

30 sep 1964

Verslagen V-157
(R III-290-1964)

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

Enkele gegevens omtrent extreme windsnelheden voor een berekening
van de maximale windbelasting op gebouwen

door

P.J.Rijkoort

551.553.6



De Bilt, 1964

0. Inleiding

Voor de beantwoording van de vraag met welke maximale windbelasting men bij de constructie van hoge bouwwerken rekening moet houden, is in de eerste plaats nodig kennis van de "extreme" windsnelheid, gemiddeld over een nader te bepalen kort tijdsverloop, op verschillende hoogten boven maaiveld en in de verschillende gebieden van het land. In de tweede plaats dient men te weten welke winddruk op de verschillende delen van een gebouw van gegeven afmetingen ontstaat, indien de windsnelheid en windrichting in het vrije veld, bepaald onder standaardcondities, gegeven zijn.

De eerste vraag ligt geheel op het terrein van de meteoroloog terwijl de tweede vraag tot het gebied van de aerodynamicus behoort.

In dit verslag komt alleen de eerste vraag ter sprake. Om haar te kunnen behandelen dienen we de grootte waar het om gaat nader te preciseren. In de klimatologie is het gebruikelijk de windsnelheid te middelen over tijdvakken van één uur. Uit praktische overwegingen is het dus aan te bevelen van de verzameling dezer uurgemiddelden uit te gaan. Hieruit kunnen dan op elke gewenste wijze frequentieverdelingen worden samengesteld. Het is duidelijk dat we hier niet mede kunnen volstaan. De windsnelheid schommelt onregelmatig om het uurgemiddelde. Momenteaan kan de snelheid aanzienlijk hoger of lager zijn dan het gemiddelde. Een snelheid die, gemiddeld over een kortere tijd dan één uur, groter is dan het extreme uurgemiddelde kan voor het probleem der windbelasting van groot belang zijn. Welke middelingstijd het meest van belang is, is een probleem voor de aerodynamicus. Vermoedelijk is het niet mogelijk hierop een éénduidig antwoord te geven, immers dit zal o.a. afhangen van de vorm en hoedanigheid van het betrokken gebouw.

Het zou dus gewenst zijn om naast een opgave van de "extreme" uurgemiddelden voor verschillende hoogten en plaatsen in het land, een grafiek te leveren, waarin de verhouding van het grootste k-minuten gemiddelde in een uur tot het uurgemiddelde zelf als functie van k (continue van 0 tot 60) wordt weergegeven. Uiteraard zal dit verband niet strak functioneel zijn maar stochastisch.

Het begrip "extreem" moet eerst nader gepreciseerd worden. Men zou "extreem" kunnen opvatten als het hoogste uurgemiddelde, waarmede in de toekomst rekening moet worden gehouden. Men moet dan dus met behulp van de beschikbare gegevens uit het verleden een schatting maken van hetgeen in de toekomst te verwachten is. Dit kan uiteraard alleen gebeuren in de vorm van een kans-uitspraak. Daarmede zijn dan hoogstens aan te geven de grenzen tussen welke het hoogste uurgemiddelde in de voor ons liggende periode van N jaren met een bepaalde (b.v. 95%) waarschijnlijk-

lijkheid zal liggen. Vanzelfsprekend wordt daarbij aangenomen, dat de gemiddelde waarde van de windsnelheid welke in het verleden werd gevonden, in de toekomst gehandhaafd blijft.

De informatie, die de ingenieur nodig heeft, is pas volledig als naast bovengenoemde gegevens, ook de structuur van de wind erbij betrokken wordt. M.a.w. de vraag: "Hoe groot zijn amplitudines en frequenties van de fluctuaties die in de natuurlijke wind voorkomen?" dient ook beantwoord te worden. In dit rapport is dit punt echter buiten beschouwing gelaten. Het is de bedoeling hierover een afzonderlijk rapport samen te stellen.

1. De "extreme" uurgemiddelden

1.1 De waarnemingstations.

Voor het onderzoek zijn de windsnelheidswaarnemingen gebruikt van de vijf hoofdstations n.l.: De Bilt, Den Helder, Groningen (later Eelde), Maastricht (later vliegveld Zd-Limburg te Beek) en Vlissingen (later vliegveld Souburg). Helaas zijn de reeksen waarnemingen van deze stations niet homogeen. Alleen de reeks van De Bilt van 1899 tot 1960 kan als homogeen worden geschouwd. De overgang van de voormalige toren op de nieuwe toren in 1951 als plaats van de windmeting heeft vermoedelijk geen belangrijke invloed gehad. Daarentegen was het op grond van andere onderzoeken wel nodig met de overgang op de nieuwe toren in Den Helder in 1922 rekening te houden en de periode vóór 1922 en die erna afzonderlijk te behandelen. Hierbij is echter gebleken dat er wat de zeer hoge windsnelheden betreft toch geen verschil is geweest tussen beide perioden, zodat achteraf toch de gehele reeks gegevens van Den Helder als één geheel kon worden behandeld. De windmeter-opstellingen op de stations Groningen en Maastricht zijn in 1948 vervangen door nieuwe opstellingen op de vliegveldstations Eelde en Zd-Limburg(Beek). De registraties van de windsnelheid in Groningen en Maastricht zijn nog enkele jaren voortgezet. Deze stations zijn dus ook afzonderlijk behandeld. In Vlissingen tenslotte zijn de waarnemingen op het stations bij de haven in 1943 gestaakt. Gedurende enkele jaren zijn daarna waarnemingen gedaan op het dak van enkele nabij geløgen hotels. Deze waarnemingen zijn stellig niet gelijkwaardig met die van de oude opstelling en kunnen beter buiten beschouwing blijven. In 1946 is een opstelling op het voormalige vliegveld Souburg als hoofdstation in gebruik genomen. Ook in dit geval hebben we dus twee reeksen waarnemingen die afzonderlijk behandeld moeten worden. De ligging der stations is op fig. 1.1.1 aangegeven.

De volgende tabel 1.1. vermeldt de gebruikte waarnemingsperioden voor de

verschillende stations.

Tabel 1.1.

waarnemingsperioden

station	tijdvak	lengte(N)
De Bilt (B)	1899-1944, 1946-1959	(60 jr.)
Den Helder (H)	1906-1943, 1945-1959	(53 jr.)
Groningen (G)	1905-1951	(47 jr.)
Eelde (E)	1948-1962	(15 jr.)
Maastricht (M)	1905-1916, 1926-1950	(37 jr.)
Zd-Limburg (Zl)	1948-1962	(15 jr.)
Vlissingen (V)	1911-1943	(33 jr.)
Souburg (S)	1946-1962	(17 jr.)

In De Bilt en Den Helder zijn als gevolg van oorlogsomstandigheden nog enkele hiaten ontstaan, die het nodig maakten het jaar 1945 resp. 1944 buiten beschouwing te laten. In Maastricht moest tenslotte de periode 1917 tot 1925 buiten beschouwing blijven. Achteraf is n.l. gebleken dat de waarnemingen in deze periode ernstig gestoord moeten zijn geweest door een obstakel in de omgeving van de windmeter.

De bewerking van het waarnemingsmateriaal werd reeds enige jaren geleden uitgevoerd, vandaar dat de reeksen van De Bilt en Den Helder met het jaar 1959 eindigen. Bij Eelde, Zd-Limburg en Souburg was dit ook het geval, maar omdat deze reeksen dan zo kort zouden zijn werden zij alsnog uitgebreid tot en met het jaar 1962.

