

Tragluftbauten

Berechnung, Ausführung und Betrieb

DIN
4134

Air-supported structures; structural design, construction and operation

Structure gonflables; calcul, exécution et opération

Diese Norm wurde im Fachbereich Einheitliche Technische Baubestimmungen des NABau ausgearbeitet. Sie ist den obersten Bauaufsichtsbehörden vom Institut für Bautechnik, Berlin, zur bauaufsichtlichen Einführung empfohlen worden. Gegenüber anderen baulichen Anlagen benötigen Tragluftbauten für ihren Betrieb einen ständigen Energieaufwand und weisen bei Beheizung während der Winterperiode höhere Wärmeverluste durch die äußere Raumumschließung auf. Da Möglichkeiten für eine Verbesserung der Wärmedämmeigenschaften, insbesondere der Hüllenbaustoffe, gegenwärtig noch untersucht werden, sind Tragluftbauten ausdrücklich von der Anwendung der „Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung)“ befreit.

Entwurf, Berechnung und Ausführung von Tragluftbauten erfordern gründliche Kenntnis und Erfahrung in dieser Bauart.

Anmerkung: Die technischen Festlegungen dieser Norm gelten unter der Voraussetzung, daß die bauaufsichtlichen Anordnungen über Betrieb und Überwachung der Tragluftbauten eingehalten werden (siehe auch Abschnitt 9).

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	2	6 Sicherheitsnachweise	7
2 Begriff	2	6.1 Festigkeitsnachweise für die Hülle und ihre Verbindungen	7
3 Bautechnische Unterlagen	2	6.2 Bemessung der Seile	7
3.1 Zeichnungen	2	6.3 Bemessung der Rand- und Anschlußbauteile	7
3.2 Bau- und Betriebsbeschreibung	2	6.4 Bemessung der Gründung	7
3.3 Standsicherheitsnachweis und andere technische Nachweise	2	6.4.1 Ballastgewichte und massive Gründungen	7
3.4 Betriebsanweisung	2	6.4.2 Erdanker	7
4 Berechnungsgrundlagen	2	6.5 Verträglichkeit der Verformungen	7
4.1 Baustoffeigenschaften und -kennwerte	2	7 Bauliche Ausbildung	8
4.2 Lastannahmen	2	7.1 Hülle	8
4.2.1 Lasten und maßgebende Lastfälle	2	7.2 Seile und Seilverbindungen	8
4.2.2 Eigenlasten	3	7.3 Gründung und Verankerung	8
4.2.3 Nenn-Innendruck	3	7.4 Türen, Tore, Schleusen und starre Wandteile	8
4.2.4 Windlast	3	8 Erzeugung und Steuerung des Innendrucks	8
4.2.5 Schneelast	3	8.1 Eigenschaften und Ausführung der Gebläse	8
4.2.6 Wärmeeinwirkungen	3	8.2 Brandschutzanforderungen bezüglich der Gebläseanlagen	8
5 Ermittlung der Schnittgrößen	3	8.3 Sicherung der Luftansaugung	9
5.1 Grundlagen für die Ermittlung der Schnittgrößen	3	8.4 Sicherstellung des Innendrucks	9
5.2 Zylinderförmige Membranen mit Abschlußkuppeln über Kreis- oder Rechteckgrundriß und kugelförmige Membranen	4	9 Betrieb und Überwachung (Betriebsanweisung)	9
5.3 Hüllen mit Stützung durch Seile oder Seilnetze	5	9.1 Verantwortliche Aufsichtspersonen	9
5.3.1 Allgemeines	5	9.2 Überprüfungen	9
5.3.2 Hüllen mit Stützung durch engmaschige Seilnetze	5	9.3 Noträumung bei Alarm	9
5.3.3 Hülle zwischen den Stützseilen	6	9.4 Einschalten der Heizung	9
5.4 Verankerungskräfte aus Windlast und Nenn-Innendruck	6	9.5 Sicherung des freizuhaltenden Raumes	10
		9.6 Anzubringende Schilder und Maßeinrichtungen	10
		Zitierte Normen	10
		Erläuterungen	10

Fortsetzung Seite 2 bis 14

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für den Nachweis der Standsicherheit, die Ausführung und den Betrieb von Tragluftbauten. Sie gilt auch für Tragluftbauten, die dazu bestimmt sind, wiederholt zu befristetem Gebrauch aufgestellt und wieder abgebaut zu werden („fliegende Bauten“).

