

**Allgemeine
bauaufsichtliche
Zulassung/
Allgemeine
Bauartgenehmigung**

Eine vom Bund und den Ländern gemeinsam
getragene Anstalt des öffentlichen Rechts

**Zulassungs- und Genehmigungsstelle
für Bauprodukte und Bauarten**

Datum: 09.09.2024 Geschäftszeichen:
I 71-1.10.9-660/1

**Nummer:
Z-10.9-660**

**Antragsteller:
IBK-Fibertec GmbH
Westring 40
33142 Büren**

Geltungsdauer
vom: **9. September 2024**
bis: **9. September 2029**

**Gegenstand dieses Bescheides:
Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen**

Der oben genannte Regelungsgegenstand wird hiermit allgemein bauaufsichtlich zugelassen und genehmigt. Dieser Bescheid umfasst sieben Seiten und vier Anlagen mit 41 Seiten.

I ALLGEMEINE BESTIMMUNGEN

- 1 Mit diesem Bescheid ist die Verwendbarkeit bzw. Anwendbarkeit des Regelungsgegenstandes im Sinne der Landesbauordnungen nachgewiesen.
- 2 Dieser Bescheid ersetzt nicht die für die Durchführung von Bauvorhaben gesetzlich vorgeschriebenen Genehmigungen, Zustimmungen und Bescheinigungen.
- 3 Dieser Bescheid wird unbeschadet der Rechte Dritter, insbesondere privater Schutzrechte, erteilt.
- 4 Dem Verwender bzw. Anwender des Regelungsgegenstandes sind, unbeschadet weiter gehender Regelungen in den "Besonderen Bestimmungen", Kopien dieses Bescheides zur Verfügung zu stellen. Zudem ist der Verwender bzw. Anwender des Regelungsgegenstandes darauf hinzuweisen, dass dieser Bescheid an der Verwendungs- bzw. Anwendungsstelle vorliegen muss. Auf Anforderung sind den beteiligten Behörden ebenfalls Kopien zur Verfügung zu stellen.
- 5 Dieser Bescheid darf nur vollständig vervielfältigt werden. Eine auszugsweise Veröffentlichung bedarf der Zustimmung des Deutschen Instituts für Bautechnik. Texte und Zeichnungen von Werbeschriften dürfen diesem Bescheid nicht widersprechen, Übersetzungen müssen den Hinweis "Vom Deutschen Institut für Bautechnik nicht geprüfte Übersetzung der deutschen Originalfassung" enthalten.
- 6 Dieser Bescheid wird widerruflich erteilt. Die Bestimmungen können nachträglich ergänzt und geändert werden, insbesondere, wenn neue technische Erkenntnisse dies erfordern.
- 7 Dieser Bescheid bezieht sich auf die von dem Antragsteller gemachten Angaben und vorgelegten Dokumente. Eine Änderung dieser Grundlagen wird von diesem Bescheid nicht erfasst und ist dem Deutschen Institut für Bautechnik unverzüglich offenzulegen.

II BESONDERE BESTIMMUNGEN

1 Regelungsgegenstand und Verwendungs- bzw. Anwendungsbereich

1.1 Zulassungsgegenstand und Verwendungsbereich

Zulassungsgegenstand sind gewickelte zylindrische, konische und zusammengesetzte zylindrische/konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK-Maste/Türme).

Die Maste und Türme (ganze Bauteile oder Teilsegmente) sind werkseitig hergestellte Rohre mit variabler Länge und Wanddicke sowie einem inneren Durchmesser von 120 mm bis 4000 mm. Die maximale Neigung der konischen Maste und Türme beträgt 2,0°.

Die GFK-Maste/Türme sind normalentflammbar.

1.2 Genehmigungsgegenstand und Anwendungsbereich

Genehmigungsgegenstand ist die Planung, Bemessung und Ausführung von turmartigen zylindrischen und/oder konischen Masten und Türmen aus GFK sowie deren Verbindung mit dem Unterbau.

Die Teilsegmente werden durch angeformte Flansche aus GFK mit Stahlring (siehe Anlage 1.1.1) oder angeschraubte Flansche aus Stahl zusammengesetzt. Die Maste und Türme gemäß Anlagen 1.1.1 bis 1.4.2 werden durch angeformte Flansche aus GFK, angeschraubte Flansche aus Stahl oder einer GFK-Fuß einspannung "Köchereinspannung" entsprechend der Einspannvorrichtung mit dem Fundament bzw. dem Unterbau verbunden. Die Standsicherheit des Unterbaus ist nicht Gegenstand dieses Bescheides.

2 Bestimmungen für die Bauprodukte

2.1 Eigenschaften und Zusammensetzung der GFK-Maste/Türme

Die GFK-Maste/Türme sind aus textilglasverstärkten ungesättigten Polyesterharzen (GF-UP), Vinylesterharzen (GF-VE) oder Epoxidharzen (GF-EP) mit einer Wärmeformbeständigkeitstemperatur HDT ≥ 70 °C nach DIN EN 13121-1¹, Tabelle 2 und Textilglasverstärkungen aus E-Glas nach ISO 2113², ISO 2559³ und ISO 2797⁴ oder E-CR-Glas nach DIN EN ISO 2078⁵ herzustellen.

Es sind flächenförmige Textilglasverstärkungen (Textilglasgewebe, -gelege und -matten) und Textilglasrovings mit 1200 tex bzw. 2400 tex zu verwenden. Sie müssen entsprechend DIN EN 14020-2⁶ mit den für die Verarbeitungsverfahren erforderlichen Schichten und Haftvermittlern ausgerüstet sein.

Die zum Einsatz kommenden Lamine, der Laminataufbau und die Flächengewichte der Faserverstärkungen müssen den Angaben der Anlagen 1.2 bis 1.7 des Prüf- und Überwachungsplans⁷ entsprechen. Die Anforderungen des Abschnittes 1.2 des Prüf- und Überwachungsplans⁷ sind einzuhalten.

1	DIN EN 13121-1:2021-11	Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter - Teil 1: Ausgangsmaterialien - Spezifikations- und Abnahmebedingungen
2	ISO 2113:2023-06	Verstärkungsfasern - Gewebe - Anforderungen und Spezifikationen
3	ISO 2559:2011-12	Textilglas - Matten (hergestellt aus geschnittener oder endloser Faser) - Bezeichnung und Basis für Spezifikationen
4	ISO 2797:2017-11	Textilglas - Rovings - Grundlage für technische Lieferbedingungen
5	DIN EN ISO 2078:2022-08	Textilglas - Garne - Bezeichnung
6	DIN EN 14020-2:2003-03	Verstärkungsfasern - Spezifikation für Textilglasrovings - Teil 2: Prüfverfahren und allgemeine Anforderungen
7	Der Prüf- und Überwachungsplan ist beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegt und wird nur der für die Fremdüberwachung eingeschalteten Stelle zur Verfügung gestellt.	

Die chemische Zusammensetzung der Matrixwerkstoffe und die Textilglasverstärkungen müssen mit den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben übereinstimmen.

Zum Schutz der Lamine müssen die GFK-Maste/Türme innen und außen eine 0,2 mm bis 0,4 mm dicke Harzschicht oder eine 0,5 mm bis 0,8 mm dicke Vliesschicht als Oberflächenschutzschicht aufweisen.

Die GFK-Maste/Türme müssen aus einem kreisförmigen Querschnitt bestehen und ein Rohr bilden. Die Anforderungen der Abschnitte 1.3.2 bis 1.3.6 des Prüf- und Überwachungsplans⁷ sowie die Anforderungen an die Toleranzen nach DIN EN 13121-3⁸ sind einzuhalten.

Die GFK-Maste/Türme müssen die Anforderungen an das Brandverhalten der Baustoffklasse B2 nach DIN 4102-1⁹ erfüllen.

2.2 Herstellung, Verpackung, Transport, Lagerung und Kennzeichnung

2.2.1 Herstellung

Die GFK-Maste/Türme sind werkseitig im Wickelverfahren als Ganzes oder in Teilsegmenten herzustellen. Die Zuführung der Textilglasverstärkungen und der Harze sowie die vorgeschriebenen Temperaturen bei der Herstellung und Aushärtung sind stetig zu überwachen. Die Teilsegmente werden durch Flansche (werkseitig/ am Aufstellort) und Verbindungslamine (werkseitig) miteinander verbunden. Der genaue Herstellprozess muss mit den beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegten Angaben übereinstimmen.

Alle in den Anlagen 1.1.1 bis 1.4.2 dargestellten erforderlichen Bohrungen für die Verbindung mit dem Unterbau sind werkseitig herzustellen. Bohrungen für Anbauten und Halterungen können werkseitig oder auf der Baustelle hergestellt werden. Die Herstellung der Bohrungen für die Flanschverbindungen muss werkseitig mit Hilfe einer Schablone oder einer numerisch gesteuerten Maschine erfolgen. Es dürfen nur Bohrer aus Hartstahl (HSS), Cobalt verstärktem Hartstahl oder Bohrer, die mit Diamanten oder Hartmetalleinsätzen bestückt sind, zur Anwendung kommen. Die Bohrlöcher sind mit Harzen nach Abschnitt 2.1 oder mit beständigem Silikon zu versiegeln.

2.2.2 Verpackung, Transport und Lagerung

Die Verpackung, der Transport und die Lagerung der Bauprodukte nach Abschnitt 2.1 dürfen nur nach Anleitung des Herstellers vorgenommen werden. Die GFK-Maste/Türme sind so zu transportieren und zu lagern, dass sie weder beschädigt noch verformt werden.

2.2.3 Kennzeichnung

Die GFK-Maste/Türme oder deren Verpackung, Beipackzettel oder Lieferschein müssen vom Hersteller mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) nach den Übereinstimmungszeichen-Verordnungen der Länder gekennzeichnet werden. Die Kennzeichnung darf nur erfolgen, wenn die Voraussetzungen nach Abschnitt 2.3 erfüllt sind.

2.3 Übereinstimmungsbestätigung

2.3.1 Allgemeines

Die Bestätigung der Übereinstimmung der Bauprodukte nach Abschnitt 2.1 mit den Bestimmungen der von diesem Bescheid erfassten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung muss für jedes Herstellwerk mit einer Übereinstimmungserklärung des Herstellers auf der Grundlage einer werkseitigen Produktionskontrolle und eines Übereinstimmungszertifikates einer hierfür anerkannten Zertifizierungsstelle sowie einer regelmäßigen Fremdüberwachung durch eine anerkannte Überwachungsstelle nach Maßgabe der folgenden Bestimmungen erfolgen:

⁸ DIN EN 13121-3:2016-10

⁹ DIN 4102-1:1998-05

Oberirdische GFK-Tanks und -Behälter - Teil 3: Auslegung und Herstellung
Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen - Teil 1: Baustoffe; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen

Für die Erteilung des Übereinstimmungszertifikats und die Fremdüberwachung einschließlich der dabei durchzuführenden Produktprüfungen hat der Hersteller des Bauprodukts eine hierfür anerkannte Zertifizierungsstelle sowie eine hierfür anerkannte Überwachungsstelle einzuschalten.

Die Übereinstimmungserklärung hat der Hersteller durch Kennzeichnung des Bauprodukts mit dem Übereinstimmungszeichen (Ü-Zeichen) unter Hinweis auf den Verwendungszweck abzugeben.

Dem Deutschen Institut für Bautechnik ist von der Zertifizierungsstelle eine Kopie des von ihr erteilten Übereinstimmungszertifikats zur Kenntnis zu geben.

Dem Deutschen Institut für Bautechnik ist zusätzlich eine Kopie des Erstprüfberichts zur Kenntnis zu geben.

2.3.2 Werkseigene Produktionskontrolle

In jedem Herstellwerk ist eine werkseigene Produktionskontrolle einzurichten und durchzuführen. Unter werkseigener Produktionskontrolle wird die vom Hersteller vorzunehmende kontinuierliche Überwachung der Produktion verstanden, mit der dieser sicherstellt, dass die von ihm hergestellten Bauprodukte den Bestimmungen der von diesem Bescheid erfassten allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung entsprechen.

Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle gelten die Bestimmungen des Prüf- und Überwachungsplans⁷, der Bestandteil dieses Bescheides ist.

Die Ergebnisse der werkseigenen Produktionskontrolle sind aufzuzeichnen und auszuwerten. Die Aufzeichnungen müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

- Bezeichnung des Bauprodukts bzw. des Ausgangsmaterials und der Bestandteile
- Art der Kontrolle oder Prüfung
- Datum der Herstellung und der Prüfung des Bauprodukts bzw. des Ausgangsmaterials oder der Bestandteile
- Ergebnis der Kontrollen und Prüfungen und, soweit zutreffend, Vergleich mit den Anforderungen
- Unterschrift des für die werkseigene Produktionskontrolle Verantwortlichen

Die Aufzeichnungen sind mindestens fünf Jahre aufzubewahren und der für die Fremdüberwachung eingeschalteten Überwachungsstelle vorzulegen. Sie sind dem Deutschen Institut für Bautechnik und der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde auf Verlangen vorzulegen.

Bei ungenügendem Prüfergebnis sind vom Hersteller unverzüglich die erforderlichen Maßnahmen zur Abstellung des Mangels zu treffen. Bauprodukte, die den Anforderungen nicht entsprechen, sind so zu handhaben, dass Verwechslungen mit übereinstimmenden ausgeschlossen werden. Nach Abstellung des Mangels ist – soweit technisch möglich und zum Nachweis der Mängelbeseitigung erforderlich – die betreffende Prüfung unverzüglich zu wiederholen.

2.3.3 Fremdüberwachung

In jedem Herstellwerk der GFK-Maste/Türme sind das Werk und die werkseigene Produktionskontrolle durch eine Fremdüberwachung regelmäßig, mindestens jedoch zweimal jährlich zu überprüfen.

Im Rahmen der Fremdüberwachung ist eine Erstprüfung der GFK-Maste/Türme durchzuführen, sind Proben für Prüfungen gemäß Prüf- und Überwachungsplan⁷ zu entnehmen und zu prüfen und können auch Proben für Stichprobenprüfungen entnommen werden. Die Probenahme und Prüfungen obliegen jeweils der anerkannten Überwachungsstelle.

Die Ergebnisse der Zertifizierung und Fremdüberwachung sind mindestens fünf Jahre aufzubewahren. Sie sind von der Zertifizierungsstelle bzw. der Überwachungsstelle dem Deutschen Institut für Bautechnik und der zuständigen obersten Bauaufsichtsbehörde auf Verlangen vorzulegen.

3 Bestimmungen für Planung, Bemessung und Ausführung

3.1 Allgemeines

Die Maste und Türme aus GFK sowie deren Verbindung mit dem Unterbau sind unter Beachtung der Technischen Baubestimmungen¹⁰ zu planen, zu bemessen und auszuführen, sofern im Folgenden nichts anderes bestimmt ist.

3.2 Planung

Für die GFK-Flanschverbindungen, die Befestigung der aufgesetzten Flansche aus Stahl und die Fußpunktanbindungen der GFK-Maste/Türme an den Unterbau dürfen nur geregelte oder bauaufsichtlich zugelassene Verbindungselemente mit Garnituren für Schraubverbindungen nach DIN EN 14399-1¹¹ der Produktklasse B mit einer Festigkeitsklasse von mindestens 8.8 verwendet werden. Die Schraubenverbindungen erhalten eine planmäßige Vorspannung. Der Schraubenabstand darf maximal 150 mm betragen.

Bei der Fuß einspannung der GFK-Maste/Türme (Köcherfundament aus Beton oder Köcheranbindung durch eine Stahlkonstruktion gemäß Anlage 1.2.6 oder 1.2.7) werden keine zusätzlichen Verbindungselemente eingesetzt.

Für die Anbindungen von Blitzableitern, Mastabdeckungen und anderen Anbauten sowie für die Schraubenverbindungen an den Schellenhalterungen dürfen nur geregelte oder bauaufsichtlich zugelassene Verbindungselemente mit Schrauben nach DIN EN ISO 3506-1¹² aus nichtrostendem Stahl A2 oder A4 mit einer Festigkeitsklasse von mindestens 70 verwendet werden. Die Schraubenverbindungen sind fest anzuziehen und gegen Lockern zu sichern.

Für die Verbindungselemente ist ein ausreichender Korrosionsschutz nach DIN EN 1090-2¹³ vorzusehen. Bei der Festlegung des Korrosionsschutzes ist mindestens von der Umgebungsbedingung auszugehen, die der Korrosivitätskategorie C3 (mäßig) nach DIN EN ISO 9223¹⁴ entspricht. Die Mindestdicke der aufzubringenden Zinküberzüge ist unter Berücksichtigung der Korrosivitätskategorie und der Schutzdauer bzw. Schutzdauerklasse entsprechend DIN EN ISO 14713-1¹⁵, Tabelle 2, festzulegen.

3.3 Bemessung

3.3.1 Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Die statische Nachweisführung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit der GFK-Maste/Türme einschließlich der Nachweise der Verbindungslamine sowie der Flansche aus GFK und Stahl müssen auf der Grundlage der Anlage 3 erfolgen.

Stoßartige Einwirkungen sind durch entsprechende Maßnahmen auszuschließen.

Der Standsicherheitsnachweis des tragenden Unterbaus sowie die Verbindung der Verbindungselemente mit dem Unterbau sind nicht Gegenstand dieses Bescheides und müssen für jeden Einzelfall gemäß den Technischen Baubestimmungen¹⁰ erbracht werden.

3.3.2 Brandverhalten

Die GFK-Maste/Türme sind normalentflammbar.

¹⁰ Siehe: www.dibt.de unter der Rubrik >Technische Baubestimmungen<

¹¹ DIN EN 14399-1:2015-04 Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau - Teil 1: Allgemeine Anforderungen

¹² DIN EN ISO 3506-1:2020-08 Mechanische Verbindungselemente - Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus korrosionsbeständigen nichtrostenden Stählen - Teil 1: Schrauben mit festgelegten Stahlsorten und Festigkeitsklassen

¹³ DIN EN 1090-2:2018-09 Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken

¹⁴ DIN EN ISO 9223:2012-05 Korrosion von Metallen und Legierungen - Korrosivität von Atmosphären - Klassifizierung, Bestimmung und Abschätzung

¹⁵ DIN EN ISO 14713-1:2017-08 Zinküberzüge - Leitfäden und Empfehlungen zum Schutz von Eisen- und Stahlkonstruktionen vor Korrosion - Teil 1: Allgemeine Konstruktionsgrundsätze und Korrosionsbeständigkeit

3.4 Ausführung

3.4.1 Allgemeines

Der Hersteller hat eine Liste zu führen, in der das Lieferdatum, der Empfänger und der Aufstellort vollständig angegeben werden. Kann seitens des Herstellers der Aufstellort nicht angegeben werden, so hat er den Empfänger zu verpflichten, den Aufstellort in einer entsprechenden Liste aufzuführen. Die Liste ist auf Verlangen der obersten Bauaufsichtsbehörde oder dem Deutschen Institut für Bautechnik vorzulegen.

Die bauausführende Firma hat zur Bestätigung der Übereinstimmung der Bauart mit der allgemeinen Bauartgenehmigung eine Übereinstimmungserklärung gemäß §§ 16a Abs. 5 i. V. m. 21 Abs. 2 MBO abzugeben. Für die Übereinstimmungserklärung ist das Muster gemäß Anlage 4 zu verwenden. Diese Bestätigung ist dem Bauherrn zu überreichen.

3.4.2 Montage der GFK-Maste/Türme

Die Montage darf nur von Firmen erfolgen, die die dazu erforderliche Erfahrung haben. Beschädigte GFK-Maste/Türme (Risse, Delaminationen oder Verformungen) dürfen nicht montiert werden. Die Maste und Türme sind in voller Länge zu montieren, ein Zuschnitt ist nicht gestattet.

