

Die neue DIN 1055 – 4: Windlasten und ihre Anwendung auf Ingenieurbauwerke

Prof. Dr.-Ing. Hans-Jürgen Niemann
*Ingenieurgesellschaft Niemann & Partner
Bochum*

DIN 1055 - Teil 4: *Windlasten*

Die Aufgabe des AA „Windlasten“ bestand darin, gegenüber dem Konzept der Ausgabe 1938-06

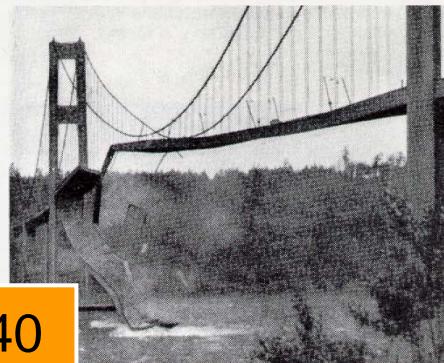
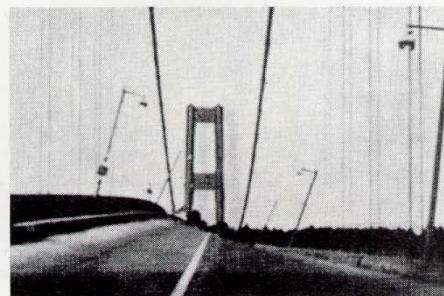
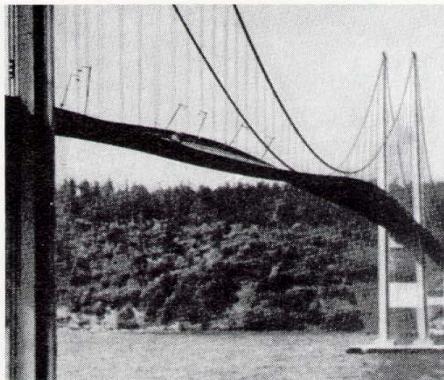
„eine *grundsätzliche Neufassung* der für heutige Bauaufgaben benötigten Windlastannahmen unter Berücksichtigung des gesicherten Wissensstandes aufzustellen.“

Helmut Hirtz, Obmann des AA bis 1993

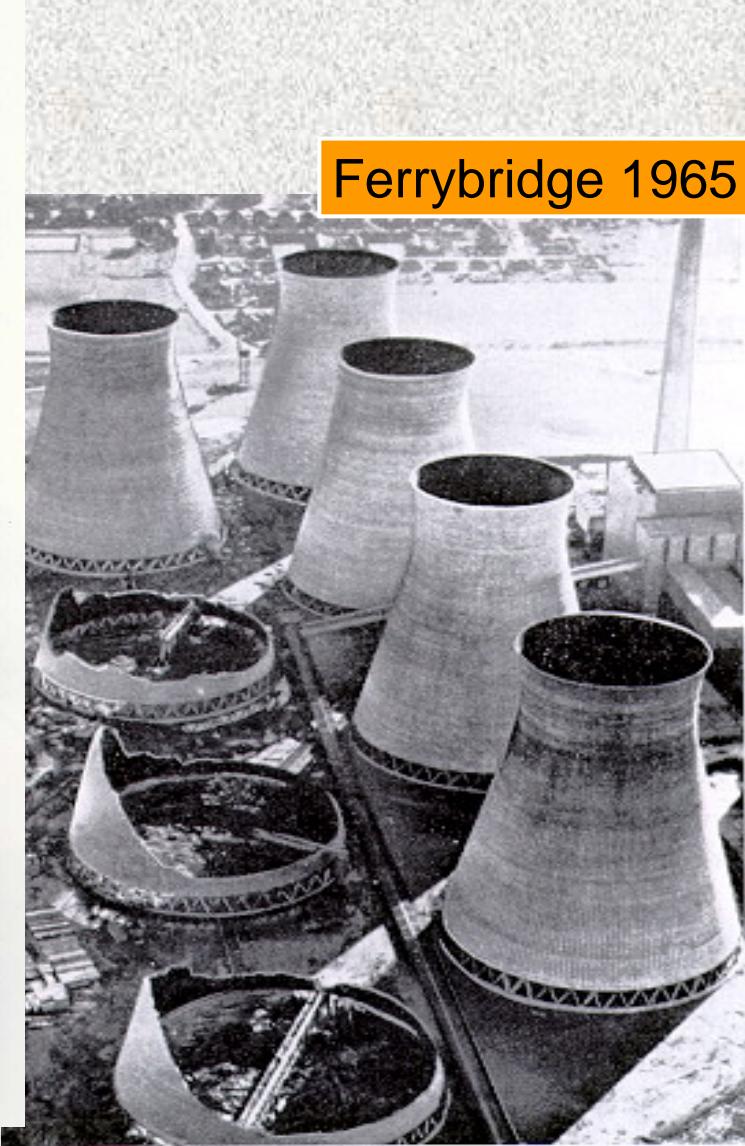
Sturmschäden



Die Brück' am Tay 1879



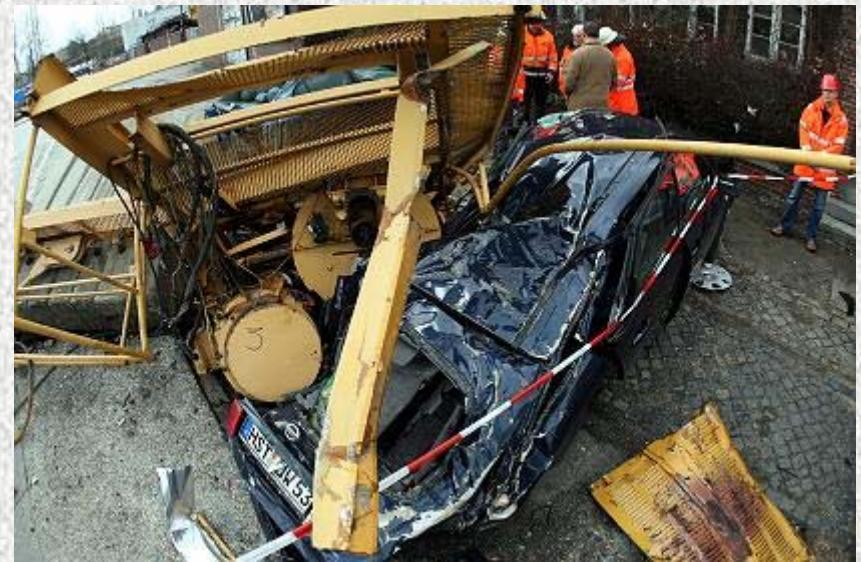
Tacomah-Brücke 1940



Ferrybridge 1965

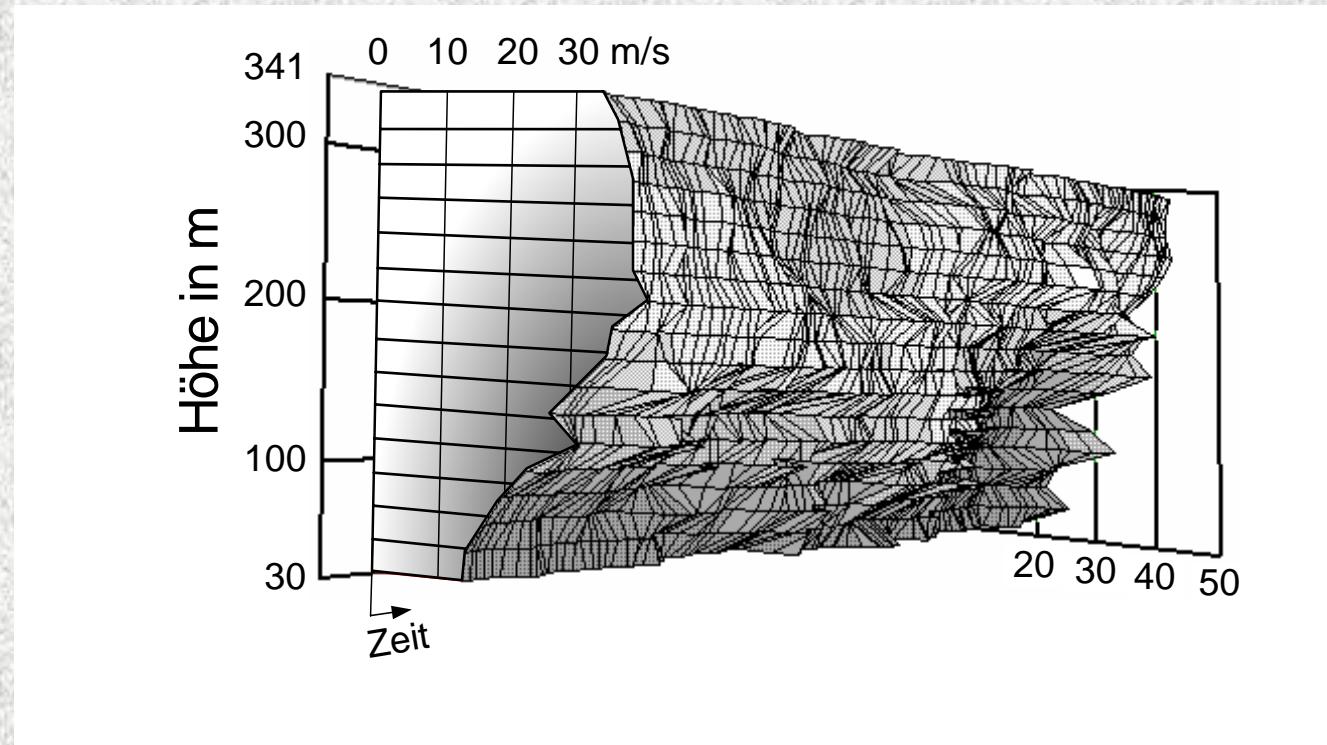
Turm der
Bonifatiuskirche in
Leeuwarden, NL,
Jan. 1976, im
Capella Orkan





