



Windbelasting op constructies

Onzekerheden verkleinen voor grotere veiligheid

Chris Geurts, Raphael Steenbergen, Carine van Bentum, Nadieh Meinen





Eerst even voorstellen

TU Eindhoven;

PhD (1997) 'Wind induced pressure fluctuations on building facades'.

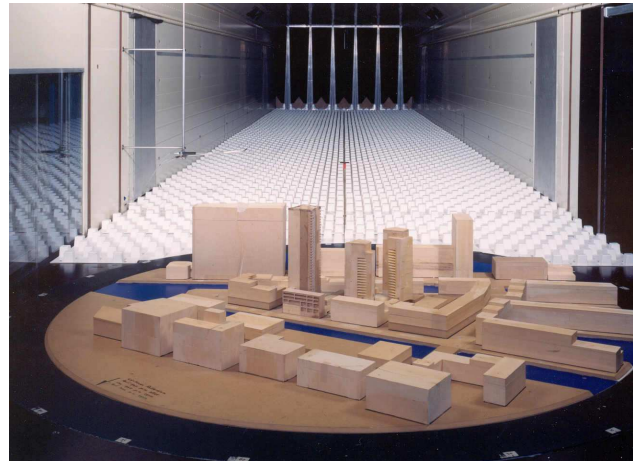
Sinds 1997 t/m nu: TNO, Delft

Structural Dynamics, Wind Engineering, Roofing and Cladding, Building Innovation

2009-2014: Deeltijd bijzondere leerstoel TU/e:
'Technology of the building envelope'



Windtechnologie



Chris Geurts
Wind Loads on Structures

Stuurgroep Windtechnologie

WERKZAAM ONDER AUSPICIËN VAN DE AFDELING
BOUW EN WATERBOUWKUNDE VAN HET KIM NIRIA



Opgericht ter bevordering van toepassing en ontwikkeling van de windtechnologie door het tot stand brengen van communicatie tussen partijen

Onderdeel van Kivi afdeling Bouw en Waterbouw

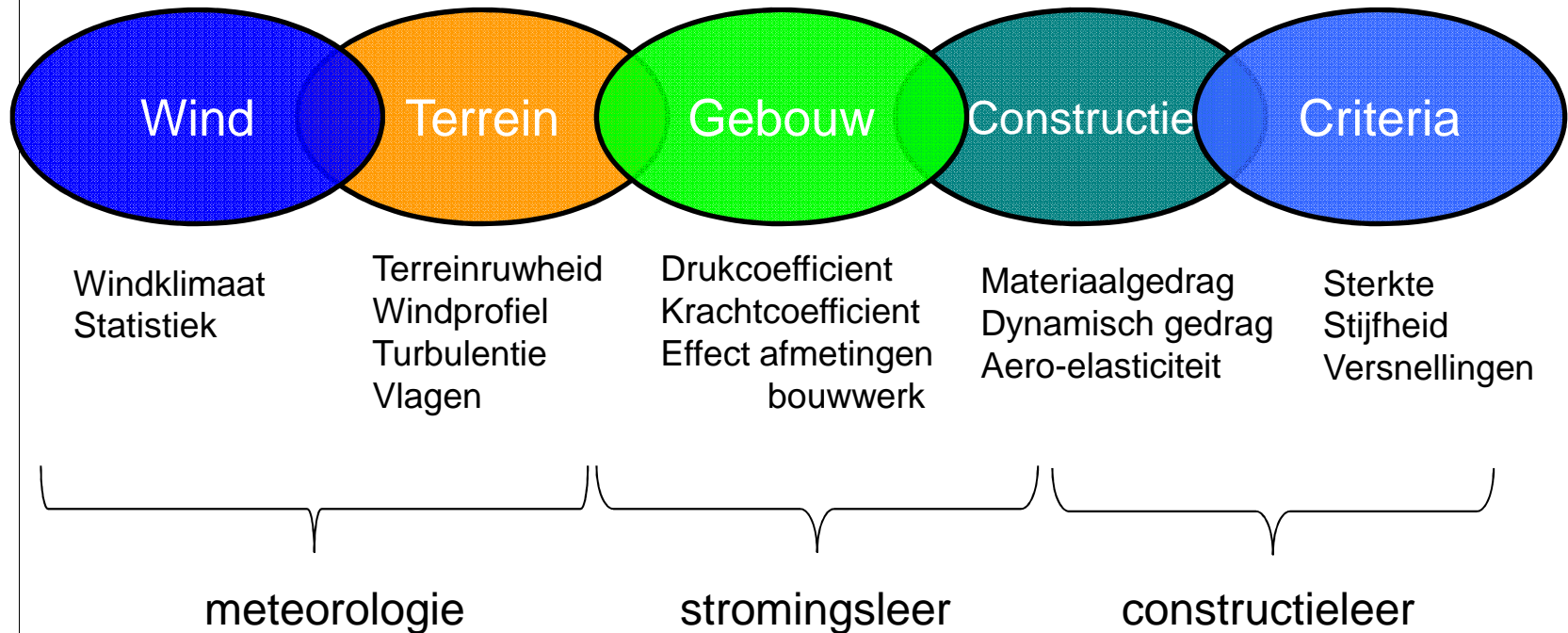
www.stuurgroepwindtechnologie.nl

Aktiviteiten: Werkgroepen / Cursus / Symposia / Nieuwsbrief

Wij voegen uw naam graag toe aan onze verzendlijst



“Alan Davenport Wind Loading Chain”





Constructieve Betrouwbaarheid

Bouwconstructies moeten aan de gestelde eisen ten aanzien van **veiligheid** voldoen, gedurende een vooraf gestelde **referentieperiode** en met een vooraf vastgestelde mate van **betrouwbaarheid**.