Beim Bohren von Löchern ist der Abschnitt 2.2.1 zu beachten. Sollten nicht planmäßig vorgesehene Bohrungen vor Ort erforderlich werden, so sind diese mit dem zuständigen Statiker oder der Bauaufsicht abzustimmen und vollständig zu dokumentieren. Schlagwerkzeuge dürfen nicht eingesetzt werden.

Alle Schraubenverbindungen mit planmäßiger Vorspannung sind mit den vorgegebenen Vorspannungen entsprechend DIN EN 14399-1¹¹ vorzuspannen. Alle anderen Schraubenverbindungen sind entsprechend DIN EN 15048-1¹⁶ oder DIN EN 1090-2¹⁷, Abschnitt 8.3 "Anziehen nicht vorgespannter Schraubengarnituren", zu behandeln.

Die bauliche Ausbildung der Maste und Türme aus GFK sowie deren Verbindung mit dem Unterbau müssen entsprechend der Angaben im Abschnitt 3.2 sowie der Montagehinweise des Herstellers erfolgen.

4 Bestimmungen für Nutzung, Unterhalt und Wartung

Die GFK-Maste/Türme dürfen nicht mit Stoffen und Materialien in Berührung kommen, die eine Schädigung bewirken. Dies ist im Einzelfall zu beurteilen. Sie dürfen nur in Absprache mit einem hierfür erfahrenen Sachverständigen zusätzlich durch Anstriche, Beschichtungen oder Ähnliches behandelt werden.

Die Maste und Türme sind regelmäßig – insbesondere hinsichtlich der Befestigungen, der Verbindungen und der Oberflächenschutzschicht (Rissbildung) – zu überprüfen und zu warten. Erforderliche Ausbesserungen sind fachgerecht vorzunehmen.

Der für die regelmäßige Kontrolle beauftragte Sachverständige hat über den Zustand der Konstruktion der GFK-Maste/Türme einschließlich der Verbindungen ein Protokoll zu erstellen. Das Protokoll ist vom Betreiber mindestens fünf Jahre aufzubewahren.

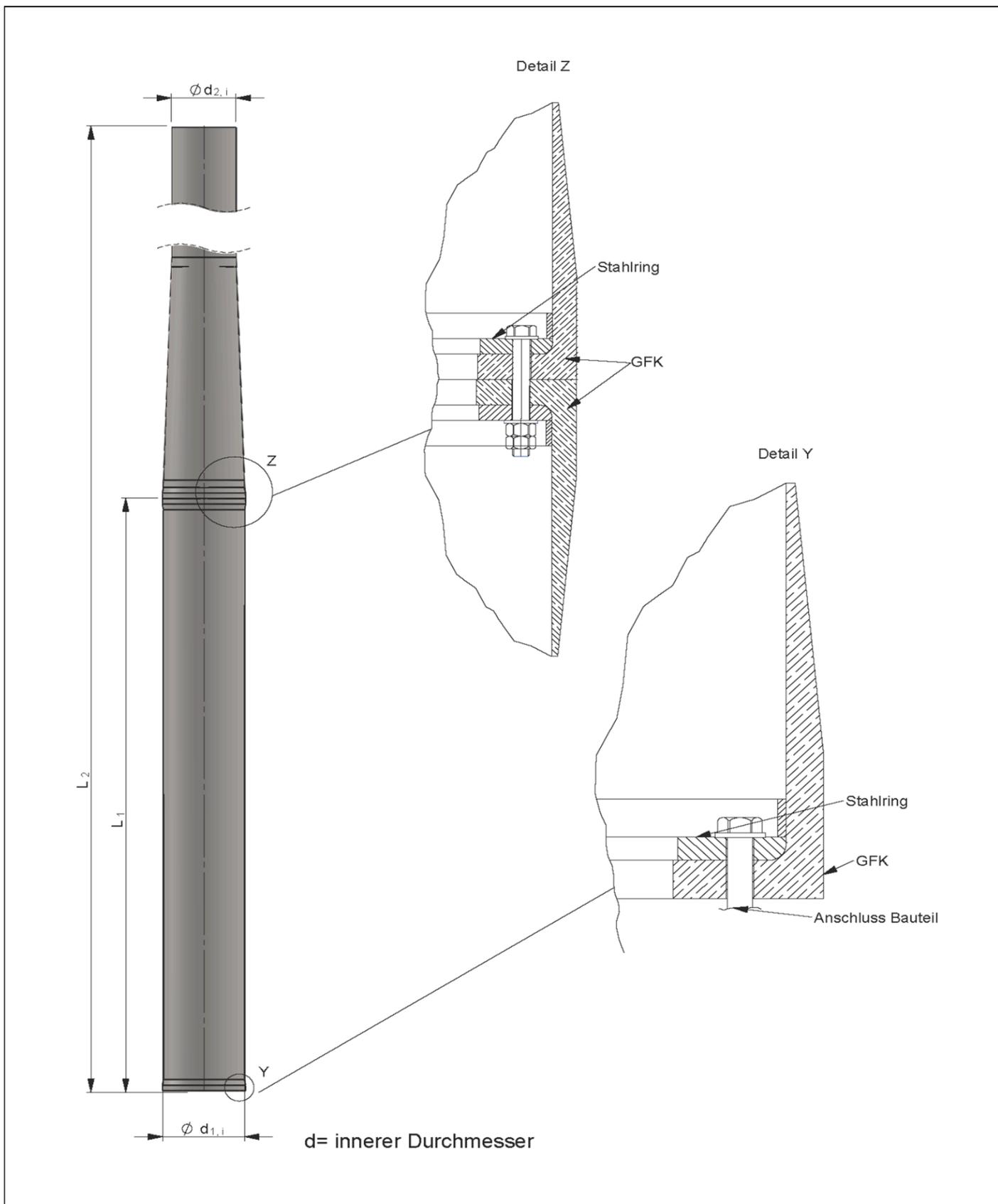
Der Bauherr ist vom Hersteller auf diese Bestimmungen ausdrücklich hinzuweisen.

Renée Kamanzi-Fechner
Referatsleiterin

Beglaubigt
Fischer

¹⁶ DIN EN 15048-1:2016-09 Garnituren für nicht vorgespannte Schraubverbindungen im Metallbau - Teil 1: Allgemeine Anforderungen

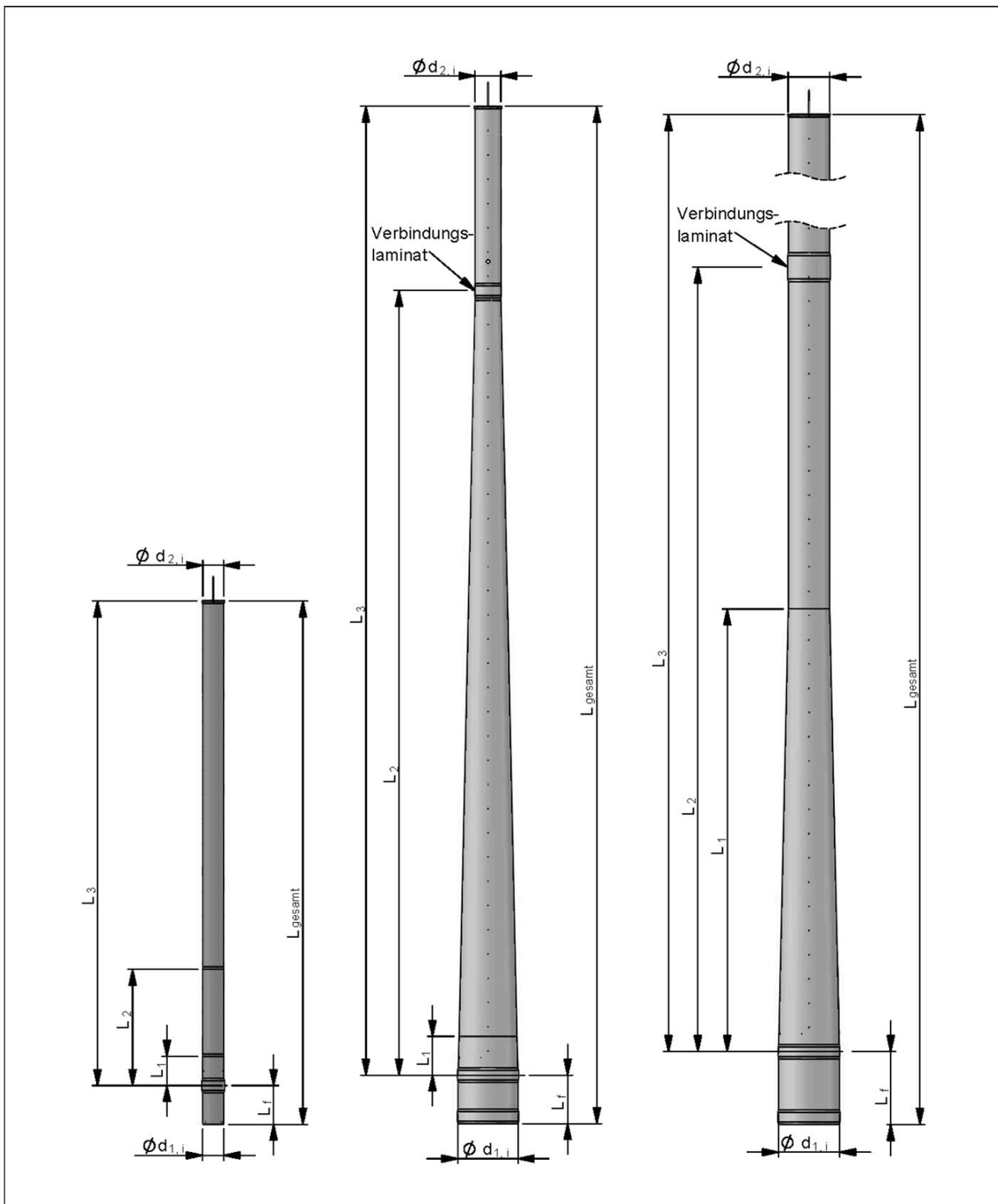
¹⁷ DIN EN 1090-2:2018-09 Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken - Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Maste und Türme mit Flanschanbindung, einteilig und mehrteilig
 Beispielhafte Darstellung

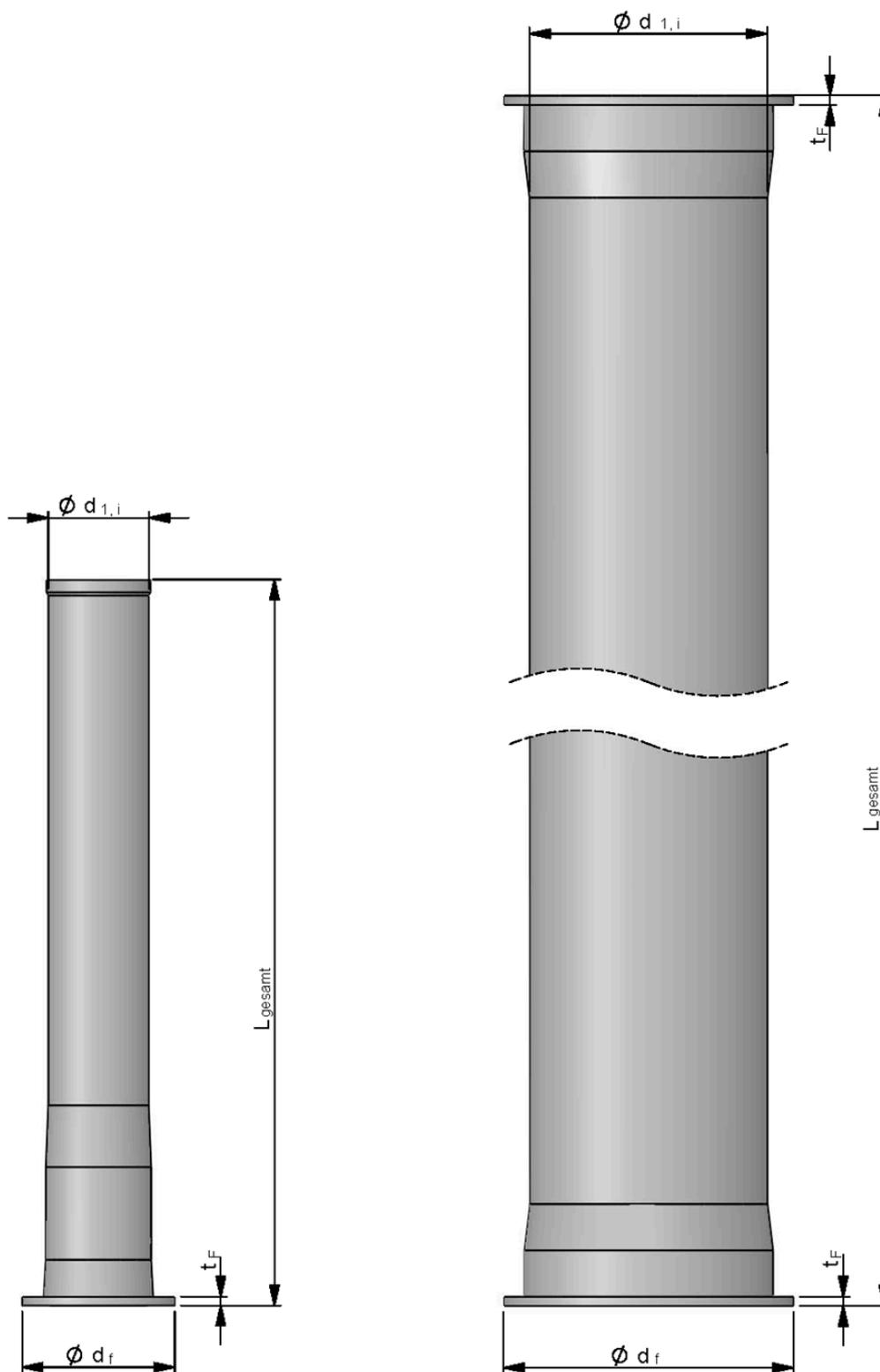
Anlage 1.1.1



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Maste für eine Einspannung in einem Köcherfundament, einteilig und mehrteilig,
 zylindrisch und konisch
 Beispielhafte Darstellung

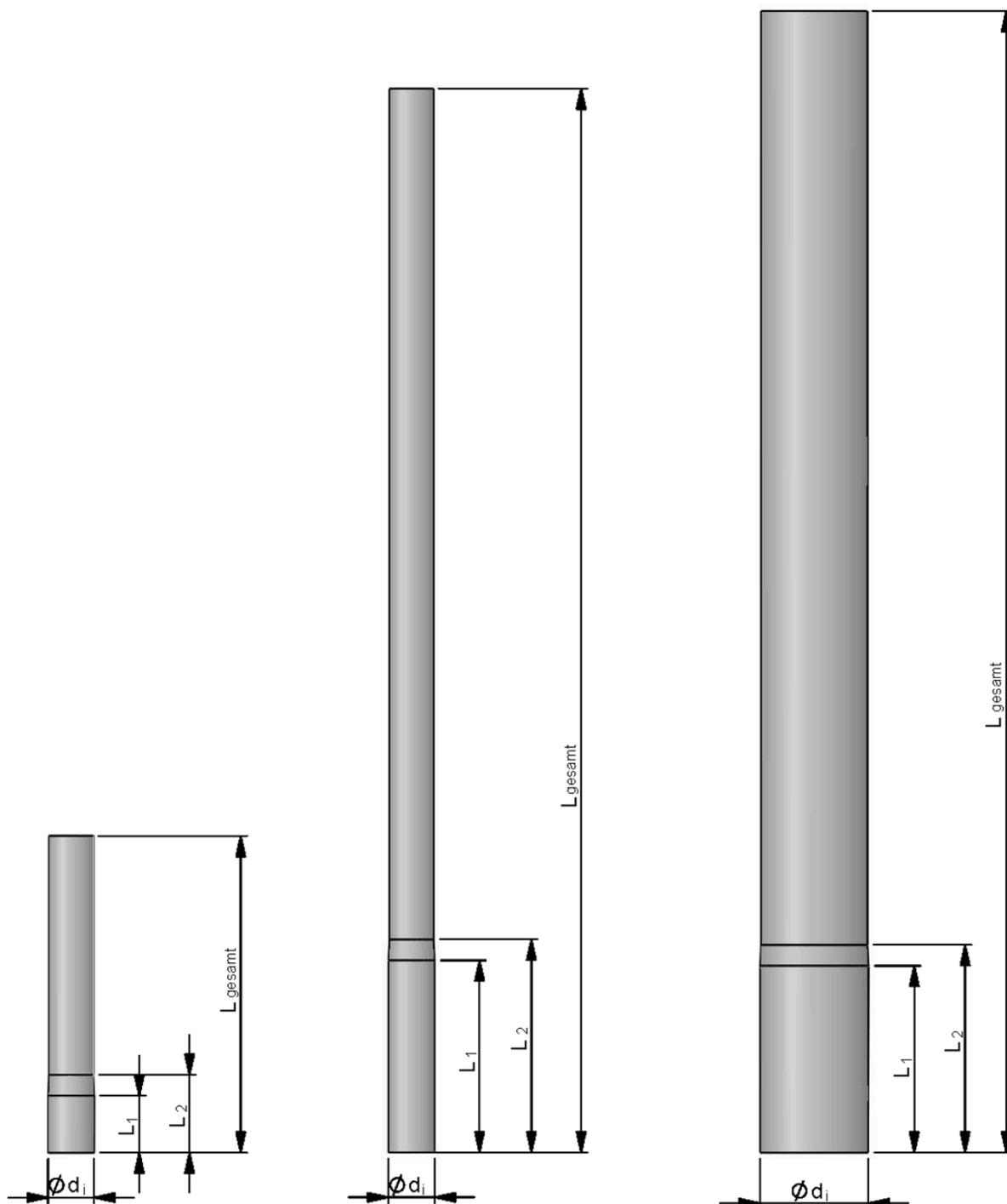
Anlage 1.1.2



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Maste mit Außenflansch
Beispielhafte Darstellung

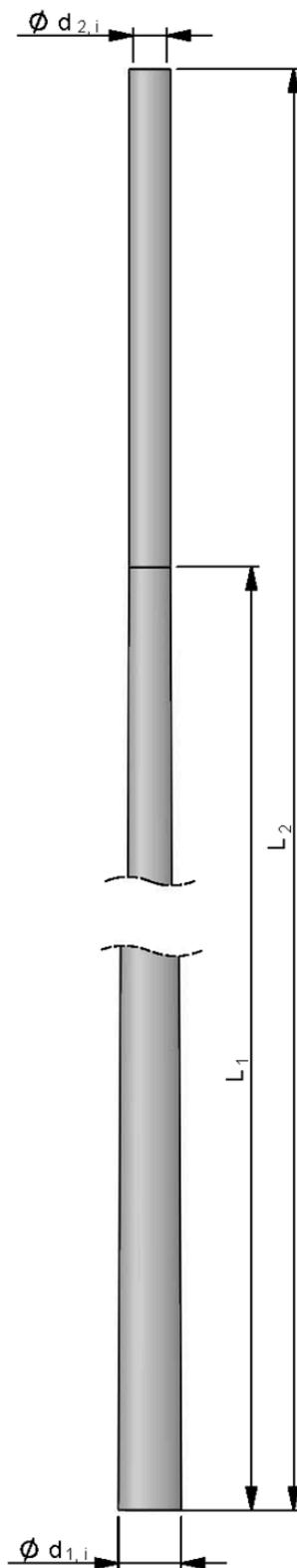
Anlage 1.1.3



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Maste für eine Schellenhalterung
Beispielhafte Darstellung