Voordat de resultaten van de bewerkingen behandeld worden, dient eerst nog iets gezegd te worden omtrent de hoogte waarop de anemometers op de verschillende stations geplaatst zijn. Internationaal is overeengekomen de windsnelheid te betrekken op een hoogte van 10 m boven vlak terrein. Het blijkt in de praktijk niet steeds mogelijk de anemometers exact op deze hoogte op te stellen. Voor de meeste der eerder genoemde stations zijn de afwijkingen gering, alleen in De Bilt is, o.a. in verband met de aanwezigheid van bomen tot 25 m hoogte in de directe omgeving van het instituutsgebouw, de anemometer geplaatst geweest op een toren op een hoogte van ca. 34 m boven de begane grond. Door Dr. Braak werd aangenomen dat deze opstelling gelijkwaardig is met een opstelling op 20 m boven vlak terrein. Op grond daarvan werd door hem een reductie van 11% toegepast op gemeten snelheden kleiner dan 8 m/sec. Het percentage verminderde tot 6% bij 22 m/sec. Een vergelijking van de frequentieverdeling van de windsnelheid te De Bilt over het jaar 1959 met de

L 3

frequentieverdelingen van de windsnelheid gemeten op de hoogten 6, 10 en 30 m aan een der wereldomroepmasten te Lopik voor hetzelfde jaar bevestigt de resultaten van Braak gedeeltelijk. Bij geringe snelheden is een correctie van 10 à 11% waarschijnlijk wel juist. Bij snelheden boven 10 m/sec. is echter het verschil tussen de frequentieverdeling van de uurgemiddelden te De Bilt en die afkomstig van de 10 m-opstelling te Lopik reeds verwaarloosbaar (zie fig. 1.3.17 in [1]).

Voor het onderzoek der extremen kunnen we dus het hoogteverschil van de anemometeropstellingen buiten beschouwing laten. De resultaten die nu volgen, kunnen geacht worden te gelden voor een hoogte van 10 m boven vlak terrein.

1.2 Theorie der extreme waarden

De grootte die nu verder gebruikt zal worden is het grootste uurgemiddelde van de windsnelheid per jaar. Ieder station levert dus over N jaren een reeks van N grootste uurgemiddelden (x_i). Deze reeks kan worden opgevat als een steekproef van N elementen uit een continue populatie (x)¹⁾ welke een verdelingsfunctie bezit die op grond van deze steekproef moet worden geschat.

Een algemene theorie van extreme waarden is vooral te danken aan het werk van Gumbel. In een rapport van Gringorten [2] en in een latere publicatie [3] worden, op basis van deze theorie, uitgaande van een aantal formules, grafieken gegeven voor praktische toepassing.

In vele gevallen blijken extreme waarden te voldoen aan een dubbel exponentiële verdeling:

$$P(x) \equiv P(x \leq x) \equiv P(y \leq y) = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad (1.2.1)$$

waarbij het verband tussen y en x lineair is n.l.:

$$y = \alpha + \beta x \quad (1.2.2)$$

Er zijn diverse methoden om α en β te schatten.

Gringorten geeft de voorkeur aan de eenvoudige momenten methode waarbij genormeerde waarden van x en y aan elkaar worden gelijkgesteld dus:

$$\frac{x_i - \bar{x}}{S_x} = \frac{y_i - E(y)}{\sigma_y} \quad (1.2.3)$$

De steekproefwaarden x_i worden dus genormeerd met het steekproefgemiddelde $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ en de steekproefspreadings $S_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$;

1) De onderstreping van de letter x wil zeggen dat de grootte x een stochastisch of toevalskarakter bezit m.a.w. x kan met bepaalde waarschijnlijkheden waarden tussen bepaalde grenzen aannemen. De niet onderstreepte x_i stelt een bepaalde numerieke waarde voor; een realisatie van x .

terwijl de gereduceerde variabelen y_i worden genormeerd met de verwachtingswaarde:

$$E(y_i) = \int_{-\infty}^{+\infty} y \, dF(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} y e^{-(e^{-y} + y)} dy = \gamma,$$

waarin $\gamma = 0,5772\dots$ de z.g. constante van Euler voorstelt, en het tweede moment:

$$\sigma_y^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} \{y - E(y)\}^2 dF(y) = \pi^2/6$$

of

$$\sigma_y = 1,2826\dots$$

We stellen nu $\frac{x_i - \bar{x}}{S_x}$ door \tilde{x}_i voor. Voor (1.2.2) kan dus worden geschreven:

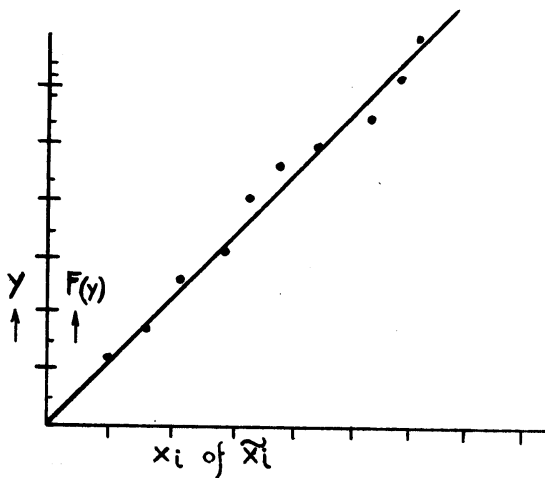
$$y_i = 1,2826 \tilde{x}_i + 0,5772$$

of

$$y_i = \frac{1,2826}{S_x} x_i + 0,5772 - \frac{1,2826\bar{x}}{S_x}.$$

Zet men in een grafiek op de ene as de kans waarden $F(y)$ zodanig uit dat de corresponderende waarden y een lineaire schaalverdeling volgen dan zullen, als men op de andere as in een lineaire schaal de waarde x_i of \tilde{x}_i aangeeft, de punten met coördinaten $\{x_i, F(y)\}$ of $\{\tilde{x}_i, F(y)\}$ op een rechte lijn liggen, als aan de onderstelling dat x_i een Gumbel-verdeling volgt, is voldaan. Men kent echter de exacte waarde van $F(y)$, die bij x_i hoort, niet, maar moet, daar $F(y) = P(x)$, hiervan een schatting maken uit de gegeven steekproef. De schatting wijkt

fig. 1.2.1



natuurlijk iets af van de ware waarde en de punten zullen dus spreiden om een rechte (zie bijgaande schets fig. 1.2.1) als de onderstelling dat x_i aan een Gumbel-verdeling voldoet, juist is. Is door de spreidende punten geen redelijk aansluitende rechte te trekken, dan is blijkbaar de verdelingsfunctie van x_i geen Gumbel-verdeling.

Om uit de steekproef voor $F(y) \equiv P(x)$ een schatting te verkrijgen zijn verschillende methoden mogelijk.

Men moet daartoe steeds de waarden x_i of \tilde{x}_i in volgorde van grootte rangschikken. Stel dat het resultaat van de rangschikking wordt voorgesteld door de volgende

reeks:

$$x_{r_1}, x_{r_2}, \dots, x_{r_i}, \dots, x_{r_N}$$

waarin r_1, r_2, \dots, r_N een permutatie van $1, \dots, N$ is.

De eenvoudigste schatting van $P(x_{r_i})$ is dan $i/N+1$, welke door Gringorten wordt gebruikt. De nog eenvoudiger schatting i/N verdient geen aanbeveling omdat hierbij de kans om de grootste waargenomen waarde te overtreffen gelijk aan nul gesteld wordt, wat stellig niet juist is; immers de ervaring leert dat tot op zeker tijdstip waargenomen hoogste waarden, later toch altijd weer overtroffen worden.