Betrouwbaarheid = Kans dat een constructie bezwijkt (uiterste grenstoestand); Hoe kleiner de kans, hoe groter de betrouwbaarheid



Betrouwbaarheid

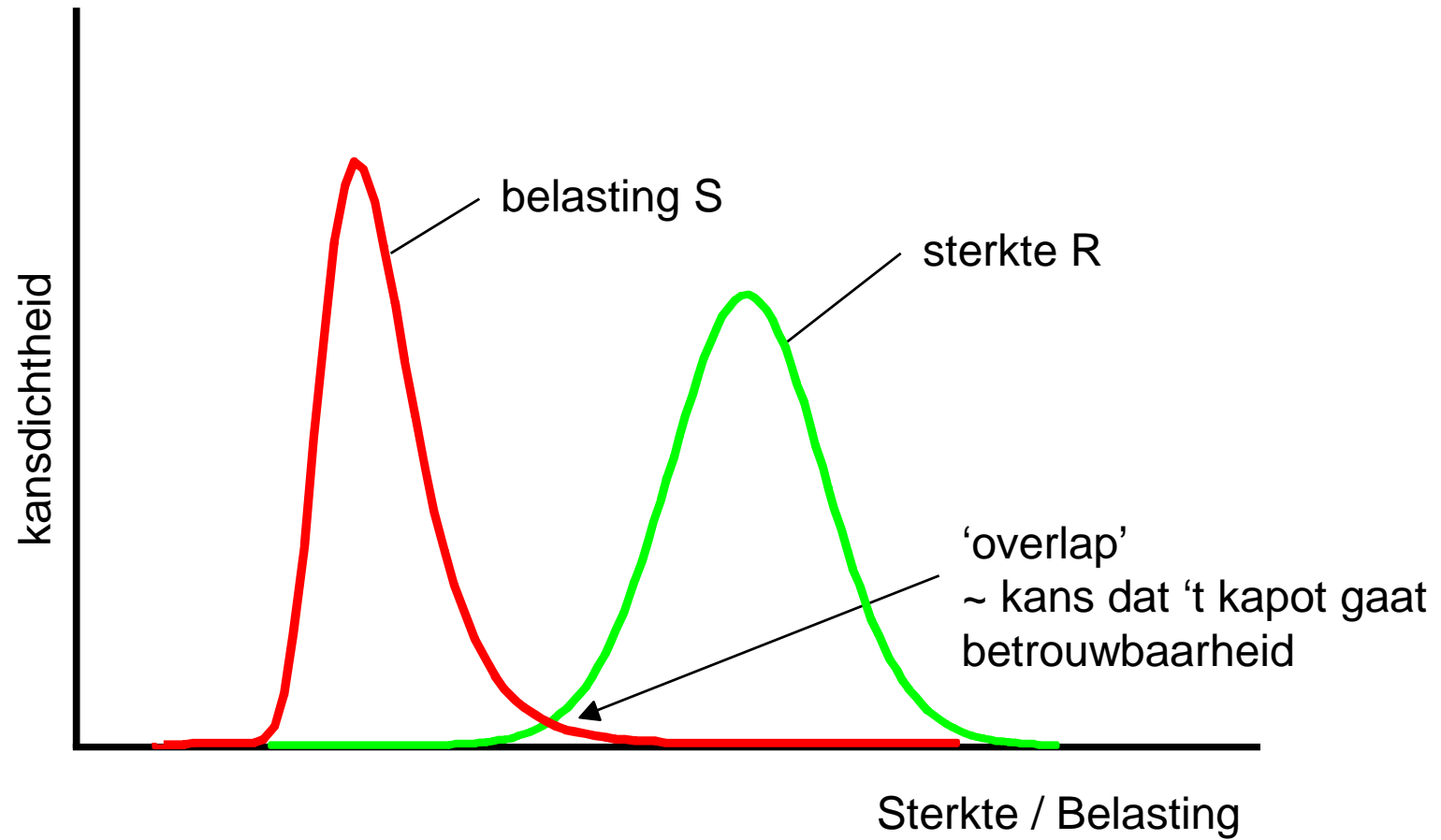
- › Kans dat Belasting > Sterkte
- › Wordt uitgedrukt in betrouwbaarheidsindex β :
- › als $\beta \uparrow$ dan betrouwbaarheid \uparrow

β	0.0	1.3	2.3	3.1	3.8	4.3	4.8	5.2	5.6
P_f	0.5	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}

betrouwbaarheids-klasse	gevolgen van bezwijken		betrouwbaarheidsindex β (uiterste grenstoestand)	
	ten aanzien van mensenlevens	economisch, sociaal, of ten aanzien van de omgeving	wind maatgevend	overige belastingen maatgevend
3	groot (enkele tientallen)	zeer groot	(3,3)	4,3
2	middelmatig	aanzienlijk	2,8	3,8
1	gering	klein/verwaarloosbaar	(2,3)	3,3