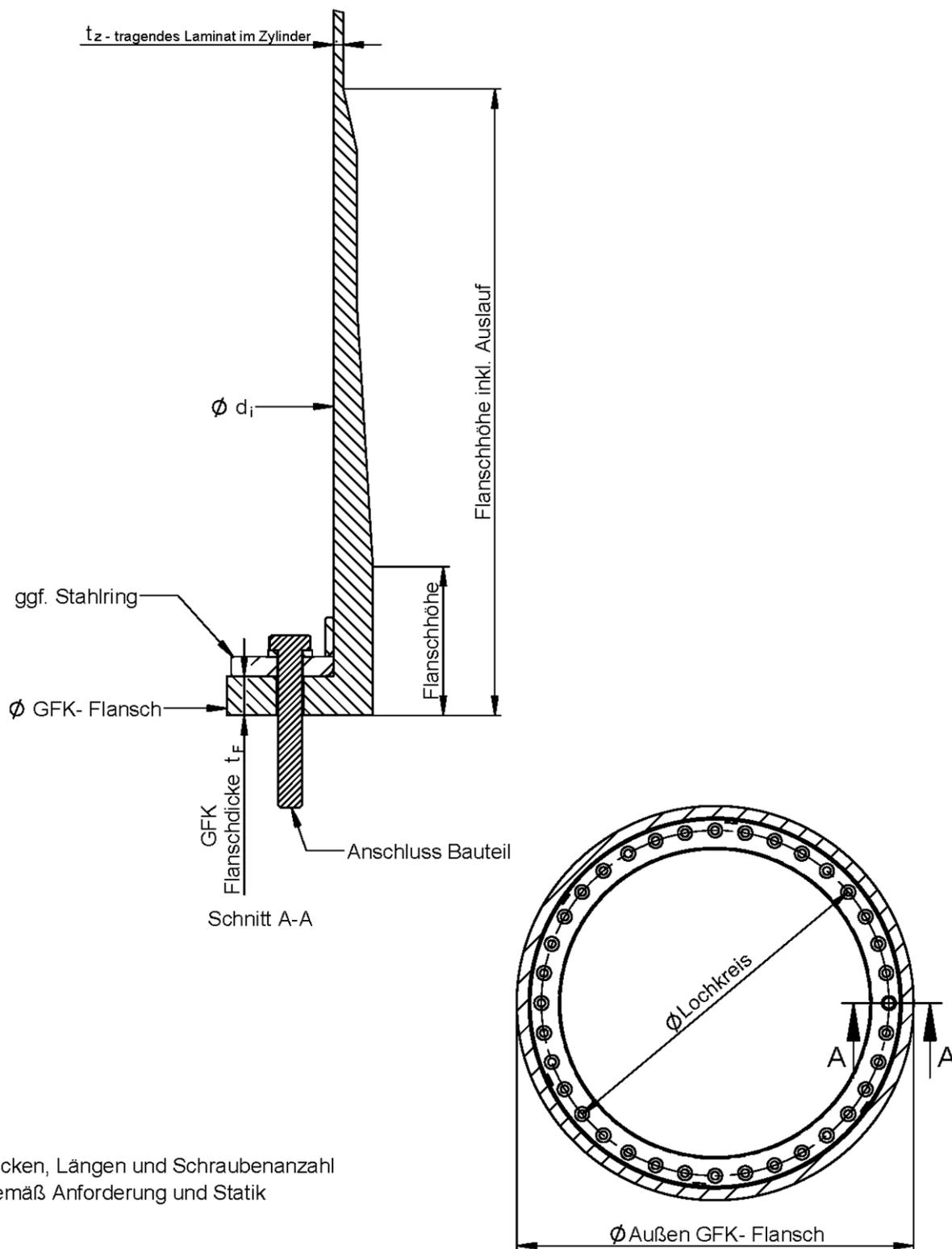
Anlage 1.1.4



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Freileitungsmaste, einteilig und mehrteilig
Beispielhafte Darstellung

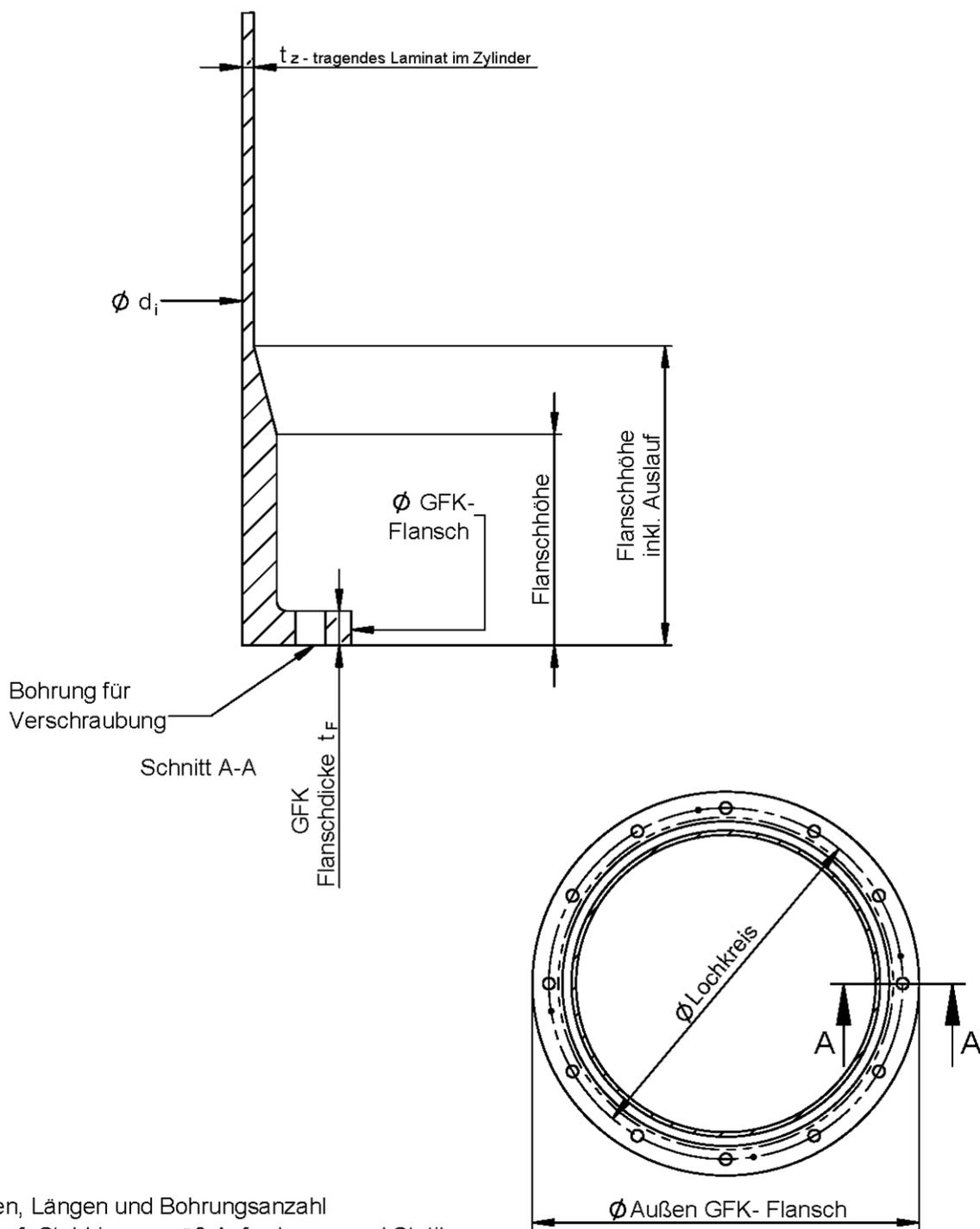
Anlage 1.1.5



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Flansche und Fußpunktanbindungen
GFK-Flansch, innenliegend
Beispielhafte Darstellung

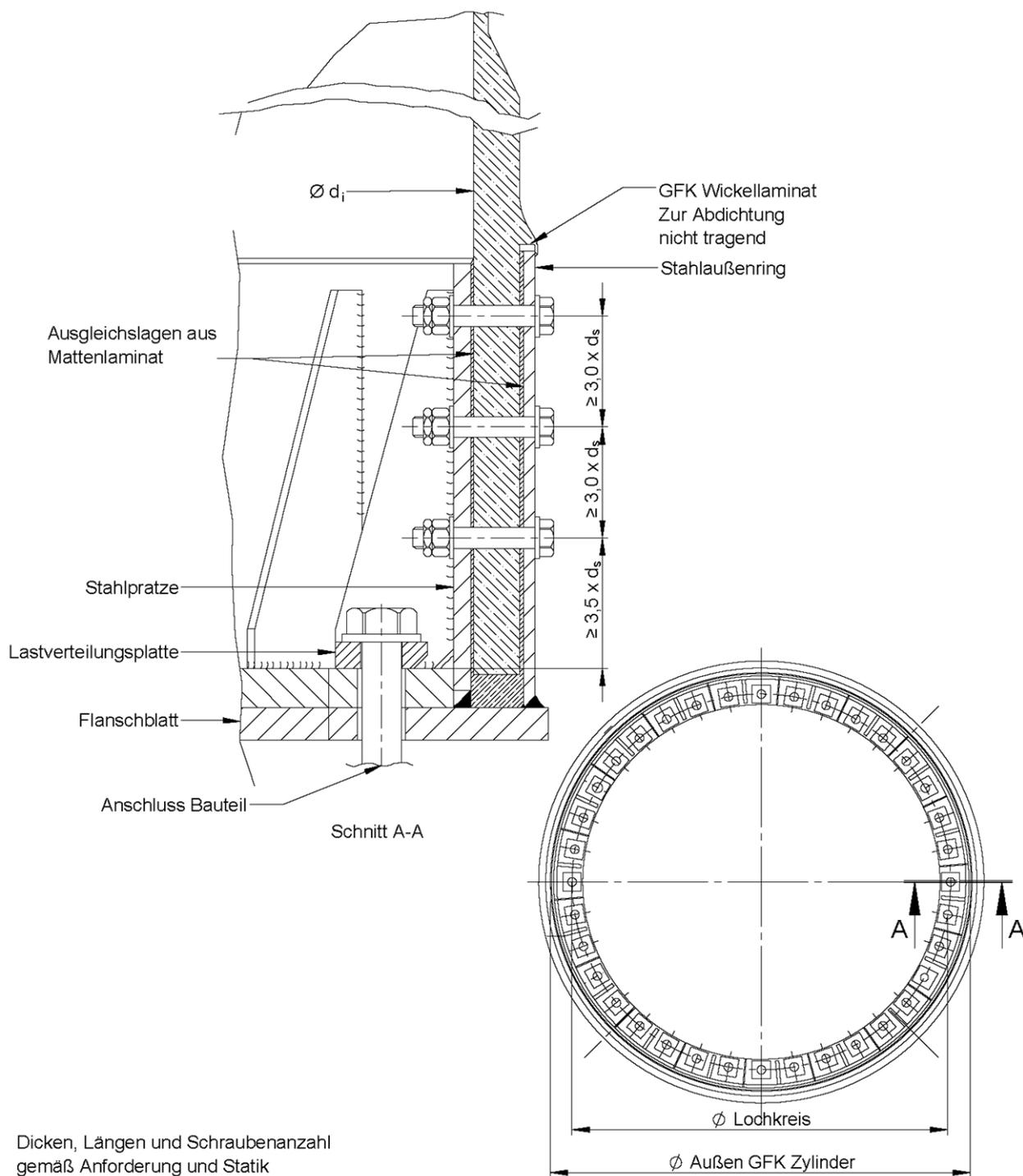
Anlage 1.2.1



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Flansche und Fußpunktanbindungen
GFK-Flansch, außenliegend
Beispielhafte Darstellung

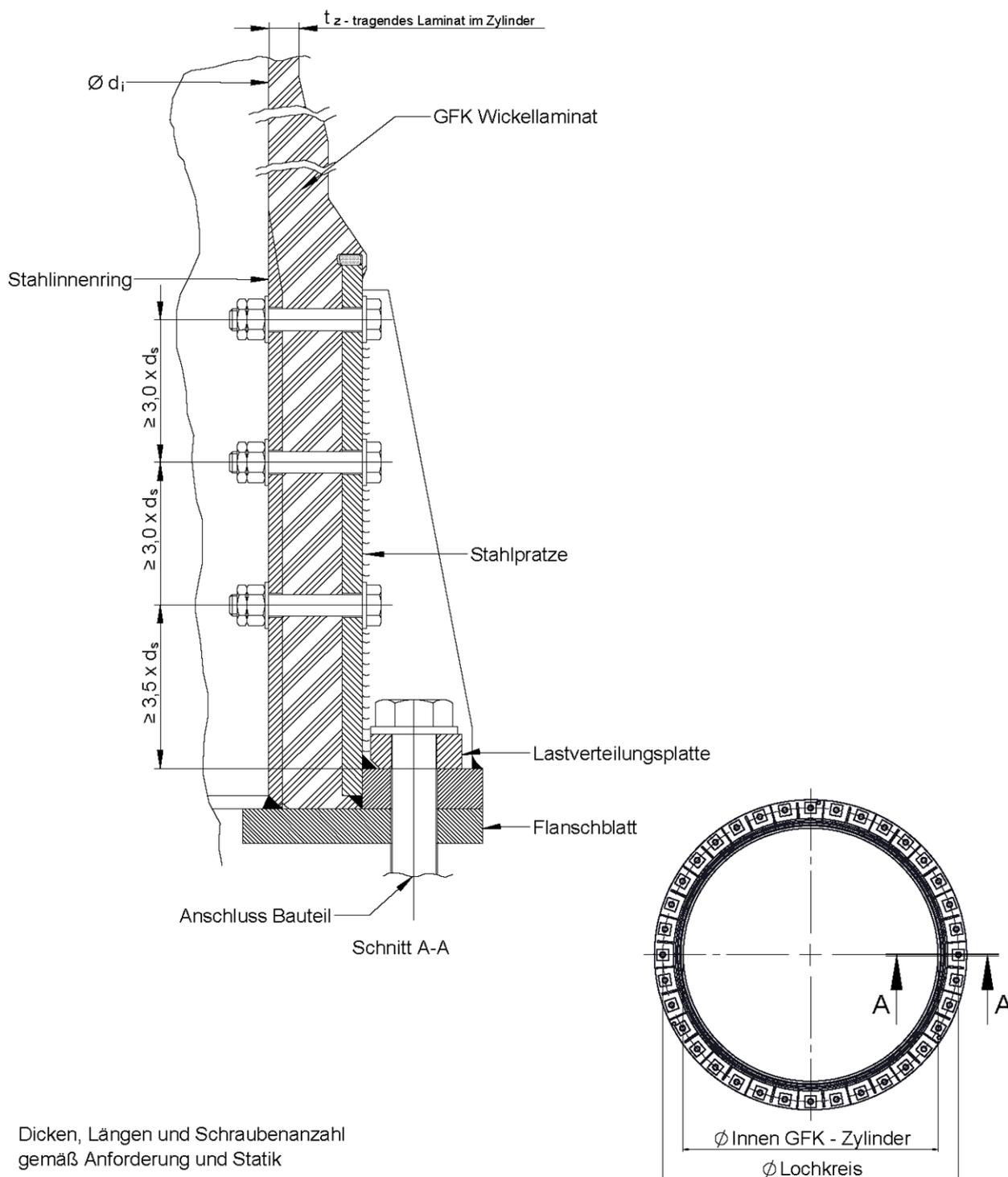
Anlage 1.2.2



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Flansche und Fußpunktanbindungen
 Aufgesetzter Flansch aus Stahl, innenliegend
 Beispielhafte Darstellung

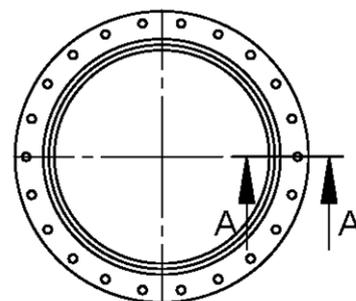
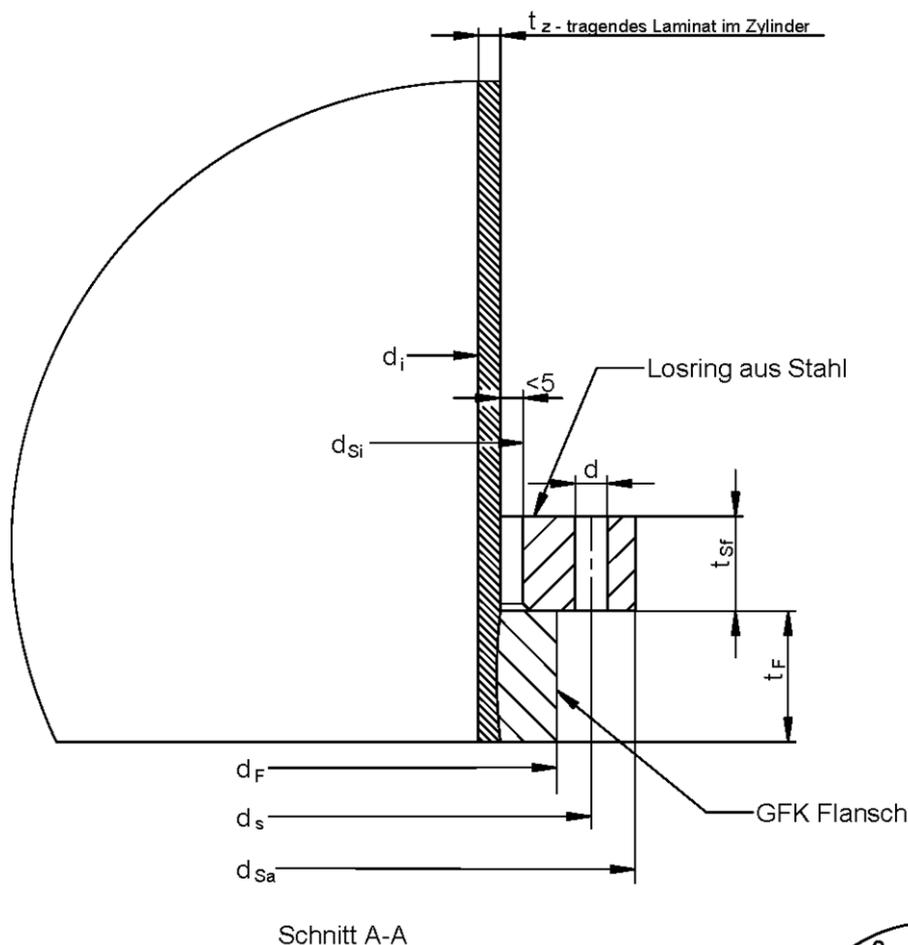
Anlage 1.2.3



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Flansche und Fußpunktanbindungen
Integrierter Flansch aus Stahl, außenliegend
Beispielhafte Darstellung