Door Benard en Bos-Levenbach [4] wordt aanbevolen om $i-0,3/N+0,4$ te gebruiken; dit is een mediaan schatting, d.w.z. dat de uitgezette punten een gelijke kans bezitten om boven of onder de gezochte lijn te liggen. Gumbel noemt deze schatting ook, maar is zelf voorstander van een nog iets ingewikkelder schatting. In dit rapport zal de schatting volgens Benard en Bos-Levenbach worden gebruikt.

Aangezien niet in alle gevallen van extreme waarden een dubbel-exponentiële verdeling de beste aanpassing geeft, heeft Gringorten een eenvoudige grafische methode ontworpen om hiermede op het oog na te gaan welke theoretische verdeling van extreme waarden het beste voor de gegeven steekproef kan worden gebruikt. Hij heeft daartoe op dubbelexponentieel waarschijnlijkheidspapier (ook wel Gumbelpapier genoemd; zie ook fig. 1a, 2, 3) een zevental krommen getekend, waarvan de vijfde de dubbelexponentiële verdeling voorstelt. Deze is dus een rechte lijn. Vier andere krommen stellen resp. de Gausz-verdeling en de verdelingen van de grootste van 10, 100 en 1000 elementen uit een Gausz-verdeling voor. Twee krommen stellen de z.g. Fischer-Tippet-verdelingen voor. Deze laatsten zijn op het Gumbel-papier juist tegensteld gekromd aan Gausz-verdelingskrommen.

Als men nu voor de gegeven steekproef op doorzichtig papier met dezelfde schaalverdelingen als in de grafiek van Gringorten \tilde{x}_{r_i} tegen de schatting $(i-0,3)/(N+0,4)$ uitzet en op de Gringorten grafiek legt, kan men door verschuiving nagaan, welke verdelingsfunctie de beste aanpassing geeft.

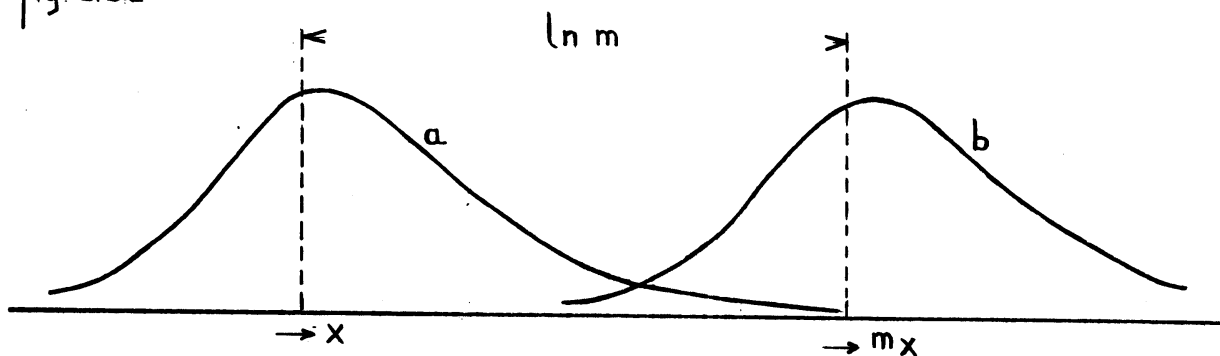
De vragen die vanuit de praktijk gesteld worden, komen vaak op het volgende neer:

In de komende m jaren zal ieder jaar één grootste waarde x_{N+i} met $i = 1, \dots, m$ opleveren. Wat is de grootste waarde $(\overset{m}{x})$ van deze m grootste waarden?

Het is duidelijk dat \bar{x}^m zelf weer een verdelingsfunctie moet volgen; zelf dus stochastisch is, want als we niet de steekproef x_{N+1}, \dots, x_{N+m} maar een andere steekproef ter grootte m uit een verder verwijderde toekomst zouden kiezen, zouden we getwijfeld een andere waarde van \bar{x}^m vinden. Deze verdelingsfunctie is, in het geval dat men van een Gumbel-verdeling voor de x waarden uitgaat, ook weer een Gumbelverdeling en voor het geval dat men van één der andere verdelingen uitgaat nadert zij, voor grote waarden van m asymptotisch tot een Gumbel-verdeling.

Zie onderstaande figuur 1.2.2

fig. 1.2.2



In fig. 1.2.2 stelt het oppervlak onder a de dichtheidsverdeling van \underline{x} en b die van \bar{x}^m voor. Als $a = f(\underline{x})$ dus de dubbel-exponentiële dichtheidsverdeling is, is b dat ook en men kan zeggen dat b uit a is ontstaan door verschuiving over een afstand $\ln m$; dit is eenvoudig aan te tonen. Als a een andere verdelingsfunctie voorstelt, is er naast een verschuiving ook nog een vervorming.

Voor de praktijk lijkt het ons nuttig, en ook wel voldoende, om naast de gemiddelde waarde van \bar{x}^m , ook de waarde te geven die met een kans van b.v. 5% kan worden overtroffen. We zullen deze waarden aangeven met resp. \bar{x}^m en \bar{x}_5^m . Van \bar{x}^m is de overschrijdingskans kleiner dan 50% n.l. ca 43% omdat de verdeling scheef is.

Men kan natuurlijk ook andere kanswaarden dan 5% kiezen.

In het bovenstaande is bij het aangeven van \bar{x}^m en \bar{x}_5^m er van uitgegaan dat de verdeling van \underline{x} bekend is. Dit is in werkelijkheid natuurlijk nooit het geval. Er is immers alleen een steekproef ter grootte van N uit het materiaal van x -waarden bekend. Hiermede moet dus een schatting van $F(y) \equiv$

$P(x)$ gemaakt worden op een wijze, welke reeds in het begin van dit hoofdstuk is aangegeven. Deze schatting bezit dus een zekere onnauwkeurigheid en het gevolg is dat ook de waarden van \bar{x} en x_5 onnauwkeurig zijn. We vinden dus i.p.v. \bar{x} en x_5 schattingen $\hat{\bar{x}}$ en \hat{x}_5 , die elk met een standaard deviaties behept zijn. Deze standaarddeviaties zijn te berekenen. We zullen ze door $S_{\bar{x}}^{\Delta}$ en $S_{x_5}^{\Delta}$ aangeven.

1.3 Toepassingen

Op alle in 1.1 genoemde waarnemingsreeksen is de in 1.2 behandelde methode toegepast. Voor elk der reeksen werd van elk jaar de hoogste waarde van de uurgemiddelden van de windsnelheid genoteerd. Deze waarde wordt met x_i aangegeven. De gemiddelde waarde $\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$ en de spreiding $S_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$ werden berekend (zie tabel 1.3.1)

Tabel 1.3.1

Station	\bar{x} (in m/sec)	S_x (in m/sec)	N	
I De Bilt	17,9	2,67	60	
II Den Helder	22,5	2,01	53	
III {	Groningen	18,5	2,80	47
	Eelde	18,6	1,72	15
IV {	Maastricht	13,4	1,48	37
	Zd-Limburg (Beek)	15,7	0,77	15
V {	Vlissingen	23,2	3,09	33
	Souburg	18,5	1,30	15

Hiermede zijn de gereduceerde grootheden $\tilde{x}_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_x}$ berekend. Deze gereduceerde grootheden werden in volgorde van grootte gerangschikt en vervolgens door \tilde{x}_{r_i} voorgesteld. Daarna werden deze waarden op Gumbel-papier uitgezet tegen $i-0,3/N+0,4$ als schatting van $P(x_{r_i})$. Vergelijking met de 7 krommen van de door Gringorten geconstrueerde grafiek toont aan dat de dubbel-exponentiële verdeling voor alle gevallen bruikbaar is. In fig. 1.3.1 zijn de acht reeksen in volgorde van tabel 1.3.1 in beeld gebracht, waarbij tevens de op het oog getrokken rechte, die de theoretische dubbel-exponentiële verdeling voorstelt, is aangegeven.