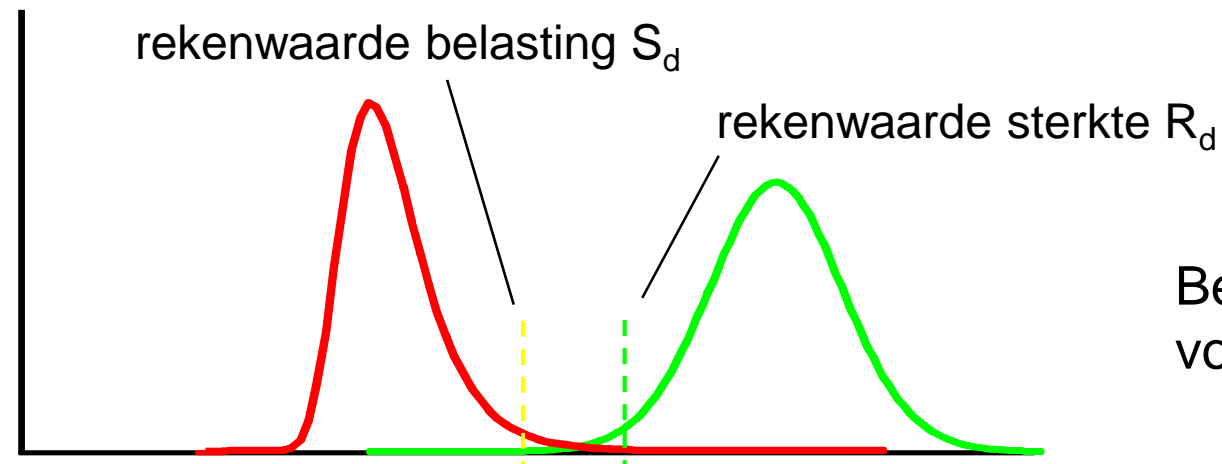
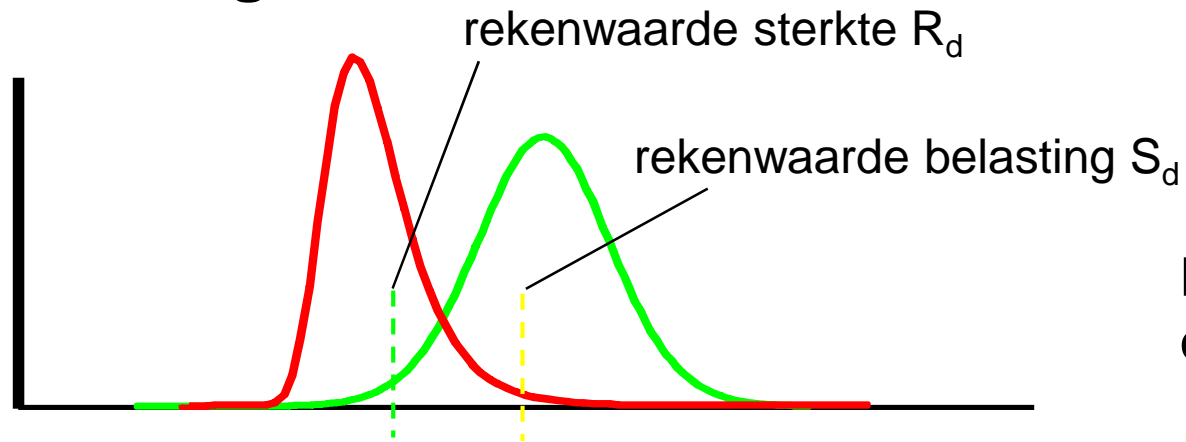