Anlage 1.2.4



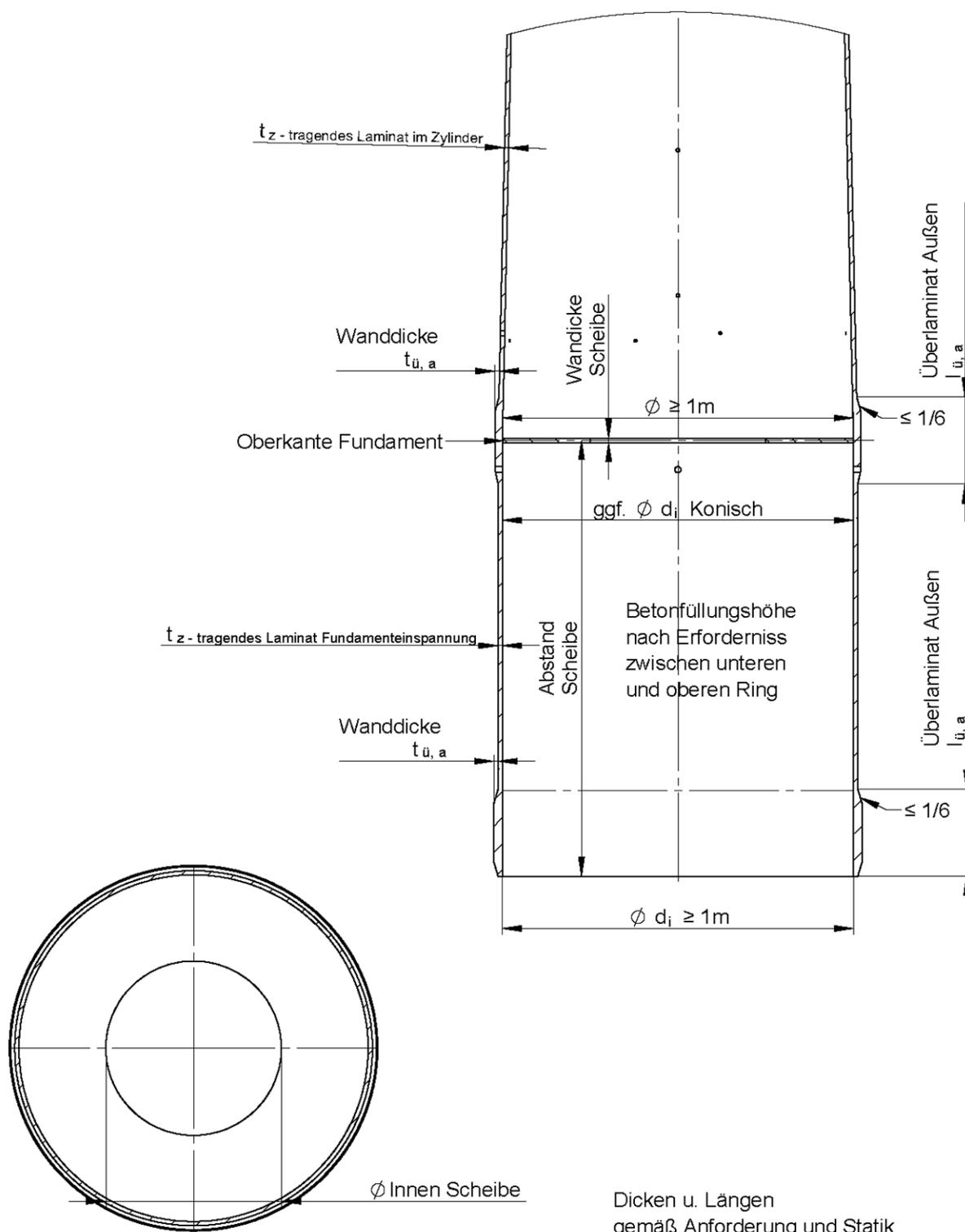
$$d_F - d_{Si} \geq 30\text{mm}$$

Dicken, Längen und Bohrungsanzahl
 und ggf. Stahlring gemäß Anforderung und Statik

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Flansche und Fußpunktanbindungen
 Aufgewickelter Bund aus GFK, außenliegend
 Beispielhafte Darstellung

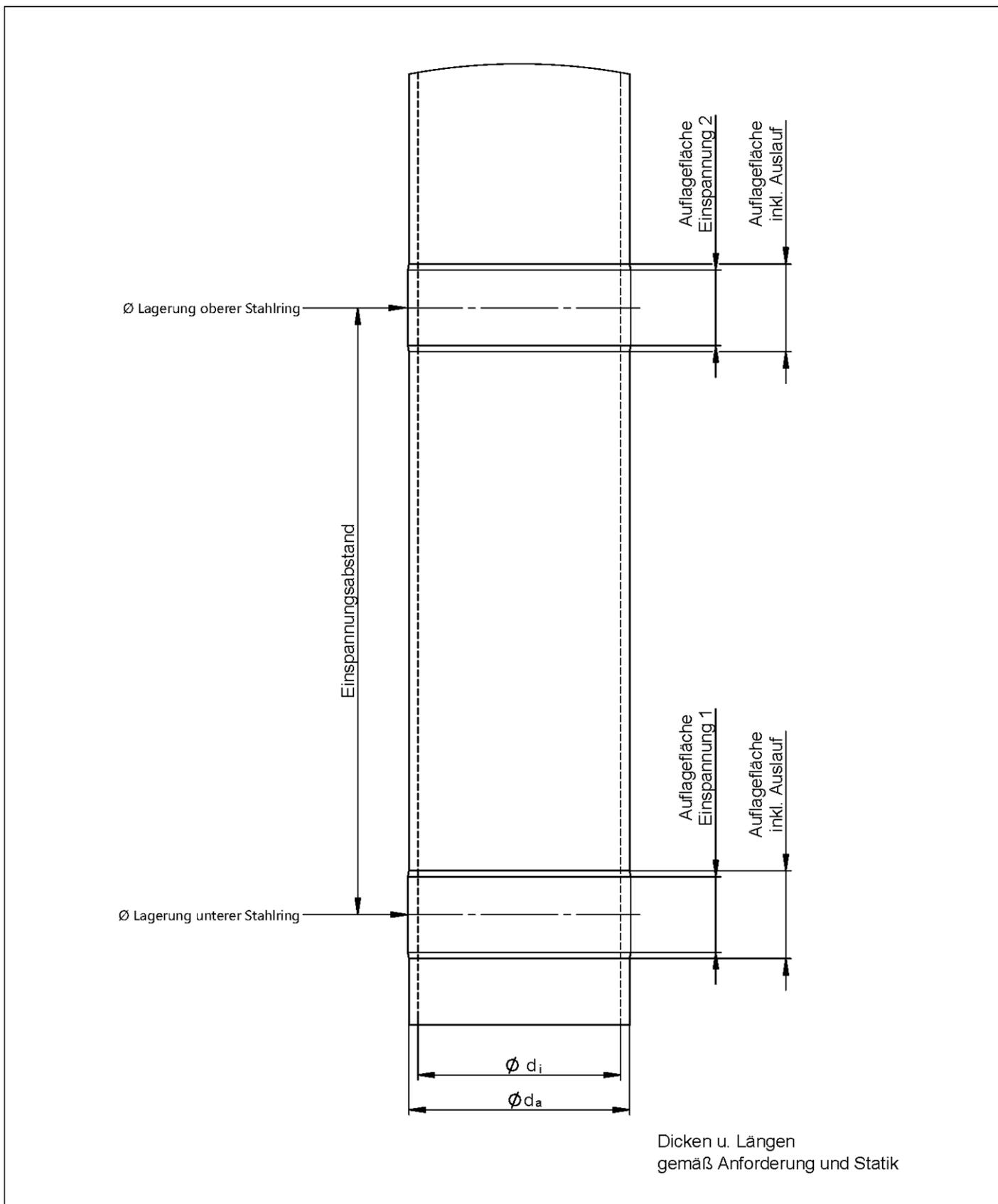
Anlage 1.2.5



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Flansche und Fußpunktanbindungen
GFK-Fußsinnspannung Köcherfundament Beton
Beispielhafte Darstellung

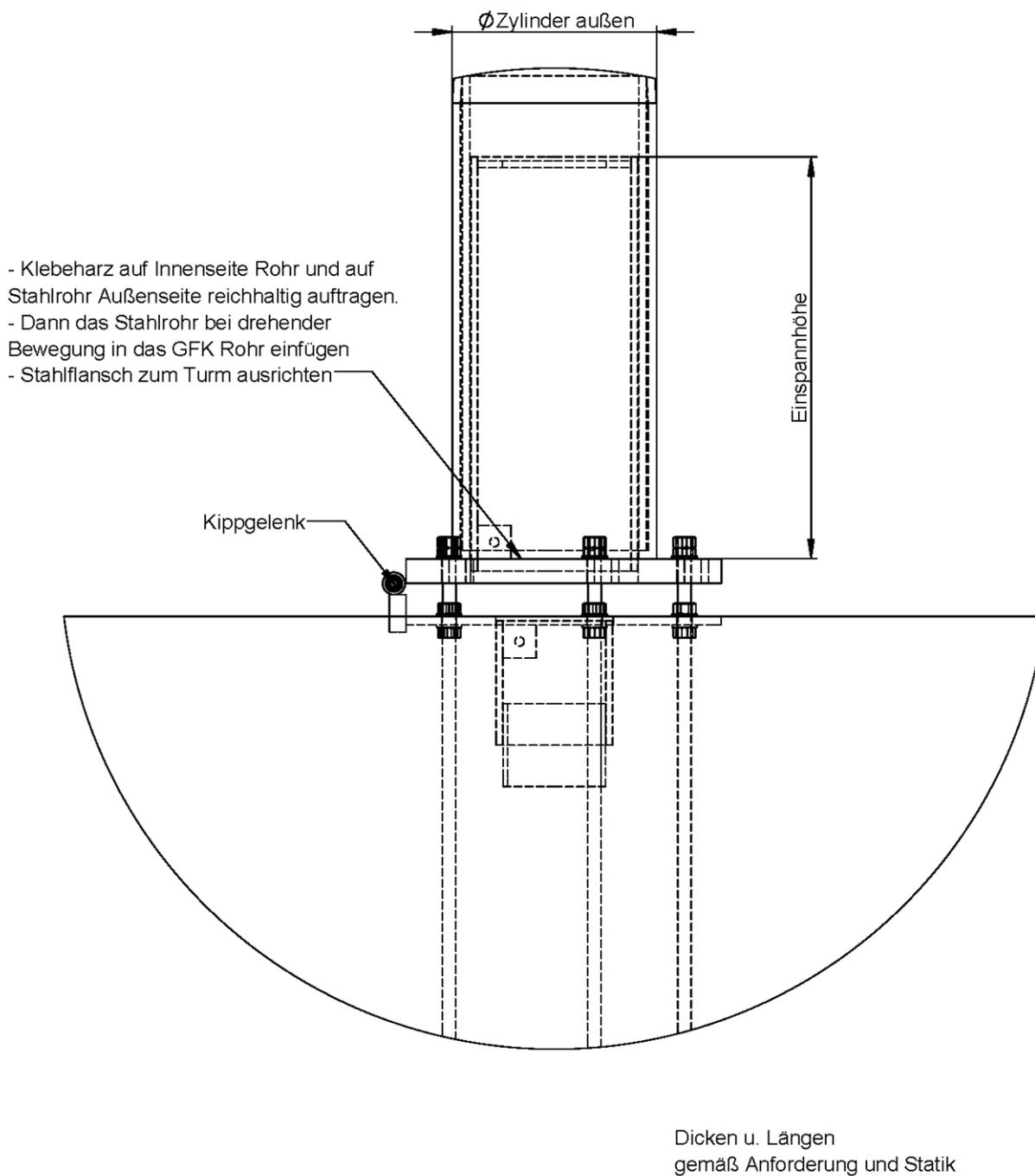
Anlage 1.2.6



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Flansche und Fußpunktanbindungen
 GFK-Fuß einspannung "Köchereinspannung" Stahlkonstruktion
 Beispielhafte Darstellung

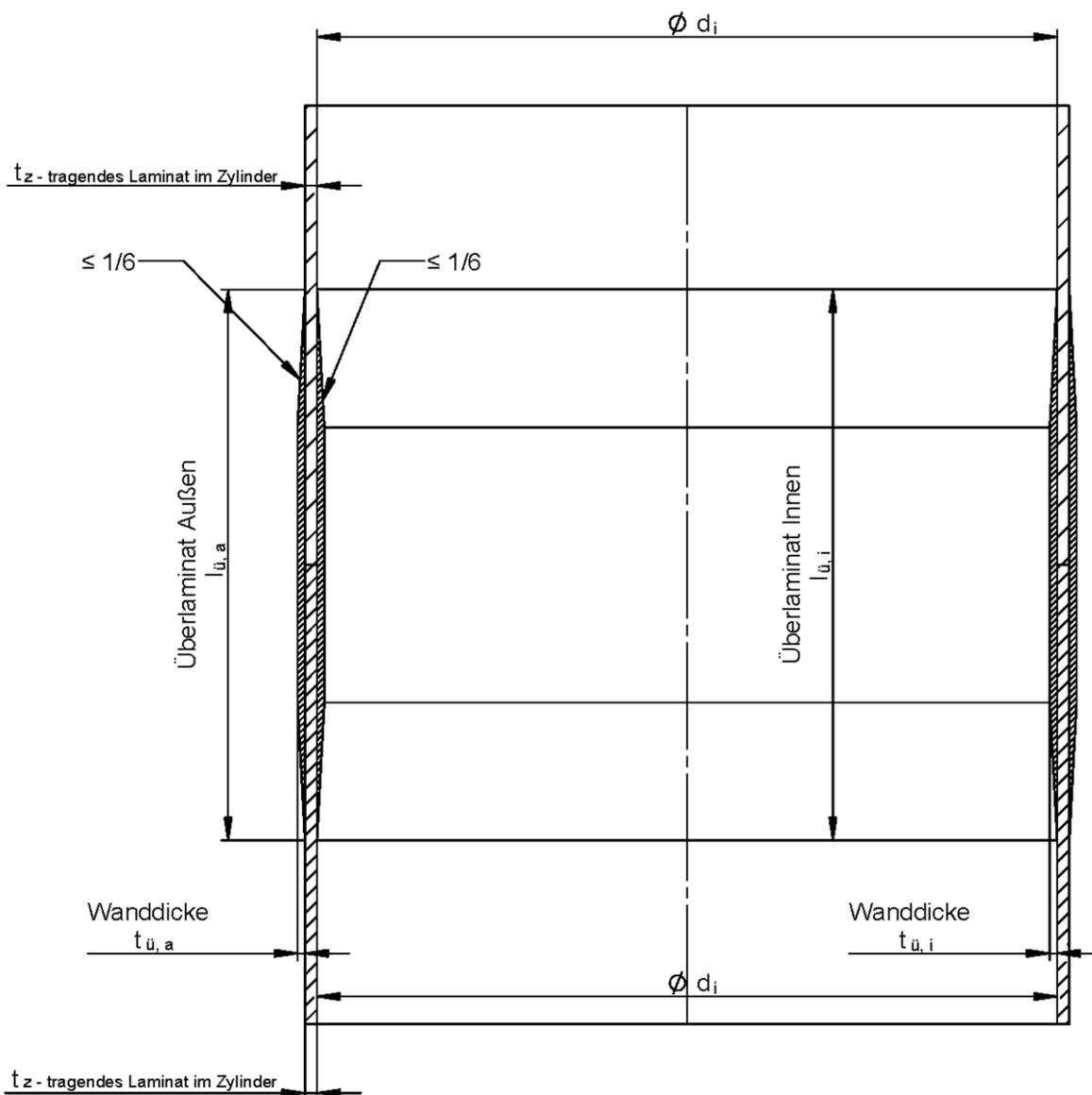
Anlage 1.2.7



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Flansche und Fußpunktanbindungen
 Kippflanschverbindung für Durchmesser $d \leq 500$ mm
 Beispielhafte Darstellung

Anlage 1.2.8



$$t_{\bar{u}} = t_{\bar{u},a} + t_{\bar{u},i}$$

$$t_{\bar{u},i} \geq 0,4 t_{\bar{u}}$$

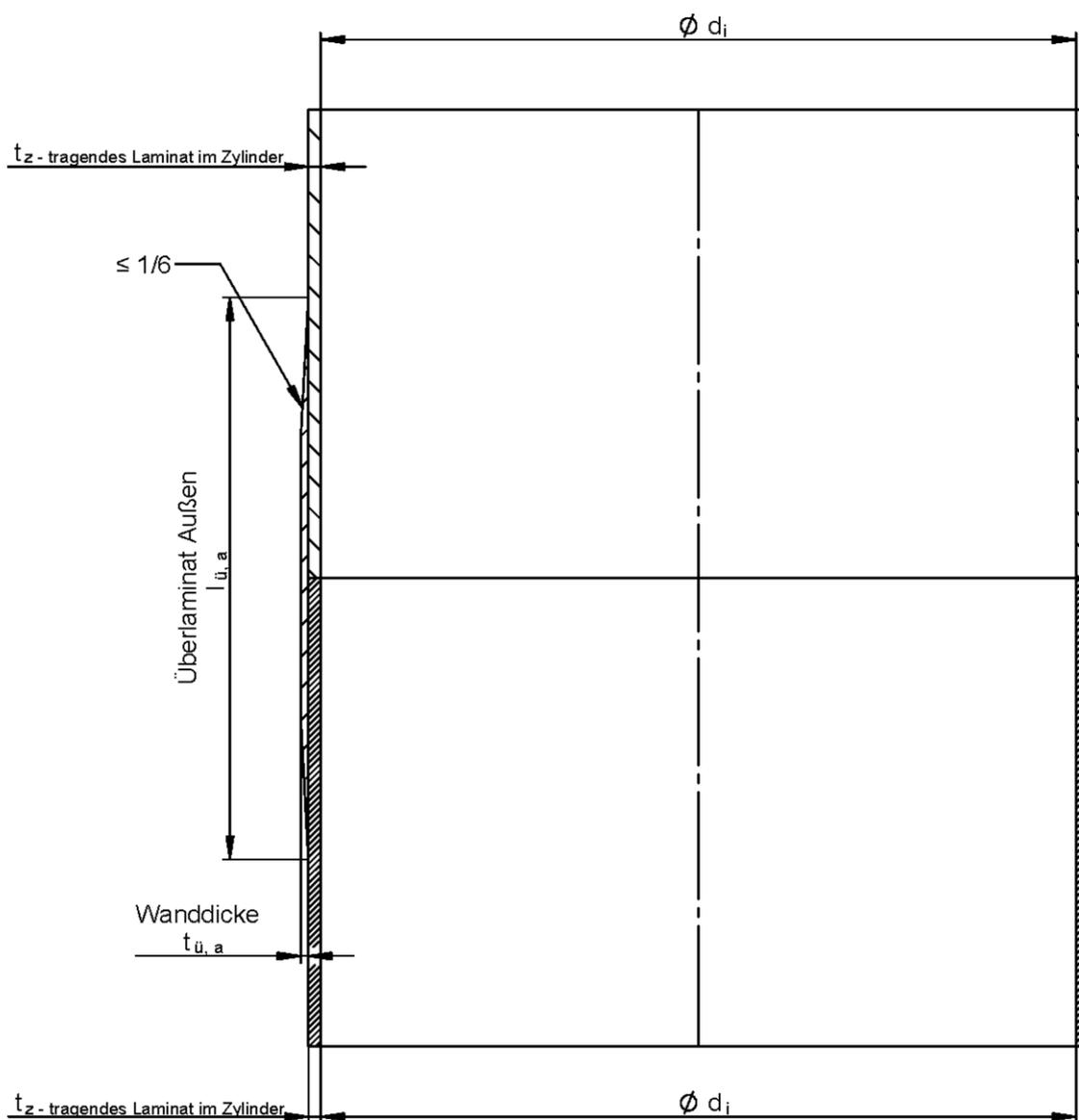
$$l_{\bar{u},i} \sim l_{\bar{u},a}$$

Dicken u. Längen
gemäß Anforderung und Statik

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Feste Verbindungen / GFK-Stöße
Stumpfstoß mit Außenlaminat und Innenlaminat
Beispielhafte Darstellung

