

Rechnerischer Ansatz für zusätzliche Anbauten an Mobilfunkmasten

- Windlastreserven -

Prof. Dr.-Ing. Hans Ruscheweyh
Ruscheweyh Consult GmbH, Aachen

1 Einführung

Bei der Auslegung von Mobilfunkmasten ist es üblich, zu den Windlasten am Mastkörper die maximalen aerodynamischen Einzelwiderstände der Antennenanbauten sowie der Kabelbahnen und Steigleitern zu addieren ohne Interferenz- und Abschattungseffekte zu berücksichtigen. Dies führt insbesondere bei starker Belegung zu einer Überbewertung der Windlasten. Somit sind an vielen Mobilfunkmasten Reserven vorhanden, die für weitere Belegungen ausgenutzt werden können.

Versuche im Windkanal [1, 2] und Originalmessungen [3] haben gezeigt, dass dann erhebliche Reserven zur Verfügung stehen, wenn zahlreiche Anbauten vorhanden sind und im Entwurf der Windschatteneffekt nicht in Ansatz gebracht wurde.

2 Steigleiter und Kabelbahnen bei Rundmasten

Steigleitern und Kabelbahnen ergeben eine nicht unerhebliche Zusatzwindlast. Dieser Anstieg ist nicht nur auf den individuellen Widerstand der Steigleitern und Kabelbahnen zurückzuführen sondern beruht auch auf einer Veränderung der Winddruckverteilung am Rundprofil des Mastes. In einer Windkanaluntersuchung [2] wurden folgende Daten ermittelt:

Definition:

Zusatzwindlast **pro 1m Mastlänge**:
$$\Delta F = c_{f,1} \cdot n \cdot b \cdot 1m \cdot q \tag{1}$$

$c_{f,1}$ = aerodynamischer Widerstandsbeiwert einer Kabelbahn bzw. einer Steigleiter

b = Breite der Kabelbahn bzw. der Steigleiter

n = Anzahl der Kabelbahnen plus Steigleiter

q = Windstaudruck

Werden neben der Steigleiter mehrere Kabelbahnen angebracht, verändert sich der Widerstandsbeiwert. Bei gleicher Bezugsfläche wie in Gleichung (1) erhält man die Zusatzlast gemäß Gleichung (2).

$$\Delta F = c_{f,n} \cdot n \cdot b \cdot 1m \cdot q \tag{2}$$

wobei der Beiwert $c_{f,n}$ kleiner wird. Die Tabelle 1 zeigt die Gegenüberstellung der Zusatzwindlast nach Gleichung (1) und Gleichung (2).

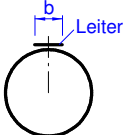
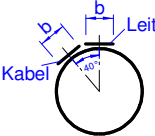
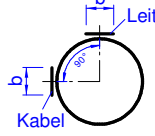
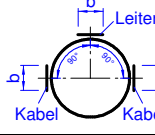
n	Anordnung	$c_{f,1}$	$c_{f,n}$	Lastminderung
1		0,71	0,71	-
2		0,71	0,60	15,5 %
2		0,71	0,39	45,0 %
3		0,71	0,45	36,6 %

Tabelle 1: Windlastminderung der Zusatzlast von Steigleiter und Kabelbahnen verschiedener Anordnung unter Einbeziehung Interferenz – und Abschattungseffekten

3 Plattform mit Kabelbahn/Steigleiter

Eine weitere interessante Kombination ergibt sich, wenn eine Plattform mit einer Kabelbahn oder/und einer Steigleiter kombiniert wird. Aus den Modellversuchen nach [1] ergaben sich folgende Verhältnisse **für 1m Mastlänge** im Bereich der Plattform:

$$\text{Zusatzwindlast Plattform: } \Delta F_{Pl} = c_{f,Pl} \cdot A_{Pl} \cdot q \quad (3)$$

$c_{f,Pl}$ = Widerstandsbeiwert der Plattform

A_{Pl} = Stirnfläche der Plattform

q = Windstaudruck

Für die Kabelbahn oder Steigleiter gilt Gleichung (1)

Werden Plattform und Kabelbahn/Steigleiter kombiniert, erhält man nach der üblichen Berechnung die Zusatzlast

$$\Delta F_{ges} = (c_{f,PL} \cdot A_{Pl} + c_{f,1} \cdot n \cdot b \cdot 1m) \cdot q \quad (4)$$

Bei der Modellmessung wird der gesamte Beiwert bestimmt und somit ergibt sich die Zusatzbelastung nach Gleichung (5):

$$\Delta F_{ges} = c_{f,ges} \cdot (A_{Pl} + n \cdot b \cdot 1m) \cdot q \quad (5)$$

In dem gemessenen Beispiel waren die Werte für das Original:

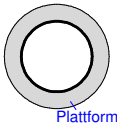
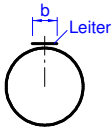
$$A_{Pl} = 0,0333 \text{ m}^2$$

$$b = 0,08 \text{ m}$$

$$c_{f,Pl} = 1,8$$

$$c_{f,1} = 0,71$$

In Tabelle 2 sind die untersuchten Fälle dargestellt und die Lastminderung ausgewiesen.

n	Anordnung	$\Delta F_{ges} / q$ nach Gl. (4) [m ²]	$c_{f,ges}$	$\Delta F_{ges} / q$ nach Gl. (5) [m ²]	Lastminderung
-		0,0599	-	-	-
1		0,0568	-	-	-

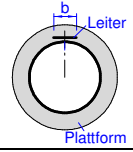
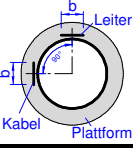
1		0,1167	0,85	0,0963	17,5 %
2		0,1730	0,56	0,1082	37,5 %

Tabelle 2: Windlastminderung der Zusatzlast von Podest mit Steigleiter/Kabelbahnen verschiedener Anordnung unter Einbeziehung Interferenz- und Abschattungseffekten

4 Richtfunkantennen

Richtfunkantennen haben je nach Größe einen verhältnismäßig großen Windwiderstand. Der Zusatzwiderstand für eine Richtfunkantenne errechnet sich nach Gleichung (6).

$$\Delta F_{RF} = c_{f,RF} \cdot A_{RF} \cdot q \quad (6)$$

$c_{f,RF}$ = aerodynamischer Widerstandsbeiwert einer Richtfunkantenne an einem Rundmast.

A_{RF} = Stirnfläche der Richtfunkantenne

Sind mehrere Richtfunkantennen am Mast montiert, wird die Windlast einer Antenne mit der Anzahl „n“ der Richtfunkantennen multipliziert. Abschattungswirkungen werden dabei vernachlässigt:

$$\Delta F_{RF, ges} = c_{f,RF} \cdot n \cdot A_{RF} \cdot q \quad (7)$$

Im Windkanalversuch [1] wurden verschiedene Kombinationen getestet. Die Zusatzlast ergibt sich danach gemäß Gleichung (8):

$$\Delta F_{RF, ges} = c_{f,RF, ges} \cdot n \cdot A_{RF} \cdot q \quad (8)$$

In Tabelle 3 sind die Rechenergebnisse mit den Messergebnissen gegenübergestellt. Es sind folgende Originaldaten zu Grunde gelegt:

Große Richtfunkantenne $A_{RF} = 0,0552 \text{ m}^2$ (d = 265 mm)

Kleine Richtfunkantenne $A_{RF} = 0,0154 \text{ m}^2$ (d = 140 mm)

Es zeigt sich, dass in den Fällen mit zwei Richtfunkantennen die Windlast nicht abnimmt sondern sogar geringfügig ansteigt. Erst bei vier Antennen macht sich der Abschattungseffekt bemerkbar.

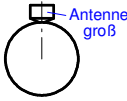
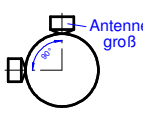
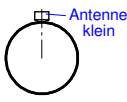
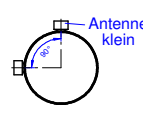

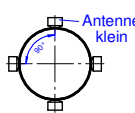
n		$C_{f,RF}$	$\Delta F_{RF} / q$ nach Gl. (7) [m ²]	$C_{f,RF,ges}$	$\Delta F_{RF,ges} / q$ nach Gl. (8) [m ²]	Lastminderung
1		1,5	0,0828	-	-	-
2		1,5	0,1656	1,5	0,1656	0 %
1		1,52	0,0234	-	-	-
2		1,52	0,0468	1,58	0,0486	-4 %
2		1,52	0,0468	1,62	0,0499	-6,6 %
4		1,52	0,0936	1,2	0,0739	21 %

Tabelle 3: Windlastminderung der Zusatzlast von Richtfunkantennen verschiedener Anordnung unter Einbeziehung Interferenz- und Abschattungseffekten

Eine kompakte Antennenbelegung nach Bild 1 ergibt für die Antennen, Podest, Kabelbahn, Steigleiter und Sektorenantennen einen Windwiderstand, der um 27% unter dem rechnerischen Wert liegt.