Betrouwbaarheid





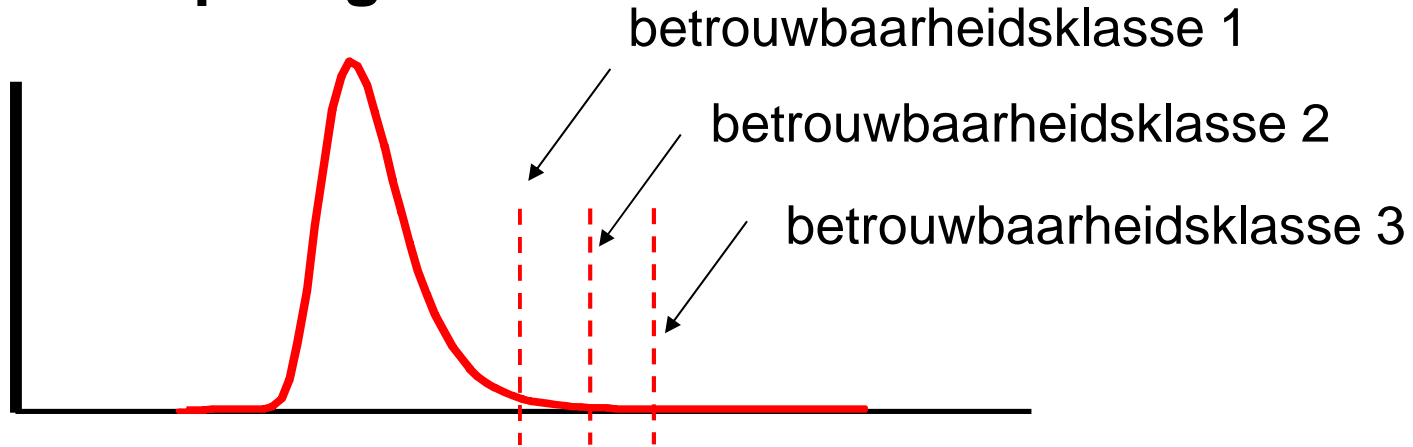
Toetsing





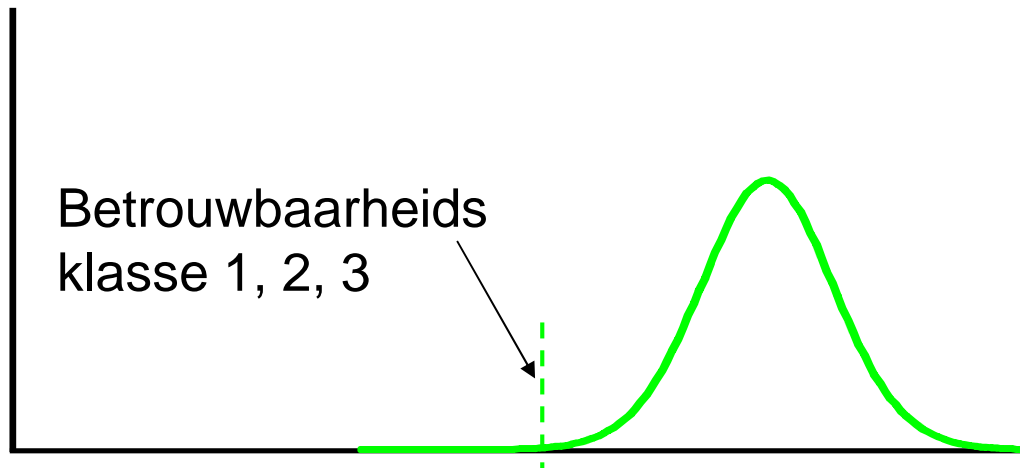
Bepaling rekenwaarden

belasting



Betrouwbaarheids
klasse 1, 2, 3

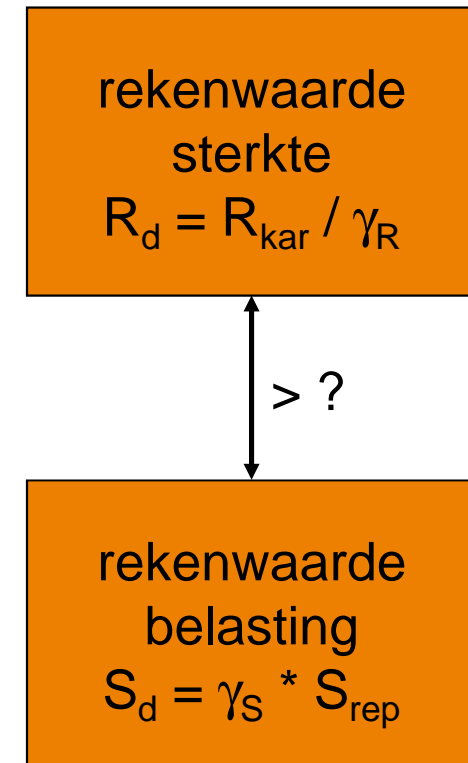
sterkte





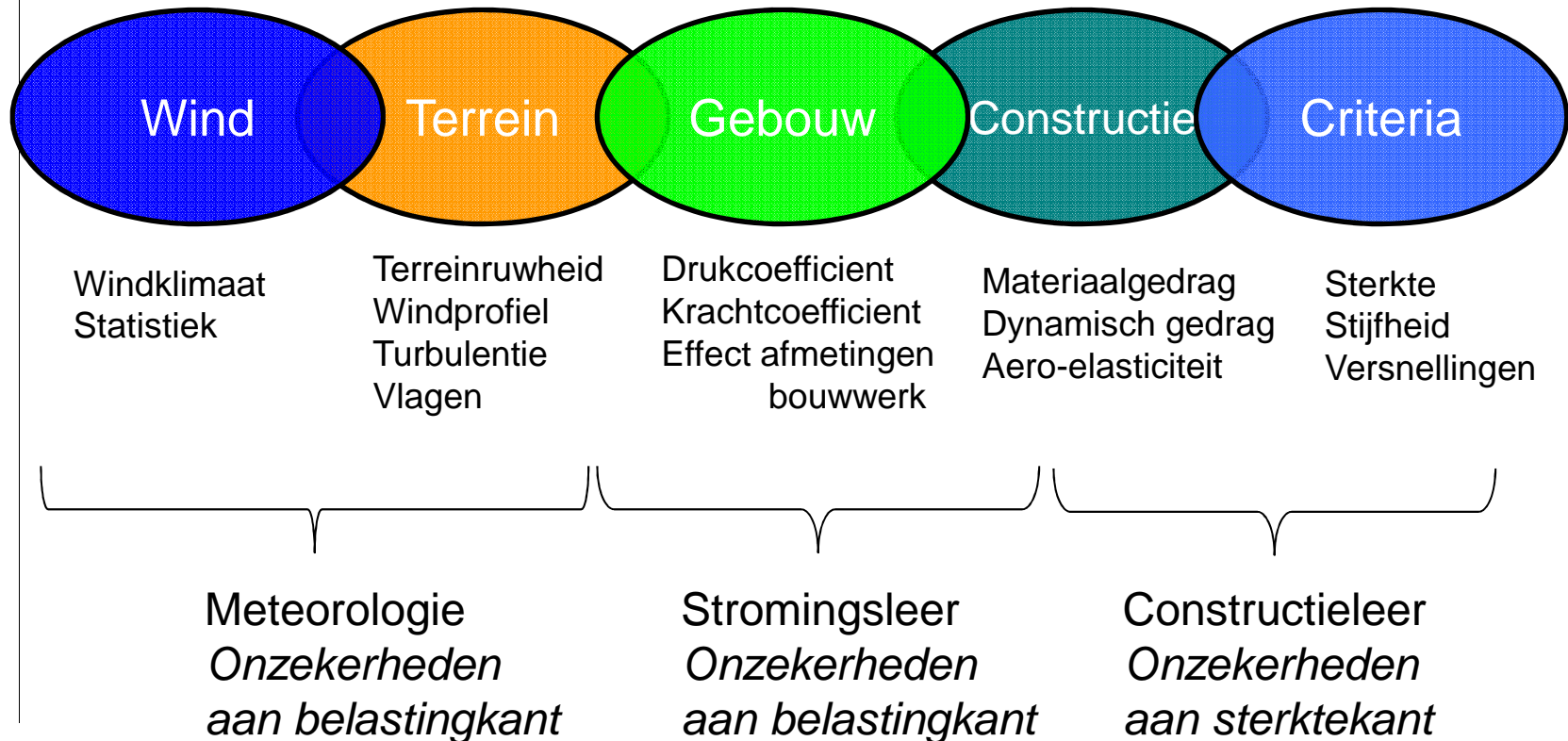
Nodig voor betrouwbaarheidstoets

- › Model voor belasting(en)
 - › Verdelingstypes
 - › Gemiddelden, standaarddeviaties etc.
 - › Keuze voor een karakteristieke waarde
 - › Partiele veiligheidsfactoren
- › Idem voor de sterkte
- › Bij windbelasting:
 - › Karakteristieke waarde S_{rep} : $R = 50$ yr.
 - › Rekenwaarde S_d afh. van β ; dit bepaalt de veiligheidsfactor





Terug naar de Wind Loading Chain (1)





Basisformules Eurocode Windbelastingen

$$F_w = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot A_{\text{ref}}$$

$$q_b(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(z)$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2(z) \cdot c_r^2(z) \cdot c_o^2(z)$$

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \longrightarrow k_r = 0.19 \left(\frac{z_0}{0.05}\right)^{0.07}$$



Parameters en onzekerheden

› Klimaat

V_b , V_{b0} , C_{alt} , C_{season} , C_{dir} , C_{prob}

› Effect van ruwheid en orografie

V_m , C_r , C_o

› Effect van turbulentie

I_v , g

› Effect van frequentie van vlagen

$C_s C_d$

› Effect van vorm van obstakel

C_f , C_p (Druk- en krachtcoëfficiënten)