De volgende stap is nu de berekening van de "extreme" waarden n.l. de schattingen $\hat{\bar{x}}$ en \hat{x}_5 . Voor m zullen we kiezen 10, 25, 50, 100 en 500. Tevens zijn bepaald de standaard deviaties van beide schattingen n.l. $S_{\bar{x}}^{\Delta}$ en $S_{x_5}^{\Delta}$.

In tabel 1.3.2 zijn de berekende waarden samengevat.

Tabel 1.3.2

		De Bilt		Den Helder	
m	$\frac{\hat{m}_x}{m_x} (S_{\frac{\hat{m}_x}{m_x}})$	$m_{x5}^{\wedge} (S_{m_{x5}^{\wedge}})$	$\frac{\hat{m}_x}{m_x} (S_{\frac{\hat{m}_x}{m_x}})$	$m_{x5}^{\wedge} (S_{m_{x5}^{\wedge}})$	
10	23,2 (1,0)	28,6 (1,7)	26,6 (0,8)	30,7 (1,4)	
25	25,3 (1,2)	30,7 (2,0)	28,1 (1,0)	32,2 (1,6)	
50	26,8 (1,5)	32,3 (2,3)	29,3 (1,2)	33,4 (1,8)	
100	28,4 (1,7)	33,9 (2,5)	30,5 (1,3)	34,6 (2,0)	
500	32,1 (2,2)	37,5 (3,1)	33,2 (1,8)	37,4 (2,6)	

		Groningen		Eelde	
m	$\frac{\hat{m}_x}{m_x} (S_{\frac{\hat{m}_x}{m_x}})$	$m_{x5}^{\wedge} (S_{m_{x5}^{\wedge}})$	$\frac{\hat{m}_x}{m_x} (S_{\frac{\hat{m}_x}{m_x}})$	$m_{x5}^{\wedge} (S_{m_{x5}^{\wedge}})$	
10	24,2 (1,1)	30,0 (2,1)	22,6 (1,4)	26,6 (2,5)	
25	26,5 (1,5)	32,2 (2,4)	24,2 (1,9)	28,2 (3,0)	
50	28,1 (1,7)	33,8 (2,7)	25,3 (2,2)	29,4 (3,3)	
100	29,7 (2,0)	35,5 (3,1)	26,5 (2,5)	30,6 (3,6)	
500	33,6 (2,7)	39,5 (3,8)	29,2 (3,3)	33,3 (4,5)	

		Maastricht		Zd-Limburg(Beek)	
m	$\frac{\hat{m}_x}{m_x} (S_{\frac{\hat{m}_x}{m_x}})$	$m_{x5}^{\wedge} (S_{m_{x5}^{\wedge}})$	$\frac{\hat{m}_x}{m_x} (S_{\frac{\hat{m}_x}{m_x}})$	$m_{x5}^{\wedge} (S_{m_{x5}^{\wedge}})$	
10	16,5 (0,7)	19,6 (1,3)	17,5 (0,6)	19,3 (1,1)	
25	17,7 (0,9)	20,8 (1,5)	18,2 (0,8)	20,0 (1,9)	
50	18,6 (1,0)	21,7 (1,7)	18,7 (1,0)	20,6 (1,5)	
100	19,4 (1,2)	22,6 (1,8)	19,2 (1,1)	21,1 (1,6)	
500	21,6 (1,6)	24,7 (2,2)	20,4 (1,5)	22,3 (2,0)	

		Vlissingen		Souburg	
m	$\frac{\hat{m}_x}{m_x} (S_{\frac{\hat{m}_x}{m_x}})$	$m_{x5}^{\wedge} (S_{m_{x5}^{\wedge}})$	$\frac{\hat{m}_x}{m_x} (S_{\frac{\hat{m}_x}{m_x}})$	$m_{x5}^{\wedge} (S_{m_{x5}^{\wedge}})$	
10	29,8 (1,6)	36,3 (2,7)	21,5 (1,0)	24,6 (1,9)	
25	32,2 (1,9)	38,8 (3,2)	22,7 (1,4)	25,8 (2,3)	
50	34,1 (2,3)	40,7 (3,7)	23,6 (1,7)	26,7 (2,5)	
100	35,9 (2,6)	42,5 (4,1)	24,5 (1,9)	27,5 (2,7)	
500	40,4 (3,6)	47,0 (5,6)	26,5 (2,5)	29,6 (3,4)	

Ter toelichting nemen we uit deze tabel een voorbeeld. Voor Maastricht staat bij $m = 100$ $\hat{m}_x = 19,4$ en $S_{\hat{m}_x} = 1,2$. Dit wil dus zeggen dat 19,4 de schatting van het gemiddelde over een groot aantal 100-jaar perioden is van de grootste waarde van het uurgemiddelde van de windsnelheid in een periode van 100 jaar ; er is echter ongeveer 95% kans dat deze gemiddelde waarde niet precies 19,4 is maar schommelt tussen $19,4 \pm 2,4$ of tussen 17,0 en 21,8 en verder ongeveer 5% kans dat de gemiddelde waarde buiten dit interval ligt. Verder zien we onder \hat{m}_{x_5} en $S_{\hat{m}_{x_5}}$ bij $m = 100$ voor Maastricht resp. 22,6 en 1,8, hetgeen betekent, dat het hoogste uurgemiddelde per periode van 100 jaar in 95% van een groot aantal 100-jaar perioden kleiner is dan een getal dat met 95% kans tussen 19,0 en 26,2 ligt.

Wat de onderlinge verschillen betreft wijzen we nog op het volgende: Vlissingen geeft verreweg de hoogste extreme snelheden te zien, hoger nog dan Den Helder. In het gemiddelde heeft echter, zoals wel bekend is, Den Helder grotere windsnelheden dan Vlissingen (zie Braak [5]). Dat de extreme waarde in Vlissingen groter is dan in Den Helder hangt met de windrichting samen. De grootste windsnelheden komen n.l. vooral bij wind uit zuid-westelijke richting voor en bij deze richting ligt Vlissingen geheel open aan de Westerschelde en de wind bereikt Vlissingen dan direct vanuit zee. In Den Helder daarentegen bereikt de zuid-westelijke wind de anemometer-opstelling pas nadat enkele kilometers land zijn gebaseerd. Hierdoor vindt vooral bij grotere snelheden een sterke afremming plaats.

Verder kunnen stuweffecten door gebouwen enz. er oorzaak van zijn dat de extreme snelheden in Groningen groter zijn dan in Eelde.

Overigens kan, gezien de onnauwkeurigheden, geen al te grote waarde gehecht worden aan de verschillen.

In tabel 1.3.3. zijn voor de acht stations de 95% marges voor $\hat{100}_x$ genoteerd.