Schäden durch den Tornado
Hamburg am 27. März 2006

Der natürliche Wind

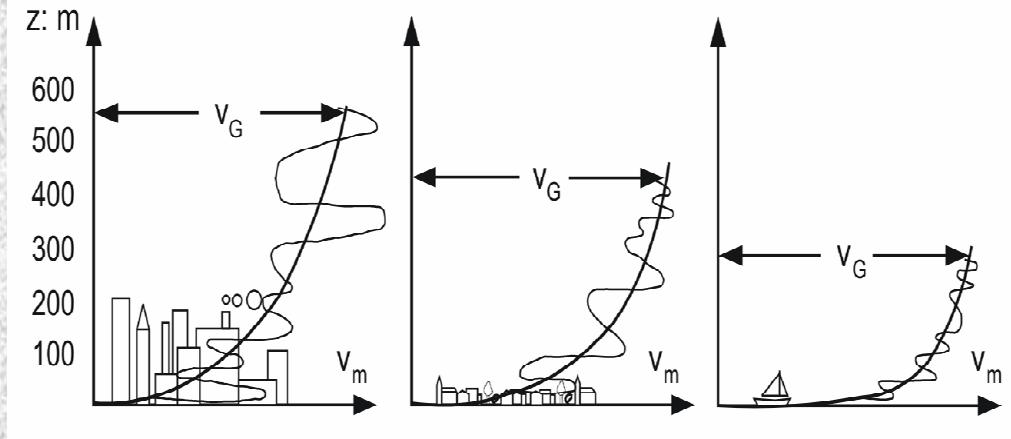


Windprofile während des Orkans Vivian, 25.01.1990

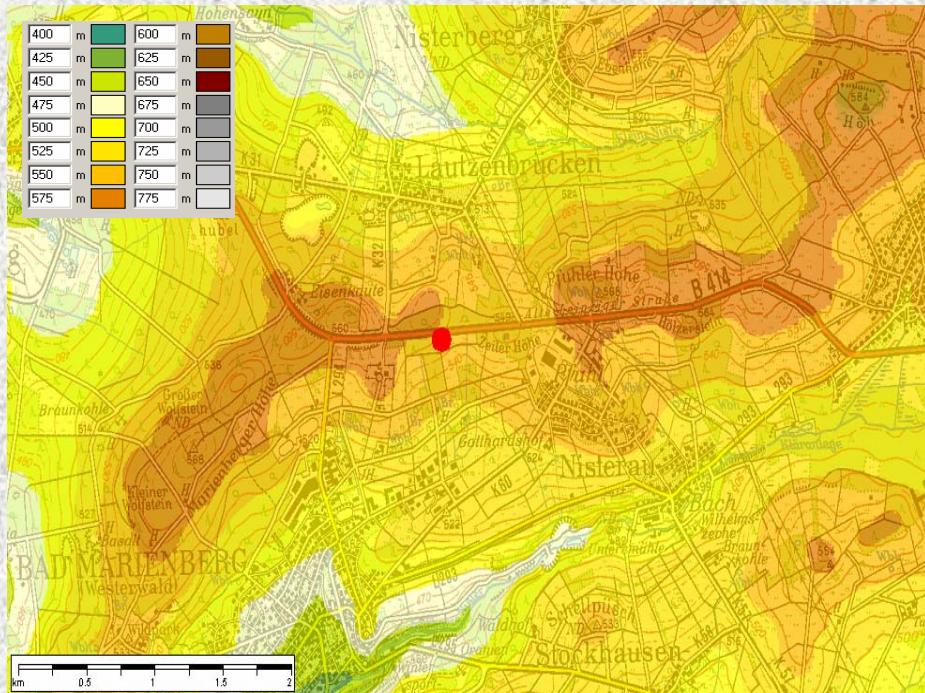
Messung am Gartower Sendemast (Peil, Nölle) - 20s Messdauer

Windprofil nach Hellmann:

$$v_m = v_m(10) \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha$$

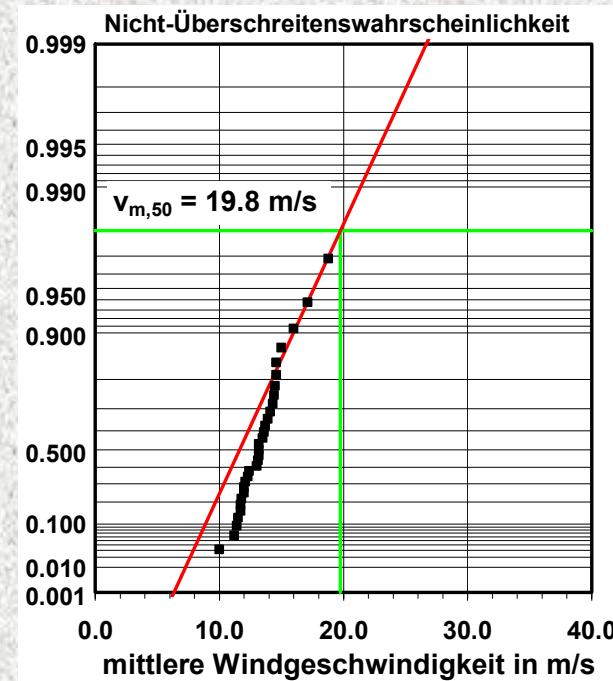


- Die Windgeschwindigkeit wächst mit wachsender Höhe über Grund an.
- Das Profil hängt von der Bodenrauhigkeit (und der Geländegestalt) im Anströmsektor des Windes ab: $v_m(10)$ nimmt bei größerer Rauhigkeit ab, der Profilexponent α nimmt zu.
- Die Norm legt 4 Geländekategorien fest, um den Einfluss der Bodenrauhigkeit zu erfassen.



Bad Marienberg, Westerwald
547 m ü.N.N.
31 Jahresextremwerte

$$v_{m,50} = 19,8 \text{ m/s}$$

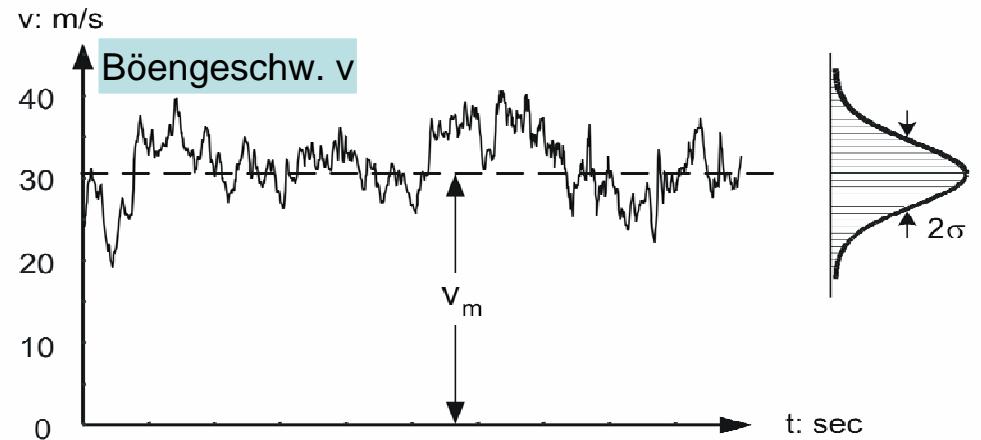


Überblick über die Verfahren der Norm

mittlere Windgeschwindigkeit v_m

Böenwindgeschwindigkeit v

Zeitverlauf der Windgeschwindigkeit in $z = 100$ m Höhe über Grund



mittlere Windgeschwindigkeit v_m : zeitlicher Mittelwert des böigen Windes, in jeder Höhe über $T = 10$ min gemittelt; dient als Referenzwert in der Windzonenkarte. Referenzbedingungen: 10 m Messhöhe, freies, offenes Gelände

Böenwindgeschwindigkeit v: maximales 2-sec Mittel des böigen Windes innerhalb des Zeitraums T mit Grundgeschwindigkeit v_m

Böenwindlast- Winddruck w

$$w = c_p \cdot q(z_e)$$

c_p – aerodynamischer Druckbeiwert

z_e - Bezugshöhe

q – Geschwindigkeitsdruck

$$q = \rho \cdot v^2 / 2$$

v – Böenwindgeschwindigkeit, in m/s angegeben,

ρ - Luftdichte

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$$

$$q = v^2 / 1600$$

v in m/s

q in kN/m²

Verfahren mit Böenreaktionsfaktor bei merklicher Resonanzschwingung

schwingungsanfällige Tragwerke - Böenreaktionsfaktor

statische Ersatzlast für die Gesamtwindkraft

$$F_w = G \cdot F_{wm}$$

mittlere Windkraft:

$$F_{wm} = c_f \cdot q_m(z_e) \cdot A_{ref}$$

Böenreaktionsfaktor: $G = 1 + 2 \cdot g \cdot I_v \cdot (Q_0^2 + R_x^2)^{1/2}$

statische Ersatzlast für die abschnittsweise verteilte Windkraft

$$F_{wj} = G \cdot c_{fj} \cdot q_m(z_{ej}) \cdot A_j$$

Überblick über die Norm - Vorgehensweisen zur Ermittlung der Windlast

Bestimmung der **charakteristischen Windgeschwindigkeit** am Bauwerksstandort – **Anhang A**

Bewertung, ggf. Prüfung der **Schwingungsanfälligkeit** des Tragwerks
Abschnitt 6.2

nicht schwingungsanfällige Tragwerke	schwingungsanfällige Tragwerke
Windlast als vorwiegend ruhende, statische Einwirkung: - Winddrücke Abschnitt 8 - Windkräfte Abschnitt 9	statische Ersatzlast für die Windkräfte nach Abschnitt 11.1 Böenreaktionsfaktor G nach Anhang C
Böengeschwindigkeitsdruck q nach Abschnitt 10	mittlerer Geschwindigkeitsdruck q_m nach Anhang A und B
Abschnitt 12	aerodynamische Druck- und Kraftbeiwerte mit Bezugshöhen, Bezugsflächen

Alle Anhänge sind normativ

Anhang A: *Windzonenkarte*

Anhang B: *Einfluss von Geländerauigkeit und Topographie*

Anhang C: *Verfahren zur Ermittlung des Böenreaktionsfaktors*

Anhang D: *Wirblerregte Schwingungen;*

Anhang E: *Aeroelastische Instabilitäten und Interferenzeffekte;*

Anhang F: *Dynamische Grundlagen*

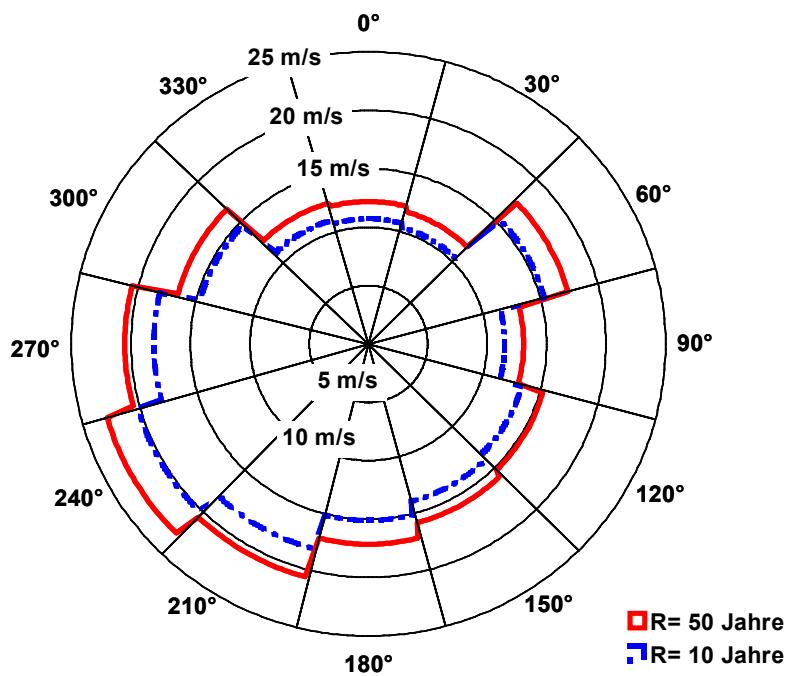
charakteristische Windgeschwindigkeit v_k

Charakteristische Windgeschwindigkeit am Bauwerksstandort

- 50-Jahreswind unter Referenzbedingungen: exponierte Lage in ebenem, offenem Gelände, Messhöhe 10m über Grund; unabhängig von der Windrichtung;
- Auswirkung der Geländerauigkeit am Bauwerksstandort, durch Regelprofile erfasst;
- Auswirkung der Topographie;
- Öffnungsklauseln:
 - (1) Genaue Bewertung der Geländerauigkeit, auch richtungsabhängig;
 - (2) Berücksichtigung der Stärkewindrose;