Onzekerheden, afgeschat door Davenport

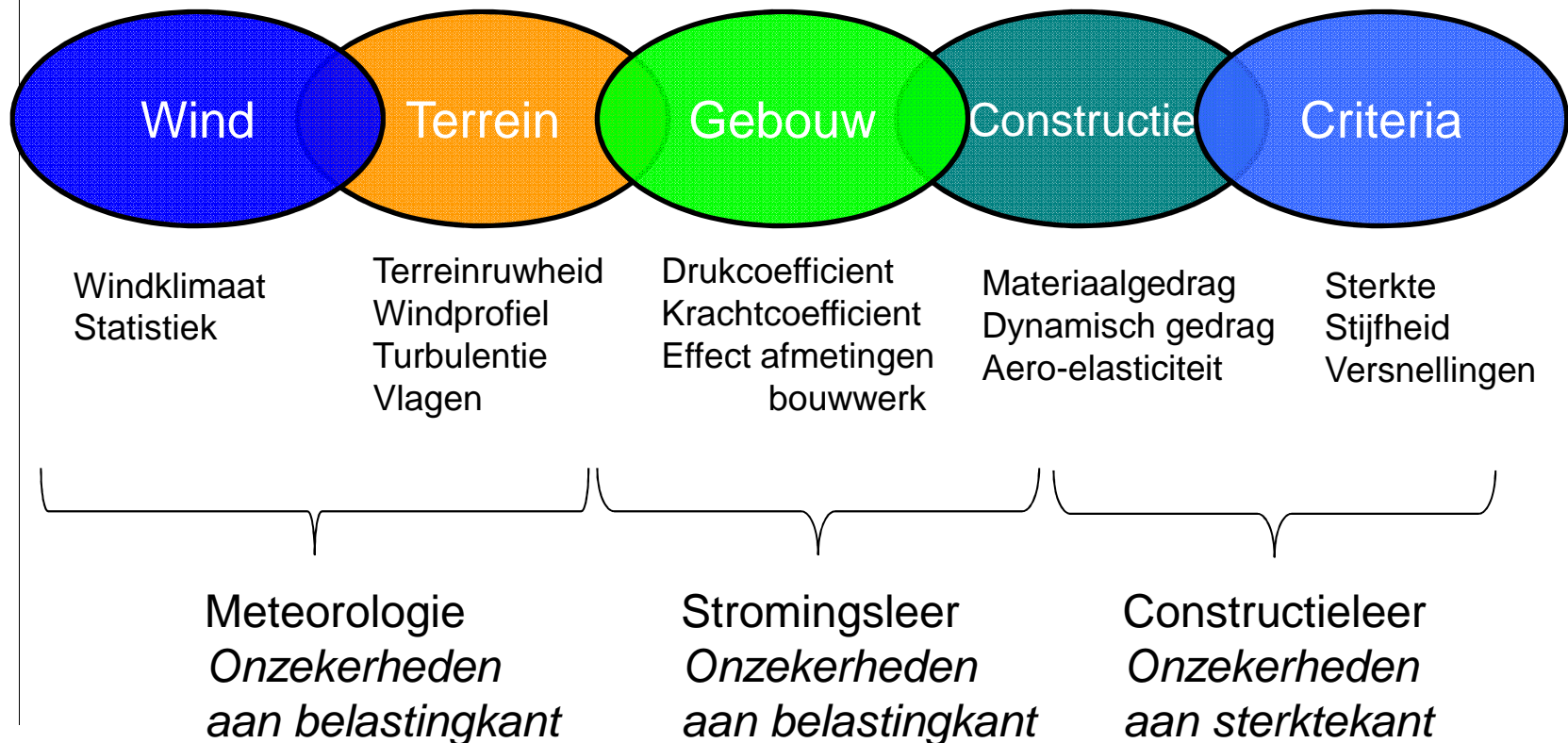
Table 5 Statistics of random variables involved in the assessment of the wind loading

Variable	Ratio $\frac{\text{Expected}}{\text{Computed}}$	Coefficient of variation, V	Reference
\bar{Q}_{ref}	0.8	0.2 - 0.3	Davenport, 1987
c_r	0.8	0.1 - 0.2	
c_a - pressure coefficients	1.0	0.1 - 0.3	
- force coefficients	1.0	0.1 - 0.15	
c_g	1.0	0.1 - 0.15	
c_d	1.0	0.1 - 0.2	
Structure period	0.85	0.3 - 0.35	Vanmarcke, 1992
- small amplitudes	1.15	0.3 - 0.35	
- large amplitudes	0.8	0.4 - 0.6	
Structure damping	1.2	0.4 - 0.6	
- small amplitudes			
- large amplitudes			

Generally, but not necessarily, the lognormal distribution is the recommended probability distribution function for each of the partial factors involved in Eq. (32) and Eq. (34).



Terug naar de Wind Loading Chain (2)





Basis Wind Snelheid, volgens EN 1991-1-4

Karakteristieke waarde: $R = 50$ jaar

Windsnelheid over vlak terrein op 10 m hoogte

Gemiddelde over 10 minuten

Verschillende uitgangspunten:

Potentiele wind	EN 1991-1-4	Vershil
$T = 60$ min	$T = 10$ min	6 a 8 %
$z_0 = 3$ cm	$z_0 = 5$ cm	2 %

Vraag: Hoe betrouwbaar is de relatie tussen extreme uurgemiddelde en extreme 10 minuten gemiddelde ?

