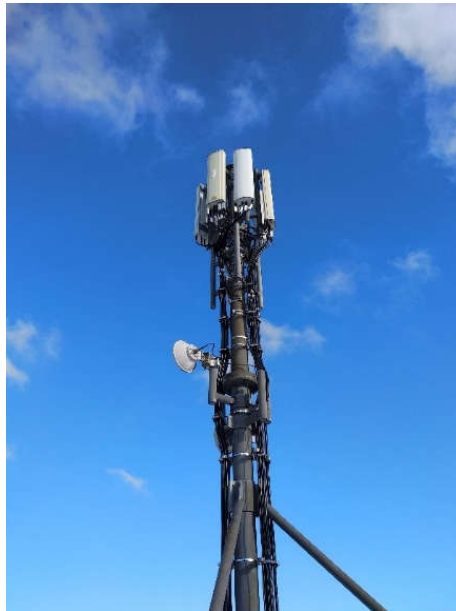




FMB-Leitfaden

Bestimmung von Windlasten auf Sendeantennen



Version 1.1 (Logo geändert)

Stand: 06/2026

Dieser Leitfaden ist im Rahmen der Arbeitsgruppe „ANTENNENLASTEN“ des Fachverbandes Mobilfunkbau Bautechnik e.V. entstanden. Folgende Beteiligte haben aktiv mitgewirkt:

Finanzierende Teilnehmer:

ATC Germany Holdings GmbH



ATC GERMANY
AN AMERICAN TOWER CORPORATION COMPANY

Deutsche Funkturm



Telefonica Germany GmbH & Co. OHG



Vantage Towers GmbH
Germany



Weitere Teilnehmer:

Constructure GmbH



FUCHS Eurocoles GmbH



Mugler AG



Wolter Hoppenberg RA
Partnerschaft mbB



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Anlass	1
1.2	Unterlagen und Literatur	1
2	Normative Windlastregelungen	2
3	Definition der gültigen Antennengeometrien	3
4	Vereinfachte Ermittlung der Windbelastung	5
4.1	Ablauf	5
4.2	Voraussetzungen	5
4.3	Normativer Lastansatz für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt	6
4.4	Kraftbeiwerte für Sendeantennen mit dahinterliegendem Tragrohr	9
4.5	Beispiele	12
4.5.1	Beispiel 1	12
4.5.2	Beispiel 2	16
4.5.3	Beispiel 3	19
4.5.4	Beispiel 4	20

1 Einleitung

1.1 Anlass

Die Bewertung der Standsicherheit von Sendetürmen und -maste erfordert abgesicherte Kenntnisse über die Windbelastungen von einzelnen Mobilfunkantennen. Dieser Leitfaden enthält ein Verfahren, mit dem solche Windbelastungen auf einzelne Sendeantennen analytisch einfach abgeschätzt werden können.

Das in diesem Leitfaden angegebene Verfahren zur Ermittlung von Windlasten auf Sendeantennen beruht auf einer umfangreichen Windkanalstudie, welche in einem separaten Dokument („Erläuterungen zum Leitfaden“, vgl. [6]) näher beschrieben ist. In den Erläuterungen ist zusätzlich ein allgemeines Verfahren zur Berechnung der richtungsabhängigen Windlasten beschrieben [6].

Das hier vorgestellte Verfahren wurde in Zusammenarbeit mit dem Arbeitskreis „ANTENNENLASTEN“ des Fachverbands Mobilfunkbau e.V. entwickelt.

1.2 Unterlagen und Literatur

Die in diesem Dokument zugrunde gelegten Unterlagen sind:

- [1] DFMG, Vodafone, Telefonica: Interne Dokumente über die Art und Anzahl an verbauten Sendeantennen weltweit und in der Bundesrepublik Deutschland. 2018
- [2] DIN EN 1991-1-4:2010 (D); 2010. Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1--4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991--1--4:2005+A1:2010+AC:2010
- [3] DIN EN 1991-1-4/NA; 12.2010. Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1--4: Allgemeine Einwirkungen, Windlasten
- [4] KATHREIN-Werke KG: BASE STATION ANTENNAS - RELIABLE WIND LOAD CALCULATION. White Paper, 2017. <https://www.kathrein.com/de/loesungen/mobilfunk/support/technische-dokumente/windlast/>
- [5] RWTH-Aachen, Institut für Stahlbau, Vorstudie zur Bestimmung von Windlasten auf Sendeantennen, RWTH-Aachen, Vorgestellt auf der Fachtagung des Fachverbands Mobilfunkbau Bautechnik e.V., März 2018
- [6] Leitfaden zur Bestimmung von Windlasten auf einzelne Sendeantennen – Erläuterungen, RWTH-Aachen, Institut für Stahlbau, März 2020
- [7] Windlasten auf div. Sendeantennen, tabellarisch, veröffentlicht auf <https://sites.google.com/site/fvmobilfunkbau/>, 02.11.2020

2 Normative Windlastregelungen

Die DIN EN 1991-1-4 regelt die anzusetzenden Windbelastungen auf Bauwerke und Bauteile. Die Windkraft setzt sich zusammen aus einem aerodynamischen Beiwert c_f (der die reinen geometrischen und aerodynamischen Effekte beinhaltet), dem Böengeschwindigkeitsdruck q_p (der das Windklima am Standort berücksichtigt) sowie einem dynamischen Strukturbeiwert $c_s c_d$ (der evtl. dynamische Schwingeffekte und Korrelationseffekte berücksichtigt).

Die integrale Windwirkung kann am zutreffendsten mit dem sog. Kraftbeiwert c_f als aerodynamischem Beiwert abgebildet werden.