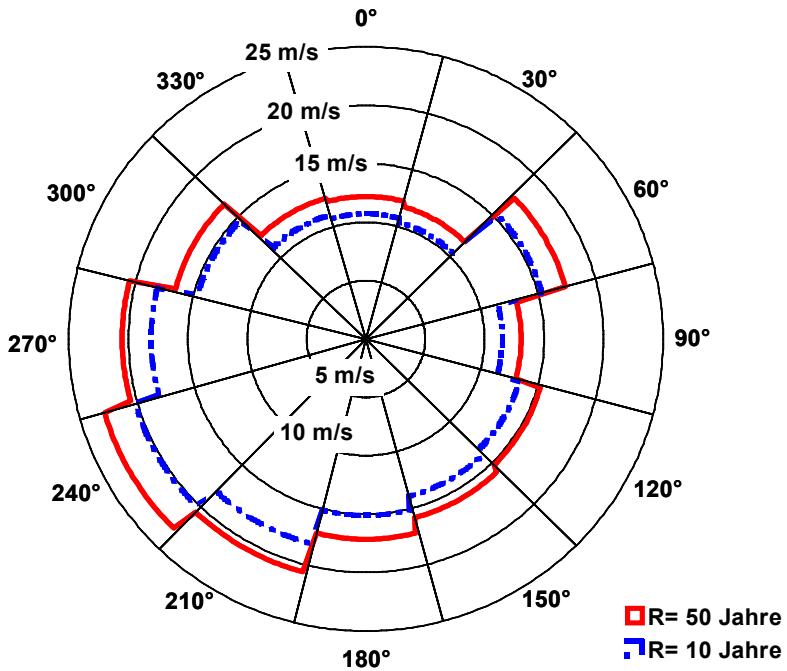
Öffnungsklauseln in DIN 1055-4: Berücksichtigung der Stärkewindrose

„Eine genauere Berücksichtigung des Einflusses der Windrichtung ist zulässig, wenn ausreichend gesicherte statistische Erkenntnisse vorliegen.“
Abschnitt 6.1, Ziffer (1)

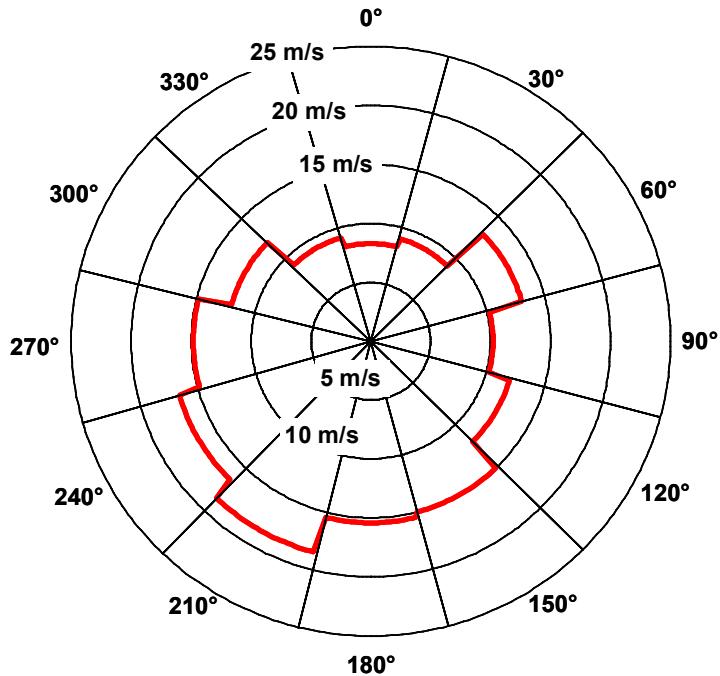


sektorale 50-Jahreswindgeschwindigkeit an der meteorologischen Messstation am Flughafen Hannover

Öffnungsklauseln in DIN 1055-4: Überlagerung beider Effekte



sektorale 50-Jahreswindgeschw. an der
met. Messstation Flughafen Hannover



sektorale 50-Jahreswindgeschw. am
Bauwerksstandort mit Geländeinfluss

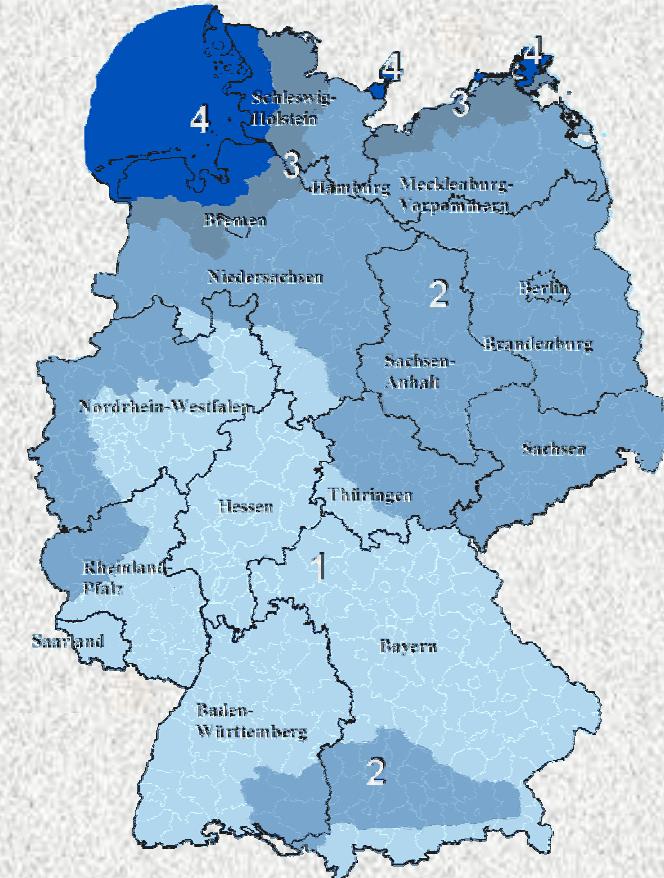
Referenzwindgeschwindigkeit v_{ref} :

- 10-min Mittelwert der Windgeschw.
- in offenem Gelände
- entspr. Geländekategorie II
- in 10 m Höhe über Grund

q_{ref} : Geschwindigkeitsdruck von v_{ref}

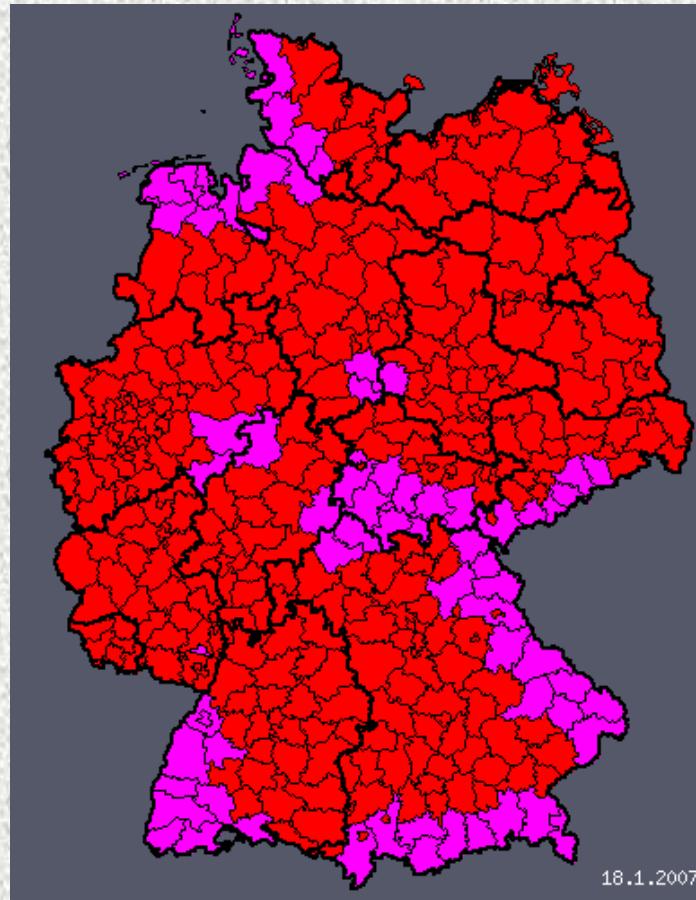
v : zur Referenzgeschwindigkeit
zugehörige Böengeschwindigkeit

Zone	1	alte DIN 1055	2	3	4
v_{ref} in m/s	22,5	-	25,0	27,5	30,0
q_{ref} in kN/m ²	0,32	-	0,39	0,47	0,56
v in m/s	32,6	34,6	36,3	39,9	43,5



Orkanwarnung v. 18.Jan.'07

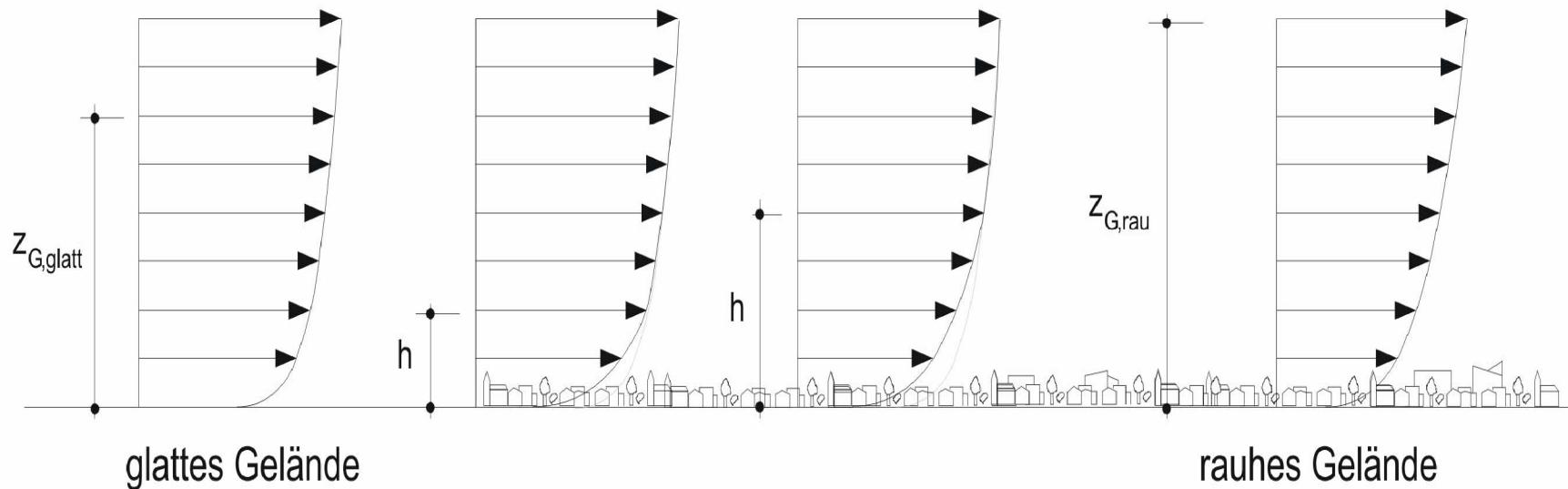
© www.unwetterzentrale.de



■ $100 \text{ km/h} \leq v_b \leq 130 \text{ km/h}$

■ $v_b \geq 130 \text{ km/h}$

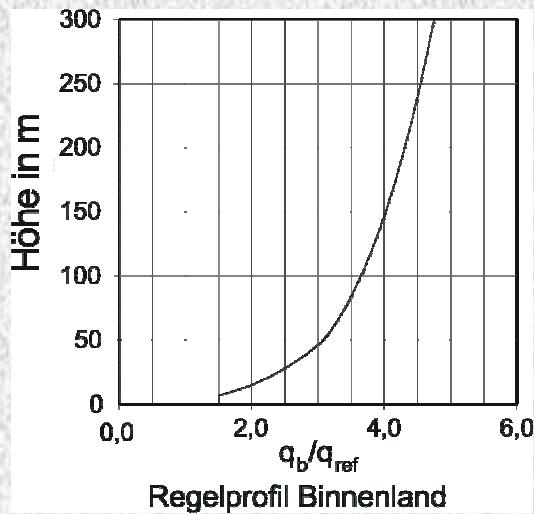
Mess-station	$v_m(10\text{m})$ in m/s	$v_b(10\text{m})$ in m/s	Rang
Hamburg	13,9	25,3	40. von 51 J.
Potsdam	19,2	32,0	15. von 103 J.
Frankfurt	17,0	25,3	3. von 33 J.
Stuttgart	17,0	26,1	5. von 47 J.
Karlsruhe	18,1	27,0	2. von 54 J.
München	21,1	33,1	2. von 44 J.
Brocken	37,0	55,0	23. von 45 J.
Leipzig	20,0	30,8	12. von 29 J.
Dresden	22,2	33,1	1. von 28 J.