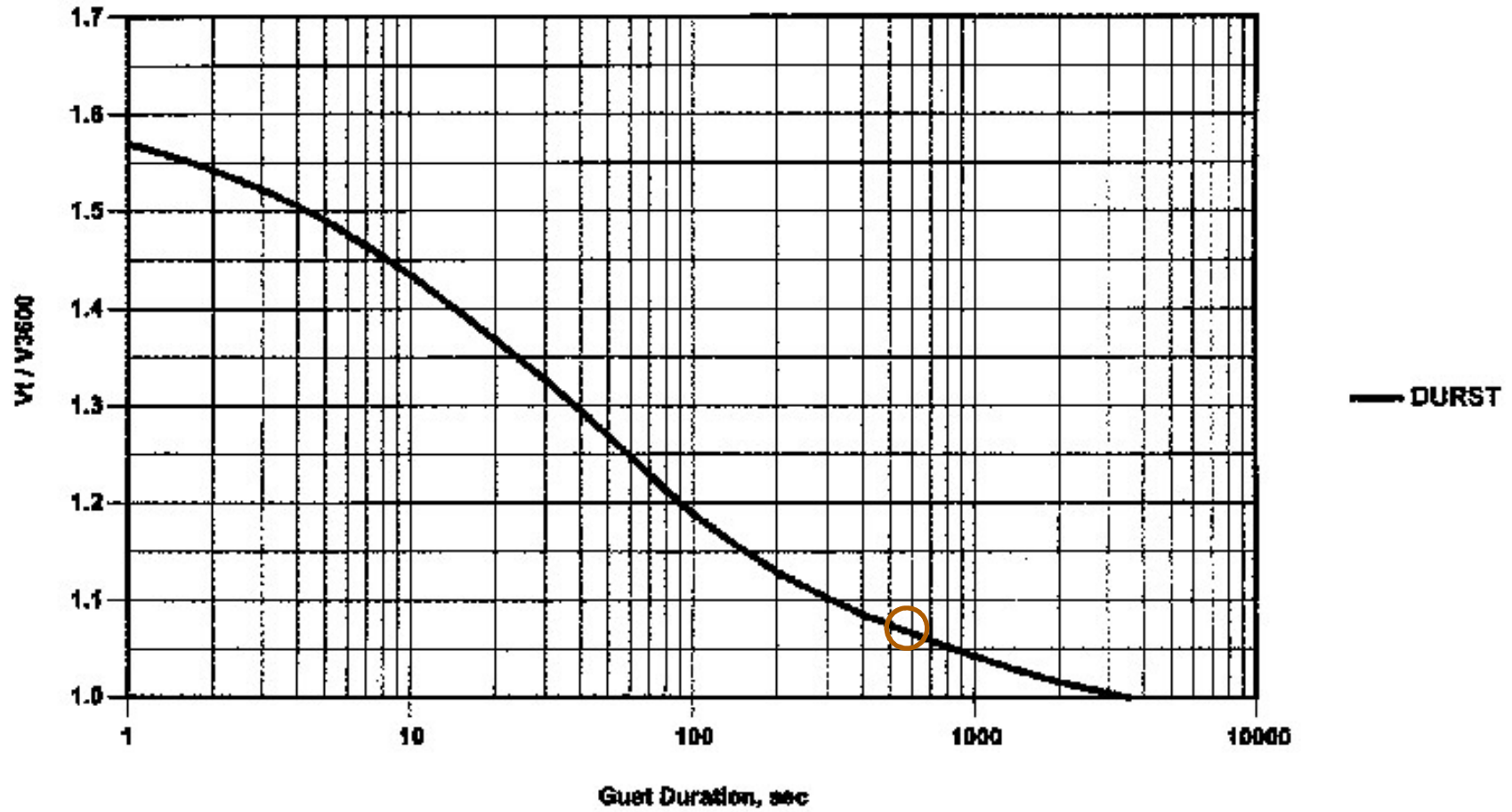


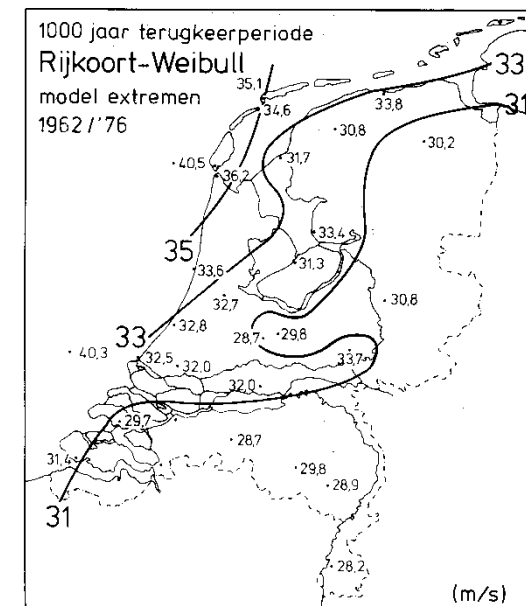
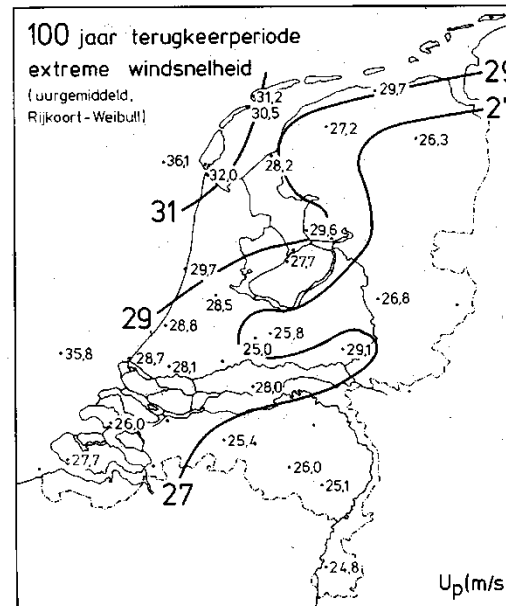
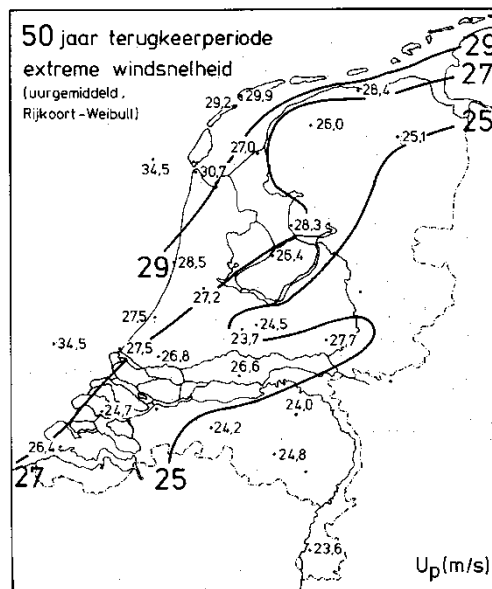
FIGURE C6-4 MAXIMUM SPEED AVERAGED OVER t_s TO HOURLY MEANS SPEED