5 Stahlfunkmaste

In einer Langzeitstudie [3] an fünf Original-Stahlfunkmasten wurde die dynamische Reaktion bei Windbelastung gemessen und hinsichtlich der Überschreitenswahrscheinlichkeit der Abstrahlwinkeländerung untersucht. Das Bild 2 zeigt die fünf untersuchten Maste. Es handelt sich um drei Gittermaste und um zwei Rundmaste mit Höhen zwischen 40 m und 48,9 m

Die funktechnische Begrenzung der Abstrahlwinkeländerung für den Richtfunk von $\Delta\varphi = 0,5^\circ$ wurde als Kriterium herangezogen. Dabei darf der halbe Staudruck angesetzt werden.

Ohne auf die umfangreichen Details der Studie einzugehen, soll hier nur das Endergebnis dargestellt werden. Die Tabelle 4 zeigt den Vergleich des gemessenen Biegewinkels zum gerechneten Biegewinkel nach DIN 4131 [4] Die Messwerte wurden auf den Maximalwind von 42 m/s hochgerechnet.

Mast	Messergebnis	Rechnung nach DIN 4131	Vergleich Messung / Rechnung
	$\varphi_M [^\circ]$	$\varphi_R [^\circ]$	φ_M / φ_P
Brossen	0,12	0,254	47%
Schmalbach	0,29	0,565	51%
Pulsnitz	0,62	0,670	93%
Nossen	0,48	0,732	66%
Königsbrück	0,83	1,196	69%

Tabelle 4: Vergleich der Biegewinkel φ an der Mastspitze zwischen Messung und Rechnung nach DIN 4131

Bis auf den Gittermast Pulsnitz sind deutliche Reserven für die Windlast vorhanden. Der Gittermast Pulsnitz hat eine Antennenbelegung über der Masthöhe verteilt, die wenig Windschatteneffekte bietet. Die anderen Maste haben die Antennen mehr konzentriert in einer Ebenen positioniert, so dass dort eine gegenseitige Windschattung vorhanden ist.

6 Literatur

- [1] H. Ruscheweyh, C. Schnakenberg, W. Zillinger: Ermittlung von aerodynamischen Widerstandswerten für verschiedene Mastbelegungskonfigurationen, Bericht R449/0394, Windingenieurtechnik im Institut für Stahlbau der RWTH Aachen, 1994, (unveröffentlicht)
 - [2] H. Ruscheweyh, C. Schnakenberg, W. Zillinger: Ergänzender Bericht zur Ermittlung von aerodynamischen Widerstandswerten für verschiedene Mastbelegungskonfigurationen der Mastvariante B, Bericht R 449a/0494, Windingenieurtechnik im Institut für Stahlbau der RWTH Aachen, 1994, (unveröffentlicht)
 - [3] C. Kammel, G. Sedlacek, W.Langer, R. Rennert: Statische und dynamische Verformungen von Stahlfunkmasten, Forschungsbericht P 298, Studiengesellschaft Stahlanwendung e.V., Düsseldorf, ISBN 3-930621-97-5, 1999
 - [4] DIN 4133: Antennentragwerke aus Stahl, Nov. 1991
-