Das Bild zeigt einen **Wechsel der Bodenrauhigkeit** von glatt nach rau. Hinter dem Wechsel entsteht zunächst ein Mischprofil. Nach einer Lauflänge der Windströmung von mehreren Kilometern über dem rauen Gelände hat sich das neue Windprofil vollständig durchgesetzt.

Die Bebauung liegt überwiegend im Bereich von Mischprofilen der GK II und GK III oder GK III und GK IV. Die Norm hat als Regelfall deshalb Mischprofile festgelegt, s. Abschnitt 10.3.

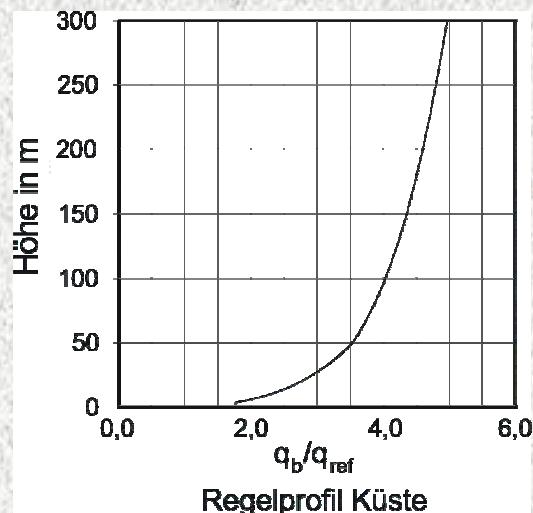
Regelprofile des Böengeschwindigkeitsdruckes



Regelprofil Binnenland

Mischprofil zwischen GK II – offenes Gelände und GK III – Vorstadt

Oberhalb von $z = 50\text{m}$ gilt das Profil für GK II, bis $z = 7\text{m}$ gilt ein konstanter Wert, dazwischen ein Übergangsprofil.



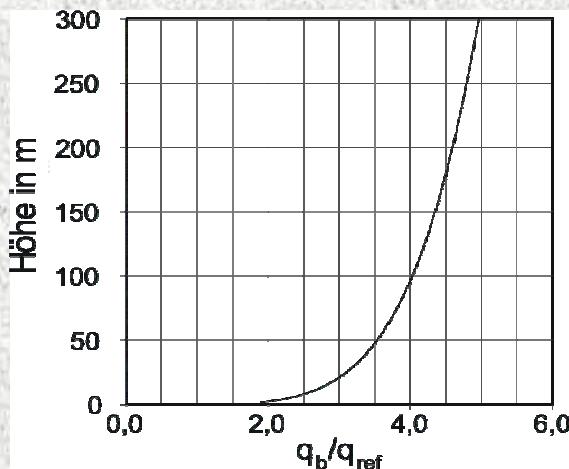
Regelprofil Küste

Mischprofil zwischen GK I – offene, große Wasserflächen und GK II
offenes Gelände.

Oberhalb von $z = 50\text{m}$ gilt das Profil für GK I, bis $z = 4\text{m}$ gilt ein konstanter Wert, dazwischen ein Übergangsprofil.

Anzuwenden in küstennahen Gebieten und auf den Inseln der Ostsee.

Regelprofile des Böengeschwindigkeitsdruckes



Regelprofil Nordseeinseln

Regelprofil Nordseeinseln

Profil der GK I – große, offene Wasserflächen.
Anzuwenden für die Inseln der Nordsee

Die Regelprofile gelten für Bauwerkshöhen bis 300m. Für Gebäude bis zu einer Höhe von 25m dürfen vereinfachte Geschwindigkeitsdrücke nach Abschnitt 10.2 benutzt werden. Der Einfluss der Bodenrauheit darf genauer bewertet werden. Dabei sind die Geländekategorien und ihre Profile zu verwenden.

Abschnitt 10.2: Tabelle 2

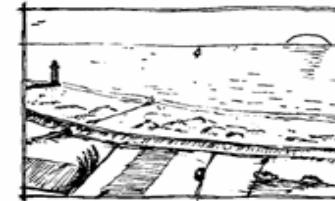
Windzone		Geschwindigkeitsdruck q in kN/m ² bei einer Gebäudehöhe h in den Grenzen von		
		$h \leq 10$ m	$10 \text{ m} < h \leq 18$ m	$18 \text{ m} < h \leq 25$ m
1	Binnenland	0,50	0,65	0,75
2	Binnenland	0,65	0,80	0,90
	Küste und Inseln der Ostsee	0,85	1,00	1,10
3	Binnenland	0,80	0,95	1,10
	Küste und Inseln der Ostsee	1,05	1,20	1,30
4	Binnenland	0,95	1,15	1,30
	Küste der Nord- und Ostsee und Inseln der Ostsee	1,25	1,40	1,55
	Inseln der Nordsee	1,40	–	–

Genauere Erfassung durch die Geländekategorien der Norm

Geländekategorie I

Offene See; Seen mit mindestens 5 km freier Fläche in Windrichtung; glattes, flaches Land ohne Hindernisse

$$z_0 = 0,01 \text{ m}$$



Geländekategorie II

Gelände mit Hecken, einzelnen Gehöften, Häusern oder Bäumen, z.B. landwirtschaftliches Gebiet

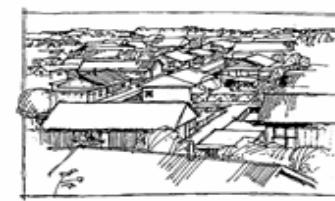
$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$



Geländekategorie III

Vorstädte, Industrie- oder Gewerbegebiet; Wälder

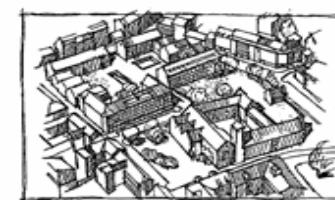
$$z_0 = 0,30 \text{ m}$$



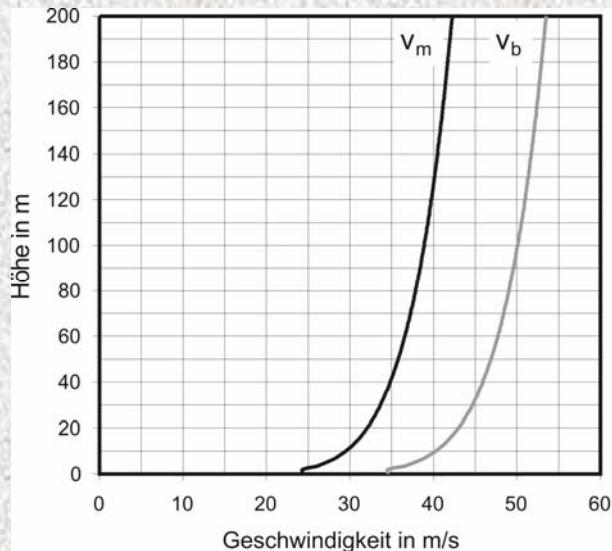
Geländekategorie IV

Stadtgebiete, bei denen mindestens 15% der Fläche mit Gebäuden bebaut ist, deren Höhe 15 m überschreitet

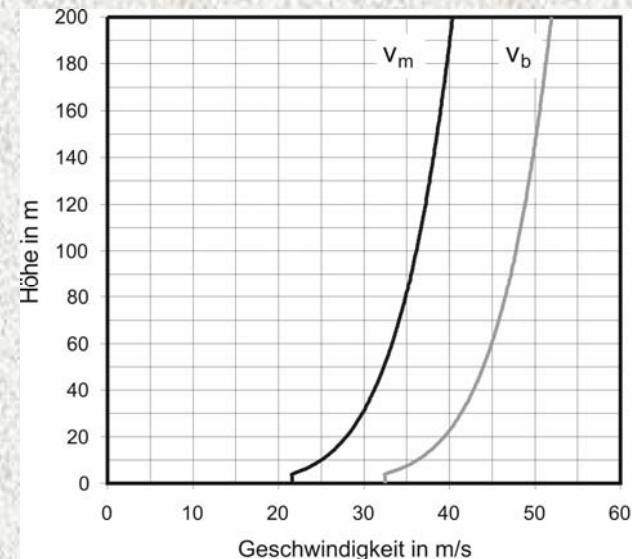
$$z_0 = 1,00 \text{ m}$$



Wind



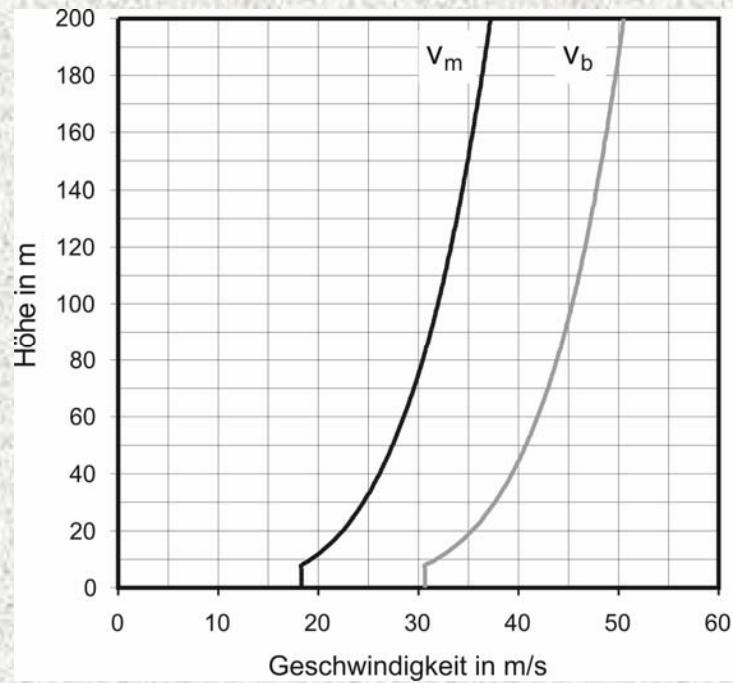
GK I – sehr glatt



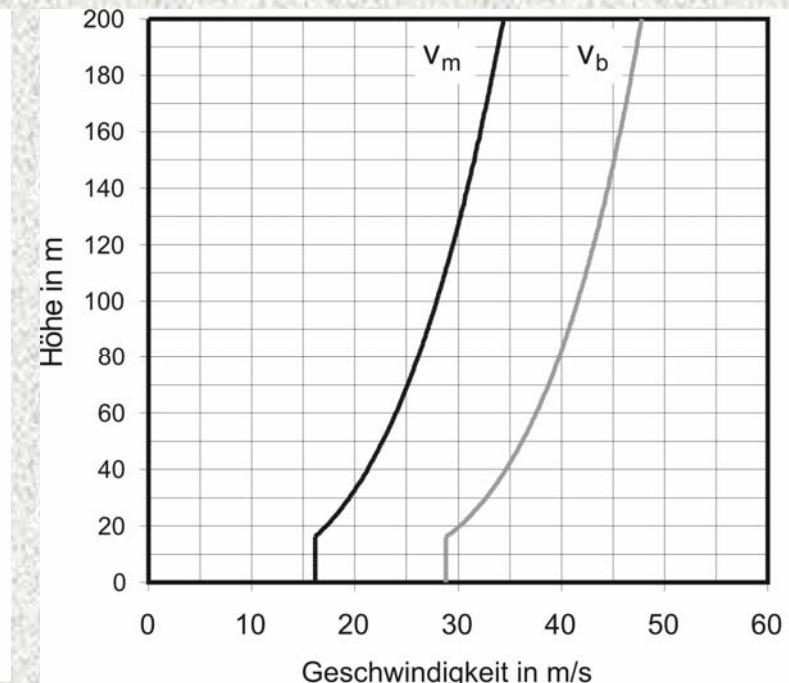
GK II – glatt, Referenzgelände

Anhang B
Profile der mittleren Windgeschwindigkeit v_m und der
Böenwindgeschwindigkeit v in Windzone 2