Entsprechend erhält man die Gesamtwindkraft mittels folgenden Ausdrucks [2]:

$$F_w = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} \quad (1)$$

mit:

$c_s c_d$	Strukturbeiwerte nach EN 1991-1-4 Abschnitt 6
c_f	Kraftbeiwert für Sendeantennen
$q_p(z_e)$	Böengeschwindigkeitdruck nach EN 1991-1-4 in der Bezugshöhe z_e
A_{ref}	Bezugsfläche

Der Strukturbeiwert $c_s c_d$ berücksichtigt zum einen, dass Spitzendrücke nicht gleichzeitig auf eine Sendeantenne einwirken und zum anderen die dynamische Überhöhung durch resonanzartige Schwingungen. Für die Ermittlung der Windkräfte auf eine einzelne Sendeantenne selbst und deren Verbindungsmittel wird aufgrund der relativ geringen Abmessungen und hohen Steifigkeiten (bei üblicher Befestigung) ein Strukturbeiwert von

$$c_s c_d = 1.0 \quad (2)$$

empfohlen („lokale Windlasten“).

Dies gilt nicht zwingend für den Sendemast als Gesamtstruktur („globale Windlasten“). Hierzu sind Einzelfalluntersuchungen erforderlich und ggf. eine Erhöhung der globalen, statischen Ersatzlasten durch eine genauere Berechnung von $c_s c_d$ am gesamten Sendemast nach EN 1991-1-4 [2] notwendig.

Der Böenstaudruck kann in dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland entsprechend dem Bauwerksstandort der DIN EN 1991-1-4/NA entnommen werden [3]. Die Ermittlung des Kraftbeiwertes c_f sowie die zugehörige Referenzfläche für Sendeantennen werden in diesem Leitfaden erläutert, so dass die Gesamtwindbelastung mit Formel (1) berechnet werden kann.

3 Definition der gültigen Antennengeometrien

Die untersuchten Mobilfunkantennen sind als langgestreckte Bauteile mit einheitlichem Querschnitt ausgebildet. Sie werden mittels Schellen an ein Tragrohr montiert. Bei den Querschnitten handelt es sich in der Regel um an den Ecken ausgerundete Rechtecke, was im Vergleich zu scharfkantigen Querschnitten zu geringeren Windlasten führt.

Die in Bild 1 dargestellte Skizze zeigt beispielhaft einen typischen Antennenkörper und das zugehörige Tragrohr in isometrischer Ansicht und im Querschnitt.

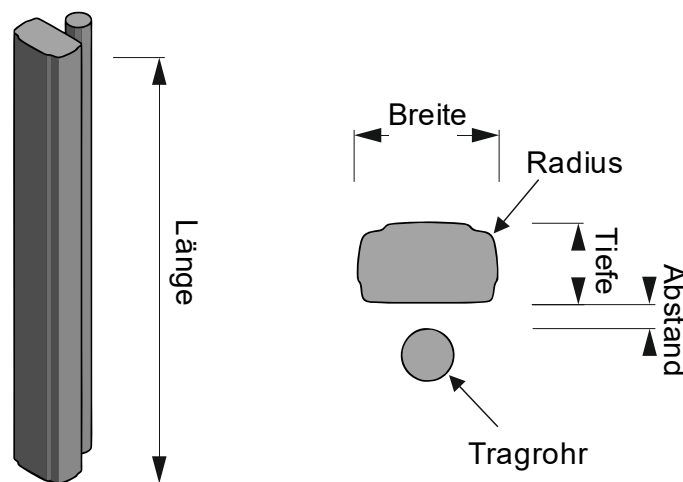


Bild 1 Beispiel einer Antennengeometrie


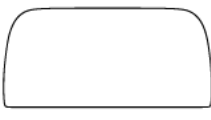
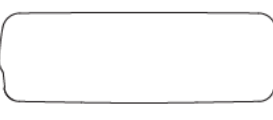

Insgesamt beeinflussen die folgenden geometrischen Kennwerte eines Querschnitts den aerodynamischen Widerstand:

- Breite b
- Tiefe t
- Länge l
- Radius vorne und hinten
- Durchmesser Tragrohr
- Abstand Tragrohr zur Antenne

Aufgrund der unterschiedlichen technischen Anforderungen haben die Antennenhersteller verschiedene Serien entwickelt, so dass eine Vielzahl unterschiedlicher Antennengeometrien auf dem Markt existieren [4].

Für die Untersuchungen wurden vorab typische Querschnittsarten identifiziert und vier Gruppen zugeordnet, mit denen sich ein wesentlicher Teil der marktüblichen Geometrien abdecken lässt.

Tabelle 1 Untersuchte Querschnitte und Querschnittseigenschaften

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
			
Vorne: zweifache Ausrundung	Vorne: einfache Ausrundung	Vorne: einfache Ausrundung	Vorne: einfache Ausrundung
Hinten: zweifache Ausrundung	Hinten: keine Ausrundung	Hinten: einfache Ausrundung	Hinten: einfache Ausrundung
Vorne: gekrümmt	Vorne: gerade bis leichte Krümmung	Vorne: gerade	Vorne: gerade bis leichte Krümmung
Hinten: gerade bis leichte Krümmung	Hinten: gerade	Hinten: gerade	Hinten: gerade bis leichte Krümmung

Die Untersuchungen in diesem Dokument beschränken sich auf die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** dargestellten Querschnittsgruppen. Bei allen Querschnitten ist mindestens eine Seite ausgerundet. Die Kanten können geradlinig oder leicht gekrümmt sein. Durch die Untersuchung nicht abgedeckt sind z.B. Parabolantennen, Richtfunkantennen oder Geometrien, die aus aerodynamischer Sicht deutlich von denen aus Tabelle 1 abweichen. Bild 2 zeigt exemplarisch eine (fiktive) Antennengeometrie, deren Windlast nicht durch diese Richtlinie ermittelt werden kann.