Anlage 1.3.1

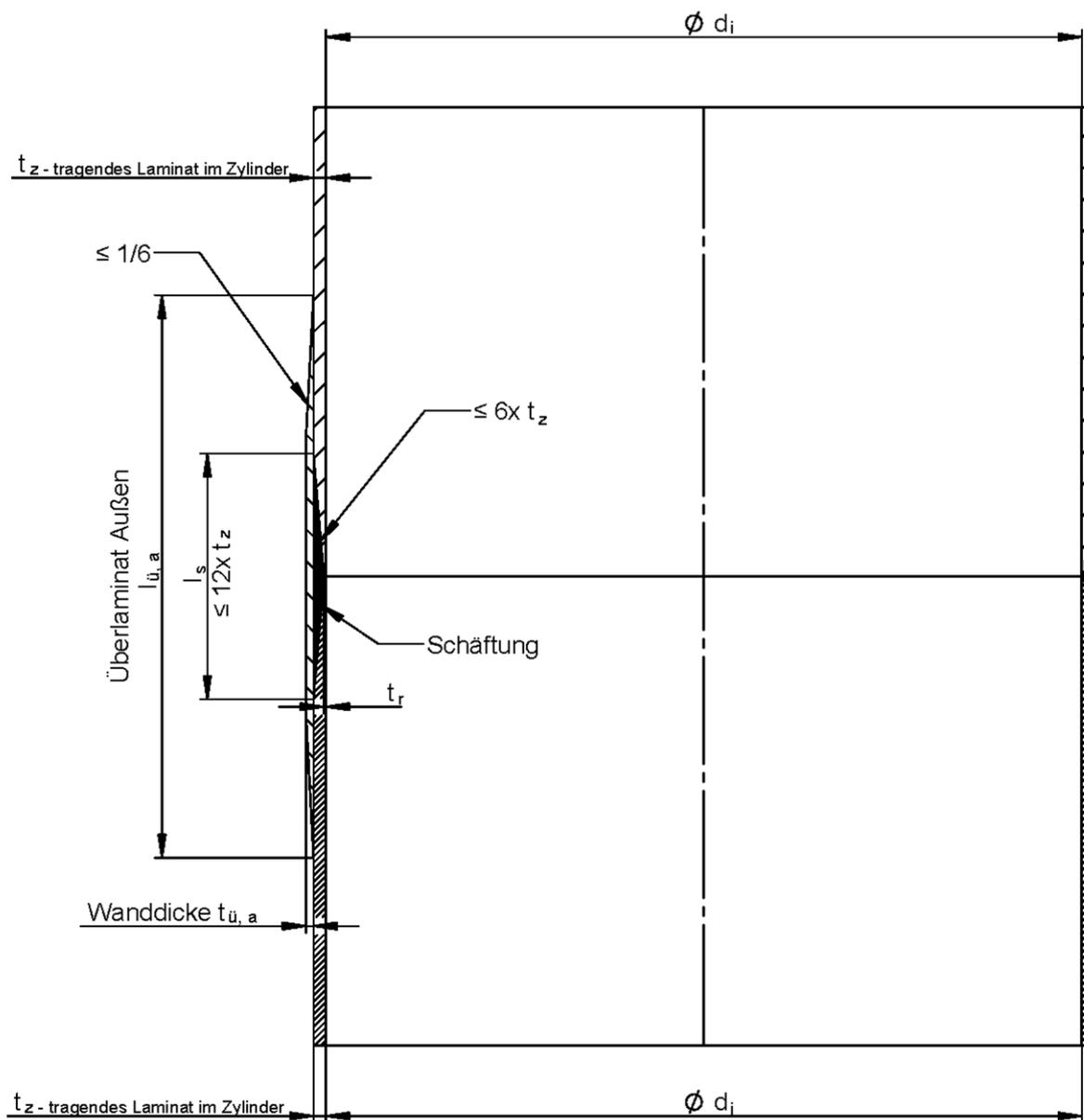


Dicken u. Längen
gemäß Anforderung und Statik

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Feste Verbindungen / GFK-Stöße
Stoß mit Außenlaminat, $d \leq 500$ mm
Beispielhafte Darstellung

Anlage 1.3.2

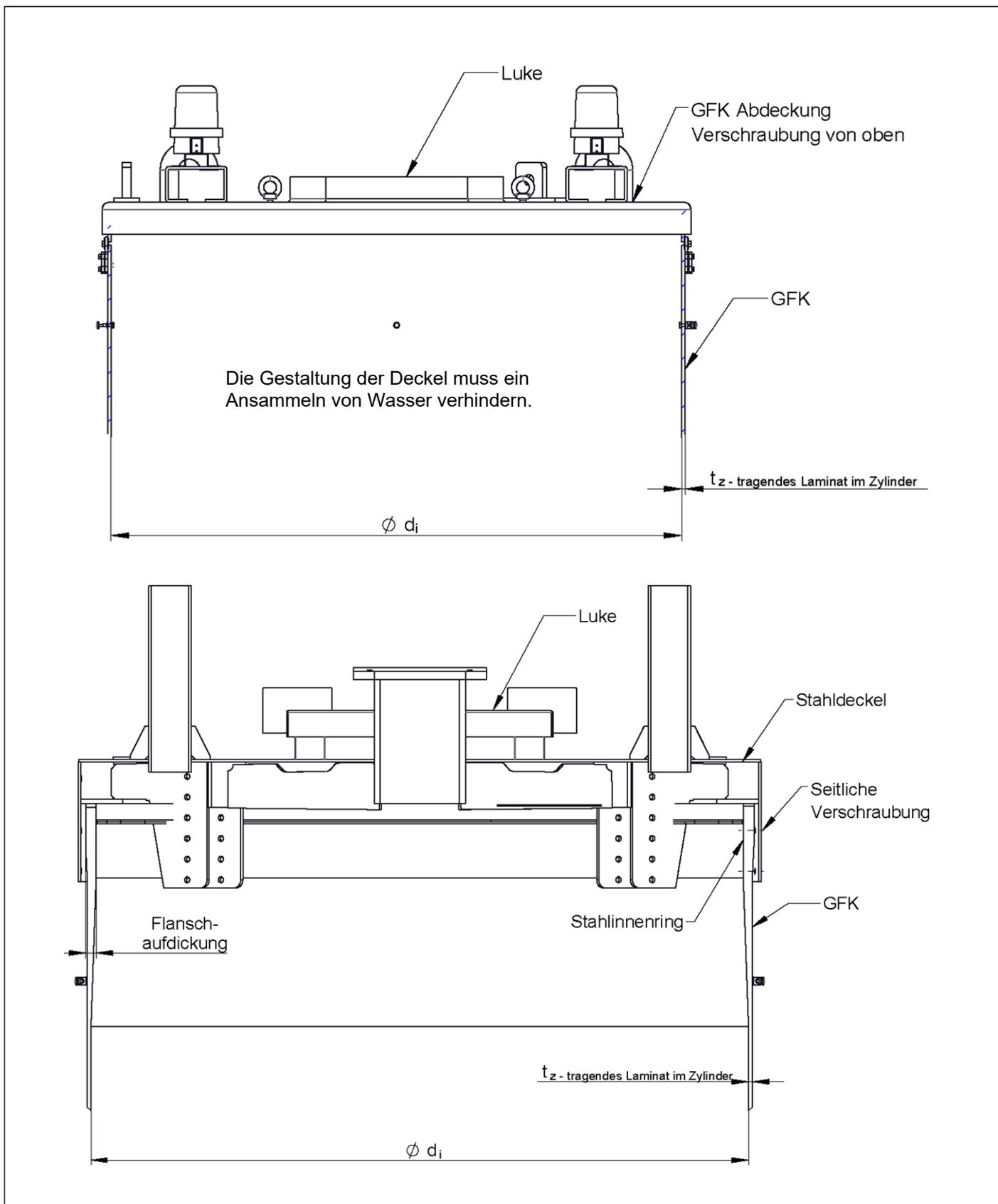


Dicken u. Längen
 gemäß Anforderung und Statik

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Feste Verbindungen / GFK-Stöße
 Stoß mit Schäftung
 Beispielhafte Darstellung

Anlage 1.3.3

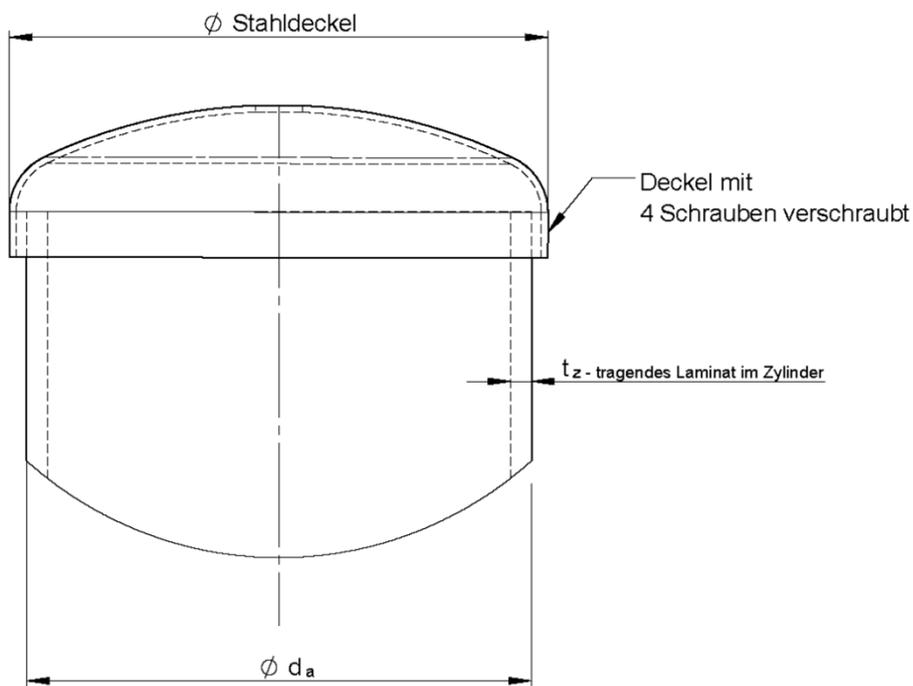
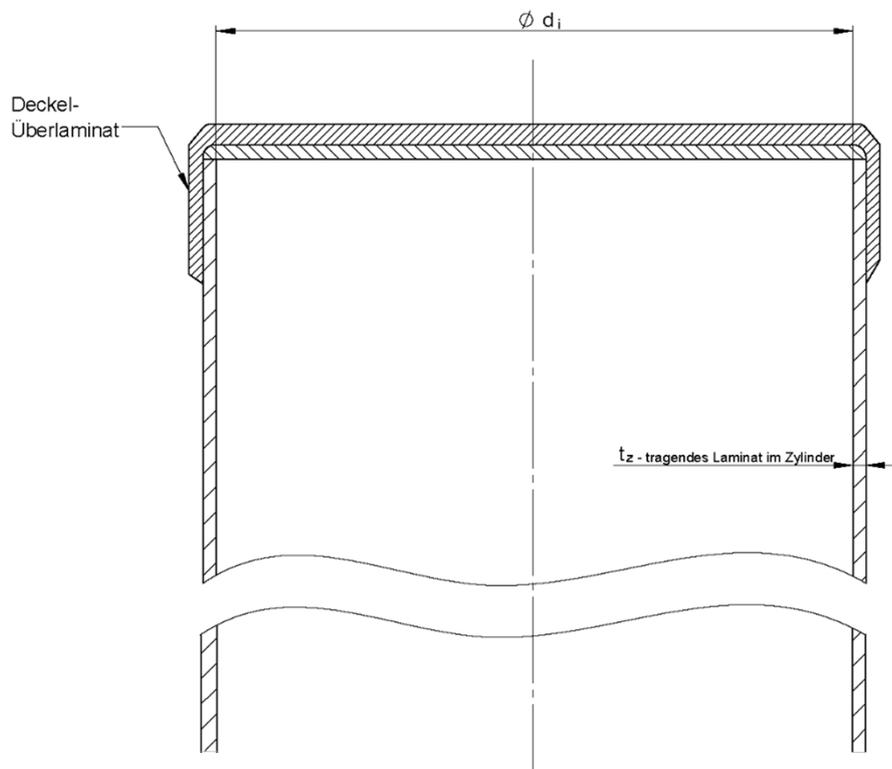


Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Mastabschlüsse
 Deckel aus Stahl oder GFK mit Ausstiegsluke für Durchmesser $d \geq 1000$ mm
 Beispielhafte Darstellung

Anlage 1.4.1

Die Gestaltung der Deckel muss ein Ansammeln von Wasser verhindern.



Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Mastabschlüsse
 Deckel aus Stahl oder GFK für Durchmesser $d \leq 1000$ mm
 Beispielhafte Darstellung

Anlage 1.4.2

Charakteristische Mindestkennwerte der Wickellamine

Baustoffeigenschaften		Quantil-5/75
Zug-E-Modul axial $E_{t,a,k}$	[N/mm ²]	≥ 20 500
Biege-E-Modul axial $E_{b,a,k}$	[N/mm ²]	≥ 20 000
Zug-E-Modul Umfang $E_{t,u,k}$	[N/mm ²]	≥ 19 500
Biege-E-Modul Umfang $E_{b,u,k}$	[N/mm ²]	≥ 19 000
Zugfestigkeit axial $f_{t,a,k}$	[N/mm ²]	≥ 200
Biegefestigkeit axial $f_{b,a,k}$	[N/mm ²]	≥ 240
Zugfestigkeit Umfang $f_{t,u,k}$	[N/mm ²]	≥ 180
Biegefestigkeit Umfang $f_{b,u,k}$	[N/mm ²]	≥ 210
Wärmeausdehnungskoeffizient axial α_a	[1/K]	16·10 ⁻⁶
Wärmeausdehnungskoeffizient Umfang α_u	[1/K]	14·10 ⁻⁶
Faservolumenanteil φ	[%]	≥ 49
Fasermassenanteil M_{Glas}	[%]	≥ 65

Charakteristische Mindestkennwerte der Mischlamine

Baustoffeigenschaften		Quantil-5/75
Zug-E-Modul E_t	[N/mm ²]	≥ 15 000
Biege-E-Modul E_b	[N/mm ²]	≥ 15 000
Tragfähigkeit $f_{t,k} = f_{b,k}$	[N/mm ²]	≥ 200
Wärmeausdehnungskoeffizient α	[1/K]	22·10 ⁻⁶
Faservolumenanteil φ	[%]	≥ 25
Fasermassenanteil M_{Glas}	[%]	≥ 40

Charakteristische Mindestkennwerte der Mattenlamine

Baustoffeigenschaften		Quantil-5/75
Zug-E-Modul E_t	[N/mm ²]	≥ 8 000
Biege-E-Modul E_b	[N/mm ²]	≥ 8 000
Tragfähigkeit $f_{t,k} = f_{b,k}$	[N/mm ²]	≥ 100
Wärmeausdehnungskoeffizient α	[1/K]	33·10 ⁻⁶
Faservolumenanteil φ	[%]	≥ 18
Fasermassenanteil M_{Glas}	[%]	≥ 30

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Charakteristische Mindestkennwerte der Lamine

Anlage 2.1

Allgemeine charakteristische Mindestkennwerte

Allgemeine Kennwerte		Quantil-5/75
Lochleibung $\sigma_{loch,k}$	[N/mm ²]	≥ 150
Laminatschubspannung $\tau_{Lam,k}$	[N/mm ²]	≥ 40
Schubspannung in der Klebung $\tau_{Klebung,k}$	[N/mm ²]	≥ 10
Schällast $n_{\perp,k}$	[N/mm]	≥ 75

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Charakteristische Mindestkennwerte der Lamine

Anlage 2.2

Einflussfaktor A₁

Einfluss der Fertigung auf die Werkstoffeigenschaften A₁ = 1,0

Einflussfaktor A₂

Medieneinfluss A₂ = 1,1

Er gilt auch bei einer Fundamentierung im Köcherfundament.

Einflussfaktor A₃

Temperatureinfluss

– aus direkter Sonneneinstrahlung A₃ = 1,1

– bei anderen Temperaturen $A_3 = 1,0 + 0,4 \cdot \left(\frac{DT - 20}{HDT - 30} \right)$

DT = Auslegungstemperatur in °C

HDT = Wärmeformbeständigkeit des im Traglaminat eingesetzten Harzes in °C, ermittelt nach DIN EN ISO 75-2 Verfahren A

Einflussfaktor A₄

Einfluss der Wechselbeanspruchung A₄ = 1,0

Einflussfaktoren A₅

Einfluss der Lasteinwirkungsdauer, bezogen auf die Festigkeit A₅^f und den E-Modul A₅^E

Laminat	Richtung	A ₅ ^f		A ₅ ^E	
		Dauer der Lasteinwirkung			
		2 · 10 ⁵ h	2 · 10 ³ h	2 · 10 ⁵ h	2 · 10 ³ h
Wickellaminat	axial	1,3	1,2	1,3	1,2
	Umfang	1,4	1,3	1,4	1,3
Mischlaminat		1,5	1,4	1,5	1,4
Mattenlaminat		1,8	1,65	1,9	1,7

Materialsicherheitsbeiwerte γ_M

γ_{MR} für den Nachweis der Tragfähigkeit γ_{MR} = 1,4

γ_{MC} für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit γ_{MC} = 1,0

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen

Einflussfaktoren und Materialsicherheitsbeiwerte

Anlage 2.3

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 1 von 19**

1 Vorbemerkung

Die folgende Regelung zum Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis gilt nur für Maste und Türme aus glasfaserverstärkten Kunststoffen nach der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung/ allgemeinen Bauartgenehmigung Nr. Z-10.9-660.

Die gewählten Bemessungsszenarien müssen alle relevanten Einflüsse berücksichtigen. Einflüsse können dabei sein:

- Eigenlasten des Bauwerks und Nutzlasten aus Anbauten
- Lasten Wind und Eis auf den Mast/Turm und den Anbauten
- Auslegungstemperatur und ggf. Lasten aus Sonneneinstrahlung und Temperaturgefälle im Querschnitt
- Einflüsse aus außermittigen Lasten
- punktuelle Einwirkungen an Auflagern, Ösen und anderen Anbauteilen
- Lastfall Transport und Montage
- Ermüdung

2 Materialkennwerte, Einflussfaktoren und Sicherheitsbeiwerte

Für die Bemessung sind folgende Werte dem Bescheid zu entnehmen:

- charakteristische Baustoffeigenschaften wie Modulwerte, Querkontraktionen, Festigkeitskennwerte nach den Anlagen 2.1 und 2.2
- Einflussfaktoren A_1 bis A_4 , A_5^f und A_5^E sowie die Materialsicherheitsbeiwerte γ_{MR} und γ_{MC} nach Anlage 2.3

Für die Einflussfaktoren A_1 bis A_4 ist eine Unterscheidung in A_1^f und A_1^E nicht erforderlich und es wird deshalb nur A_1 bis A_4 angegeben.

Die Teilsicherheitsbeiwerte γ_F und die Beiwerte ψ für die Berechnung des Bemessungswertes der Einwirkung sind den Technischen Baubestimmungen zu entnehmen.

3 Einwirkungen

3.1 Allgemeines

Da A_5^E und A_5^f von der Dauer der Einwirkungszeit abhängig sind und die Einflussfaktoren A_1 bis A_4 zeitunabhängig und bezogen auf die Festigkeit und den E-Modul gleich sind, sind beim Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit die Lasteinwirkungsdauer bei den einwirkenden Lasten und der Medieneinfluss und die Umgebungstemperatur bei den Bauteilwiderständen zu berücksichtigen.

Bei allen Lasteinleitungen ist eine ausreichende Lastverteilung zur Vermeidung von Spannungsspitzen vorzusehen.

3.2 Eigenlasten

Die Lasten sind entsprechend den Technischen Baubestimmungen anzusetzen.

Das Eigengewicht der GFK-Maste/Türme darf auch über die Dichte $\rho = 1,9 \text{ kg/dm}^3$ errechnet werden. Lasten aus Anbauteilen wie z. B. angebrachte Antennen im Außen- sowie Innenbereich, Parabolspiegel und Lasten aus Leitungen und Kabeln (Freileitungsmaste) sind nach Herstellerangaben anzusetzen.

Dauer der Lasteinwirkung: ständig

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 2 von 19**

3.3 Windlasten

Die Lasten sind entsprechend den Technischen Baubestimmungen anzusetzen.

Dauer der Lasteinwirkung: sehr kurz

Windlasten aus Anbauten sind den Herstellerangaben zu entnehmen.

3.4 Schnee- und Eislasten

Die Lasten sind entsprechend den Technischen Baubestimmungen anzusetzen. Eislasten und kombinierte Einwirkungen aus Eis und Wind sind in der DIN EN 1993-3-1/NA:2015-11, Anhang NA.C (DIN EN 1993-3-1:2010-12, Abschnitt 2.3.2) geregelt.

Dauer der Lasteinwirkung: mittel

Die Schneelastdauer im norddeutschen Tiefland als außergewöhnliche Einwirkung ist mit einer Woche anzusetzen: kurz

3.5 Temperatureinwirkungen

Betriebstemperaturen (Auslegungstemperatur DT) sind vom Betreiber verbindlich anzugeben. Als maßgebende Temperatur ist die Betriebstemperatur mit mindestens 30 °C anzusetzen.