Wind

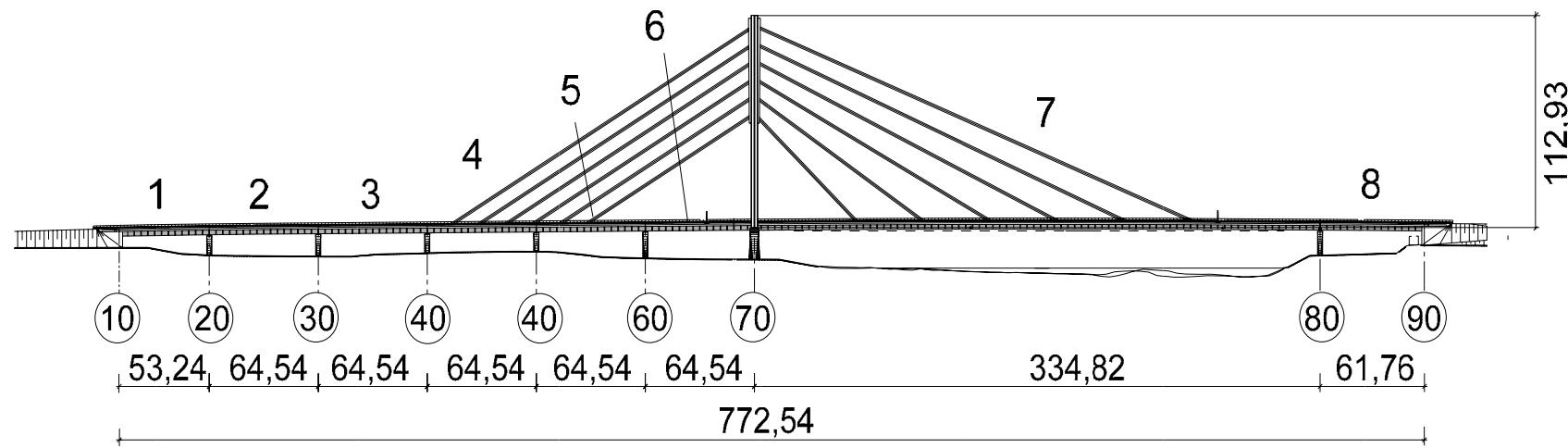


GK III – Wald, Vorstadt



GK IV - Stadtgebiet

Beispiel: RHEINQUERUNG WESEL B58n
- Aerodynamische Untersuchungen -



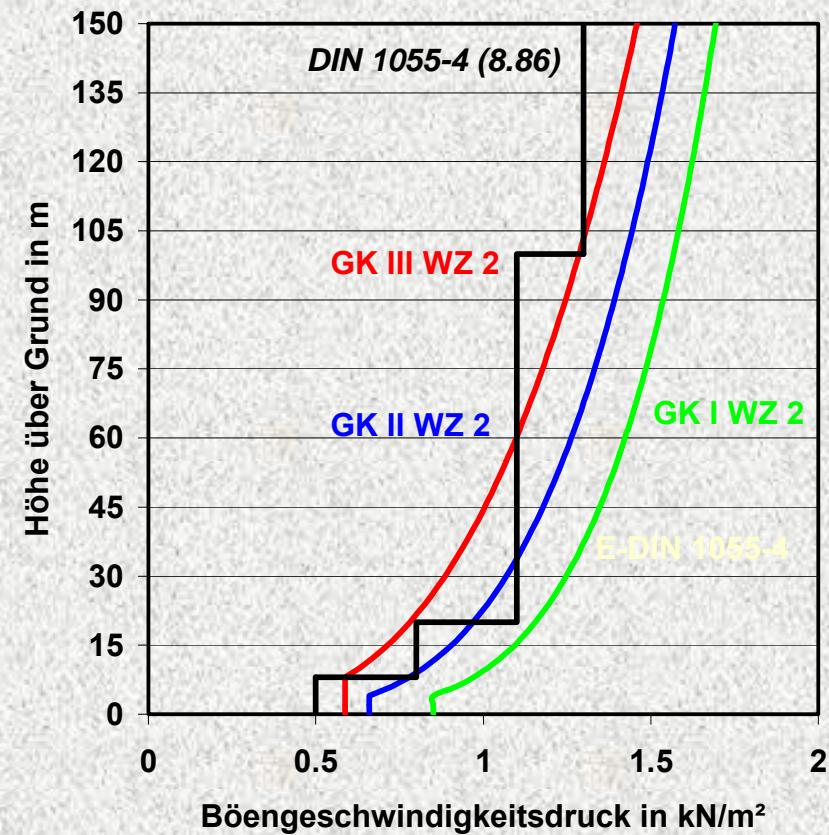
Windlasten auf Brücken sind im DIN-Fachbericht 101 „Einwirkungen auf Brücken“, Anhang N, geregelt

Tabelle N.1: Windeinwirkungen W in kN/m^2 auf Brücken

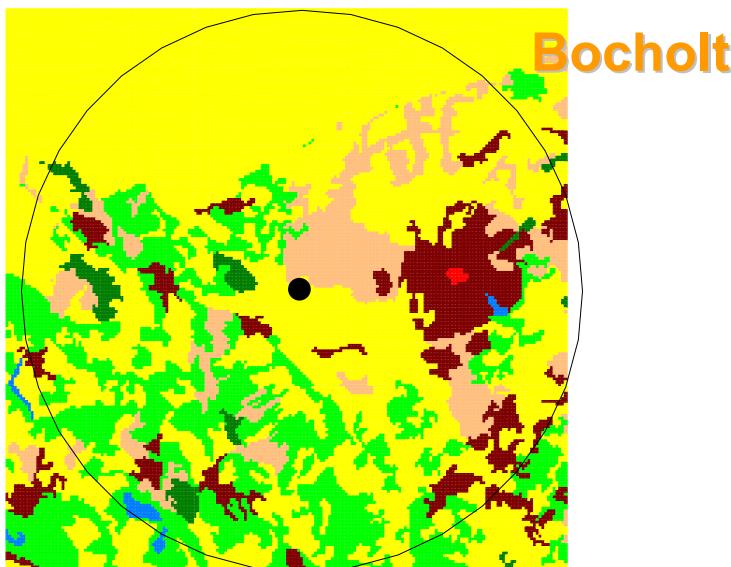
1	2	3	4	5	6	7
	ohne Verkehr und ohne Lärmschutzwand			mit Verkehr ¹⁾ oder mit Lärmschutzwand		
	auf Überbauten					
b/d ²⁾	$z_e \leq 20 \text{ m}$	$20 \text{ m} < z_e \leq 50 \text{ m}$	$50 \text{ m} < z_e \leq 100 \text{ m}$	$z_e \leq 20 \text{ m}$	$20 \text{ m} < z_e \leq 50 \text{ m}$	$50 \text{ m} < z_e \leq 100 \text{ m}$
$\leq 0,5$	3,50	4,30	5,00	2,90	3,55	4,10
= 4	1,90	2,30	2,70	1,55	1,90	2,25
≥ 5	1,90	2,30	2,70	1,20	1,50	1,70
	auf Stützen und Pfeilern ³⁾					
$\leq 0,5$	2,90	3,60	4,00	2,10	2,60	3,00
≥ 5	1,20	1,50	1,70	0,90	1,10	1,20

- Werte der Tabelle sind Abschätzungen zur sicheren Seite, keine Mindestwerte;
- Basis ist ein $v_m = 32 \text{ m/s} > v_{ref}$ in der ungünstigsten Windzone 4;
- die tatsächlichen Windlasten sind in der Regel deutlich kleiner.

Lokales Windklima am Bauwerksstandort



Windzone	v_{ref}	q_{ref}
WZ 1	22,5 m/s	0,32 kN/m ²
WZ 2	25,0 m/s	0,39 kN/m ²
WZ 3	27,5 m/s	0,47 kN/m ²
WZ 4	30,0 m/s	0,56 kN/m ²

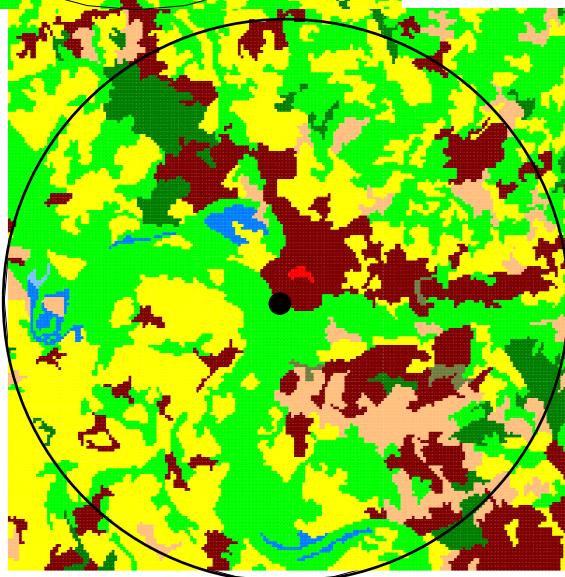


Bocholt

Geländerauhigkeit

Bocholt

GK II mit $z_0 = 0,05 \text{ m}$



Wesel

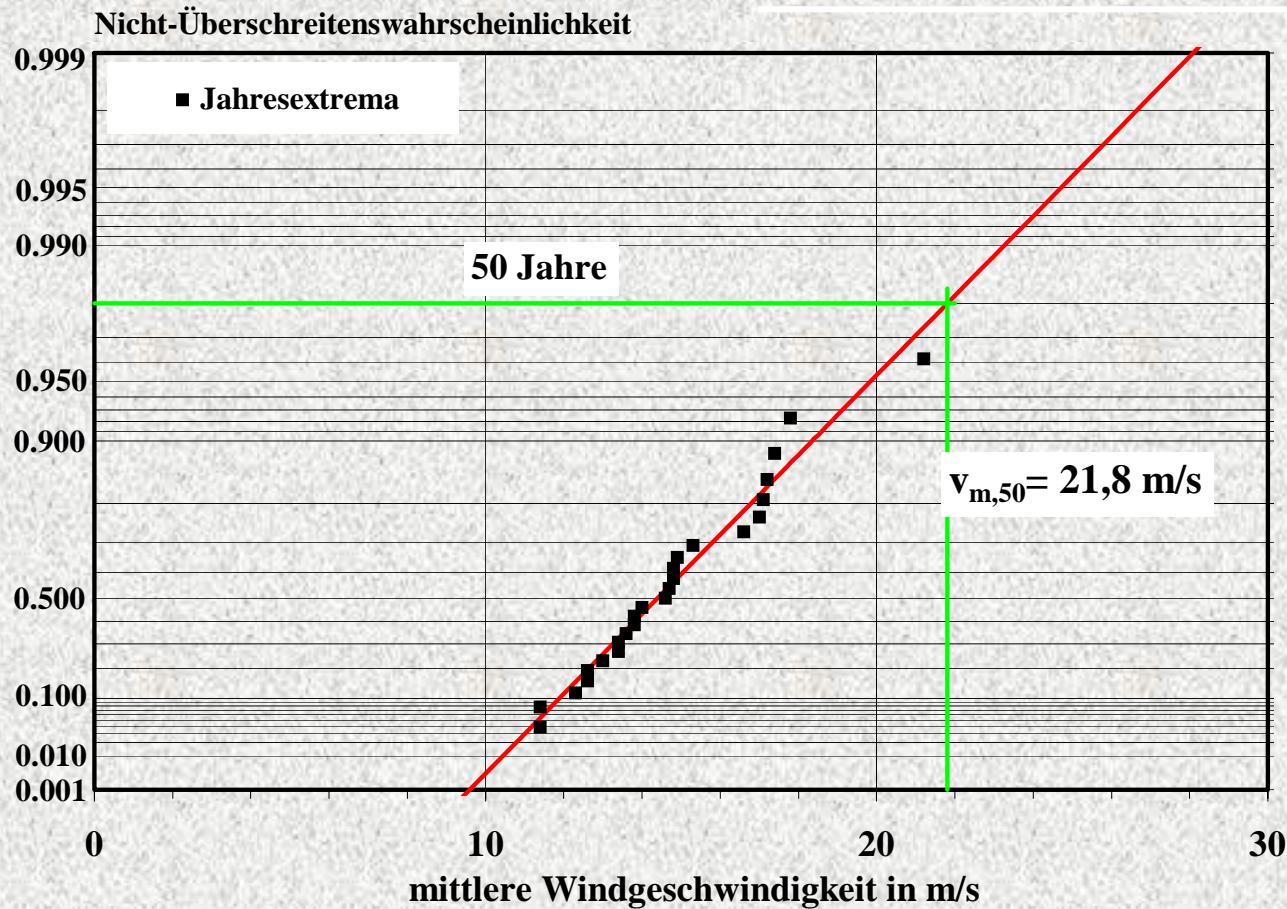
Wesel

GK I mit $z_0 = 0,02 \text{ m}$

GK IV	$z_0 = 1,0 \text{ m}$
GK III	$z_0 = 0,3 \text{ m}$
GK II	$z_0 = 0,05 \text{ m}$
GK I	$z_0 = 0,01 \text{ m}$