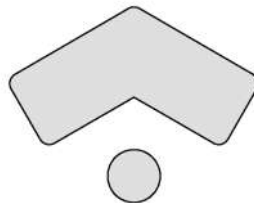


Bild 2 Beispiel einer nicht im Dokument erfassten fiktiven Antennengeometrie

4 Vereinfachte Ermittlung der Windbelastung

4.1 Ablauf

Der hier dargestellte Ablauf stellt ein vereinfachtes Verfahren dar, mit dem Windbelastungen auf einzelne Sendeantennen inkl. dem dahinter liegenden Tragrohr ermittelt werden können:

1. Bestimmung der Windlasten mit Hilfe der durch den Fachverband Mobilfunk Bautechnik (FMB) veröffentlichte Windlasten auf diverse reale Sendeantennen [7].
 - a. Alternativ gilt Punkt 2 bis Punkt 6
2. Bestimmung der Antennengeometrien (vgl. Bild 1).
 - a. Breite
 - b. Tiefe
 - c. Länge
 - d. Ausrundungsradien
3. Überprüfung der Voraussetzung (vgl. Abschnitt 4.2).
4. Ermittlung des normativen Kraftbeiwertes c_f für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt unter Berücksichtigung der Schlankheit und abgerundeten Ecken nach DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.6 (vgl. 4.3).
5. Ermittlung der Kraftbeiwerte einer Sendeantenne $c_{f, Antenne}$ mitsamt dem dahinter liegenden Tragrohr für die drei Hauptachsen Vorne, Seite und Hinten (vgl. Abschnitt 3).
6. Ermittlung der Gesamtwindlast auf das Tragwerk nach DIN EN 1991-1-4 unter Berücksichtigung des Schwingverhaltens (vgl. Abschnitt 2).

4.2 Voraussetzungen

Die Voraussetzungen zur Anwendung des vereinfachten Windlastansatzes sind:

- Geometrie entsprechend Abschnitt 3
- Breite frontal > Breite seitlich
- Breite Antennen > Durchmesser Tragrohr
- Durchmesser Tragrohr: $\varnothing < 0,12$ m
- Lichter Abstand Tragrohr-Antenne: $\leq 0,10$ m

Mit zunehmenden Halterohrabstand verringert sich der Abschattungseffekt. Bei einem lichten Abstand größer 0,10 m des Halterohrs sollte daher bei der Betrachtung von vorne und hinten die Windlast auf das Halterohr gem. DIN EN 1991-1-4 [2] (z.B. Kraftbeiwert für runde Querschnitte) zusätzlich berücksichtigt werden. Ist der Abstand geringer als 0,60 m, so darf diese zusätzliche Windlast aus dem Tragrohr um 50 % reduziert werden. Ist der Abstand größer 0,60m, so ist das Tragrohr zusätzlich zur Antenne voll anzusetzen.

Bei Tragrohrdurchmessern $\varnothing < 0,07$ m ist die Windlast infolge rückwärtiger Anströmung um 30 % zu erhöhen.

4.3 Normativer Lastansatz für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt

Der Kraftbeiwert für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt ist nach DIN EN 1991-1-4, Abschnitt 7.6 wie folgt definiert [2]:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (4)$$

mit:

- $c_{f,0}$ Grundkraftbeiwert für einen scharfkantigen und unendlich schlanken Baukörper nach [2] (vgl. Bild 3)
- ψ_r Faktor zur Abminderung von quadratischen Querschnitten mit abgerundeten Ecken [2] (vgl. Bild 4)
- ψ_λ Faktor zur Abminderung aufgrund von Schlankheitseffekten [2] (vgl. Bild 5 und Bild 6)

Die Abminderungsfaktoren zur Berücksichtigung der Schlankheiten und abgerundeten Ecken können nachfolgenden Diagrammen entnommen werden [3]:

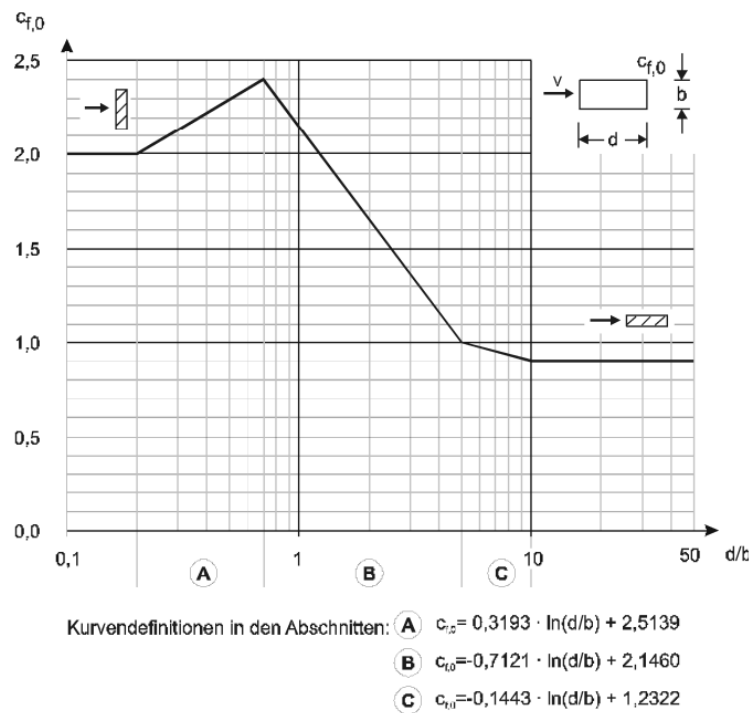


Bild 3 Grundkraftbeiwert für einen scharfkantigen und unendlich schlanken Baukörper [2]