Basis windsnelheid

KNMI WR 83-3 en 'Windklimaat van Nederland'

Potentiele windsnelheid



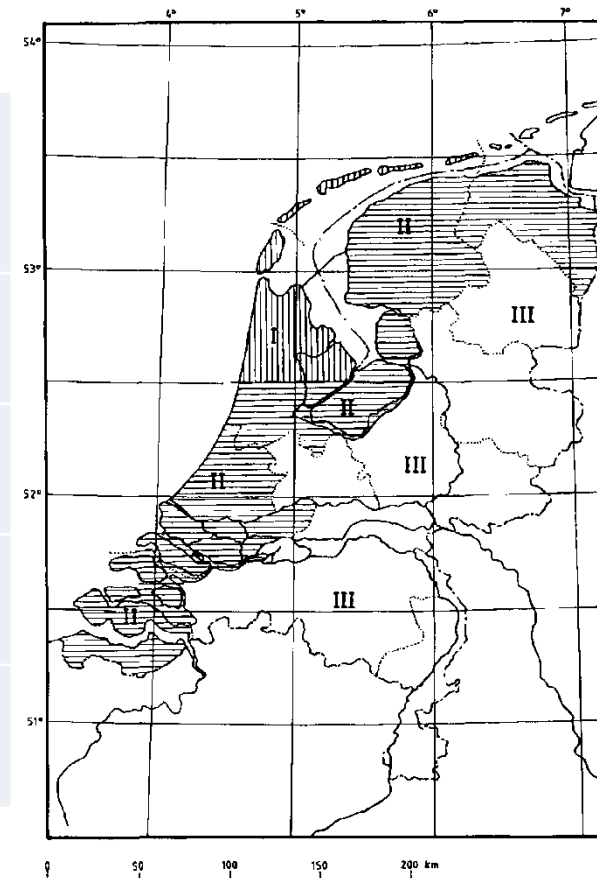
Vragen: Hoe betrouwbaar is de statistiek uit 1983 (nog) ?
Wat is de bijdrage van niet-synoptische events ?



Windgebieden in Nederland (nationale bijlage)

Vertaling Windstatistiek naar Eurocode

Gemiddelde windsnelheid in m/s		Gebied I (Den Helder)	Gebied II (Schiphol)	Gebied III (Eindhoven)
$V_{R=50, 60 \text{ min}}$	$z_0 = 0,03 \text{ m}$	30,7	27,2	25
$V_{R=50, 10 \text{ min}}$	$z_0 = 0,03 \text{ m}$	33,2	29,4	27
$V_{R=50, 10 \text{ min}}$	$z_0 = 0,05 \text{ m}$	32,5	28,8	26,4
Keuze NL Nationale Bijlage		29,5	27	24,5



Verschil zo'n 6 – 10 %; Is de norm onveilig?



Terreincategorieën in Nederland (nationale bijlage)





Ruwheidsovergangen

- › v_{b0} bepaald met $z_0 = 5$ cm

- › Methode 1
(menghoogte)

$$U_{meng,1} = U_{meng,2} \Rightarrow \frac{u^*_1}{u^*_2} = \frac{\ln\left(\frac{H_{meng}}{z_{02}}\right)}{\ln\left(\frac{H_{meng}}{z_{01}}\right)}$$

- › Methode 2
(in Eurocode)

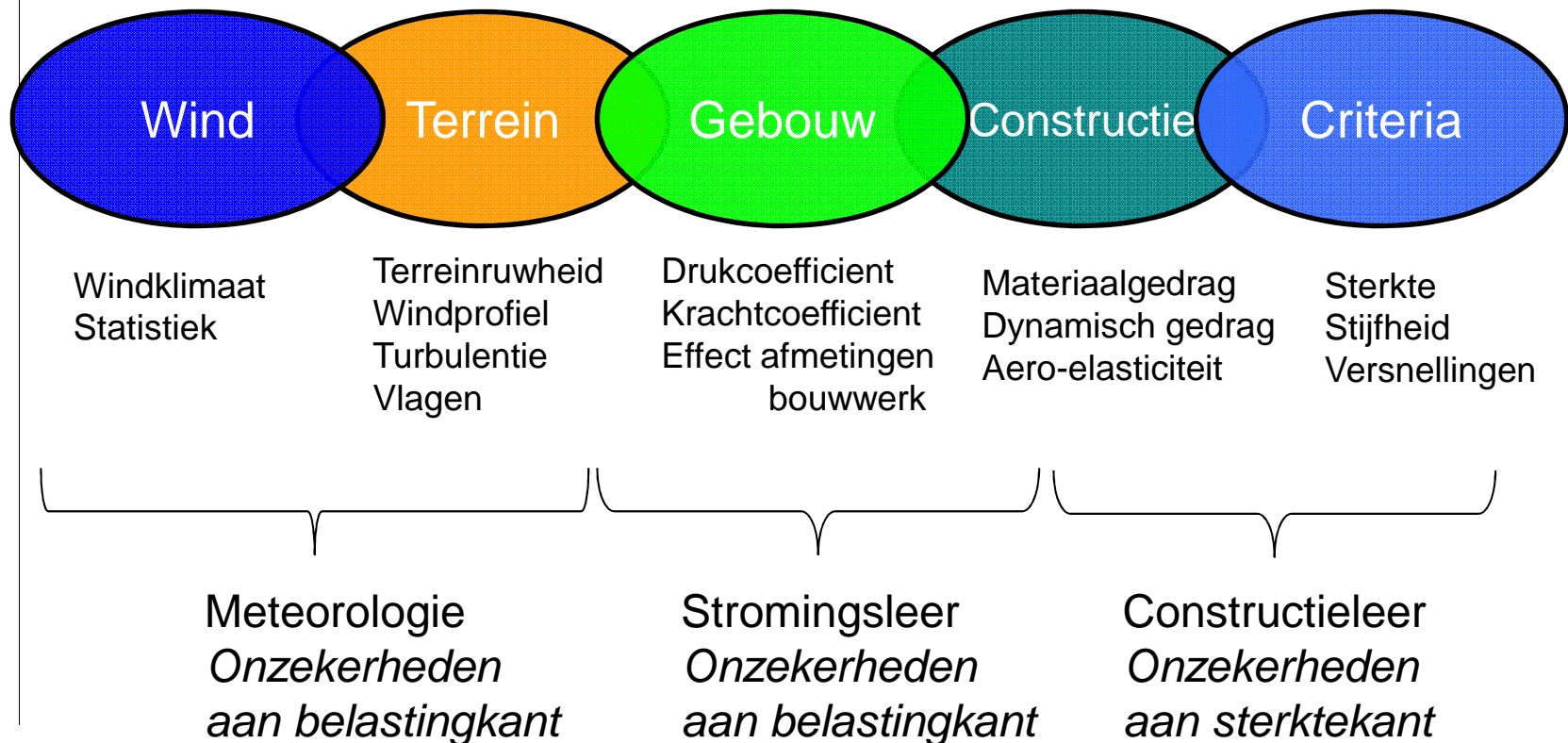
$$\frac{u^*_1}{u^*_2} = \left(\frac{z_{01}}{z_{02}}\right)^{0,0706}$$