Tabel 1.3.3

De Bilt	25,0 ... 31,8	Maastricht	17,0 ... 21,8
Den Helder	27,9 ... 33,1	Zd-Limburg	17,0 ... 21,4
Groningen	25,7 ... 33,7	Vlissingen	30,7 ... 41,1
Eelde	21,5 ... 31,5	Souburg	20,7 ... 28,3

We zien dat voor De Bilt, Den Helder, Vlissingen, Groningen en Eelde eenzelfde $\hat{100}_x$ kan gelden. Maastricht en Zd-Limburg geven duidelijk een veel kleinere $\hat{100}_x$ waarde dan de overige stations behoudens Souburg. Verder is in Souburg $\hat{100}_x$ kleiner dan in Vlissingen. Het spreekt echter vanzelf

dat we, op niet-statistische gronden, toch verwachten, dat er b.v. tussen De Bilt en Den Helder of Vlissingen toch wel degelijk verschil bestaat wat overigens ook niet in strijd is met de statistische uitkomst.

2. Het verticale windprofiel

De eigenschappen van de extreme uurgemiddelden, die in het voorgaande werden behandeld, gelden dus voor een hoogte van ca. 10 m boven maaiveld. Welke extreme windsnelheden zullen echter op grotere hoogten (tot b.v. 100 m) voorkomen? Helaas zijn er geen waarnemingen op deze hoogten over vele jaren beschikbaar, zodat een directe statistische schatting van de extreme windsnelheden op deze hoogten niet verkregen kan worden. De enige mogelijkheid is gebruik te maken van hetgeen bekend is over de toename van de windsnelheid met de hoogte; het z.g. verticale windprofiel. Uitgaande van de extreme windsnelheden op 10 m hoogte kan dan een schatting van extreme windsnelheden op grotere hoogten worden gemaakt.

In het buitenland is veel onderzoek verricht naar de vorm van het verticale windprofiel. Afgezien van de min of meer ingewikkelde formules die in de turbulentiëtheorie worden afgeleid, is een redelijk bruikbare en ook vaak toegepaste formule de machtwet:

$$U_z = C \cdot z^n$$

Hierin is U_z de windsnelheid op de hoogte z , terwijl C en n constanten zijn. C varieert van geval tot geval, terwijl n vrijwel alleen van de stabiliteit van de atmosfeer afhankelijk is. Frost [6] geeft b.v. de volgende gemiddelde waarden van n als functie van ΔT (het temperatuurverschil in $^{\circ}F$ tussen 400 ft en 4ft); d.w.z. $\Delta T = T_{400} - T_4$.

Tabel 2.1

ΔT	-4	...	-2	-2	...	0	0	...	+2	+2	...	+4	+6	...	+8	+10	...	+12
n			0,14			0,24			0,3			0,4			0,6			0,7

De door het K.N.M.I. verrichte metingen aan de oude televisie-mast (op de hoogten 15, 53, 100 en 182 m) en aan een der wereldomroepmasten (op de hoogte 5, 10 en 30 m) te Lopik bevestigen in grote lijn deze resultaten van Frost [7]. Het blijkt verder dat overdag (tussen 8 en 18 uur b.v.) de waarde van n vrij weinig varieert. De steekproef, die in [7] is gebruikt, gaf $\bar{n} \approx 0,13$ met een standaard afwijking van 0,023. De waarde, die men in de literatuur het meeste ziet noemen is $1/7$. Een nieuwe steekproef uit het Lopik-materiaal met betrekkelijk grote windsnelheden n.l. in de orde van 10 m/sec., waarbij de machtwet met $n = 1/7$ aan de windsnelheden op de niveau's 5, 10 en 30 m werd aangepast, gaf in alle gevallen

een zeer bruikbaar resultaat. De afwijkingen tussen de waarnemingen en de volledig aan de machtwet gehoorzame waarden zijn hoogstens enkele tienden van m/sec. Als met behulp van deze aanpassingen de snelheid wordt geëxtrapoleerd naar de niveaus van 53, 100 en 182 m, dan blijkt het volgende: Op 53 m is de waargenomen snelheid gemiddeld + 0,76 m/sec lager dan de geëxtrapoleerde snelheid. Op 100 m is het verschil zeer gering n.l. -0,12 m/sec en op 182 m -0,63 m/sec. De standaard deviaties van deze gemiddelden zijn resp. 0,12; 0,13 en 0,14. Het verschil op het 100 m-niveau wijkt dus niet significant van nul af. Op het 53 m-niveau wel; hier is de waargenomen snelheid dus lager dan op grond van de extrapolatie vanaf de lagere niveaus aan de wereldomroepmast te verwachten is. Dit is wel plausibel. We weten n.l. zeker, dat de metingen aan de televisiemast op het laagste niveau (15 m) sterk gestoord zijn door de mast zelf en door de bij de mast behorende gebouwtjes. Blijkbaar strekt deze invloed zich nog tot de hoogte van het 53 m-niveau uit. Op het hoogste niveau is er een duidelijk hogere windsnelheid dan de extrapolatie aangeeft. Waarschijnlijk betekent dit dat de machtwet toch te eenvoudig is om het profiel over een hoogte van een paar honderd meter goed te beschrijven.

Het volgende punt moet nu eerst nog worden besproken.

Bij stabiele situaties, d.w.z. de verticale temperatuurgradient in de onderste paar honderd meter van de atmosfeer is kleiner dan 1°C per 100 m, hoofdzakelijk 's nachts dus, kan de waarde van n tot grotere waarden ($1/4$ of $1/3$) oplopen, terwijl bovendien de aanpassing met de machtwet veel slechter is. De grote waarden van n betekenen, dat het snelheidsverschil tussen de wind op grote hoogten en die op 10 m ook groter is dan bij $n = 1/7$. Bij gelijke snelheden op 10 m zullen dus op grotere hoogten in geval van grote n -waarden grotere snelheden voorkomen. Het is echter bekend dat op 10 m hoogte de windsnelheid bij stabiele situaties, 's nachts, doorgaans veel zwakker is dan overdag. Het voorkomen van grotere n -waarden bij stabiele situaties is derhalve niet zozeer een kwestie van grotere windsnelheden op grotere hoogte dan wel van lagere snelheden dicht bij het aardoppervlak. Blijkbaar bestaat erop 10 m hoogte een duidelijke dagelijkse gang met een minimum 's nachts en een maximum overdag. Bij toenemende hoogte neemt de amplitudo van de dagelijkse gang af. Aldus verder redenerende komt men tot de conclusie dat op veel grotere hoogten een tegengestelde dagelijkse gang aanwezig kan zijn. Dit is ook te verwachten omdat de dagelijkse gang veroorzaakt wordt door de sterke verticale uitwisseling overdag. Hierdoor komen luchtdeeltjes van grote hoogten, waar ze grote snelheden bezaten in lagere niveaus terecht waar geringere snelheden heersen en veroorzaken op deze niveaus een verhoging van de snelheid. Omgekeerd veroorzaken deeltjes met geringe snelheid uit lage niveaus een vermindering van

snelheid in hogere lagen. Dit verklaart dus waarom 's nachts aan het oppervlak de windsnelheid geringer is dan overdag, terwijl op grote hoogten de windsnelheid 's nachts juist groter is dan overdag. Er moet dus ergens een niveau zijn waar geen dagelijkse gang is en de omkering plaats vindt. Een globale indruk uit het materiaal van Lopik doet vermoeden, dat dit omkeerniveau ongeveer op 100 m hoogte ligt.

Teneinde het gebruik van de machtwet nog iets meer te kunnen rechtvaardigen, is met het Lopik-materiaal de volgende bewerking uitgevoerd.