Dauer der Einwirkung: ständig

Die Lastfälle "Sonneneinstrahlung" und "Temperaturgefälle im Mastquerschnitt" sind entsprechend den örtlichen Gegebenheiten ggf. zusätzlich nachzuweisen.

Ist ein Nachweis erforderlich, muss mindestens eine Temperaturdifferenz von 20 K angesetzt werden. Das Temperaturgefälle kann linear über den Profilquerschnitt, Schattenseite bis zum Punkt der Sonneneinstrahlung, angenommen werden.

Dauer der Einwirkung: kurz

3.6 Nutzlasten (veränderliche Lasten; maximal aus Personen)

Die Lasten sind entsprechend den Technischen Baubestimmungen anzusetzen.

Dauer der Lasteinwirkung: kurz

3.7 Maste für Freileitungen

Bei Masten für Freileitungen sind zusätzlich anzusetzen:

- Resultierende horizontale Kraft aus Leiterzug (Nutzzug)
- Wind- und Eislasten auf den Leiterzug auf der Grundlage der DIN EN 50341-2-4 (VDE 0210-2-4):2019-09

4 Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

4.1 Allgemeines

Es sind die Kennwerte gemäß Bescheid, Anlagen 2.1 bis 2.3 anzusetzen.

Die Ermittlung der Schnittkräfte erfolgt mit dem linear-elastischen Werkstoffgesetz mit der Balkentheorie. Bei großen schlanken Bauwerken, wenn $H/D \geq 20$ ist, ist eine Ermittlung der Schnittkräfte nach Theorie II.-Ordnung durchzuführen.

Exzentrische Lasteinleitungen und Imperfektionen sind so anzusetzen, dass sich daraus ungünstigere Auswirkungen ergeben (d. h. der planmäßigen Exzentrizität nicht entgegenwirken).

Die charakteristischen Einwirkungen $E_{k,i}$ sind durch Multiplikation mit den Einflussfaktoren A_5 und den Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_{F,i}$ unter Berücksichtigung des Beiwertes ψ zu erhöhen; es gelten die Kombinationsregeln der Norm DIN EN 1990. Das Nachweisverfahren ist in der DIN EN 13121-3:2016-10, Abschnitt 9.3 dargelegt.

$$E_{d,i} = E_{k,i} \cdot \gamma_{F,i} \cdot A_5^f \quad \text{oder} \quad E_{d,i} = E_{k,i} \cdot \gamma_{F,i} \cdot A_5^E \quad (3.1)$$

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 3 von 19**

E_d = Bemessungswert der Einwirkung

4.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit

4.2.1 Allgemeines

Für die Einflussfaktoren A_1 bis A_5 sind die Werte des Bescheides anzusetzen.

Das Produkt der Einflussfaktoren für "ständig" wirkende Lasten ist bei den Festigkeitsnachweisen und den Nachweisen nach Theorie II.-Ordnung:

$$A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \geq 1,75 / A_5^f \quad (3.2)$$

Bei Nichteinhaltung der Bedingung ist der Faktor A_5^f entsprechend zu erhöhen.

Für Stabilitätsnachweise und für den Nachweis lineares Beulen gilt:

$$A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \geq 1,35 \quad (3.3)$$

Die charakteristischen Werte der Bauteilwiderstände R_k sind durch Division mit den Einflussfaktoren A_1 bis A_4 und dem Materialsicherheitsbeiwert γ_{MR} zu verringern.

Es ist der Nachweis

$$E_d \leq R_d \quad (3.4)$$

$$R_d = R_k / (A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_{MR}) \quad (3.5)$$

zu führen.

Für die Ermittlung des Bemessungswertes des Bauteilwiderstandes R_d sind die Gleichungen (3.2) und (3.3) zu beachten.

Der Teilsicherheitsbeiwert ist mit $\gamma_{MR} \geq 1,40$ anzusetzen.

4.2.2 Festigkeitsnachweise

Für den Nachweis einer Beanspruchung unter Belastung aus Normalkräften, Biegung infolge Querkraft, exzentrischer Normalkrafteinleitung und/oder Moment sind die Normalspannungen σ_x und die Schubspannungen τ zu bestimmen. Die Ausnutzungsgrade der Einwirkungen sind quadratisch zu überlagern.

Folgende Bedingungen sind einzuhalten:

$$\frac{\sigma_{Ed}}{\sigma_{Rd}} = \frac{n_{Ed}}{n_{Rd}} \leq 1,0 \quad \text{und} \quad \frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd}} \leq 1,0 \quad \text{sowie} \quad \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{xy,Ed}}{\tau_{Rd}}\right)^2} \leq 1,0 \quad (3.6 \text{ bis } 3.8)$$

Treten Torsionsbelastungen auf, so muss folgende Bedingung erfüllt werden:

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\sigma_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{xy,Ed}}{\tau_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{tor,Ed}}{\tau_{tor,Rd}}\right)^2} \leq 1,0 \quad (3.9)$$

4.2.3 Stabilitätsnachweise

Die Stabilitätsnachweise infolge axialer und/oder radialer Drucklasten sind nach DIN EN 13121-3:2016-10, Abschnitt 10.3 zu führen.

Es gilt:

$$\frac{n_{x,d}}{\gamma_{MR} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \leq 1,0 \quad (3.10)$$

4.3 Nachweis der Grenzdehnung

Der Nachweis der Grenzdehnung ist für die Tragfähigkeit zu führen, um sicher zu stellen, dass der Einflussfaktor $A_4 = 1,0$ ist.

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 4 von 19**

Der Nachweis ist zu führen mit

- den Teilsicherheitsbeiwerten der betrachteten Einwirkungen $\gamma_F = 1,0$,
- dem Materialsicherheitsbeiwert $\gamma_{MC} = 1,0$ und
- $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = A_5^f = 1,0$.

Für den Dehnungsnachweis gilt:

$$\frac{\sigma_d}{E_m} \leq \varepsilon_{\text{grenz}} \quad (3.11)$$

Hier ist:

E_m = Mittelwert des zugehörigen E-Moduls

Für die Ermittlung des Mittelwertes darf der im Bescheid aufgeführte charakteristische Wert mit 1,1 multipliziert werden.

Folgende Bemessungsgrenzwerte der Dehnung dürfen nicht überschritten werden:

Tabelle 3.1: Grenzdehnungen (Bemessungswerte)

Laminat	Baustoffeigenschaften	Bemessungswerte der Grenzdehnung [%]
Wickellaminat	Zug axial ε_{tx}	0,30
	Zug Umfang ε_{ty}	0,30
Mischlaminat	Zug ε_t	0,25
Mattenlaminat	Zug ε_t	0,30

4.4 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit, Verformung

Der Nachweis der Verformung ist im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit zu führen mit

- den Teilsicherheitsbeiwerten der betrachteten Einwirkungen $\gamma_F = 1,0$,
- dem Materialsicherheitsbeiwert $\gamma_{MC} = 1,0$ und
- den Einflussfaktoren A_5^E, A_1 bis A_4 entsprechend Anlage 2.3.

Vereinfacht können die linear-elastisch ermittelten Verformungen mit dem Einflussfaktor A_5^E (zur Erfassung des Kriechens) multipliziert werden.

Für den Nachweis der Verformung sind für die einzelnen Abschnitte folgende Steifigkeiten anzusetzen:

$$(E_i \cdot I_i)_{d, \text{kurz}} = \frac{(E_i \cdot I_i)_k}{\gamma_{MC} \cdot A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4} \quad (3.12)$$

a) für die Anfangsverformung ist $E_d = \sum (\gamma_{F,i} \cdot E_{k,i}) \quad (3.13)$

b) für die Endverformung ist $E_d = \sum (\gamma_{F,i} \cdot A_{5,j}^E \cdot E_{k,i}) \quad (3.14)$

Die ggf. vorgegebene Anforderung der Mastverformung ist einzuhalten.

4.5 Tragfähigkeitsnachweis der Verbindungslamine

Der Nachweis der Verbindungslamine erfolgt nach DIN EN 13121-3:2016-10, Abschnitt 10.7.

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 5 von 19**

4.6 Öffnungen im Schaft

Ausschnitte mit Pflasterverstärkung sind bis maximal $d_A = 0,8 \cdot R$, aber nicht größer als 1000 mm Breite erlaubt. Die folgenden Nachweise gelten für Ausschnitte bis maximal $d_A = 0,8 \cdot R$. Für größerer Ausschnitte sind für die Randaussteifungen besondere Überlegungen anzustellen.

R = Radius der Schale des Grundkörpers an der Stelle des Ausschnittes

t_z = Dicke der Schale

d_A = Durchmesser bzw. Breite des Ausschnittes

h_A = Höhe des Ausschnittes

A_A = Restquerschnitt der Schale

W_A = Widerstandsmoment des Restquerschnittes der Schale

α_A = halber Öffnungswinkel des Ausschnittes in Umfangsrichtung

N_i = Normalkraft an der Stelle der Öffnung

M_i = Moment an der Stelle der Öffnung

4.6.1 Tragfähigkeit im Bereich der Öffnung

Die Bemessung der Ausschnitte wird in Anlehnung an DIN EN 13121-3 durchgeführt. Die Beanspruchungen sind neben der Öffnung um den Faktor $1/v_A$ größer.

$$\begin{aligned} \text{Breite des Verstärkungslaminates} \quad l_{\bar{u}} &= \sqrt{2 \cdot R \cdot t_A} & (3.15) \\ l_{\bar{u}} &= 100 \text{ mm für } d_A \leq 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

Für Ausschnitte im Zylinder gilt mit

$t_{\bar{u}}$ = Dicke des Verstärkungs-/Überlaminates, Index a außen, Index i innen

$t_A = t_z + t_{\bar{u}} \cdot E_{\bar{u}t} / E_{xt}$ Dicke im Verstärkungsbereich

$t_A = t_z + (t_{\bar{u}a} + t_{\bar{u}i}) \cdot E_{\bar{u}t} / E_{xt}$ wenn $t_{\bar{u}i} \geq 0,6 \cdot t_{\bar{u}a}$ und $l_{\bar{u}i} = l_{\bar{u}a}$ (3.16)

$E_{\bar{u}t}$ = Zugmodul des Überlaminates

E_{xt} = Zugmodul der Schale in x-Richtung

$$n_{xA,Ed} = \frac{n_{x,Ed}}{v_A} \quad (3.17)$$

$n_{x,Ed}$ = einwirkende Last in x-Richtung

$n_{xA,Ed}$ = einwirkende Last in x-Richtung an der Öffnung

mit dem Verschwächungsbeiwert

$$v_A = \frac{1}{1,5 \cdot \left(1 + \frac{d_A}{2 \cdot \sqrt{2 \cdot R \cdot t_A}}\right)} \quad (3.18)$$

Festigkeitsnachweis:

$$\frac{n_{xA,Ed}}{n_{R,d} + n_{\bar{u}R,d}} \leq 1 \quad (3.19)$$

$n_{\bar{u}R,d}$ = Bemessungsschnittlast des Verstärkungslaminates

Grenzdehnungsnachweis:

$$\epsilon_x = \frac{n_{xA,Ed,\epsilon}}{1,1 \cdot (E_{xt} \cdot t_z + E_{\bar{u}t} \cdot t_{\bar{u}})} \leq \epsilon_{\text{grenz}} \quad (3.20)$$

$n_{xA,Ed,\epsilon}$ = einwirkende Last mit $\gamma_F = 1$

$E_{xt} \cdot t_z$ = Dehnsteifigkeit der Schale (Zylinder)

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 6 von 19**

$E_{\text{üt}} \cdot t_{\text{ü}}$ = Dehnsteifigkeit des Verstärkungslaminates

4.6.2 Stabilitätsnachweis für Öffnungsränder

Der Stabilitätsnachweis für Öffnungsränder in zylindrischen Körpern kann wie folgt geführt werden

$$n_{\text{cr}} = k \cdot \sqrt{E_{\text{yb}} \cdot E_{\text{xt}}} \cdot \frac{t_z^2}{R} \qquad n_{\text{cr,d}} = \frac{n_{\text{cr}}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_M} \qquad (3.21)$$

mit

$$k = \frac{0,39}{\sqrt{1 + \frac{R}{100 \cdot t_z}}} \qquad \text{für } \frac{d_A}{\sqrt{R \cdot t_z}} \leq 3,5 \qquad (3.22)$$

$$k = \frac{0,27}{\sqrt{1 + \frac{R}{100 \cdot t_z}}} \qquad \text{für } \frac{d_A}{\sqrt{R \cdot t_z}} > 3,5 \qquad (3.23)$$

Nachweis:

$$\left[\frac{\sum(N_{\text{Ed},i})}{A_A} + \frac{\sum(M_{\text{Ed},i} + N_{\text{Ed},i} \cdot e_A)}{W_A} \right] \cdot \frac{t_z}{n_{\text{cr,d}}} \leq 1 \qquad (3.24)$$

mit $N_{\text{Ed},i}$ und $M_{\text{Ed},i}$ als den einwirkenden Belastungen an der Stelle der Öffnung. Vernachlässigt man die Verstärkung des Öffnungsrandes, so gilt:

$$A_A = 2 \cdot R \cdot t_z \cdot (\pi - \alpha_A) \qquad (3.25)$$

$$W_A = \frac{R^3 \cdot t_z \cdot [\pi - \alpha_A - 0,5 \cdot \sin 2\alpha_A] - A_A \cdot e_A^2}{e_A + R \cdot \cos \alpha_A} \qquad (3.26)$$

mit $\alpha_A = \arcsin\left(\frac{d_A}{2 \cdot R}\right)$ und $e_A = \frac{R \cdot \sin \alpha_A}{\pi - \alpha_A}$ (3.27)

Wird der Ausschnitt entsprechend Bild 3.1 ausgeführt und beträgt das Flächenträgheitsmoment des Restquerschnittes einschließlich der Steifen dem 0,9-fachen der Steifigkeit des ungestörten Querschnittes, so muss keine Abminderung bei den k-Werten vorgenommen werden. Der obere Ring oder Teilring ist nur bei hohem h_A erforderlich. Die Breite b_{St} sollte $\leq 0,25 \cdot d_A$ sein.

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Anlage 3
Blatt 7 von 19

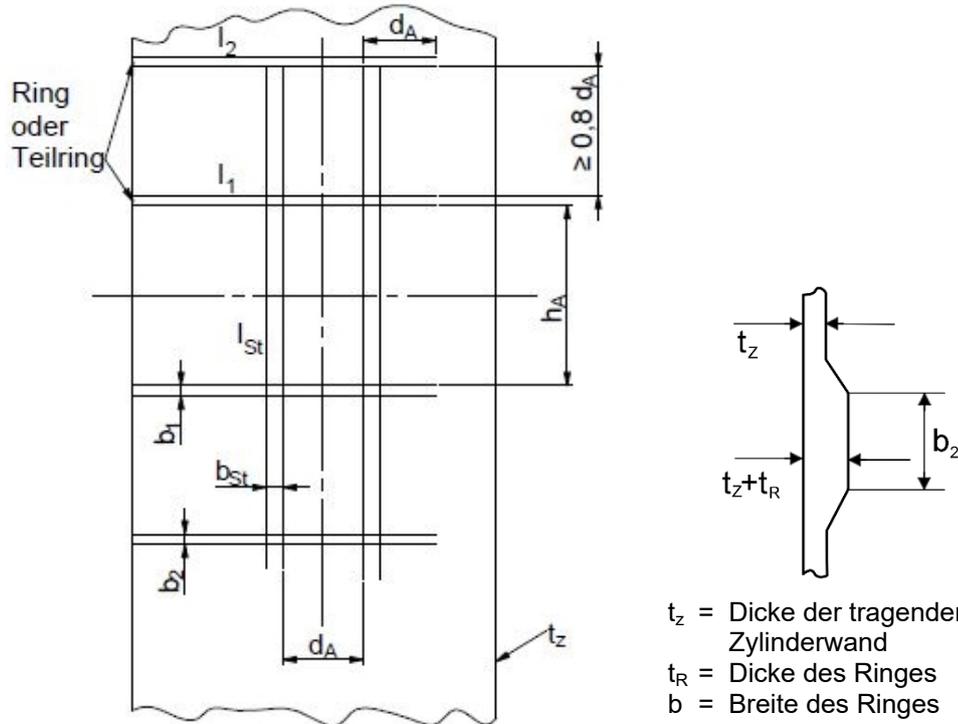


Bild 3.1: Aussteifung von großen Öffnungen

vertikale Randversteifung:

$$\text{erf } I_{St} \geq \frac{\alpha_A}{\pi^3} \cdot \frac{(\beta_A \cdot h_A)^2}{\left(\frac{E_{bSt}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_M} \right)} \cdot \left(\frac{N_{d,I}}{2} + \frac{M_{d,I}}{R} \right) \geq \frac{d_A \cdot t_z^3}{24} \quad (3.28)$$

oder die erforderliche Biegesteifigkeit der Randversteifung:

$$\text{erf } (I_{St} \cdot E_{bSt}) \geq \frac{\alpha_A}{\pi^3} \cdot (A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_M) \cdot (\beta_A \cdot h_A)^2 \cdot \left(\frac{N_{d,I}}{2} + \frac{M_{d,I}}{R} \right) \geq \frac{d_A \cdot t_z^3}{24} \quad (3.29)$$

I_{St} = Trägheitsmoment der Steife

E_{bSt} = Biege-E-Modul der Steife

β_A = Knickbeiwert, für $R \leq 2000$ mm ist 0,5 anzusetzen und für $R = 8000$ mm 0,7.
Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Ringversteifung 1:

$$l_1 \geq 0,2 \cdot \text{erf } I_{St} \quad t_R \geq t_z \quad (3.30)$$

$$150 \text{ mm} \leq b_1 \leq 250 \text{ mm}$$

Ringversteifung 2:

$$l_2 \text{ aus } b_1 > 150 \text{ mm} \quad t_R \geq t_z$$

4.7 Tragfähigkeitsnachweis der Flansche

Bei allen Flanschverbindungen mit einem fest anlamierten Flansch wird grundsätzlich ein Stahling als „Unterlegscheibe“ angeordnet.

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 8 von 19**

Für die Nachweise der Flansche bei den Masten mit einem Nenndurchmesser von $d \leq 800$ mm werden die Regeln des Abschnittes 11 der DIN EN 13121-3:2016-10 angewendet.

Die Bemessung der Bunde bei einer Losflanschverbindung erfolgt nach DIN EN 13121-3:2016-10, Abschnitt 11.

Flanschverbindungen aus GFK bei größeren Durchmessern, $d \geq 800$ mm, werden mit den unten aufgeführten Bemessungsregeln bemessen, da sie sich seit vielen Jahren für diese Art der Flanchanbindung bewährt haben. Durch den immer vorhandenen Stahlring auf dem Flanschblatt bei Flanschen aus GFK und die gleichbleibende Dicke im Flanschblatt wie auch im aufgehenden Schaft, siehe Bild 3.3, kann die Bemessung wie dargestellt, durchgeführt werden.