- › Verschil in methoden tot wel 10%

Vraag: Wat is toepassingsgebied van deze formules,
en hoe betrouwbaar zijn deze formules ?



Terug naar de Wind Loading Chain (3)





Druk- en krachtcoëfficiënten

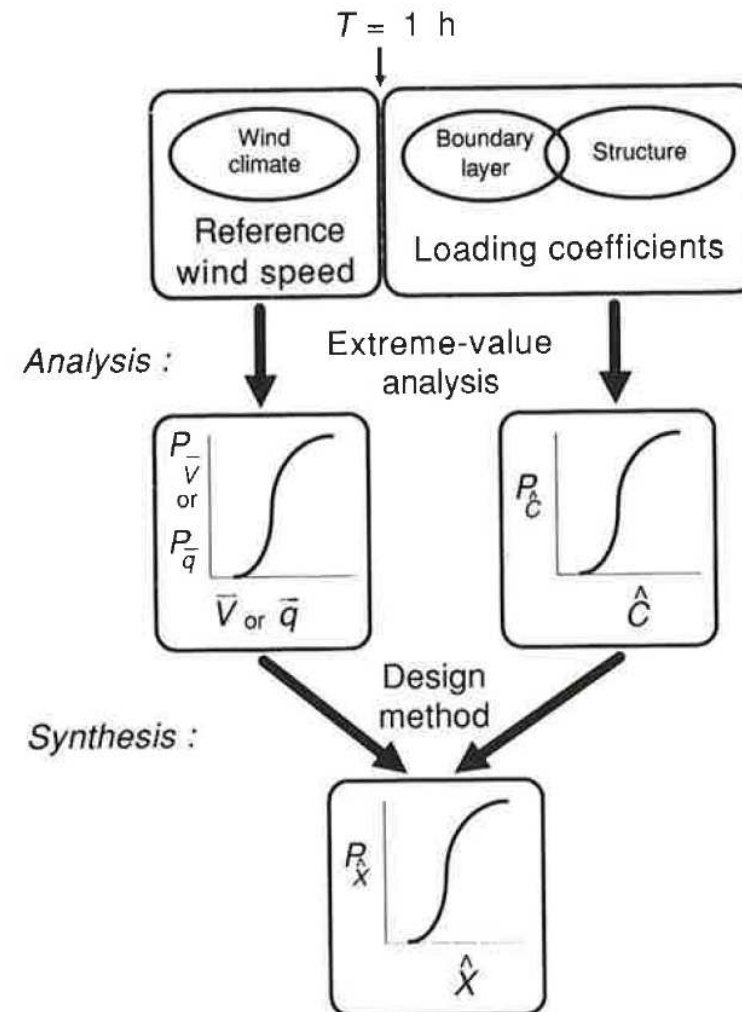
“What is the *appropriate value* for the pressure coefficients, given the dynamic pressure based on the *mean wind velocity* with an annual *probability of exceedance* equal to 0,02, to calculate the pressure on a building, with the *same probability of exceedance*“

[N.J. Cook]



Achtergrond

- › Aanname:
Windsnelheid V en C_p
zijn statistisch onafhankelijk.
- › Bepaal Joint-PDF van belasting
 - › Extreme windsnelheden V
 - › Drukcoëfficiënten C_p
- › Middelingstijd voor V gelijk aan
sample-tijd voor bepaling C_p
(in windtunnels geschaald)





Middelingstijden in EN en Nationale Bijlage

- › Wind Belasting
 - › Extreme gemiddelde windsnelheden met middelingstijd T
 - › Extreme waarden voor C_p binnen sample-tijd T .
- › Hogere T : Lagere extreme wind snelheden; hogere piek C_p 's
- › Lagere T : Hogere extreme wind snelheden; lagere piek C_p 's
- › C_p : Data set in Eurocode gebaseerd op $T = 3600$ s
- › Basis windsnelheid in Eurocode gedefinieerd met $T = 600$ s.

Deze inconsistentie verklaart (deels) keuze voor lagere basiswindsnelheid in Nationale Bijlage



Tot Slot

- › Huidige keuzes voor ontwerpwaarden van windbelasting komen niet overeen met de kennis over de onzekerheden. De meteorologische parameters zijn daarbij zeer relevant.
- › Mogelijk spelen *non-synoptical events* in de toekomst een belangrijkere rol voor beoordeling veiligheid van constructies.
- › Modellen voor het in rekening brengen van terreineffecten leveren wijd uiteenlopende resultaten. Dit draagt bij aan de modelonzekerheden, die moeten worden aangehouden in de analyse van de betrouwbaarheid van constructies.