Uit de waarnemingen van 1959 zijn van de niveaus 5, 10, 30, 53, 100 en 182 m de dagelijkse maximale snelheden bepaald voor die dagen dat de wind overwegend uit westelijke richtingen kwam, waarbij de richtingen Zuid en Noord als uitersten zijn genomen. De waarnemingen bij oostelijke wind werden niet onderzocht omdat de anemometers te zeer gestoord werden door de televisiemast. Van de dagelijkse maxima bij westelijke wind is de frequentieverdeling samengesteld. Het gemiddelde (\bar{u}) en de waarden waar 80% van de maxima beneden is gelegen (u^*) zijn in tabel 2.2 samengevat. Bovendien zijn in deze tabel onder \bar{v} en v^* de waarden opgenomen, die uit de machtwet met $\mu = 1/7$ volgen als van de snelheid op 10 m wordt uitgegaan.

Tabel 2.2

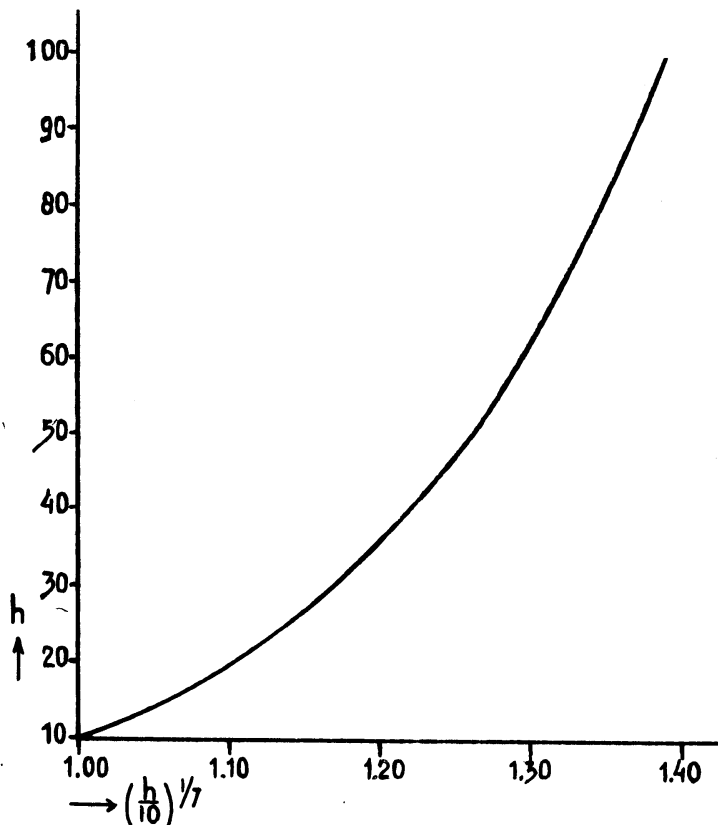
Hoogte (m)	\bar{u}	\bar{v}	u^*	v^*
5	6,9	6,9	9,0	9,1
10	7,6	7,6	10,0	10,0
30	8,7	8,8	11,9	11,6
53	9,1	9,6	12,5	12,7
100	10,8	10,5	14,2	13,8
182	12,5	11,4	17,0	15,0

Bij vergelijking van \bar{u} met \bar{v} resp. u^* met v^* is te zien dat tot en met 100 m hoogte de afwijkingen betrekkelijk gering zijn. Op 182 m hoogte echter wordt de snelheid bij extrapolatie met de machtwet onderschat; de grootte-orde van de onderschatting bedraagt 10%.

Als resultaat van alle overwegingen lijkt het wel gerechtvaardigd de machtwet met een exponent $1/7$ tot een hoogte van 100 m te gebruiken om schattingen van de extreme snelheden op diverse hoogten te verkrijgen, uitgaande van de extremen op 10 m. In fig. 2.1 is de factor $(h/10)^{1/7}$, waarmee de extreme snelheid op 10 m hoogte moet worden vermenigvuldigd om die op een hoogte h tussen

10 en 100 m te verkrijgen, in grafiek weergegeven.

fig. 2.1



3. De verhouding van het maximale k-min gemiddelde tot het bijbehorende uurgemiddelde

Zoals in de inleiding is opgemerkt kan het van belang zijn extreme waarden te kennen van gemiddelden over een korte periode b.v. over 10 min. of over 1 min. en eventueel over nog kortere tijdvakken. Aangezien echter lange reeksen gemiddelden over dergelijke korte tijdvakken niet beschikbaar zijn, kunnen ook niet, analoog aan hetgeen voor de uurgemiddelden is gedaan, schattingen van extremen worden bepaald. De enige mogelijkheid bestaat hierin dat uit een steekproef wordt nagegaan hoe de verhouding is tussen een gemiddelde over b.v. k-minuten en een bijbehorend uurgemiddelde waarbij we, omdat het om extremen gaat, zullen uitgaan van een bepaald uurvak en hierin het maximale k-minuten gemiddelde zullen opzoeken. De verhouding van dit maximale k-minuten gemiddelde tot het betrokken uurgemiddelde zullen we V_k noemen. Een schatting van een extreem k-minuten gemiddelde kan dan gevonden worden door een extreem uurgemiddelde met een nader te bepalen waarde van V_k te vermenigvuldigen.

Een onderzoek naar de waarde van V_k in afhankelijkheid van de snelheid zelf, van het tijdstip van de dag of van het seizoen, zowel voor kust- als voor landstations zal volledig worden behandeld in een K.N.M.I.-rapport, dat t.z.t. zal verschijnen. Voor dit onderzoek zijn gegevens beschikbaar van een kleine steekproef van 12 uurvakken voor elk van vijf stations en een grotere van 216 uurvakken (6 per dag op 36 dagen verspreid over het gehele jaar 1961) voor elk van 7 stations.

Een voorlopige samenvatting van de resultaten luidt:

De verhouding V_k is onafhankelijk te achten van de windsnelheden.

Er is een belangrijk verschil tussen de kuststations en de landstations. In het midden van het land is V_k ongeveer 20% groter dan aan de kust. Vermoedelijk is er tussen het midden en het oosten van het land weinig verschil.

Het is niet alleen te verwachten, maar er bestaan ook aanwijzingen voor, dat de dagwaarden van V_k voor de landstations een verschil vertonen met de nachtwaarden; zo zullen ook wel verschillen bestaan tussen de zomer- en winterwaarden van V_k .

De spreiding in de afzonderlijk V_k -waarden is echter bijzonder groot. Een oorzaak voor de grote spreiding ligt in het feit, dat het materiaal niet homogeen is, d.w.z. het karakter van de windstructuur is niet constant. Er zijn perioden, waarin de windsnelheid stationnair of misschien quasi-stationnair genoemd kan worden, d.w.z. de snelheid fluctueert min of meer regelmatig om een constant gemiddelde (met perioden in de orde van 10 sec.). Er komen echter ook uurvakken voor, waarin een tamelijk plotselinge niveauverandering plaatsvindt, b.v. door een frontpassage. Het spreekt vanzelf dat deze gevallen het beeld vertroebelen en dus uitgesloten dienen te worden. Dan zijn er situaties waarbij naast de "normale" fluctuaties een duidelijke schommeling met een periode van b.v. 5 of 10 min. voorkomt. In deze gevallen zijn de V_k -waarden natuurlijk veel groter dan in het "normale" geval. Tenslotte komt het ook voor dat er tijdelijk een vrij sterke vergroting van de snelheid optreedt; een soort piek in het gemiddelde over b.v. 5 min. Deze gevallen geven ook resultaten die sterk afwijken van de "normale" situaties.

Het is echter ook niet juist om al deze niet "normale" gevallen buiten beschouwing te laten; ze komen tenslotte betrekkelijk vaak voor en dienen dus in een statistisch gemiddelde begrepen te zijn.