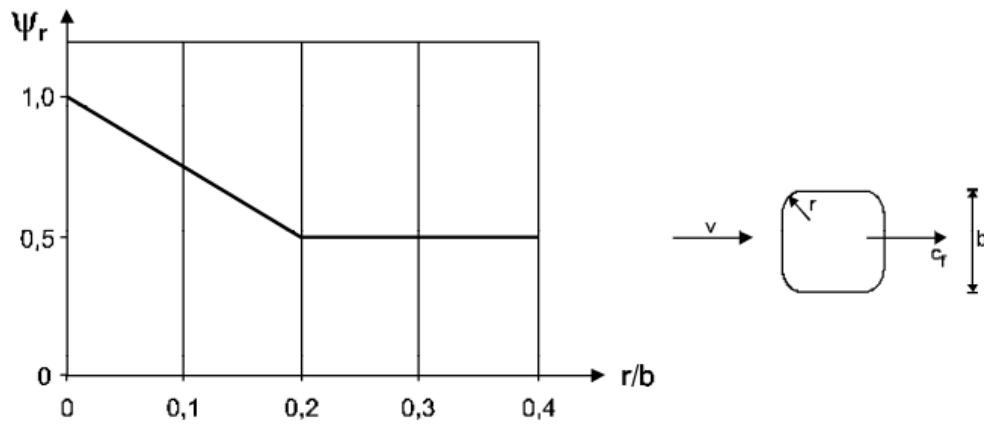


Bild 4 Faktor zur Berücksichtigung von abgerundeten Ecken bei quadratischen Querschnitten [2]

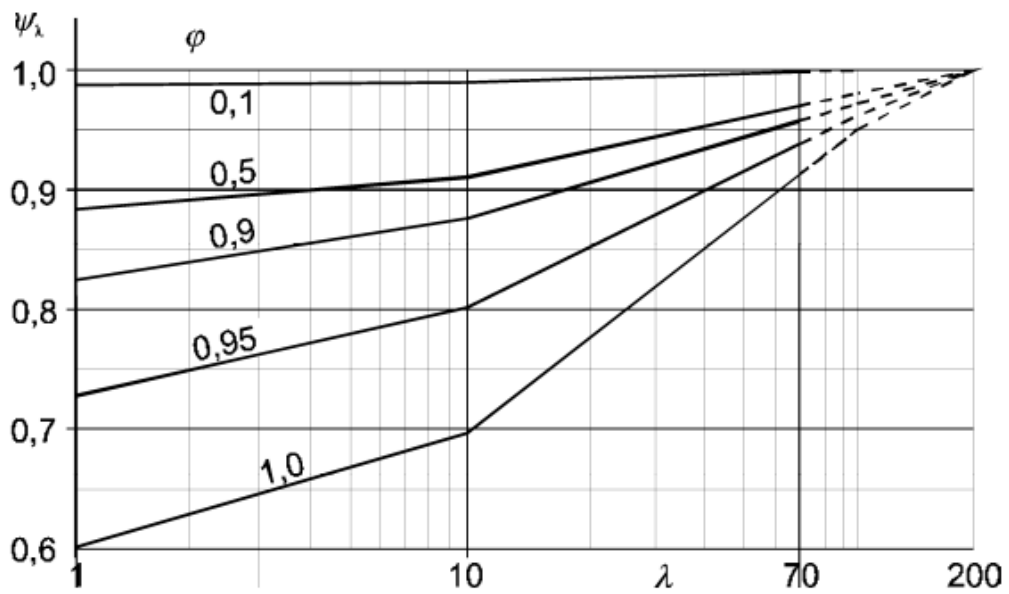


Bild 5 Faktor zur Berücksichtigung der Schlankheit von Baukörpern [2]

Die Ermittlung der effektiven Schlankheit erfolgt nach Abschnitt 7.13 der DIN EN 1991-1-4 anhand nachstehender Regeln:

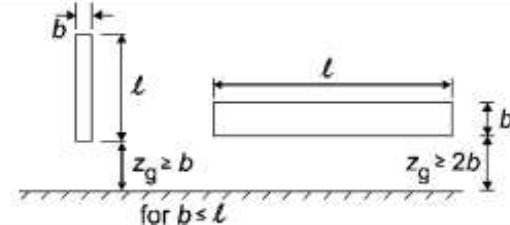
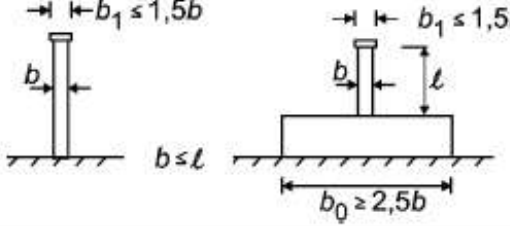
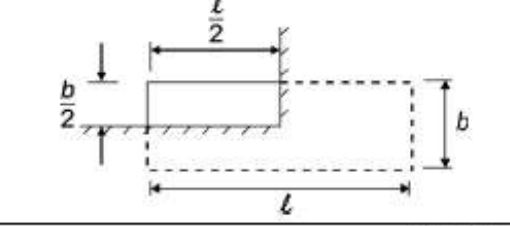
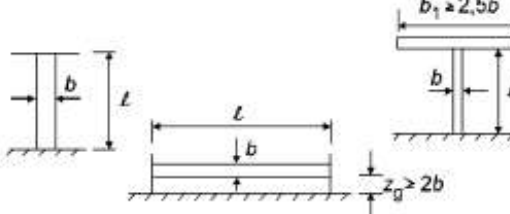
Nr.	Lage des Baukörpers, Anströmung senkrecht zur Zeichenebene	Effektive Schlankheit λ
1		<p>Für polygonale, rechteckige und scharfkantige Querschnitte sowie für Fachwerke: für $l \geq 50$ m, $\lambda = 1,4 \cdot l/b$ oder $\lambda = 70$, der kleinere Wert ist maßgebend</p>
2		<p>für $l < 15$ m, $\lambda = 2 \cdot l/b$ oder $\lambda = 70$, der kleinere Wert ist maßgebend</p> <p>Für Kreiszyylinder: für $l \geq 50$ m, $\lambda = 0,7 \cdot l/b$ oder $\lambda = 70$, der kleinere Wert ist maßgebend</p>
3		<p>für $l < 15$ m, $\lambda = l/b$ oder $\lambda = 70$, der kleinere Wert ist maßgebend</p> <p>Zwischenwerte sind linear zu interpolieren</p>
4		<p>für $l \geq 50$ m, $\lambda = 0,7 \cdot l/b$ oder $\lambda = 70$, der größere Wert ist maßgebend</p> <p>für $l < 15$ m, $\lambda = l/b$ oder $\lambda = 70$, der größere Wert ist maßgebend</p> <p>Zwischenwerte sind linear zu interpolieren</p>