Die Festlegungen dieser Norm gelten unter Beachtung der übrigen geltenden Normen, soweit in dieser Norm nichts anderes bestimmt ist.

Von dieser Norm darf abgewichen werden bei einfachen, durch den inneren Luftüberdruck getragenen Überdeckungen, die höchstens 100 m² Grundfläche und höchstens 4 m Scheitelhöhe haben.

2 Begriff

Tragluftbauten im Sinne dieser Norm sind bauliche Anlagen, deren äußere Raumabschließung ganz oder überwiegend aus einer flexiblen Hülle (mit oder ohne Stützung durch Seile oder Seilnetze) besteht, welche von der durch Gebläse unter Überdruck gesetzten Luft des Innenraumes getragen wird.

3 Bautechnische Unterlagen

3.1 Zeichnungen

Im einzelnen sind dies:

- Lageplan, der insbesondere die Abstände zu den benachbarten Gebäuden, die Zufahrten und die Rettungswege angibt;
- Übersichtszeichnung mit den wesentlichen Maßen und folgenden Angaben:
Anordnung von Schleusen, Ausgängen und Notausgängen, Lüftungsanlagen, Fundamenten und Verankerungen sowie Gebläsen und Heizanlagen einschließlich deren Abstände von der Hülle;
- Schnitte durch den Tragluftbau, aus denen der freizuhaltende Raum nach den Abschnitten 6.5 und 7.4 ersichtlich ist;
- Konstruktionszeichnungen aller tragenden Bauteile, aus denen ihre Maße und Baustoffe, die Anordnung und Ausbildung ihrer Stöße und Verbindungen und sonstige wichtige Einzelheiten hervorgehen.

3.2 Bau- und Betriebsbeschreibung

Die Bau- und Betriebsbeschreibung muß Angaben, die für die Bauausführung und für die bauaufsichtliche Prüfung notwendig sind, aber aus den bautechnischen Unterlagen nicht hervorgehen, enthalten, insbesondere:

- Nutzungsart des Tragluftbaues und Anzahl der Personen, die sich in dem Tragluftbau aufhalten dürfen
- Hüllen- und Seilbaustoffe sowie ihre Verbindungen mit Angabe der für sie geltenden Normen und bauaufsichtlichen Zulassungen
- Korrosionsschutz der Seile und Stahlteile
- Gebläseanlagen mit Angabe von Anzahl, Fabrikat, Motorleistung, Luftförderung, Art des Haupt- und Ersatzantriebes, Antriebsenergie, Einrichtungen für den Selbstanlauf der Gebläse, Einrichtungen zur Überwachung der Luftzufuhr sowie zur Messung und Steuerung des inneren Überdrucks, Druckmangelalarmanlagen
- Heizanlagen mit Angabe von Anzahl, Fabrikat, Leistung
- Angaben über die zur Schneebeseitigung vorgesehenen Maßnahmen, sofern abgeminderte Schneelasten nach Abschnitt 4.2.5 in Ansatz gebracht werden

¹⁾ Siehe Erläuterungen zu Abschnitt 7.2.

- Art und Befestigung der Leuchten, woraus hervorgehen soll, daß diese keine Gefahr für die Hülle darstellen
- Feuerlöscheinrichtungen
- Ableitung des Niederschlagwassers.