Windklima am Bauwerksstandort - Standortanalyse

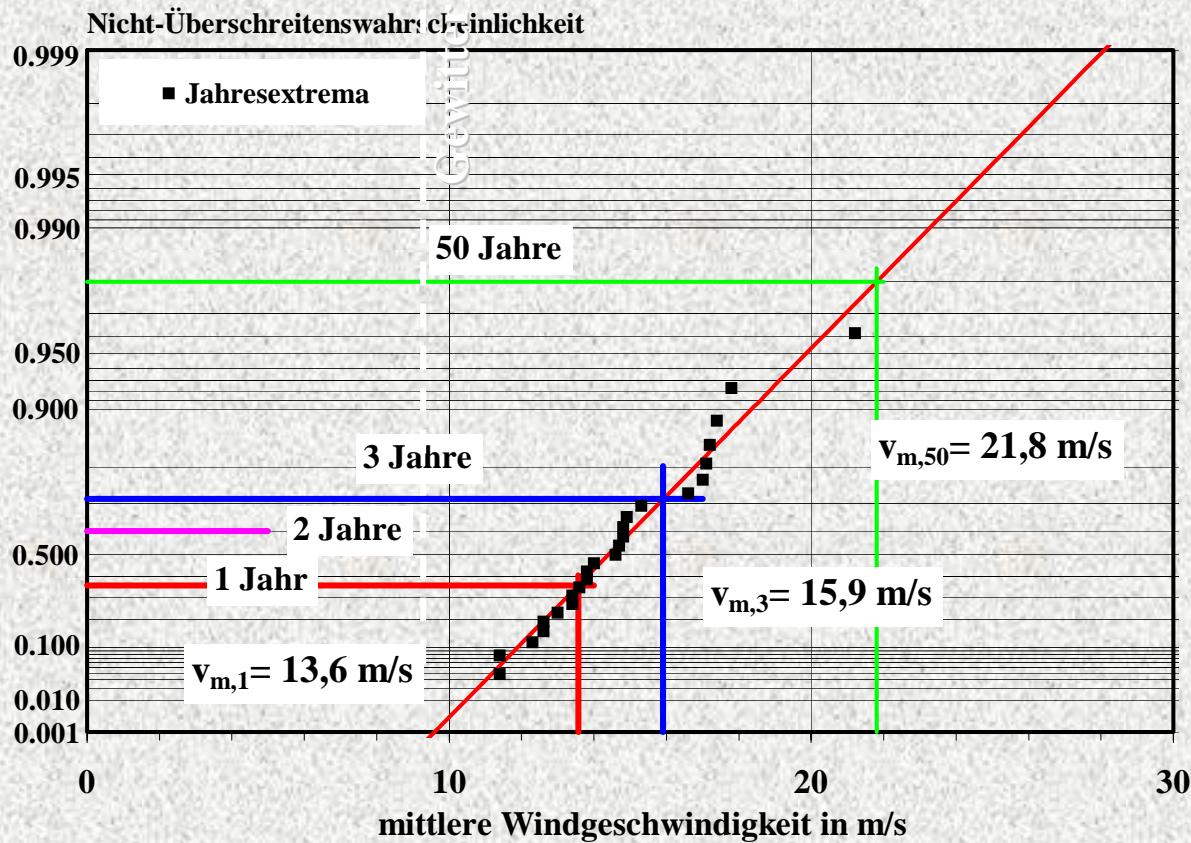
Extremwindstatistik - Bocholt



Rheine 23,7 m/s

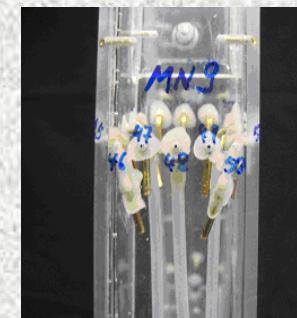
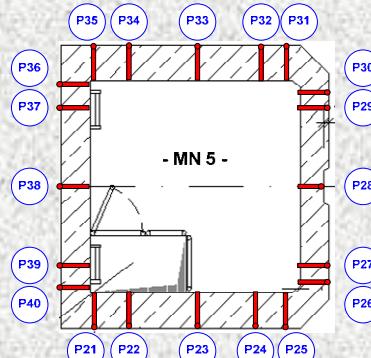
Windklima am Bauwerksstandort - Bauzustand

- Überlastrisiko $P(50 \text{ Jahre}) = P(\text{Nenndauer des vorübergehenden Zustandes})$



Windlast am Pylon

Windkanaluntersuchungen – Druckmessungen am Pylonfuß

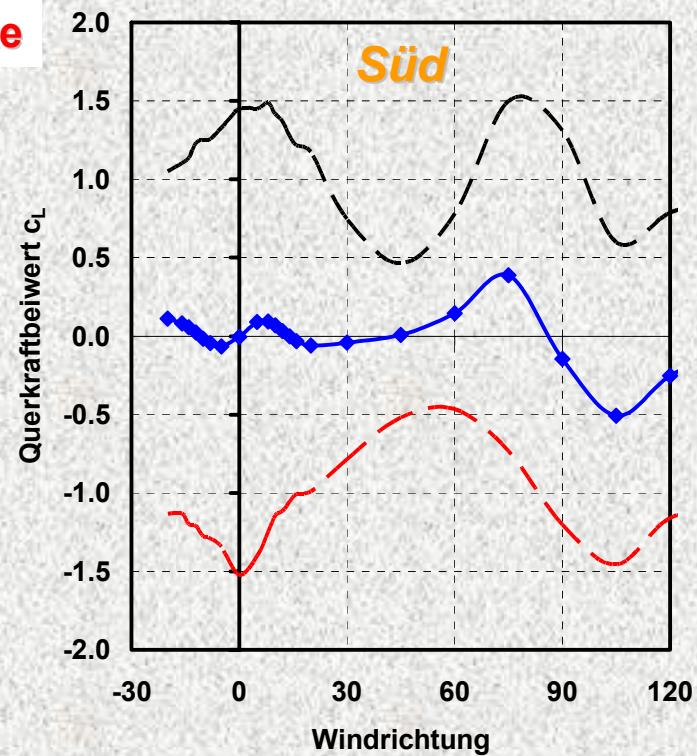
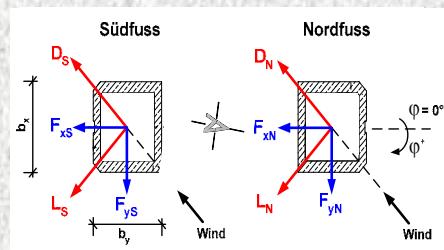
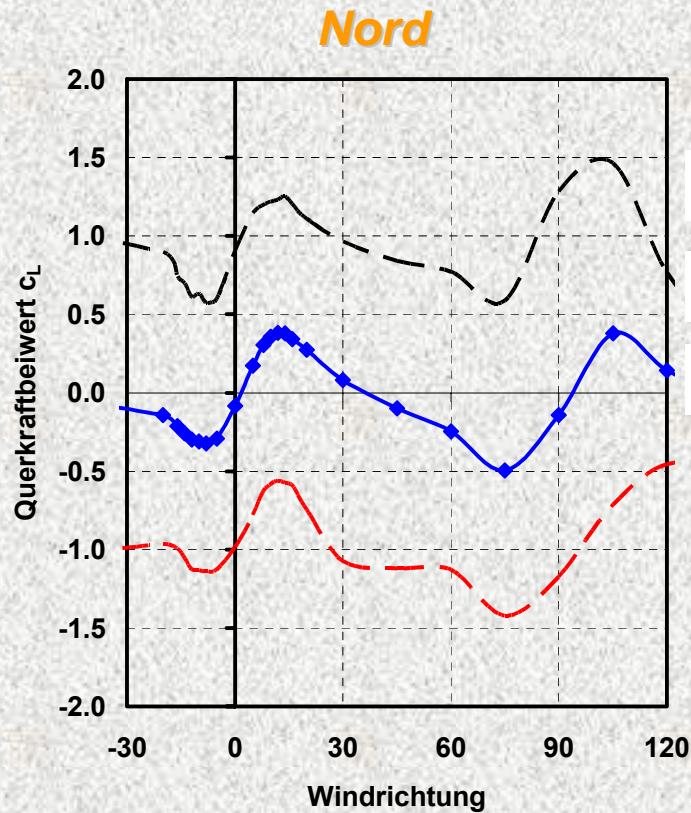


Messprogramm:

Nordfuss:
Südfuss:

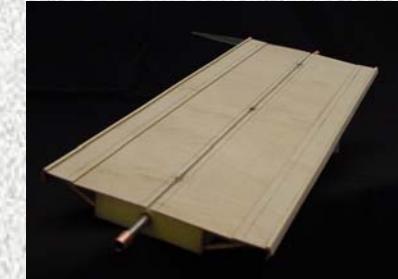
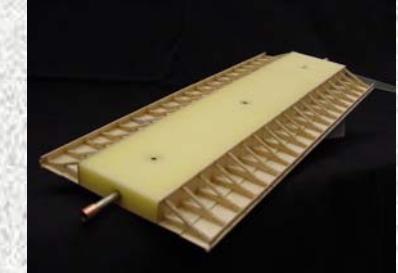
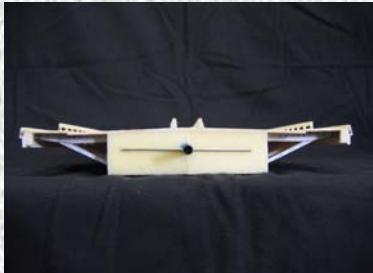
3 MQ mit 60 Messpunkte
5 MQ mit 28 Messpunkte