Bild 6 Faktor zur Berücksichtigung der effektiven Schlankheit von Baukörpern [2]

4.4 Kraftbeiwerte für Sendeantennen mit dahinterliegendem Tragrohr

Basierend auf den normativen Kraftbeiwerten für Rechteckquerschnitte können die Kraftbeiwerte für Sendeantennen bezogen auf die drei Hauptachsen wie folgt ermittelt werden:

Vorne:

$$c_{f,vorne} = k_{red,v} \cdot c_{f,0,vorne} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (8)$$

Seite:

$$c_{f,seite} = k_{red,v} \cdot (c_{f,0,seite} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \cdot \frac{t}{b} + c_{f,Kreis}) \quad (9)$$

Hinten:

$$c_{f,hinten} = k_{red,v} \cdot c_{f,0,hinten} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (10)$$

mit:

- $c_{f,vorne}$ Grundkraftbeiwert für einen scharfkantigen und unendlich schlanken Baukörper nach DIN EN 1991-1-4 [2] infolge einer Anströmung von vorne
- $c_{f,seite}$ Grundkraftbeiwert für einen scharfkantigen und unendlich schlanken Baukörper nach DIN EN 1991-1-4 [2] infolge einer Anströmung von vorne
- $c_{f,hinten}$ Grundkraftbeiwert für einen scharfkantigen und unendlich schlanken Baukörper nach DIN EN 1991-1-4 [2] infolge einer Anströmung von vorne
- $c_{f,Kreis}$ Kraftbeiwert eines Kreises nach DIN EN 1991-1-4 [2]
Hinweis: für Böengeschwindigkeiten bis 55 m/s darf pauschal 0,78 angesetzt werden
- ψ_r Faktor zur Abminderung von quadratischen Querschnitten mit abgerundeten Ecken, siehe DIN EN 1991-1-4 [2]
- ψ_λ Faktor zur Abminderung aufgrund von Schlankheitseffekten, nach DIN EN 1991-1-4 [2]
- t Tiefe der Antenne (vgl. Bild 1, Abschnitt 3)
- b Breite der Antenne (vgl. Bild 1, Abschnitt 3)
- $k_{red,v}$ Reduktionsfaktor für den vereinfachten Lastansatz

Die Referenzfläche A_{ref} wird für alle Anströmwinkel entsprechend Bild 7 definiert:

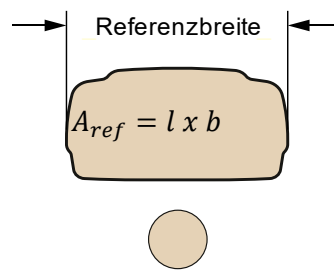


Bild 7 Verwendete Referenzfläche für alle Anströmrichtungen

Die beschriebenen Kraftbeiwerte beziehen sich auf die drei Hauptrichtungen, welche wie folgt definiert sind:

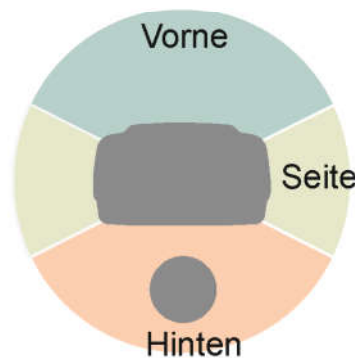


Bild 8 Vergleich des analytischen Ansatzes mit den Windkanalergebnissen

Die hier angegebenen Lasten beziehen sich auf die Antennen inkl. Tragrohr im Bereich der Antenne-länge. Die Flächen des Tragrohrs, welche nach oben und unten über die Antenne hinausragen, müssen in der Windlastberechnung zusätzlich berücksichtigt werden.

Die Ausrundungsradien des Antennenkorpus haben einen wesentlichen Einfluss auf die Windbelastung. Bei Ecken mit zweifacher Ausrundung ist der Radius der äußeren Rundung zu verwenden. Bei seitlicher Anströmung und unterschiedlichen Ausrundungsradien vorne und hinten ist der Mittelwert aus beiden Radien zu bilden:

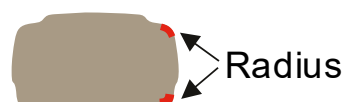


Bild 9 Schematische Darstellung der verwendeten Ausrundungsradien

Untersuchungen an den Antennengeometrien der Gruppe 1 bis 4 für Verhältnisse Breite zu Tiefe Verhältnisse zwischen 1.5 und 4 haben gezeigt, dass die Ausrundungsradien immer größer als 5 mm waren. Sollte der Radius unbekannt sein, so kann ein Mindestradius von 5 mm zugrunde gelegt werden. Im Zweifel ist dies mit dem Antennenhersteller abzustimmen.