3.3 Standsicherheitsnachweis und andere technische Nachweise

Es muß ein übersichtlicher Nachweis der Standsicherheit und der Verformungen in prüfbarer Form aufgestellt werden. Die diesem Nachweis zugrundeliegenden Brauchbarkeitsnachweise für die verwendeten Baustoffe und Bauteile, z. B. allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen, sind anzugeben.

Zu den technischen Nachweisen können erforderlichenfalls auch gehören:

- ein Baugrundgutachten mit Angabe des Grundwasserstandes,
- ein Gutachten über die Windverhältnisse,
- ein Gutachten über die Winddruckverteilung auf der Oberfläche der baulichen Anlage.

3.4 Betriebsanweisung

In der Betriebsanweisung (siehe Abschnitt 9) müssen die für einen sicheren Betrieb erforderlichen Maßnahmen angegeben sein.

4 Berechnungsgrundlagen

4.1 Baustoffeigenschaften und -kennwerte

Für Seile sind die in den DIN-Normen¹⁾ enthaltenen Kennwerte den Berechnungen zugrunde zu legen. Hüllenbaustoffe müssen schwerentflammbar (Baustoffklasse B1 nach DIN 4102 Teil 1) sein.

Anmerkung: Hüllenbaustoffe und ihre Verbindungen, über die in DIN-Normen keine Festlegungen hinsichtlich ihrer Eigenschaften und der an sie zu stellenden Anforderungen enthalten sind, sind neue Baustoffe bzw. Bauarten im Sinne der Bauordnungen der Länder. Sie dürfen nur verwendet werden, wenn ihre Brauchbarkeit für den Verwendungszweck durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung nachgewiesen ist (siehe auch Abschnitt 6.1). Wird der Nachweis nicht auf diese Weise geführt, so bedarf die Verwendung oder Anwendung dieser neuen Baustoffe bzw. Bauarten im Einzelfall der Zustimmung der obersten Bauaufsichtsbehörde.

4.2 Lastannahmen

4.2.1 Lasten und maßgebende Lastfälle

Bei Tragluftbauten ist das Einwirken folgender Lasten anzunehmen:

- Eigenlasten g , G ,
- Nenn-Innendruck p_i ,
- Windlast w ,
- Schneelast s ,
- Wärmeeinwirkungen aus Temperatur T .

Aus diesen Lasten werden die folgenden maßgebenden Lastfälle gebildet und der Berechnung zugrundegelegt:

Lastfall A („Wintersturm“):

Kurzzeitbeanspruchung infolge Eigenlasten g , G , Nenn-Innendruck p_i nach Abschnitt 4.2.3, Windlast w nach Abschnitt 4.2.4 und rechnerischer Wärmeeinwirkung aus Temperatur $T = 20\text{ °C}$

Lastfall B („Sommergewitter“):

Kurzzeitbeanspruchung infolge Eigenlasten g , G , Nenn-Innendruck p_i nach Abschnitt 4.2.3, 60% der Windlast w nach Abschnitt 4.2.4 und Wärmeeinwirkung aus Temperatur $T = 70\text{ °C}$

Lastfall C („Dauerbeanspruchung“):

Dauerbeanspruchung ($t > 10$ Jahre) infolge Eigenlasten g , G , Nenn-Innendruck p_i nach Abschnitt 4.2.3 und Wärme- einwirkung aus Temperatur $T = 20^\circ\text{C}$

4.2.2 Eigenlasten

Die Eigenlasten setzen sich zusammen aus der Eigenlast der Hülle sowie anderen ständigen Lasten (z. B. Einzel- lasten, Linienlasten, siehe auch DIN 1055 Teil 1).

Bei der Ermittlung der Schnittgrößen kann die Eigenlast der Hülle in der Regel vernachlässigt werden. Dies trifft z. B. zu bei Verwendung von einlagigen beschichteten Chemiefasergeweben.

4.2.3 Nenn-Innendruck

Der Nenn-Innendruck p_i ist der rechnerisch vorzusehende Innendruck.