Een uitgebreid onderzoek is nodig om uitsluitel te geven over realiteit van dag- en nachteffect enz. Voorzover mogelijk zal dit met het in het begin genoemde materiaal worden uitgevoerd. Voor dit verslag zal echter, om één cijfer beschikbaar te hebben, het materiaal gemiddeld worden over alle gevallen, waarbij geen onderscheid is gemaakt tussen dag en nacht, zomer en winter, maar wel tussen kust

en binnenland. In fig. 3.1 is het resultaat in beeld gebracht.

De kromme a geldt voor de kust en is gebaseerd op de waarnemingen van Vlissingen en IJmuiden. De kromme b geldt voor het gebied omstreeks 20 km achter de kust en is gebaseerd op de waarnemingen van Eelde terwijl de kromme c, gebaseerd op die van De Bilt, voor 50 km of meer landinwaarts geldt. De V_k -waarden zijn berekend voor $k = 20, 10, 5$ en 1 min. Verder is de z.g. maximale stoot genoteerd d.w.z. de grootste snelheid die op de strook is geregistreerd. Deze snelheid is, tengevolge van de traagheid van het instrument, een gemiddelde over een korte tijd; naar schatting enkele seconden. Stellen we deze tijd op 3 sec. dan is voor de krommen a en c een extrapolatie van de krommen tot 3 sec. redelijk mogelijk; deze geëxtrapoleerde lijn is echter toch gestippeld aangegeven om de onzekerheid aan te duiden. Het gemiddelde van de maximale stoten voor Eelde gaf een $V_{3 \text{ sec.}}$, die aan de lage kant is; het leek beter om b te extrapoleren zonder hiermede rekening te houden.

In figuur 3.1 zijn tenslotte enkele punten aangegeven, die het resultaat weergeven van een door Durst in Engeland [8] verricht onderzoek. De cijfers gelden voor open terrein; het is ons echter niet bekend in hoeverre dit vergelijkbaar is met de omgevingen van de nederlandse anemometeropstellingen. Wel vermeldt Shellard [9] marges van V_k voor $k = 3-5$ sec. (ongeveer onze maximale stoot dus) die overeenstemmen met onze resultaten n.l. 1,45 ... 1,60 voor kustgebieden en 1,60 ... 1,80 voor landinwaarts gelegen gebieden.

Tenslotte merken we nog op dat voor de stations Den Helder, Beek (Zd-Limburg) en Lelystad V_k -waarden berekend zijn voor $k = 20$ en 10 minuten en voor de maximale stoot. Aangezien op deze stations Dines-anemografen worden gebruikt tegenover Robinson-anemometers op de eerder genoemde stations, kon V_k voor $k = 5$ en 1 min. niet bepaald worden; de registratie van een Dines is n.l. sterk ineengedrongen in de tijdschaal en laat geen voldoende nauwkeurige schatting voor deze korte tijden toe. De resultaten van Den Helder en Beek stemmen vrijwel volledig met resp. de krommen a en c overeen; die van Lelystad liggen tussen c en b in.

4. Het profiel van de maximale stoot

In pag. 2 is de toeneming van de gemiddelde snelheid met de hoogte behandeld en in pag. 3 de verhouding van het k -min. gemiddelde en de maximale stoot tot het bijbehorende uurgemiddelde voor de normale waarnemingshoogte van 10 m. Het ligt voor de hand thans de vraag te stellen of er iets te zeggen is over de verhouding V_k op grotere hoogten. Het enige materiaal aan metingen op grotere

hoogten dat thans beschikbaar is, is dat van Lopik. We volstaan met na te gaan hoe de verhouding van V_k tot de maximale stoot (dus $k = \text{ca } 3 \text{ sec.}$) met de hoogte varieert. We zullen deze verhouding met V_s aangegeven. Een steekproef van 15 dag- en 15 nachtwaarden is voor het onderzoek gebruikt. Bedacht moet worden dat deze steekproef erg klein is, en misschien niet representatief genoeg. Dit betreft echter geen materiaal van uurgemiddelden maar van gemiddelden over $14\frac{1}{2}$ min. als basis. We duiden de verhouding max. stoot tot $14\frac{1}{2}$ min. gemiddelde aan met V_s^* . In fig. 4.1 is het resultaat van de bewerking weergegeven. Voor elk der vier hoogten 15, 53, 100 en 182 m. is het gemiddelde en het dubbele van de standaarddeviatie van dit gemiddelde genoteerd, zowel voor de dag- als voor de nachtwaarden. Het is niet zonder meer in te zien hoe V_s en V_s^* met elkaar samenhangen. Het eenvoudigste is te onderstellen $V_s \approx V_{14\frac{1}{2}} \cdot V_s^*$. Exact geldt dit natuurlijk alleen voor die gevallen waarbij in een gegeven uurvak, het $14\frac{1}{2}$ min. interval met max. $14\frac{1}{2}$ min.-gemiddelde ook het tijdstip van de maximale stoot bevat. Er zijn echter in het beschouwde uurvak ook $14\frac{1}{2}$ min.-intervallen met een kleiner gemiddelde dan het maximale $14\frac{1}{2}$ min. gemiddelde en dezelfde max.stoot. Voor deze intervallen geldt natuurlijk $V_s^* > V_s / V_{14\frac{1}{2}}$ of $V_s < V_{14\frac{1}{2}} \cdot V_s^*$. Anderzijds komen er ook $14\frac{1}{2}$ min.-intervallen voor met een kleinere max.stoot. Hierbij kunnen er zijn waarvoor $V_s^* < V_s / V_{14\frac{1}{2}}$ of $V_s > V_{14\frac{1}{2}} \cdot V_s^*$ geldt. Bij gebrek aan meer exacte kennis zullen we voor de Lopikopstellingen aannemen $V_s \approx 1,11 V_s^*$, waarin 1,11 de waarde voor $V_{14\frac{1}{2}}$ is die uit fig. 3.1 is afgelezen op kromme c.

Het blijkt verder dat de nachtwaarden van V_s^* iets kleiner zijn dan de dagwaarden. Wel zijn de verschillen voor iedere hoogte afzonderlijk niet significant, maar het feit dat op alle vier hoogten de nachtwaarde kleiner is dan de dagwaarde wijst er toch wel op dat er een reëel verschil bestaat. Toetsing met een combinatie van Wilcoxon-toetsen bevestigt deze onderstelling.

Om nu voor verschillende hoogten waarden voor V_k te verkrijgen, zouden we, daar voor elke hoogte $\lim_{k \rightarrow 60} V_k = 1$, kunnen onderstellen:

$$\frac{V_k(h)-1}{V_k(10)-1} = \frac{V_s(h)-1}{V_s(10)-1} = \frac{1,11 V_s^*(h)-1}{1,11 V_s^*(10)-1} \quad (4.1)$$

De waarden van V_s kunnen uit fig. 4.1 worden afgelezen. Het maakt daarbij voor (4.1) vrijwel geen verschil of de kromme voor de dag- of die voor de nachtwaarden wordt gekozen.

Voor de drie gevallen a, b en c van fig. 3.1 hebben we voor $h = 20, 40, 60, 80$ en 100 m en voor $k = 20, 10, 5, 1, 1/2, 1/10, 1/20 \text{ min.}$ de waarden van $V_k(h)$ berekend en in tabel 4.1 samengevat.