Der Reduktionsfaktor für Antennen darf in Abhängigkeit der Antennengruppe wie folgt angenommen werden:

$k_{\text{red}} = 1.0$ für alle Antennengruppe, wenn $b_{\text{Antenne}} / \varnothing_{\text{Tragrohr}} < 2$

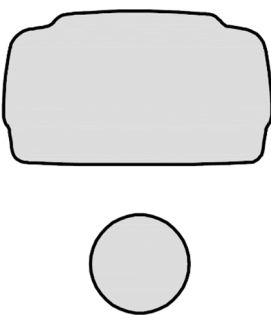
$k_{\text{red}} = 0.75$ für Antennengruppe 1 (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

$k_{\text{red}} = 0.85$ für Antennengruppe 2-4 (vgl. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)

4.5 Beispiele

4.5.1 Beispiel 1

Es soll die Windlast für die angegebene Antenne und Standort ermittelt werden:

Antennendaten 	Breite: 300 mm Tiefe: 152 mm Länge: 1997 mm Radius vorne: 28 mm Radius hinten: 12 mm Durchmesser Tragrohr: 100 mm Lichter Abstand Tragrohr: 50 mm
Standortdaten	Aachen / Soers Höhe über Grund: 40 m

1. Bestimmung der Antennengeometrie

(Geometrien siehe Tabelle)

2. Voraussetzungen erfüllt?

- Geometrie entsprechend Abschnitt 2 ja
- Breite frontal > Breite seitlich ja
- Breite Antennen > Durchmesser Tragrohr ja
- Durchmesser Tragrohr: $< \varnothing < 120$ mm ja
- Lichter Abstand Tragrohr: $< 0,10$ m ja

3. Ermittlung normativer Kraftbeiwert für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt

Tiefe-Breite-Verhältnis:

Vorne und Hinten:

$$\frac{d}{b} = \frac{152}{300} = 0,51 \quad (=> c_{f,0} = 2,30)$$

Seite:

$$\frac{d}{b} = \frac{300}{152} = 1,97 \quad (=> c_{f,0} = 1,66)$$

Schlankheit:

Vorne und Hinten:

$$\lambda = \min \left\{ 2,0 \frac{l}{b} = 2,0 \cdot \frac{1,997}{0,3} = 13,32 = 13,32 \quad (\Rightarrow \psi_\lambda = 0,73) \right.$$

Seite:

$$\lambda = \min \left\{ 2,0 \frac{l}{b} = 2,0 \cdot \frac{1,997}{0,152} = 26,28 = 26,28 \quad (\Rightarrow \psi_\lambda = 0,80) \right.$$

Ausrundung:

Vorne:

$$\frac{r}{b} = \frac{28}{300} = 0,093 \quad (\Rightarrow \psi_r = 0,77)$$

Seite:

$$\frac{r}{b} = \frac{0,5 \cdot (28 + 12)}{152} = 0,13 \quad (\Rightarrow \psi_r = 0,67)$$

Hinten:

$$\frac{r}{b} = \frac{12}{300} = 0,04 \quad (\Rightarrow \psi_r = 0,90)$$

Exemplarisch wird die Ermittlung der notwendigen Werte für die Anströmung von vorne anhand nachstehender Grafiken gezeigt:

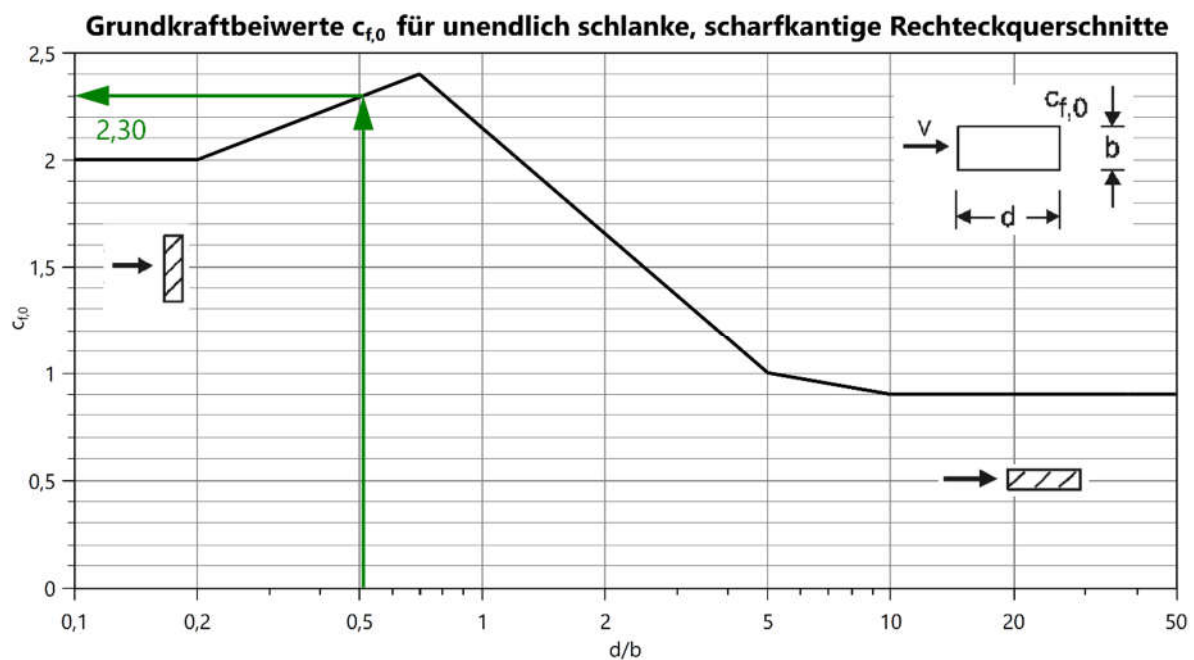


Bild 10 Ermittlung des Grundkraftbeiwertes bei Anströmung von vorne [2]