Er ist so groß zu wählen, daß die Standsicherheit und die zur Stabilität erforderliche Formbeständigkeit der Hülle sichergestellt sind.

Werden bei gleichsinnig doppelt gekrümmten Hüllen ohne Seilstützung die Schnittgrößen ohne Berücksichtigung der Systemverformung ermittelt, ist der Nenn-Innendruck p_i so groß zu wählen, daß die Hülle die ungünstigsten Lasten nach Abschnitt 4.2.1 im Membranzustand aufnehmen kann.

Bei zylinderförmigen Membranen mit Abschlußkuppeln über Kreis- oder Rechteckgrundriß oder bei kugelförmigen Membranen kann diese Forderung als erfüllt angesehen werden, wenn der Nenn-Innendruck p_i nach Tabelle 1 in Abhängigkeit von h/r , vom Staudruck q nach Abschnitt 4.2.4 oder von der Schneelast s nach Abschnitt 4.2.5 gewählt wird. Maßgebend ist jeweils der größere der beiden Werte. In der Regel darf der Nenn-Innendruck den Wert $p_i = 0,30 \text{ kN/m}^2$ nicht unterschreiten.

Werden Tragluftbauten bis 20 m Höhe als Fliegende Bauten eingesetzt, kann der Nenn-Innendruck konstant zu $p_i = 0,30 \text{ kN/m}^2$ angenommen werden, wenn sichergestellt wird, daß sich ab Windstärke 8 keine Personen in den Bauten aufhalten und durch Einbauten, Einrichtungen, Lagergüter usw. keine Gefährdung der Hülle gegeben ist. Örtliche Einfaltungen der Hülle sind dabei unbedenklich. Weitere Möglichkeiten für eine zulässige Absenkung des Nenn-Innendrucks p_i siehe Abschnitt 8.4.4.

Tabelle 1. **Nenn-Innendruck p_i bei zylinderförmigen Membranen mit Abschlußkuppeln über Kreis- oder Rechteckgrundriß und bei kugelförmigen Membranen**

Nr	Gestalt der Membran ^{1) 2)}	Nenn-Innendruck p_i ^{2) 3)} kN/m^2	
1	Zylinderförmig mit Abschluß- kuppeln über Kreis- oder Rechteckgrundriß		
1.1	Dreiviertelzylinder $h/r = 1,5$	$\geq 0,80 q$	$\geq 1,6 s$
1.2	Halbzylinder $h/r = 1$	$\geq 0,60 q$	$\geq 1,3 s$
1.3	Flacher Zylinder $h/r \leq 0,75$	$\geq 0,50 q$	$\geq 1,1 s$
2	Kugelförmig		
2.1	Dreiviertelkugel $h/r = 1,5$	$\geq 1,0 q$	$\geq 1,3 s$
2.2	Halbkugel $h/r = 1$	$\geq 0,70 q$	$\geq 1,0 s$
2.3	Kugelabschnitt $h/r = 0,5$	$\geq 0,60 q$	$\geq 1,0 s$
¹⁾ Zur Definition von h und r siehe Bilder 1 und 2. ²⁾ Zwischenwerte geradlinig einschalten. ³⁾ Staudruck q nach Abschnitt 4.2.4, Schneelast s nach Abschnitt 4.2.5			

4.2.4 Windlast

Der Winddruck w ist das Produkt aus dem Staudruck q und dem Druckbeiwert c_p (nach DIN 1055 Teil 4).

Zur rechtechnischen Vereinfachung darf ein über die Bauwerkshöhe konstanter Staudruck q nach Tabelle 2 angesetzt werden.

Tabelle 2. **Staudruck in Abhängigkeit von der Bauwerkshöhe**

Bauwerkshöhe über Gelände h m	Staudruck q kN/m^2
bis 8	0,5
über 8 bis 20	$0,3 + 0,025 \cdot h^1)$
über 20	$0,725 + 0,00375 \cdot h^1)$
¹⁾ h ist in m einzusetzen.	