Windrichtungen : 0 ... 360°, (5° – 10°)-Schritte



Windlast am Brückendeck

Windkanaluntersuchungen – Kraftmessungen am Brückendeck



Messprogramm: Abschnittsmodell Regelquerschnitt

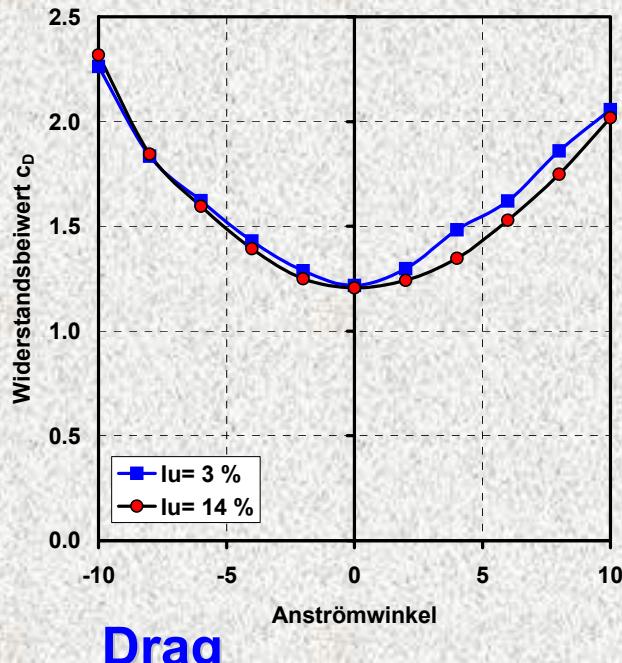
Turbulenzgrad, Re-Einfluss, Modellmaßstab

Bauzustand

Abnahmezustand

Betriebszustand – Verkehrsband

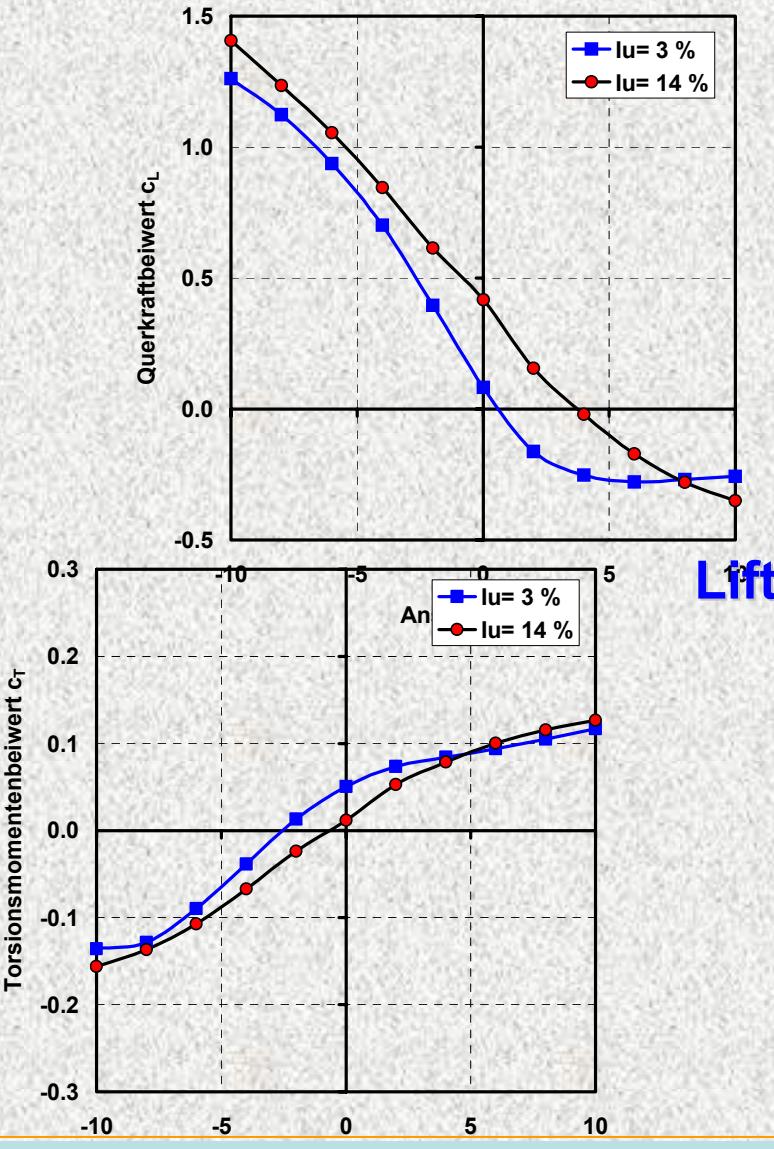
Windrichtungen : 0 ... +/- 10°, (2°... 5°)-Schritte



Drag

Einfluss der
Anströmtur
bulenz

Torsion

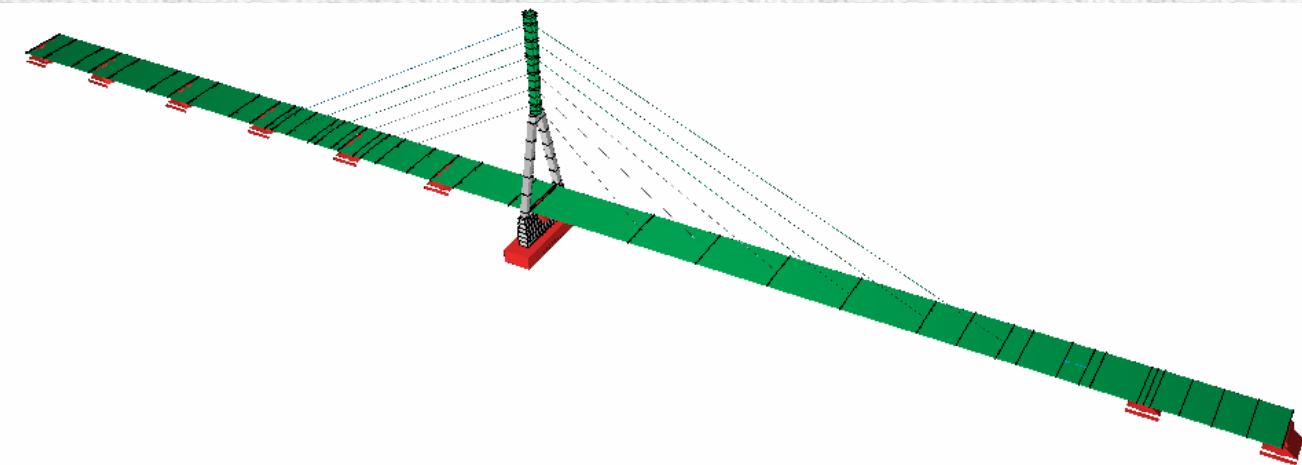


Brückendeck

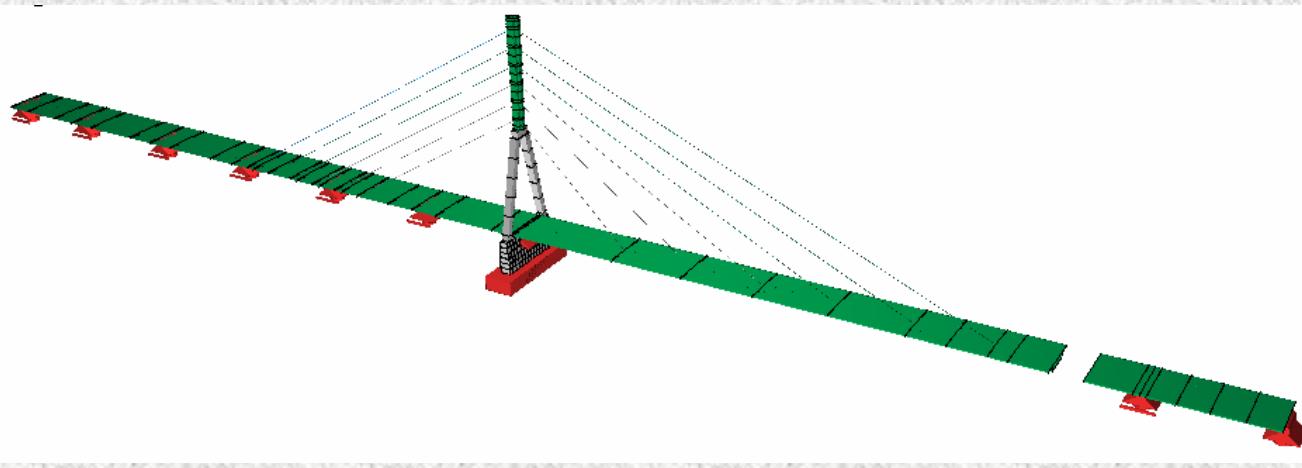
	Horizontal- last in kN/m	Vertikal-last in kN/m
Endausbau		
	Statische Grundlast	2,65
	Quasi- statischer Lastanteil	5,10
	Ersatzlast	7,75
	Betriebs- zustand	
Betriebs- zustand	Statische Grundlast	2,98
	Quasi- statischer Lastanteil	5,42
	Ersatzlast	8,40

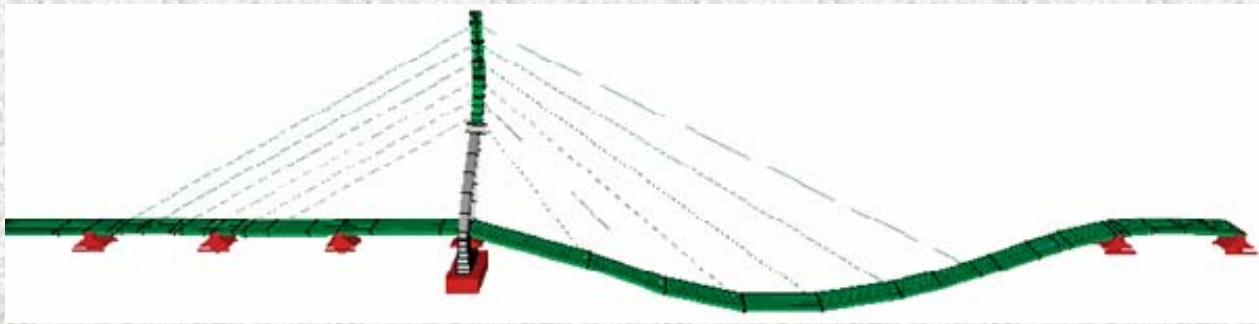
Dynamische Windwirkungen

Endzustand

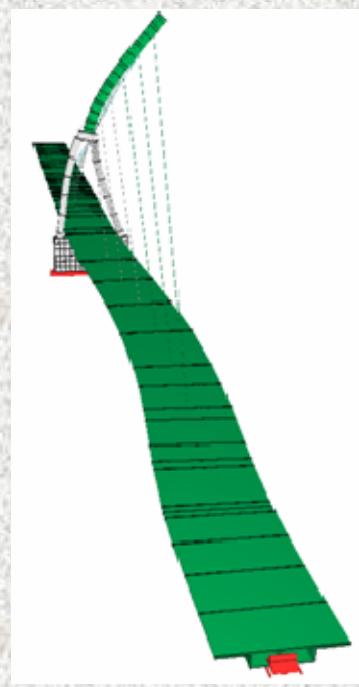


Gesamtsystem mit offener Strombrücke



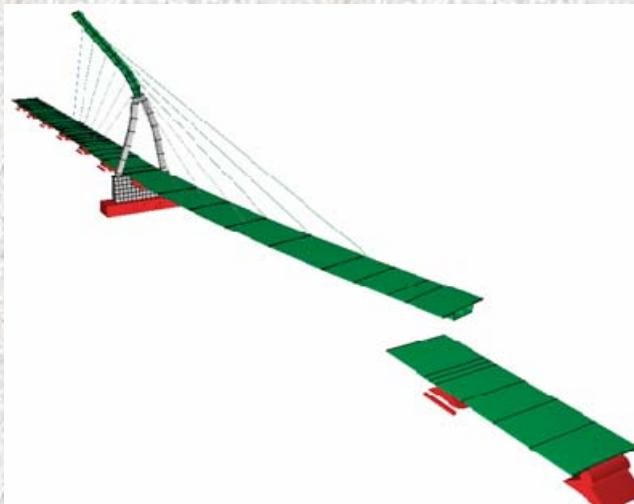


**Vertikale Biegeschwingung der Strombrücke
(1.Eigenform mit $f=0,349$ Hz)**



**Querschwingung des Pylons und der
Strombrücke (2.Eigenform mit $f=0,389$ Hz)**

Grundschwingungsformen mit offener Strombrücke ohne Lückenschluss



Querschwingung des Pylons und
des Stahldecks
(1.Eigenform mit $f=0,142$ Hz)