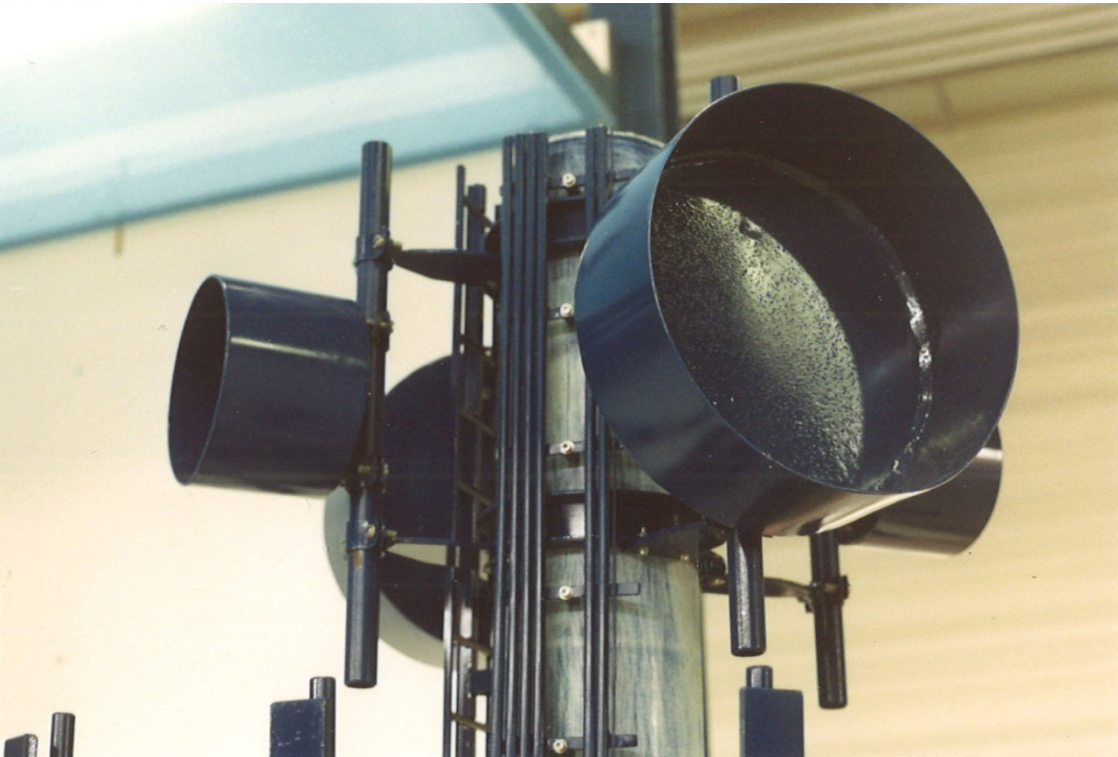
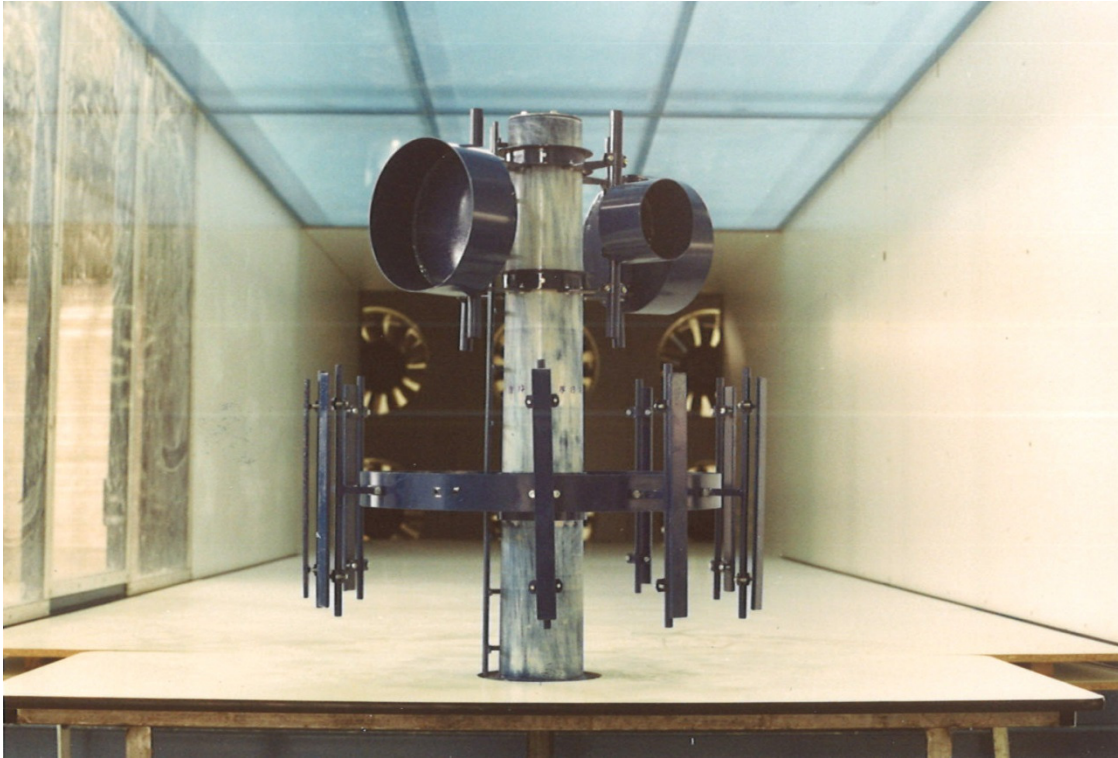


Bild 1: Kompakte Antennenbelegung im Windkanalversuch [1]

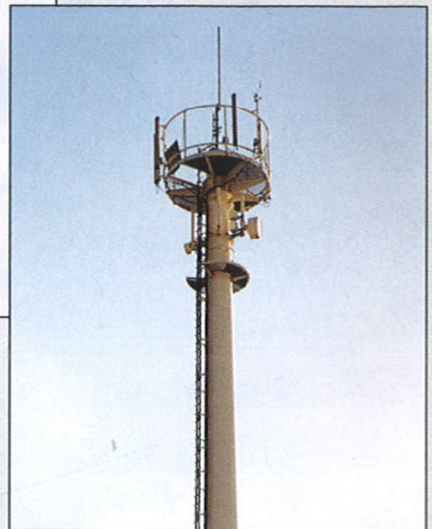
Bossen



Schmalbach



Königsbrüc



Pulsnitz

Nossen

Bild 2: Untersuchte Stahlfunkmaste [3]