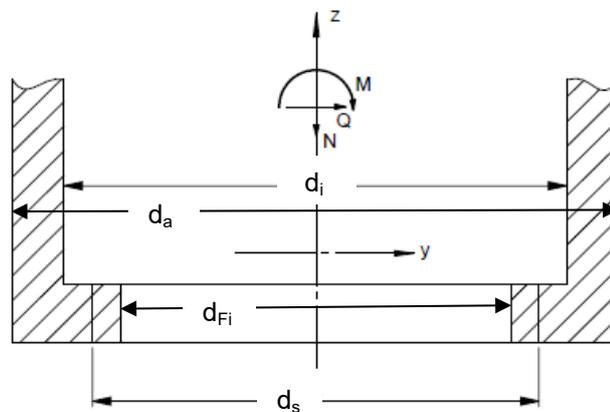


Bild 3.2: Flanschbelastung und Abmessungen

Mit den Abmessungen t_F , h_{F1} , $b_F = (d_a - d_{Fi}) / 2$ (Bilder 3.2 und 3.3) und den Koordinaten des Flanschschwerpunktes y_s , x_s , bezogen auf die Außenkante und den Fußpunkt des Querschnittes, können die Flächenträgheitsmomente J_y , J_z und der Drillwiderstand J_d , bezogen auf den Flächenschwerpunkt des Querschnittes, bestimmt werden. Damit sind dann für den Querschnitt im Bild 3.3:

$$x_S = \frac{b_F \cdot \frac{t_F^2}{2} + t_F \cdot (h_{F1} - t_F) \cdot \left(\frac{h_{F1} - t_F}{2} + t_F\right)}{b_F \cdot t_F + t_F \cdot (h_{F1} - t_F)} \quad y_S = \frac{t_F \cdot \frac{b_F^2}{2} + (h_{F1} - t_F) \cdot t_F^2 / 2}{b_F \cdot t_F + t_F \cdot (h_{F1} - t_F)} \quad (3.31 \text{ und } 3.32)$$

$$r_F = d_a / 2 - y_s$$

$$e = r_F - d_s / 2$$

Schwerpunktradius des Flansches

Hebelarm für das Krepelmoment aus der Normallast. Dieser Abstand ist infolge des Stahlringes und der Unterlegscheiben immer kleiner als 5mm.

$$k = (G \cdot J_d) / (E \cdot J_y)$$

$$E / G \approx 2,6 \quad (3.33)$$

$$W_{y,1} = J_y / z_s$$

$$W_d = \text{Widerstandsmoment gegen Torsion} \quad (3.34)$$

$$J_d \approx 1/3 \cdot (b_F \cdot t_F^3 + (h_{F1} - t_F) \cdot t_F^3) \quad (3.35)$$

$$W_d \approx 1/3 \cdot ((b_F \cdot t_F^3 + (h_{F1} - t_F) \cdot t_F^3)) / t_F \quad (3.36)$$

$$h_{F1} \geq t_F + 0,5 \cdot \sqrt{(d_i \cdot t_F)} \quad (3.37)$$

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Anlage 3
Blatt 9 von 19

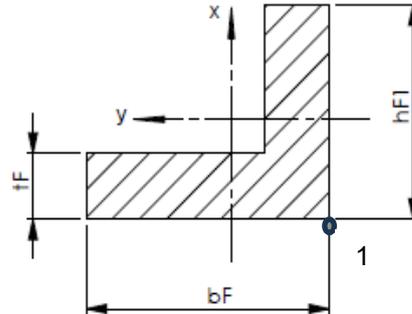


Bild 3.3: nutzbarer Querschnitt

Die am Flansch auftretenden Schnittkräfte sind:

M = Moment; Q = Querkraft; N = Normalkraft

Für den Nachweis der Krepelung gilt:

Nachweis nach Abschnitt 4.2:

Mit $A_5 \cdot \gamma_F = 1,5 \cdot 1,35 = 2,03$ für N und 1,5 für M und Q ergeben sich die $A_5 \cdot \gamma$ -fachen Lasten. Mit diesen Lasten ist der Tragfähigkeitsnachweis zu führen.

Nachweis nach Abschnitt 4.3:

Alle Lasten werden als einfache Lasten angesetzt. Da in der Regel bei diesen Laminaten $\sigma_{z,R,d} / \sigma_{zl,e,d} \geq 2,5$ ist und $\max A_5 \cdot \gamma_F \leq 2,03$ ist, reicht es aus nur den Nachweis mit den einfachen Lasten zu führen.

Die maximalen auftretenden Spannungen aus der Normallast und dem Moment sind:

$$\sigma_{y,Ed} = \frac{e}{W_{y,1}} \left(\frac{N_{Ed}}{2 \cdot \pi} + \frac{M_{Ed}}{\pi \cdot r_F} \cdot \frac{\cos \varphi}{1+k} \right) \leq f_{Rd} \quad (3.38)$$

$$\tau_{yz,Ed} = \frac{e}{W_d} \cdot \frac{M_{Ed}}{\pi \cdot r_F} \cdot \frac{k}{1+k} \leq \tau_{Lam,Rd} \quad (3.39)$$

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{yz,Ed}}{\tau_{Lam,Rd}} \right)^2} \leq 1 \quad (3.40)$$

Aus der Querkraft ist:

$$\tau_{yz,Ed} = \frac{Q_{Ed}}{\pi \cdot t_F \cdot (d_a - t_F)/2} \leq \tau_{Lam,Rd} \quad (3.41)$$

Eine Überlagerung der Schubspannungen aus der Querkraft ist hier nicht erforderlich, da die Maxima nicht zusammenfallen.

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Anlage 3
Blatt 10 von 19

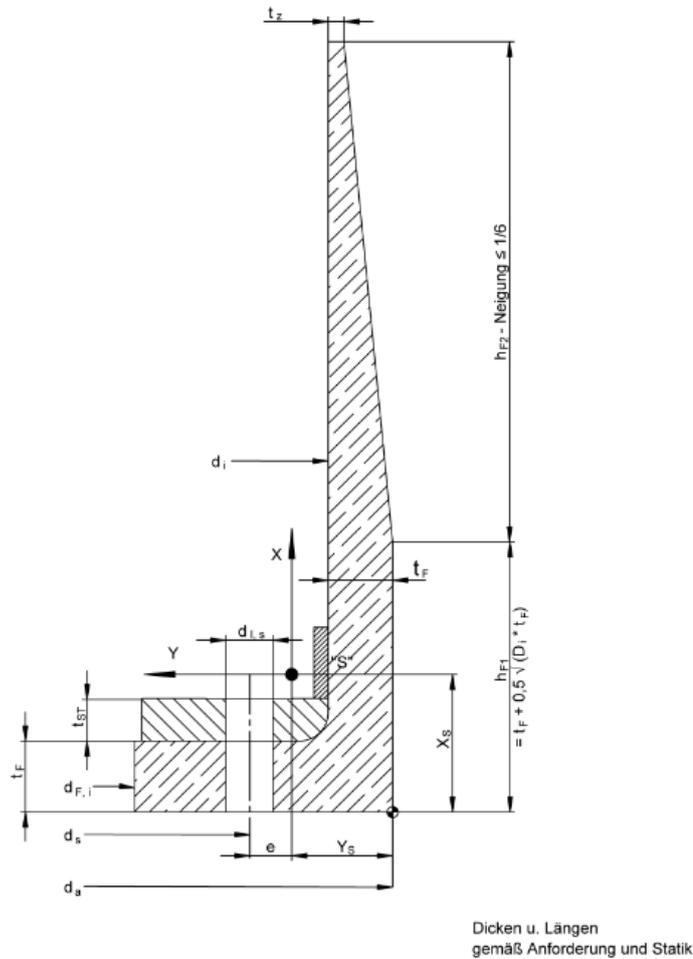


Bild 3.4: Innenliegender Flansch, Bezeichnungen

Auf der sicheren Seite liegend wird am Übergang Flanschblatt-Zylinder noch ein Nachweis mit einem Moment m_z geführt.

$$m_{z,Ed} = n_{x,Ed} \cdot e_m \quad e_m = t_F / 2 + \text{evtl. Gap Stahlring-Schaft} \quad (3.42)$$

$$\sigma_{z,Ed} = \frac{m_{z,Ed} \cdot 6}{t_F^2} \leq f_{Rd} \quad (3.43)$$

$$\tau_{z,Ed} = \frac{n_{z,Ed}}{t_F} \leq \tau_{Lam,Rd} \quad (3.44)$$

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,Ed}}{\tau_{Lam,Rd}}\right)^2} \leq 1 \quad (3.45)$$

Oberhalb des Flanschblattes ist:

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{m_{z,Ed} \cdot 6}{t_F^2} + \frac{n_{z,Ed}}{t_F} \leq f_{Rd} \quad (3.46)$$

Das Moment $m_{z,Ed}$ klingt wie folgt ab und ist im Abstand von 500 mm nahezu null.

$$m_x \leq m_{z,Ed} \cdot e^{-k \cdot x} (\cos(k \cdot x) + \sin(k \cdot x)) \quad (3.47)$$

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 11 von 19**

mit $k = (3 \cdot (1 - \nu^2) \cdot r^2 / t^2)^{0,25}$

Die Nennwanddicke t_z darf erst bei 400 mm erreicht werden ($h_{F1} + h_{F2} \geq 400$ mm).

Nachweis der Schrauben:

Die Bemessung der Schrauben erfolgt nach DIN EN 1993-1-8 bzw. DIN EN 1993-1-9.

Für die Schrauben erhält man

$$F_{t,Ed} = \frac{4 \cdot M_{Ed}}{n_S \cdot d_S} - \frac{0,9 \cdot N_{Ed}}{n_S} \leq F_{t,Rd} \quad (3.48)$$

n_S = Anzahl der Schrauben

Die Schraubenverbindung erhält eine Vorspannung von

$$F_{p,Cd} = 1,2 \cdot F_{t,Ed} \text{ bzw. } \leq 0,7 \cdot F_{p,Rd} \quad (3.49)$$

Für den Nachweis der Schraubenverbindung gilt folgende Geometrie:

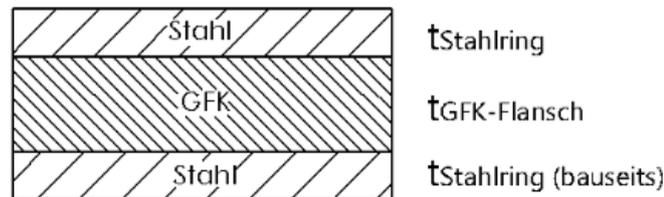


Bild 3.5: Schraubensektion

Die Dehnlängen in der Verbindung und die Bezugsquerschnitte sind, wenn als Bezugsgröße der E-Modul Stahl eingefügt wird:

$$l_{Flansch} = t_{Stahl,ges.} + t_{GFK} \frac{E_{Stahl}}{E_{GFK}} \quad (3.50)$$

$$l_{Schraube} = t_{Stahl,ges.} + t_{GFK} + \frac{d_{sch}}{2} \quad (3.51)$$

$$A_{Flansch} \geq \pi \cdot (d_u^2 - d_{Bohrung}^2) / 4 \quad (3.52)$$

$A_{Schraube}$ = Schaftfläche

Damit werden Längenänderungen

$$\Delta l_{Schraube} = F_{p,C} \cdot l_{Schraube} / (A_{Schraube} \cdot E_{Stahl}) \quad (3.53)$$

$$\Delta l_{Flansch} = F_{p,C} \cdot l_{Flansch} / (A_{Flansch} \cdot E_{Stahl}) \quad (3.54)$$

und die Schwelllast in der Schraube

$$F_{at,Ed} = 0,5 \cdot F_{t,Ed} / (1 + \Delta l_{Schraube} / \Delta l_{Flansch}) \quad (3.55)$$

Die maximale Schraubenlast ist dann

$$F_{t,Edmax} = F_{p,C} + 2 \cdot F_{at,Ed} < F_{t,Rd} \quad (3.56)$$

Die Ausschlagsspannung der Schraube ist

$$f_{As,Ed} = F_{at,Ed} / A_{Sp} / \gamma_F \leq f_{a,Rd} \quad (3.57)$$

$f_{a,Rd} \leq 50$ N/mm² für eine Schraube 8.8

$f_{a,Rd} \leq 60$ N/mm² für eine Schraube 10.9

Das erforderliche Anzugsmoment ist abhängig von der Vorspannkraft, dem Oberflächen- und dem Schmierzustand. Das Anzugsmoment ist dann

$$M \leq \mu_{ges} \cdot F_{p,C} \cdot d_{sch} \quad (3.58)$$

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 12 von 19**

Die Reibbeiwerte μ_{ges} sind DIN EN 1090-2:2018-09, Tabelle 17 zu entnehmen. Es können die Werte der Tabelle 3.2 angesetzt werden, wenn der Hersteller dies in seiner Herstellererklärung angibt und beschreibt.

Tabelle 3.2: Reibbeiwerte für verschiedene Kombinationen

Schraube / Mutter	Unterlage	Schmierung	μ_{ges}
phosphatiert	phosphatiert	geölt	0,183
phosphatiert	phosphatiert	MoS2-Paste	0,15
verzinkt	verzinkt	geölt	0,15
verzinkt	verzinkt	MoS2-Paste	0,14

Die Ankerschrauben sind frühestens nach 24 h, besser nach 48 h, noch einmal mit dem gleichen Moment nachzuziehen.

Ein Abfall der Vorspannung bis auf 25 kN ist nicht von Bedeutung, da dann immer noch ein ausreichender Abstand bis zur klaffenden Fuge gegeben ist.

Bei einer Lastausbreitung von 45° unter der Unterlegscheibe ist im GF-UP-Flansch

$$d_{GF} = d_u + 2 \cdot t_u \quad d_u = \text{Durchmesser der Scheibe} \quad (3.59)$$

$$t_u = \text{Dicke der Scheibe}$$

Damit wird

$$\sigma_D = F_{S,max} / (\pi \cdot (d_{GF}^2 - d_{Bohrung}^2)) / \gamma_F \leq \sigma_{D,\epsilon,d} \quad (3.60)$$

4.8 Bemessung eines Stahlflansches

Bei dieser Form der Einspannung wird innen ein Ring aus Stahl mit eingewickelt. Von außen werden einzelne Segmente aufgesetzt. Der Ring, die Segmente und der Schaft sind alle mit einer vorgespannten geklebten HV-Verbindung miteinander verbunden, Bild 3.5. Die Bemessung der Schrauben erfolgt nach DIN EN 1993-1-8 bzw. DIN EN 1993-1-9.

Der äußere geteilte Ring und die Pratzten dienen nur zur Aufrechterhaltung der Querschnittsform. Da die Ringe geteilt sind, werden sie für den Festigkeitsnachweis des Anschlussringes nicht mitberücksichtigt.

Alle Lasten werden als einfache Lasten angesetzt. Da in der Regel bei diesen Laminaten $\sigma_{z,Rd} / \sigma_{z1,\epsilon,d} \geq 2,5$ ist und $\max A_5 \cdot \gamma_F \leq 2,03$ ist, reicht es für das GFK aus nur den Nachweis mit den einfachen Lasten mit $\gamma_F = 1,0$ zu führen.

Die Nachweise der Stahlteile und der Schrauben werden mit γ_F -fachen Lasten entsprechend DIN EN 1991 geführt.

Würde der innere Ring allein tragen, so ist bei γ_F -facher Last

$$f_{Ed} < \frac{m_{z,Ed}}{\pi \cdot r_i^2 \cdot t_{si}} \leq f_{Rd} \quad (3.61)$$

mit $m_{z,Ed}$ = Einspannmoment γ_F -fach
 r_i = Radius Ring innen
 t_{si} = Wanddicke Stahlring innen

Da die Schweißnaht als Kehlnaht ausgebildet wird und somit $a \geq t$ mm ist, erübrigt sich ein Nachweis.

Da der innere Ring und die äußeren Pratzten durch eine vorgespannte Klebeverbindung miteinander verbunden sind, ist eine schubfeste Verbindung hergestellt. Damit wird, wenn das entlastende Gewicht unberücksichtigt bleibt

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 13 von 19**

$$\tau_{z,Ed} < \frac{2 \cdot m_{z,Ed}}{\pi \cdot r_i^2 \cdot l_k} \leq f_{Klebung,Rd} \quad (3.62)$$

$$f_{Klebung,Rd} = \tau_{Klebung,k} / (A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_{MR}) \quad (3.63)$$

$\tau_{Klebung,k}$ = siehe Anlage 2.2

l_k = Länge der Klebefläche = h_{sri} Höhe Stahlring

Zu dieser Verbindung kommt noch die Reibung aus der HV-Verbindung. Die HV-Verbindung wird pro vertikale Reihe mit mindesten 3 Schrauben, $\geq M 12 10.9$, hergestellt. Diese haben eine Vorspannung von

$F_{p,C}$ = nach statischen Erfordernissen $> 0,5 \cdot P_V$

Damit ist die übertragbare zulässige Reiblast aus der Vorspannung N_{HV}

mit n_{sr} = Anzahl der Schrauben in einer Reihe in der Rohrwand

n_s = Anzahl der Segmente = Anzahl der Ankerschrauben

μ = Reibbeiwert $\mu = 0,5$

P_V = maximale Vorspannkraft der Schrauben

F_V = Vorspannkraft nach statischen Erfordernissen

N_{HV} = übertragbare Reiblast

$$N_{HV} \geq \frac{2 \cdot \mu \cdot n_{sr} \cdot F_{p,C}}{1,5} \quad (3.64)$$

Zuglast im Segment bei n_s = Anzahl Segmente am Umfang ist

$$F_d = \frac{m_{z,Ed}}{r_i \cdot n_s} < N_{HV} \quad (3.65)$$

Würde die Klebe- und Reibverbindung ausfallen, so ist die Lochleibungsspannung σ_L im „eingespannten“ GFK

$$f_{v,Ed} = \frac{F_d}{d_{sch} \cdot n_{sr} \cdot t_{GF}} < f_{v,Rd} \quad (3.66)$$

mit d_{sch} = Schraubendurchmesser

t_{GF} = Wanddicke GFK Rohr im Fußbereich

Die Schubspannung im GFK ist mit e_s , Abstand der vorgespannten Schrauben

$$\tau_{GF,Ed} = \frac{F_d}{2 \cdot e_s \cdot n_{sr} \cdot t_{GF}} < \tau_{Lam,Rd} \quad (3.67)$$

Abscheren der Schrauben

$$F_{v,Ed} = \frac{F_d}{m \cdot n_{sr}} < F_{v,Rd} \quad \text{mit Schnittigkeit } m = 2 \quad (3.68)$$

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Anlage 3
Blatt 14 von 19

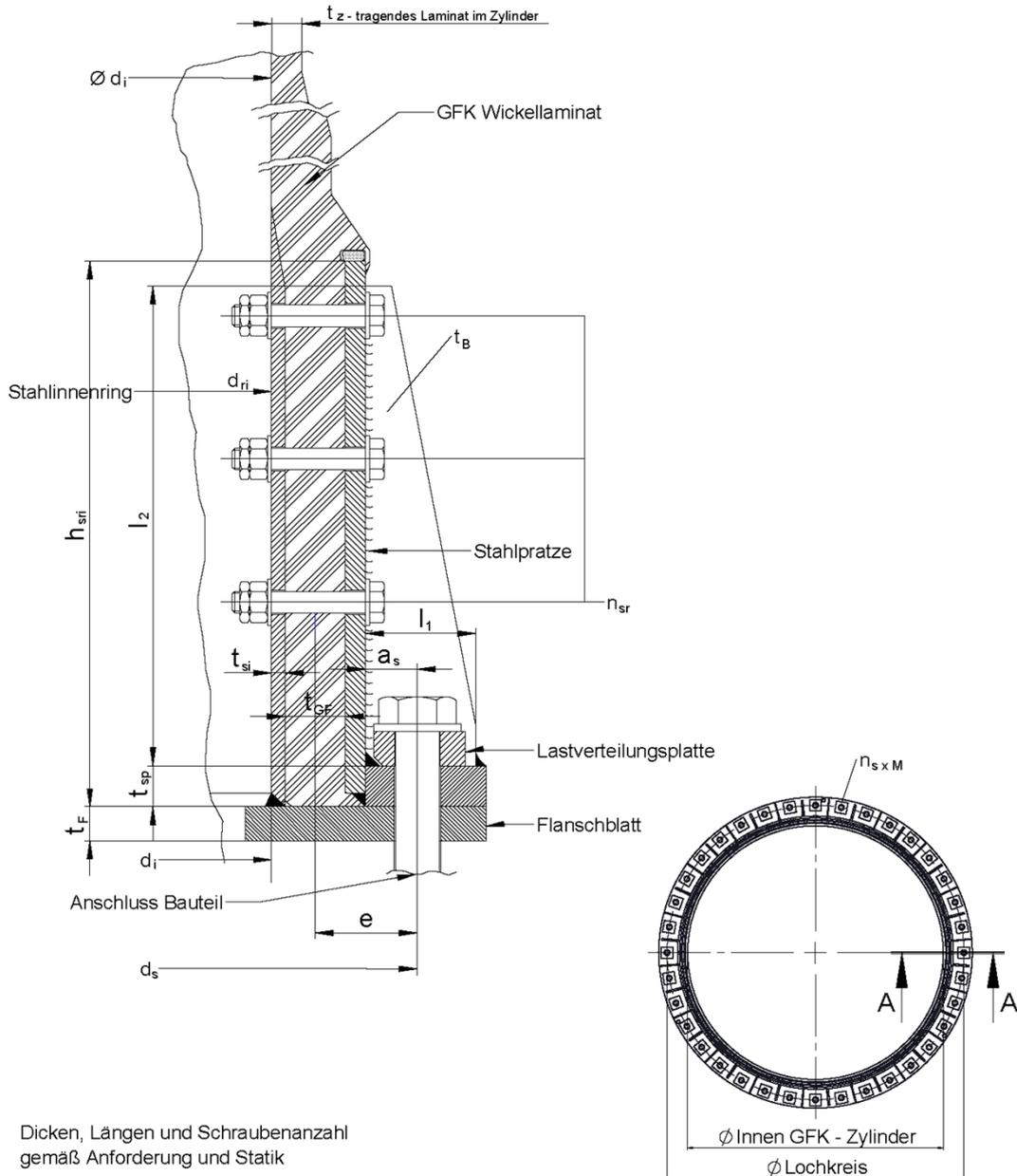


Bild 3.6: Außenliegender Stahlflansch, Bezeichnungen

Lochleibung f_b im Stahlring

$$f_{b,Ed} = \frac{F_d}{m \cdot n_{sr} \cdot t_{si}} < f_{b,Rd} \quad \text{mit Schnittigkeit } m = 2 \quad (3.69)$$