Bei Tragluftbauten, deren horizontale Projektion rechtwinklig zur Längsachse einen Flächeninhalt von mindestens 500 m^2 hat, kann der Staudruck q mit einem Reduktionsfaktor nach Tabelle 3 ermäßigt werden.

Tabelle 3. **Reduktionsfaktor in Abhängigkeit von der Projektionsfläche A für die Ermäßigung des Staudrucks q**

A m^2	Reduktionsfaktor
500 bis 3000	$(1,05 - A/10\,000)$
≥ 3000	0,75

Für die Ermittlung der Schnittgrößen darf angenommen werden, daß der Winddruck rechtwinklig zur Tangential-ebene der Oberfläche wirkt. Hierbei kann zur Vereinfachung die Gestalt der unverformten Hülle zugrundegelegt werden.

Falls nicht nach den Abschnitten 5.2 bis 5.4 verfahren wird, ist die Winddruckverteilung über die Oberfläche aufgrund von Sachverständigengutachten festzulegen.

4.2.5 Schneelast

Für die Annahme der Schneelast gilt DIN 1055 Teil 5.

Abweichend von DIN 1055 Teil 5, Ausgabe Juni 1975, Abschnitt 3.4.2, ist bei mechanischer Schneeräumung in Hüllenbereichen mit weniger als 70° Neigung gegen die Horizontale als Schneelast $s = 0,25 \text{ kN je m}^2$ Grundriß- projektion anzunehmen.

Für Schleusen gilt dies entsprechend.

4.2.6 Wärmeeinwirkungen

Bei der Ermittlung der Schnittgrößen brauchen Wärmeeinwirkungen nicht berücksichtigt zu werden.

5 Ermittlung der Schnittgrößen

5.1 Grundlagen für die Ermittlung der Schnittgrößen

Die Schnittgrößen sind unter Berücksichtigung der Systemverformungen der Hülle zu ermitteln.

Bei Hüllen nach Abschnitt 4.2.3, Absatz 3, ist eine näherungsweise Berechnung ohne Berücksichtigung der Systemverformung zulässig.

Schnittgrößen aus der Einleitung von Einzel- oder Linienlasten sind zu berücksichtigen.

Bei zusammengesetzten Flächen mit Unstetigkeiten in den Krümmungen ist die Verträglichkeit an den Unstetigkeitsstellen sicherzustellen.

Sind an Ausschnitten Randseile angeordnet, die nicht rutschfest mit der Hülle verbunden sind, so ist die Verschiebung des Seils relativ zur Hülle bei der Schnittgrößen-ermittlung zu berücksichtigen.

Bei seilgestützten Hüllen nach Abschnitt 5.3 ist in die Berechnung allein der Stich der zwischen den Seilen liegenden Hüllenteile einzusetzen.

5.2 Zylinderförmige Membranen mit Abschlußkuppeln über Kreis- oder Rechteckgrundriß und kugelförmige Membranen

Für zylinderförmige Membranen mit Abschlußkuppeln über Kreis- oder Rechteckgrundriß und für kugelförmige Membranen dürfen die maßgebenden Schnittgrößen infolge Windlast in Abhängigkeit vom Staudruck q und infolge Belastung aus Nenn-Innendruck p_i nach den folgenden Gleichungen ermittelt werden:

Für den zylinderförmigen Teil:

$$n_{\varphi, w} = \alpha_{\varphi} \cdot q \cdot r \quad (1)$$

$$n_{\varphi, p} = p_i \cdot r \quad (2)$$

$$n_{x, w} = \alpha_x \cdot q \cdot r \quad (3)$$

$$n_{x, p} = p_i \cdot \frac{r}{2} \quad (4)$$

Für Abschlußkuppeln über Kreis- oder Rechteckgrundriß und kugelförmige Membrane:

$$n_{\varphi, w} = \alpha_{\varphi} \cdot q \cdot r \quad (5)$$

$$n_{\varphi, p} = p_i \cdot \frac{r}{2} \quad (6)$$

$$n_{\vartheta, w} = \alpha_{\vartheta} \cdot q \cdot r \quad (7)$$

$$n_{\vartheta, p} = p_i \cdot \frac{r}{2} \quad (8)$$

Hierin bedeuten:

n die auf die Längeneinheit bezogenen Membrankräfte

α Beiwerte für die Membrankräfte aus Lastfall Wind

φ, x, ϑ Indizes zur Kennzeichnung der Krafrichtungen entsprechend den Bildern 1 und 2

w, p Indizes zur Kennzeichnung der Lastarten

Die Beiwerte α sind in Abhängigkeit von b/l und h/r in den Tabellen 4 und 5 angegeben. Die Schnittgrößen für kugelförmige Membranen ergeben sich durch Einsetzen der Beiwerte α für $b/l = 1$.

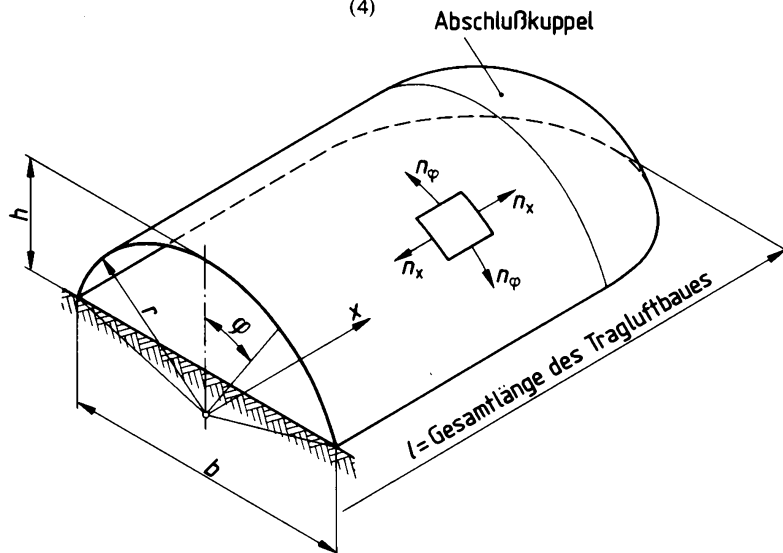


Bild 1. System- und Schnittgrößen einer zylinderförmigen Membran

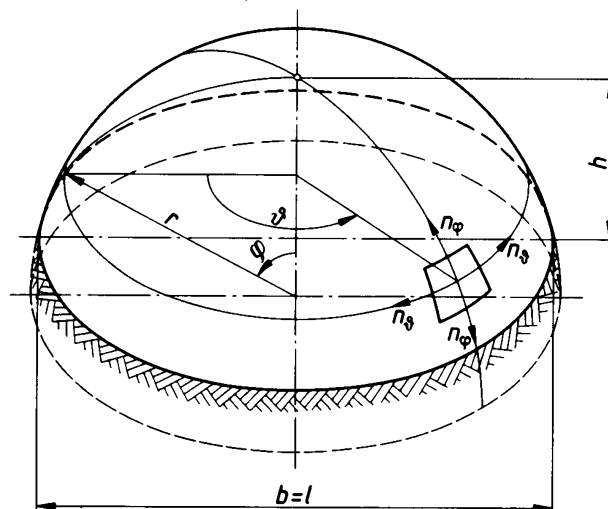


Bild 2. System- und Schnittgrößen einer kugelförmigen Membran

Tabelle 4. **Beiwerte α für die Membrankräfte aus Lastfall Wind von zylinderförmigen Membranen mit Abschlußkuppeln über Rechteckgrundriß**