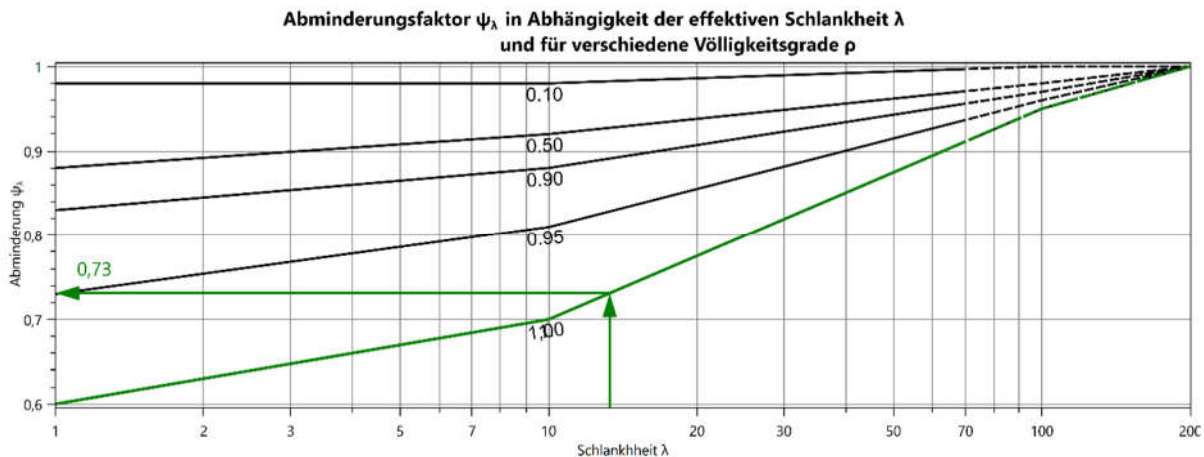


Bild 11 Ermittlung des Abminderungsfaktors für die Schlankheit bei Anströmung von vorne [2]

4. Ermittlung des Kraftbeiwertes einer Antenne mit Tragrohr

$$\text{Antennengruppe 1 und } b_{\text{Antenne}} / \varnothing_{\text{Tragrohr}} > 2 \Rightarrow k_{\text{red},v} = 0,75$$

Von vorne:

$$c_{f,\text{vorne}} = k_{\text{red},v} \cdot c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 0,75 \cdot 2,3 \cdot 0,77 \cdot 0,73 = 0,97$$

Von der Seite:

$$\begin{aligned} c_{f,\text{seite}} &= k_{\text{red},v} \cdot \left(c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \cdot \frac{t}{b} + c_{f,\text{Kreis}} \right) = 0,75 \left(1,66 \cdot 0,67 \cdot 0,80 \cdot \frac{152}{300} + 0,78 \right) \\ &= 0,92 \end{aligned}$$

Von hinten:

$$c_{f,\text{hinten}} = k_{\text{red},v} \cdot c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 0,75 \cdot 2,3 \cdot 0,90 \cdot 0,73 = 1,13$$

5. Ermittlung der Windlast

Standort:

Windzone 2 $\Rightarrow q_{b,0} = 0,39$

Geländekategorie; Binnenland

Böengeschwindigkeitsdruck auf $z = 40\text{m}$: [1]

$$q_p(40) = 1,7 \cdot 0,39 \cdot \left(\frac{40}{10} \right)^{0,37} = 1,11 \text{ kN/m}^2$$

Windlast:

Von vorne:

$$F_{w,\text{vorne}} = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{\text{ref}} = 1,0 \cdot 1,11 \cdot 0,97 \cdot 0,3 \cdot 1,997 = 0,65 \text{ kN}$$

von der Seite:

$$F_{w,seite} = \frac{F_{w,vorne}}{0,97} \cdot 0,92 = 0,62 \text{ kN}$$

Von hinten:

$$F_{w,hinten} = \frac{F_{w,vorne}}{0,97} \cdot 1,13 = 0,76 \text{ kN}$$

4.5.2 Beispiel 2

Es soll die Windlast für die angegebene Antenne und Standort ermittelt werden:

Antennendaten 	Breite: 155 mm Tiefe: 69 mm Länge: 1302 mm Radius vorne: 14 mm Radius hinten: 12 mm Durchmesser Tragrohr: 100 mm Lichter Abstand Tragrohr: 50 mm
Standortdaten	Windzone 1 Geländekategorie: Binnenland Höhe über Grund: 40 m

1. Bestimmung der Antennengeometrie

(Geometrien siehe Tabelle)

2. Voraussetzungen erfüllt?

- Geometrie entsprechend Abschnitt 2 ja
- Breite frontal > Breite seitlich ja
- Breite Antennen > Durchmesser Tragrohr ja
- Durchmesser Tragrohr: < \varnothing < 120 mm ja
- Lichter Abstand Tragrohr: < 0,10 m ja

3. Ermittlung normativer Kraftbeiwert für Bauteile mit rechteckigem Querschnitt

Tiefe-Breite-Verhältnis:

Vorne und Hinten:

$$\frac{d}{b} = \frac{69}{155} = 0,445 \quad (=> c_{f,0} = 2,26)$$

Seite:

$$\frac{d}{b} = \frac{155}{69} = 2,25 \quad (=> c_{f,0} = 1,57)$$

Schlankheit:

Vorne und Hinten:

$$\lambda = \min \left\{ 2,0 \frac{l}{b} = 2,0 \cdot \frac{1,302}{0,155} = 16,8 = 16,80 \quad (=> \psi_\lambda = 0,76) \right.$$

Seite:

$$\lambda = \min \left\{ 2,0 \frac{l}{b} = 2,0 \cdot \frac{1,302}{0,069} = 37,74 = 37,74 \quad (=> \psi_\lambda = 0,84) \right.$$

Ausrundung:

Vorne:

$$\frac{r}{b} = \frac{14}{155} = 0,090 \quad (=> \psi_r = 0,78)$$

Seite:

$$\frac{r}{b} = \frac{0,5 \cdot (14 + 12)}{69} = 0,188 \quad (=> \psi_r = 0,53)$$

Hinten:

$$\frac{r}{b} = \frac{12}{155} = 0,077 \quad (=> \psi_r = 0,81)$$

4. Ermittlung des Kraftbeiwertes einer Antenne mit Tragrohr Antennengruppe 2, aber $b_{\text{Antenne}} / \varnothing_{\text{Tragrohr}} < 2 \Rightarrow k_{red,v} = 1,0$

Von vorne:

$$c_{f,vorne} = k_{red,v} \cdot c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 1,00 \cdot 2,26 \cdot 0,78 \cdot 0,76 = 1,34$$

Von der Seite:

$$\begin{aligned} c_{f,seite} &= k_{red,v} \cdot (c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \cdot \frac{t}{b} + c_{f,Kreis}) = 1,00 \left(1,57 \cdot 0,53 \cdot 0,84 \cdot \frac{69}{155} + 0,78 \right) \\ &= 1,09 \end{aligned}$$

Von hinten:

$$c_{f,hinten} = k_{red,v} \cdot c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 1,00 \cdot 2,26 \cdot 0,81 \cdot 0,76 = 1,39$$

5. Ermittlung der Windlast

Standort:

Windzone 1 $\Rightarrow q_{b,0} = 0,32$

Geländekategorie Binnenland

Böengeschwindigkeitsdruck auf $z = 40m$: [1]

$$q_p(40) = 1,7 \cdot 0,32 \cdot \left(\frac{40}{10} \right)^{0,37} = 0,91 \text{ kN/m}^2$$

Windlast:

Von vorne:

$$F_{w,vorne} = c_s \cdot c_d \cdot c_f \cdot q_p(z_e) \cdot A_{ref} = 1,0 \cdot 0,91 \cdot 1,34 \cdot 0,155 \cdot 1,302 = 0,246 \text{ kN}$$

Von der Seite:

$$F_{w,seite} = \frac{F_{w,vorne}}{1,34} \cdot 1,09 = 0,20 \text{ kN}$$

Von hinten:

$$F_{w,hinten} = \frac{F_{w,vorne}}{1,34} \cdot 1,39 = 0,255 \text{ kN}$$

4.5.3 Beispiel 3

Ablesen der Lastdaten aus der Tabelle [7].

Antenne aus Beispiel 1 „Kathrein 80010675V07“:

Kraftbeiwerte:

$$c_{f,vorne} = 0,97$$

$$c_{f,seite} = 0,93$$

$$c_{f,hinten} = 1,13$$

Windlast bei $v = 150$ km/h:

$$F_{w,vorne} = 0,631 \text{ kN}$$

$$F_{w,seite} = 0,605 \text{ kN}$$

$$F_{w,hinten} = 0,735 \text{ kN}$$

Windlast bei $v = 180$ km/h:

$$F_{w,vorne} = 0,631 \cdot \frac{180^2}{150^2} = 0,909 \text{ kN}$$

$$F_{w,seite} = 0,605 \cdot \frac{180^2}{150^2} = 0,871 \text{ kN}$$

$$F_{w,hinten} = 0,735 \cdot \frac{180^2}{150^2} = 1,058 \text{ kN}$$

4.5.4 Beispiel 4

Ablesen der Lastdaten aus der Tabelle [7].

Antenne aus Beispiel 2 „Kathrein 742215“:

Kraftbeiwerte:

$$c_{f,vorne} = 1,21$$

$$c_{f,seite} = 1,16$$

$$c_{f,hinten} = 1,12$$

Windlast bei $v = 150 \text{ km/h}$:

$$F_{w,vorne} = 0,265 \text{ kN}$$

$$F_{w,seite} = 0,254 \text{ kN}$$

$$F_{w,hinten} = 0,245 \text{ kN}$$

Windlast bei $v = 180 \text{ km/h}$:

$$F_{w,vorne} = 0,265 \cdot \frac{180^2}{150^2} = 0,382 \text{ kN}$$

$$F_{w,seite} = 0,254 \cdot \frac{180^2}{150^2} = 0,366 \text{ kN}$$

$$F_{w,hinten} = 0,245 \cdot \frac{180^2}{150^2} = 0,353 \text{ kN}$$

Hinweis:

Da die tabellierten Lastwerte dieser Antenne auf Windkanalversuche beruhen, ergeben sich Differenzen im Vergleich zur vereinfachten, numerischen Abschätzung.

Abbildungsverzeichnis

Bild 1	Beispiel einer Antennengeometrie	3
Bild 2	Beispiel einer nicht im Dokument erfassten fiktiven Antennengeometrie	4
Bild 3	Grundkraftbeiwert für einen scharfkantigen und unendlich schlanken Baukörper [2]	6
Bild 4	Faktor zur Berücksichtigung von abgerundeten Ecken bei quadratischen Querschnitten [2]	7
Bild 5	Faktor zur Berücksichtigung der Schlankheit von Baukörpern [2]	7
Bild 6	Faktor zur Berücksichtigung der effektiven Schlankheit von Baukörpern [2]	8
Bild 7	Verwendete Referenzfläche für alle Anströmrichtungen.....	10
Bild 8	Vergleich des analytischen Ansatzes mit Windkanalergebnissen	10
Bild 9	Schematische Darstellung verwendeten Ausrundungsradien.....	10
Bild 10	Ermittlung des Grundkraftbeiwertes für die Anströmung von vorne [2]	13
Bild 11	Ermittlung des Abminderungsfaktors für die Schlankheit für die Anströmung von vorne [2].....	14
Bild 12	Ermittlung des Abminderungsfaktors für die Ausrundung für die Anströmung von vorne [2]	

Fehler! Textmarke nicht definiert.