Die Druckspannungen im GFK infolge der Vorspannung sind

$$\sigma_{D,Ed} = \frac{n_{sr} \cdot F_{p,C}}{A_{D,Seg}} \cdot K < \sigma_{Rd} \quad \text{mit } A_{D,Seg} \leq \frac{d_i \cdot \pi \cdot l_2}{n_s} \quad (3.70)$$

mit $K = 1,5$ zur Berücksichtigung der Spannungskonzentration

$A_{D,seg} =$ Druckfläche je Segment, $l_2 =$ Höhe der Stahlpratze

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 15 von 19**

Die Schrauben der geklebten HV-Verbindung sind nach 24 h mit dem erforderlichen Anzugsmoment für leicht geölte Schrauben nochmals nachzuziehen. Das Anzugsmoment ist

$$M \leq \mu_{\text{ges}} \cdot F_{p,C} \cdot d_{\text{sch}} \quad (3.71)$$

Ring und Verankerung:

Der Fußring, bestehend aus dem Innenring, Außenring und einer Ringplatte mit Aussteifungen, wird mit n_s Schrauben an ein Stahlzwischenstück befestigt. Die maximale Schraubenlast ist

$$F_{t,Ed} = \frac{4 \cdot m_{z,Ed}}{d_s \cdot n_s} < F_{t,Rd} \quad \text{nach DIN EN 1993-1-8} \quad (3.72)$$

mit d_s = Lochkreisdurchmesser.

Durch diese Befestigung tritt für den Ring folgende Belastung auf

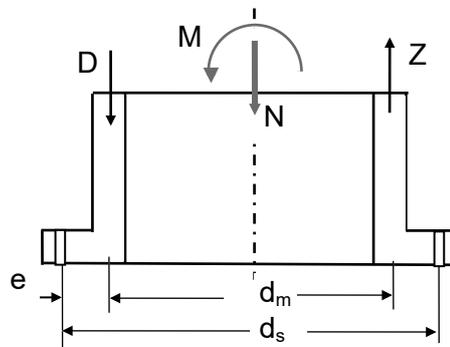


Bild 3.7: nutzbarer Querschnitt Stahlflansch

Der äußere geteilte Ring und die Pratzen dienen nur zur Aufrechterhaltung der Querschnittsform. Da die Ringe geteilt sind, werden sie für den Festigkeitsnachweis des Anschlussringes nicht mitberücksichtigt.

Mit den Abmessungen des Stahlflansches (Mindestabmessungen) ist

$$h_{EGF} = h_{sri} + 0,5 \cdot \sqrt{(d_i \cdot t_z)} \quad \text{Ersatzhöhe GFK} \quad (3.73)$$

t_z = Wanddicke GFK

$$t_{EGF} = t_{GF} \cdot \frac{E_{GFK}}{E_{Stahl}} \quad \text{Ersatzdicke GFK} \quad (3.74)$$

$$x_{EG} = \frac{t_{EGF}}{2} \cdot \left(1 + \frac{E_{GFK}}{E_{Stahl}}\right) \quad \text{Ersatzabstand GFK} \quad (3.75)$$

Mit den Abmessungen nach den Bildern 3.6 und 3.7 und den Koordinaten y_s , z_s , bezogen auf die Außenkante und den Fußpunkt des Querschnittes, können die Flächenträgheitsmomente J_y , J_z und der Drillwiderstand J_d , bezogen auf den Flächenschwerpunkt des Querschnittes, bestimmt werden.

Damit wird

mit Flächenträgheitsmomenten I_y und I_z mit Abmessungen nach Bildern 3.6 und 3.7

$$W_{y1} = J_y / x_s$$

$$W_{y2} = J_y / (h_{EGF} + t_F - x_s)$$

Drillsteifigkeit

$$J_d \approx \frac{1}{3} \cdot \sum t_i^3 \cdot h_i \quad W_d \approx \frac{1}{3} \cdot \frac{\sum t_i^3 \cdot h_i}{t_{\text{max}}} \quad (3.76 \text{ und } 3.77)$$

Damit wird der Hebelarm für das Krepelmoment aus der Normallast zu

$$e = (d_s - d_i) / 2 - t_{si} - t_F / 2 \quad (3.78)$$

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Anlage 3
Blatt 16 von 19

Ringkennwerte:

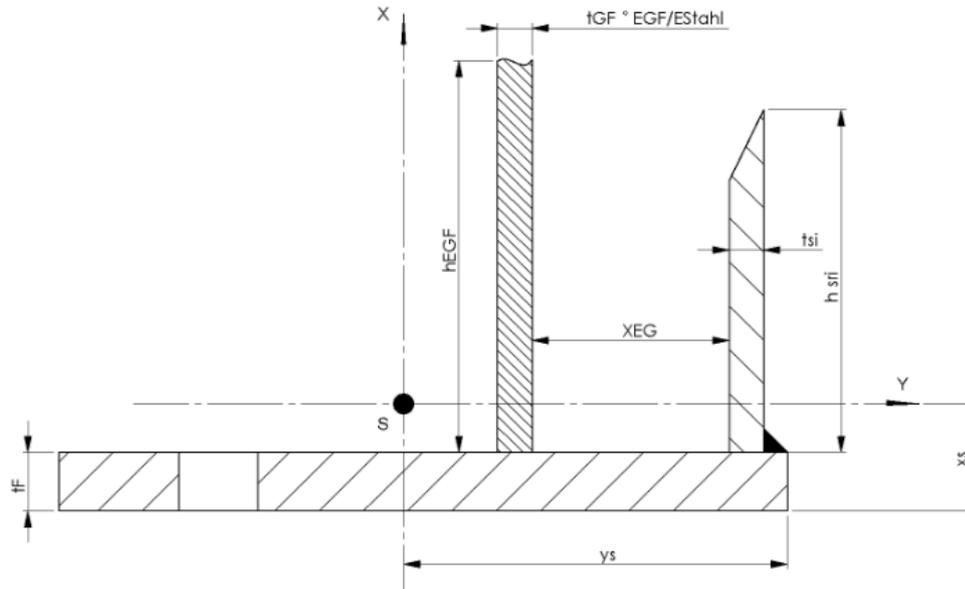


Bild 3.8: nutzbarer Querschnitt Stahlflansch

Die maximalen Ringumfangsspannungen aus der Krepelung sind dann

$$\text{mit } k = (G \cdot J_d) / (E \cdot J_y)$$

$$E / G \approx 2,6$$

$$r_F = d_a / 2 - y_s$$

Schwerpunktradius des Flansches

$$\text{max } f_y \text{ bei } \varphi = 0$$

$$f_{y,Ed} = \frac{e}{W_{y,1}} \left(\frac{N_{Ed}}{2 \cdot \pi} + \frac{M_{Ed}}{\pi \cdot r_F} \cdot \frac{\cos \varphi}{1 + k} \right) \leq f_{Rd} \quad (3.79)$$

$$\tau_{yz,Ed} = \frac{e}{W_d} \cdot \frac{M_{Ed}}{\pi \cdot r_F} \cdot \frac{k}{1 + k} \leq \tau_{Lam,Rd} \quad (3.80)$$

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{y,Ed}}{f_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{yz,Ed}}{\tau_{Lam,Rd}} \right)^2} \leq 1 \quad (3.81)$$

Durch die Eckversteifungen (Rippen) bleibt der Ringquerschnitt erhalten.

Die Ringsegmente werden, wie oben beschrieben, mit einer vorgespannten Klebeverbindung aufgebracht. Aus diesem Grunde ist sichergestellt, dass die Schubkräfte zum großen Teil durch die Klebung gehen (Nachweise siehe oben) und nicht durch Reibung übertragen werden.

Die von diesen Segmenten zu übertragende Last der Ankerschrauben kann in guter Näherung als Gleichlast angesehen werden. Wird angenommen, dass die Schraubenlast ganz über die Eckversteifungen läuft (ungünstige Annahme), verteilen sich die Kräfte wie bei einer Platte mit Gleichlast, die an zwei benachbarten Rändern gestützt ist.

Der gestützte Rand an der Eckversteifung wird als eingespannt betrachtet. Da das Längen-Breiten-Verhältnis ca. 1 ist, wird

$$\tau_d = \frac{F_{t,Ed} \cdot 6}{3,09 \cdot t_{sp}^2} \quad (3.82)$$

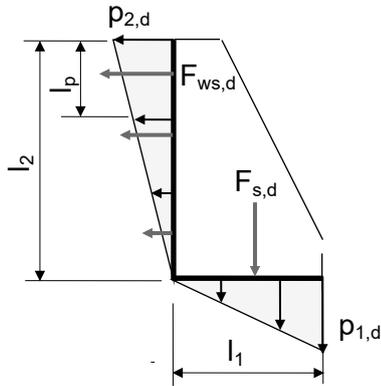
Die Randbelastung wird zu

$$F_R \approx 0,64 \cdot F_{t,Ed} \quad (3.83)$$

Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis

Anlage 3
Blatt 17 von 19

Setzt man für die Eckversteifungen folgende Lastverteilung an, so ist



$$\text{mit } p_{1,d} = \frac{2 \cdot F_R}{l_1} \quad (3.84)$$

$$\text{und } p_{2,d} = \frac{2 \cdot F_R \cdot l_1}{l_2^2} \quad (3.85)$$

Bild 3.9: nutzbarer Querschnitt Stahlflansch

Mit den Abmessungen von l_1 und l_2 ist unter Berücksichtigung des Angriffs von zwei Ankerschrauben

$$2 \cdot p_{1,Ed} = \frac{2,56 \cdot F_{t,Ed}}{l_1} \quad (3.86)$$

$$2 \cdot p_{2,Ed} = \frac{2,56 \cdot l_1 \cdot F_{t,Ed}}{l_2^2} \quad (3.87)$$

Mit einer Schweißnahtdicke und Blechdicke der Eckversteifung von t_B [mm] ist für die Eckversteifung

$$f_{Ed} = \frac{2,56 \cdot F_{t,Ed}}{l_1 \cdot t_B} < f_{Rd} \quad (3.88)$$

Für den \perp - Steg entsteht aufgrund eines horizontalen Schraubenabstandes a_s der HV-Schrauben ein Moment

$$m_d = \frac{2 \cdot p_{2,d} \cdot a_s}{4} \quad (3.89)$$

$$m_d = \frac{0,64 \cdot l_1 \cdot F_{t,Ed} \cdot a_s}{l_2^2} \quad (3.90)$$

$$f_{Ed} = \frac{6 \cdot m_d}{t_s^2} < f_{Rd} \quad \text{mit } t_s = \text{Dicke des Prattenbleches} \quad (3.91)$$

Die maximale Schraubenlast in der Zylinderwand $F_{wt,Ed}$ ist

$$F_{wt,Ed} = p_{2,d} \cdot l_p \quad (3.92)$$

$$F_{wt,Ed} = \frac{1,28 \cdot F_{t,Ed} \cdot l_1 \cdot l_p}{l_2^2} \quad \text{mit } l_p \leq l_2 / 3 \quad (3.93)$$

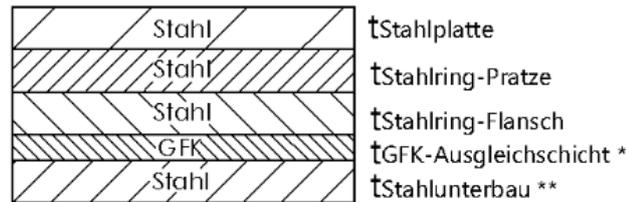
Die durch die Lasteinleitung hervorgerufenen Randmomente klingen recht schnell ab und sind am Ende des Stahlringes auf weniger als ein Zehntel des maximalen Betrages abgeklungen. Die Nennwanddicke im Zylinder sollte im Regelfall bei $h > 500$ mm erreicht werden.

Die Schraubenverbindung erhält eine Vorspannung nach statischen Erfordernissen.

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 18 von 19**

Um die maximale Schraubenlast bestimmen zu können, wird folgende Geometrie angenommen:



- * nur bei Schiefstellung (Unterfütterung)
- ** Ersatzdicke Beton bzw. Stahlunterbau (bauseits)

Bild 3.10: Schraubensektion

Die Dehnlängen in der Verbindung und die Bezugsquerschnitte sind, wenn als Bezugsgröße der E-Modul Stahl eingefügt wird:

$$l_{\text{Flansch}} = t_{\text{Stahl,ges.}} + t_{\text{GFK}} \frac{E_{\text{Stahl}}}{E_{\text{GFK}}} \quad (3.94)$$

$$l_{\text{Schraube}} = t_{\text{Stahl,ges.}} + t_{\text{GFK}} + \frac{d_{\text{sch}}}{2} \quad (3.95)$$

$$A_{\text{Flansch}} \geq \pi \cdot (d_u^2 - d_{\text{Bohrung}}^2) / 4 \quad (3.96)$$

$$A_{\text{Schraube}} = \text{Schaftfläche}$$

Damit werden Längenänderungen

$$\Delta l_{\text{Schraube}} = F_{p,C} \cdot l_{\text{Schraube}} / (A_{\text{Schraube}} \cdot E_{\text{Stahl}}) \quad (3.97)$$

$$\Delta l_{\text{Flansch}} = F_{p,C} \cdot l_{\text{Flansch}} / (A_{\text{Flansch}} \cdot E_{\text{Stahl}}) \quad (3.98)$$

und die Ausschlagslast

$$F_{at,Ed} = 0,5 \cdot F_{t,Ed} / (1 + \Delta l_{\text{Schraube}} / \Delta l_{\text{Flansch}}) \quad (3.99)$$

Die maximale Schraubenlast ist dann

$$F_{t,Edmax} = F_{p,C} + 2 \cdot F_{at,Ed} < F_{t,Rd} \quad (3.100)$$

Für die Ausschlagsspannung der Schraube ist Gleichung 3.57 anzusetzen.

Das erforderliche Anzugsmoment ist abhängig von der Vorspannkraft, dem Oberflächen- und dem Schmierzustand. Das Anzugsmoment ist dann

$$M \leq \mu_{\text{ges}} \cdot F_{p,C} \cdot d_{\text{sch}} \quad (3.101)$$

Die Reibbeiwerte μ_{ges} sind DIN EN 1090-2:2018-09, Tabelle 17 zu entnehmen. Es können die Werte der Tabelle 3.2 angesetzt werden, wenn der Hersteller dies in seiner Herstellererklärung angibt und beschreibt.

Die Ankerschrauben sind frühestens nach 24 h, besser nach 48 h, noch einmal mit dem gleichen Moment nachzuziehen.

Bei einem innenliegenden Stahlflansch wird analog verfahren.

4.9 Bemessung bei einer Köcherlagerung

Die GFK-Maste/Türme können auch in einem Köcherfundament aus Beton oder einer Köchereinspannung aus Stahl aufgestellt werden, siehe Anlagen 1.2.6 und 1.2.7.

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen
Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweis**

**Anlage 3
Blatt 19 von 19**

Alle Maste und Türme, die in eine Köcherlagerung aufgestellt werden, erhalten am unteren Rand und im Bereich der Fundamentoberkante einen umlaufenden Ring mit $b \approx 200$ mm und einer Mindestdicke von $t_R \geq 15$ mm, wenn keine Nachweise geführt werden. Maste/Türme mit $d_i \geq 800$ mm, die in einem Betonfundament aufgestellt und im Köcherbereich nicht im Inneren mit Beton voll verfüllt werden, erhalten im Bereich der Oberkante des Fundamentes im Inneren eine mindestens 20 mm dicke Platte, die an dem Schaft anlamiert ist und eine Öffnung von $d \geq 400$ mm hat. Außerdem wird der untere Teil des Köcherfundamentes mit mindestens 200 mm Beton ausgegossen, um eine Erhaltung des Querschnittes zu gewährleisten.

Bei einer Köchereinspannung aus Stahl werden nur entsprechende Ringe aufgewickelt und der untere Abschluss besteht aus einer mindestens 10 mm dicken Platte mit einer mittigen Öffnung.

Für die Bemessung des Ringquerschnittes wird eine cosinusförmige Verteilung der Last aus der wirkenden Querkraft angesetzt. Das daraus resultierende Moment ist in Anlehnung an Mang: Berechnung und Konstruktion ringversteifter Druckrohrleitungen, Springer-Verlag, 1966, Kapitel 3.4.2

$$M_{\text{Ring}} \leq 0,02 \cdot Q_{\text{Ring}} \cdot d_i / 2 \quad (3.102)$$

$$Q_{\text{Ring}} = M_{\text{Turm}} / h_{\text{Köcher}} + Q_{\text{Turm}} \quad (3.103)$$

**Zylindrische und/oder konische Maste und Türme
aus glasfaserverstärkten Kunststoffen**

Anlage 4

**Übereinstimmungserklärung
über die fachgerechte Montage des GFK-Mastes/Turmes**

Diese Erklärung ist nach Fertigstellung der Montagearbeiten vom Fachpersonal der ausführenden Firma auszufüllen und dem Auftraggeber (Bauherrn) zu übergeben.

Postanschrift bzw. Position des Einbauortes

Straße/Hausnr. oder Flurstücksnr.: _____ PLZ/Ort: _____

Beschreibung des GFK-Mastes/Turmes

Nummer der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung/
allgemeinen Bauartgenehmigung: **Z-10.9-660**

Durchmesser:

Typ: zylindrisch konisch zylindrisch/konisch
 einteilig mehrteilig

Anwendungsbereich und Beschreibung des Systems:

Postanschrift der ausführenden Firma

Firma: _____ Straße: _____
PLZ/Ort: _____ Staat: _____

Wir erklären hiermit, dass wir den GFK-Mast/Turm gemäß den Regelungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung / allgemeinen Bauartgenehmigung Nr. Z-10.9-660, den Vorgaben des Planers und den Montagehinweisen des Herstellers eingebaut haben.

.....
(Datum)

.....
(Name und Unterschrift des Verantwortlichen der ausführenden Firma)