$\frac{b}{l} \text{) } ^1 \text{) } ^2$		$\frac{h}{r} \text{) } ^1 \text{) } ^2$					
		0,5		0,75		1	
		α_φ	α_x bzw. α_θ	α_φ	α_x bzw. α_θ	α_φ	α_x bzw. α_θ
0,25	Zylinderteil	0,9	0,9	1,0	0,9	1,1	0,9
	Abschlußkuppel	1,2	0,9	1,2	0,9	1,2	0,9
0,5	Zylinderteil	0,8	0,8	0,9	0,8	1,0	0,8
	Abschlußkuppel	1,0	0,8	1,0	0,8	1,1	0,8
0,75	Zylinderteil	0,7	0,7	0,9	0,7	0,9	0,7
	Abschlußkuppel	0,8	0,7	0,9	0,7	1,0	0,7
1	Abschlußkuppel	0,8	0,7	0,9	0,7	1,0	0,7

¹⁾ Zur Definition von b , l , h und r siehe Bilder 1 und 2.

²⁾ Zwischenwerte geradlinig einschalten.

Tabelle 5. **Beiwerte α für die Membrankräfte aus Lastfall Wind von zylinderförmigen Membranen mit Abschlußkuppeln über Kreisgrundriß und von kugelförmigen Membranen**

$\frac{b}{l} \text{) } ^1 \text{) } ^2$		$\frac{h}{r} \text{) } ^1 \text{) } ^2$					
		0,5		0,75		1	
		α_φ	α_x bzw. α_θ	α_φ	α_x bzw. α_θ	α_φ	α_x bzw. α_θ
0,25	Zylinderteil	0,9	1,3	1,0	1,3	1,1	1,3
	Abschlußkuppel	1,5	1,2	1,6	1,3	1,6	1,3
0,5	Zylinderteil	0,8	1,2	0,9	1,2	1,0	1,2
	Abschlußkuppel	1,4	1,1	1,4	1,1	1,5	1,2
0,75	Zylinderteil	0,7	1,1	0,9	1,1	1,0	1,2
	Abschlußkuppel	1,3	1,0	1,4	1,1	1,5	1,2
1	Kugel	1,3	1,0	1,4	1,1	1,5	1,2

¹⁾ Zur Definition von b , l , h und r siehe Bilder 1 und 2.

²⁾ Zwischenwerte geradlinig einschalten.

5.3 Hüllen mit Stützung durch Seile oder Seilnetze

5.3.1 Allgemeines

Bei der Ermittlung der Seilkräfte aus den Gleichgewichts- und Verträglichkeitsbedingungen darf näherungsweise am unverformten Membransystem gerechnet werden.

5.3.2 Hüllen mit Stützung durch engmaschige Seilnetze

Bei zylinderförmigen Membranen mit Abschlußkuppeln über Kreis- oder Rechteckgrundriß und bei kugelförmigen Membranen, deren Stützung engmaschig aus diagonal zu den Mantellinien verlaufenden Seilen besteht, dürfen die Seilkräfte vereinfachend durch Zerlegung der Membrankräfte n nach Abschnitt 5.2 nach den beiden Seilrichtungen bestimmt werden, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Seile dürfen höchstens einen Abstand von $a = r/15$, aber nicht mehr als 1 m haben.
- Die Seile müssen zur Sicherstellung der Soll-Geometrie und entsprechend den statischen Erfordernissen eines Netztragwerkes durch ausreichend viele Klemmen miteinander verbunden sein (z. B. im Bereich der Verankerung am gesamten Umfang und im Bereich der Anschlußlinien der Abschlußkuppeln an den Zylinder auf einem Streifen von mindestens $4 \cdot a$ an allen Kreuzungen, im übrigen mindestens an jeder vierten Kreuzung (siehe Bild 3)).
- Die Klemmen müssen eine Beanspruchung von mindestens $\frac{1}{5}$ der Seilkraft ohne zu verrutschen aufnehmen können.