen Berechnung sollten die Lasten an die berechnete verformte Geometrie angepasst werden.

(9) Teilsicherheitsbeiwerte müssen für die Vorspannung entsprechend den Festlegungen in 4.4.3.2(1) und für Lasten entsprechend den Festlegungen in EN 1990 einbezogen werden.

(10) Alle Lastkombinationen müssen als getrennte Lastfälle angewendet werden.

(11) Die Berechnung bezüglich Wassersackbildung muss Änderungen in Belastung, Werkstoffsteifigkeit und Vorspannung infolge von Änderungen in der verformten Geometrie berücksichtigen.