Biegeschwingung des Stahldecks (2.Eigenform mit $f=0,284$ Hz)



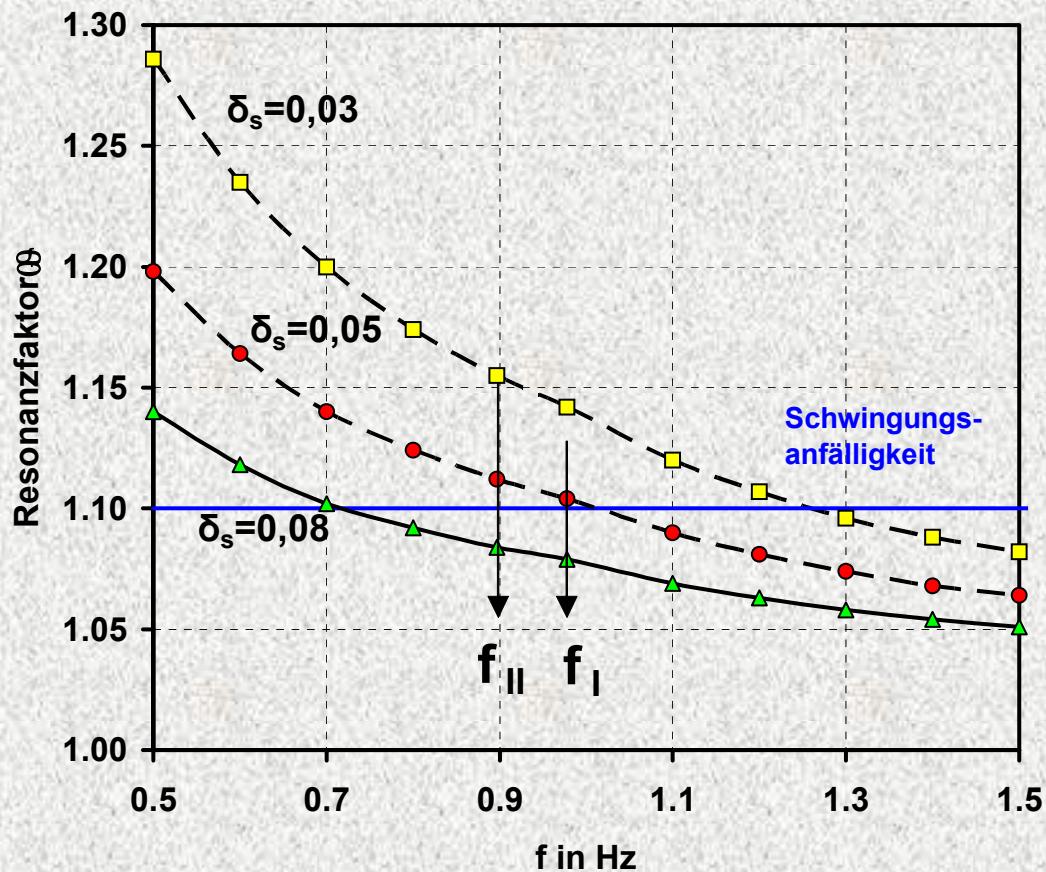
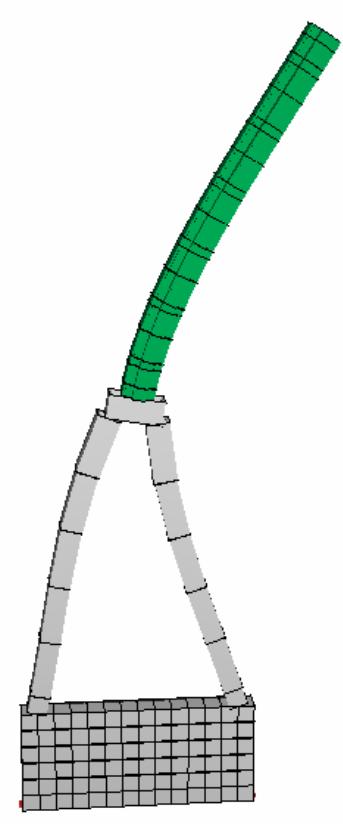


Biegeschwingung des Pylons in
Brückenlängsrichtung
(1.Eigenform mit $f=0,281$ Hz in Zustand 1; $f=0,236$ Hz
in Zustand 2)



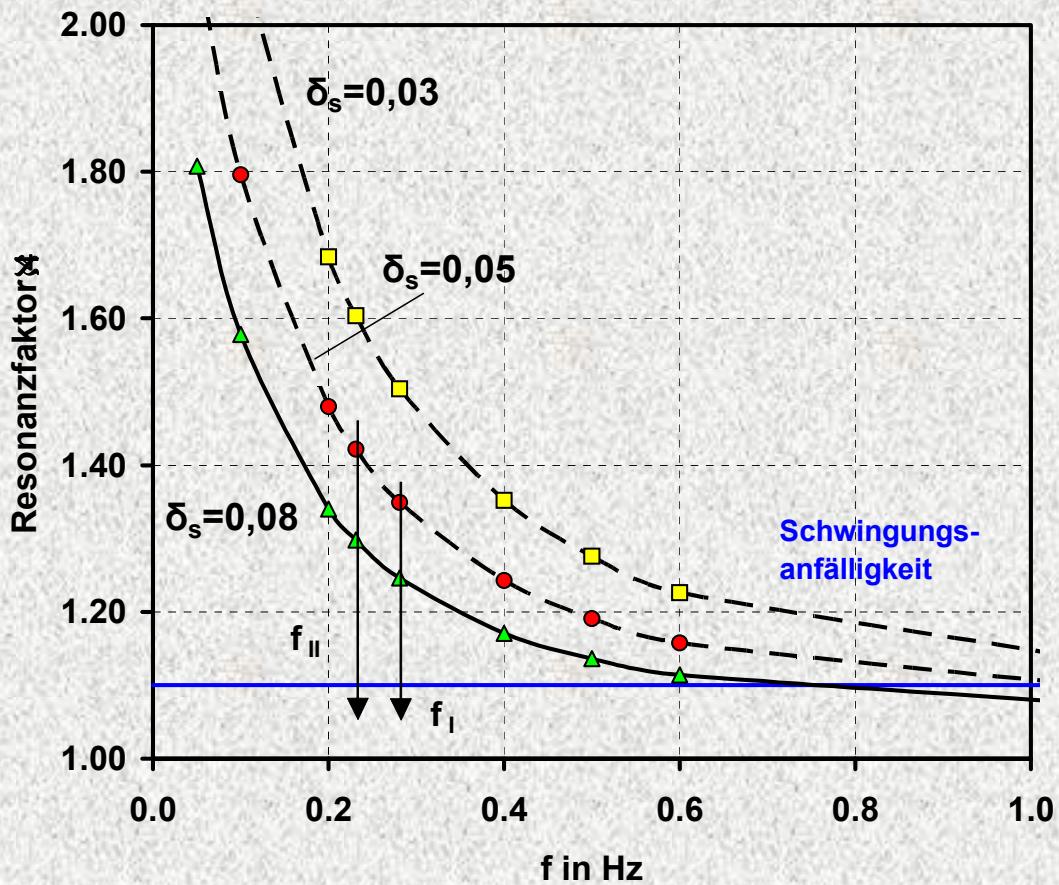
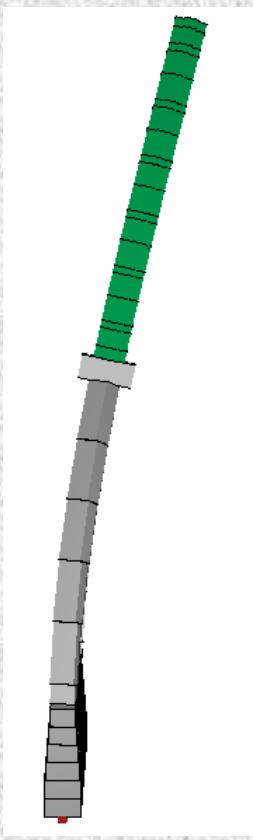
Biegeschwingung des
Pylons in
Brückenquerrichtung
(2.Eigenform mit $f=0,978$ Hz in
Zustand 1;
 $f=0,904$ Hz in Zustand 2)

Dynamische Überhöhung der Böenlast Pylon im Bauzustand

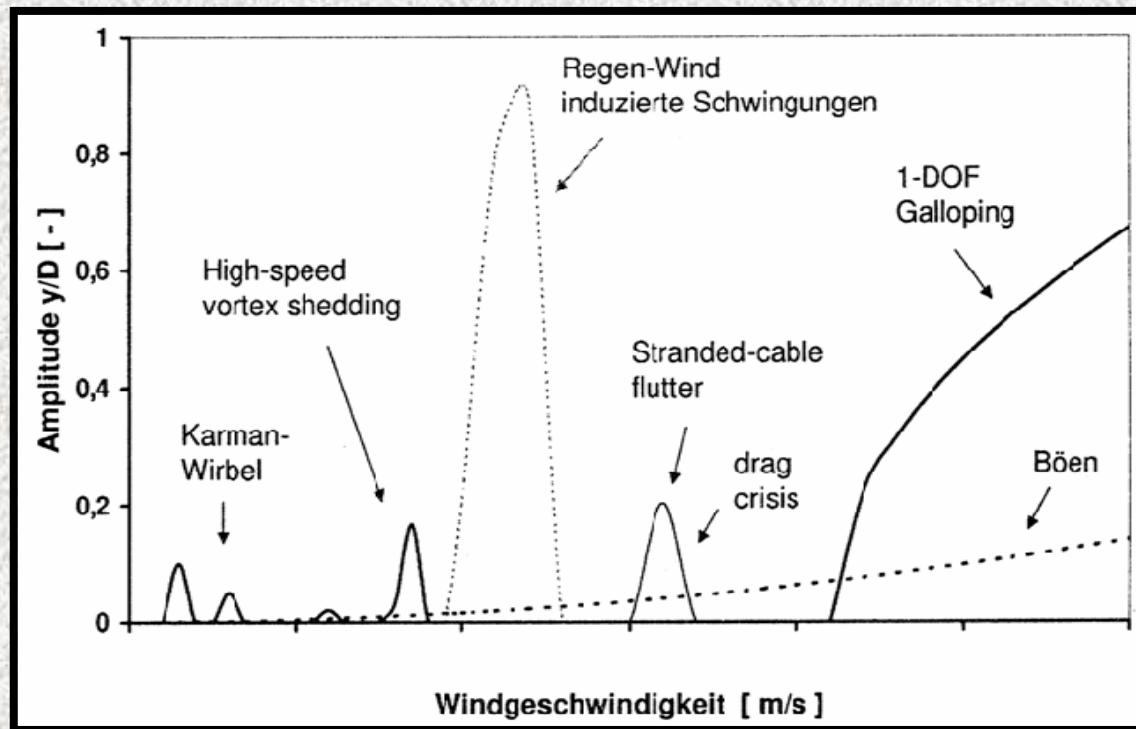


Querschwingung: $\varphi = 1.104$ bei $f_l = 0.98 \text{ Hz}$

Dynamische Überhöhung der Böenlast Pylon im Bauzustand



Längsschwingung: $\varphi = 1.35$ bei $f_I = 0.28$ Hz



- Wirblerregung der Pylone durch Kármánsche Wirbelstraßen
- Wirblerregung der Seile
- Regen-Wind induzierte Schwingungen der Seile



Guadalupe Islands

ENDE