Tabel 4.1

Waarden van V_k
Langs de kust

$h [m] \setminus k [min]$	10	20	5	1	1/2	1/10	1/20
20	1,045	1,076	1,111	1,201	1,239	1,334	1,382
40	1,040	1,067	1,097	1,177	1,210	1,293	1,335
60	1,035	1,059	1,086	1,157	1,186	1,259	1,297
80	1,031	1,053	1,077	1,140	1,166	1,231	1,265
100	1,029	1,048	1,070	1,127	1,151	1,210	1,241

Achter de kust

20	1,056	1,103	1,155	1,295	1,356	1,517	1,584
40	1,050	1,090	1,136	1,259	1,313	1,455	1,513
60	1,044	1,080	1,121	1,230	1,277	1,403	1,455
80	1,039	1,071	1,108	1,204	1,247	1,359	1,405
100	1,036	1,065	1,098	1,186	1,224	1,326	1,368

In het binnenland

20	1,076	1,130	1,194	1,360	1,438	1,628	1,711
40	1,067	1,114	1,171	1,317	1,385	1,552	1,625
60	1,059	1,102	1,151	1,281	1,341	1,490	1,554
80	1,053	1,090	1,135	1,250	1,304	1,436	1,494
100	1,048	1,082	1,122	1,227	1,276	1,396	1,449

Een andere methode, die we echter niet volledig zullen uitwerken, is de vergelijking van machtwetexponenten. We kunnen n.l. proberen of de machtwet bruikbaar is om de hoogte toename van de max.stoot te beschrijven. In de 15 gebruikte gevallen bleek voor de gemiddelden de machtwet goed bruikbaar te zijn. Ook de max.stoot als functie van de hoogte liet zich vrijwel steeds met deze formule beschrijven; de waarde van de exponent n is echter voor de max.stoten (n_{st}) kleiner dan voor de uurgemiddelden ($n_{\bar{u}}$). In fig. 4.2 zijn de n_{st} waarden tegen $n_{\bar{u}}$ uitgezet. Het blijkt dat er een vrij strak lineair verband door de oorsprong is en men mag stellen:

$$n_{st}/n_{\bar{u}} \approx 0,65 \sim 2/3.$$

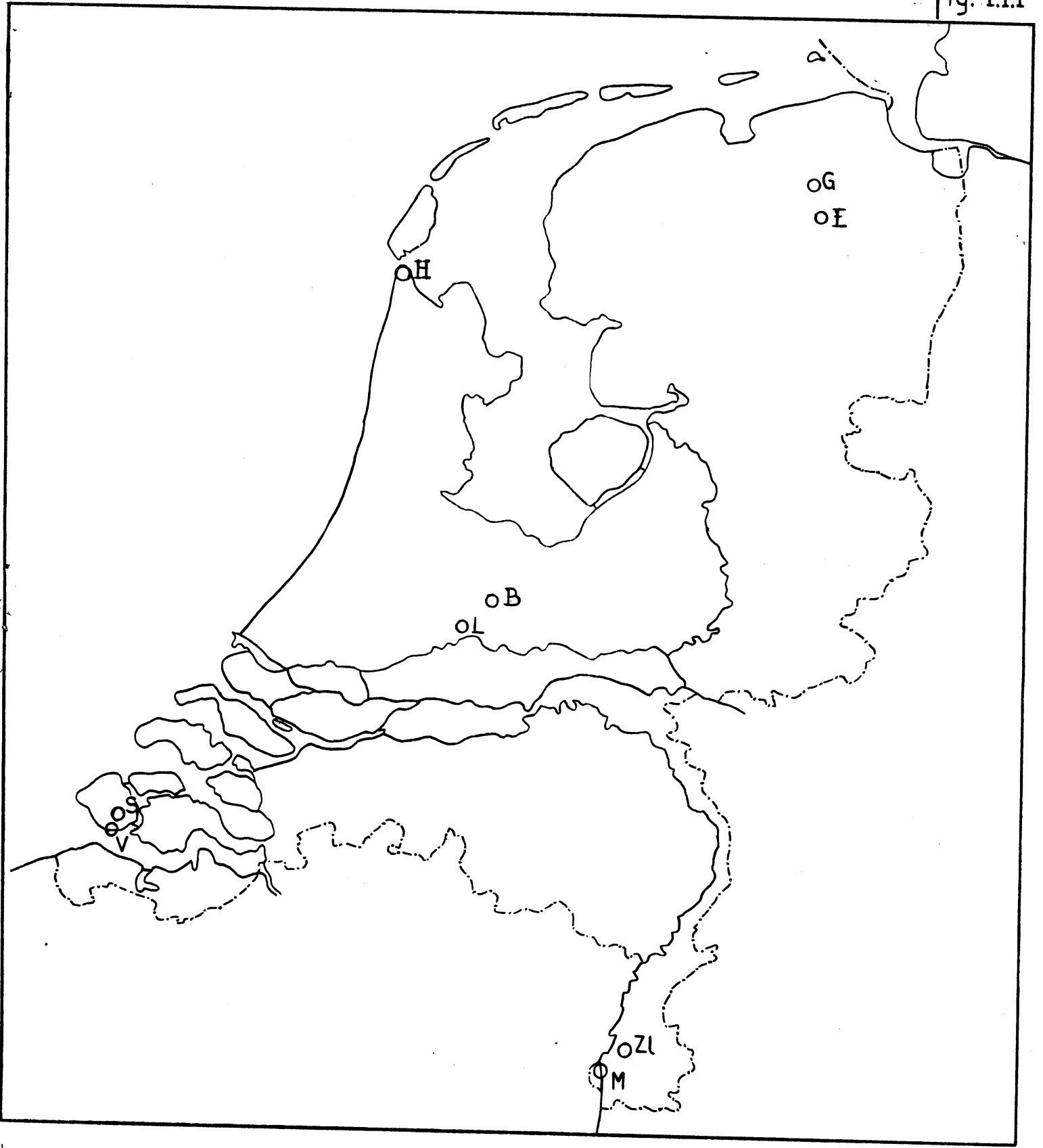
Ter vergelijking worden enkele resultaten afkomstig van Deacon, van Sherlock en van Frenkiel [10] genoemd. Deacon vond uit waarnemingen op hoogten 12,6 en 153,0 m voor 2 sec. windstoten $n_u = 0,16$ en $n_{st} = 0,085$. Een verhouding 0,53 dus. Sherlock vond voor 10 sec. stoten $n_u = 0,14$ en $n_{st} = 0,08$; een verhouding van 0,57. Frenkiel zelf bepaalde de verhoudingen op de toppen van bergen in Israël. De zeer vlakke bergtop Hreiba (hoogte 528 m) leverde uit waarnemingen op 25 en 10 m voor n_{st}/n_u de waarde 0,55. Op Givat Hamore (hoogte 517 m) met hellingen van 1 : 6 tot 1 : 3 bleek echter een merkbare snelheidsverhoging in de lagere niveau's waardoor het profiel zowel van gemiddelde als van max.stoten zeer steil werd en dus kleine n -waarden ontstonden, soms zelfs negatieve.

Om langs deze weg verder te komen, moet men de waarde van n^k/n_u kennen voor diverse waarden van k , waarbij n_k de machtwet exponent voorstelt voor de max. k -min. gemiddelden. Voor $k = 1$ gaat de verhouding natuurlijk in 1 over, terwijl voor $k \approx 1/20$ de waarde 0,65 genomen kan worden. Hoe het verloop er tussen is, valt echter zonder waarnemingen moeilijk te zeggen. Aangezien op dit ogenblik geen bewerkingen van waarnemingen voor dit doel beschikbaar zijn moet met het bovenstaande worden volstaan.

Literatuur

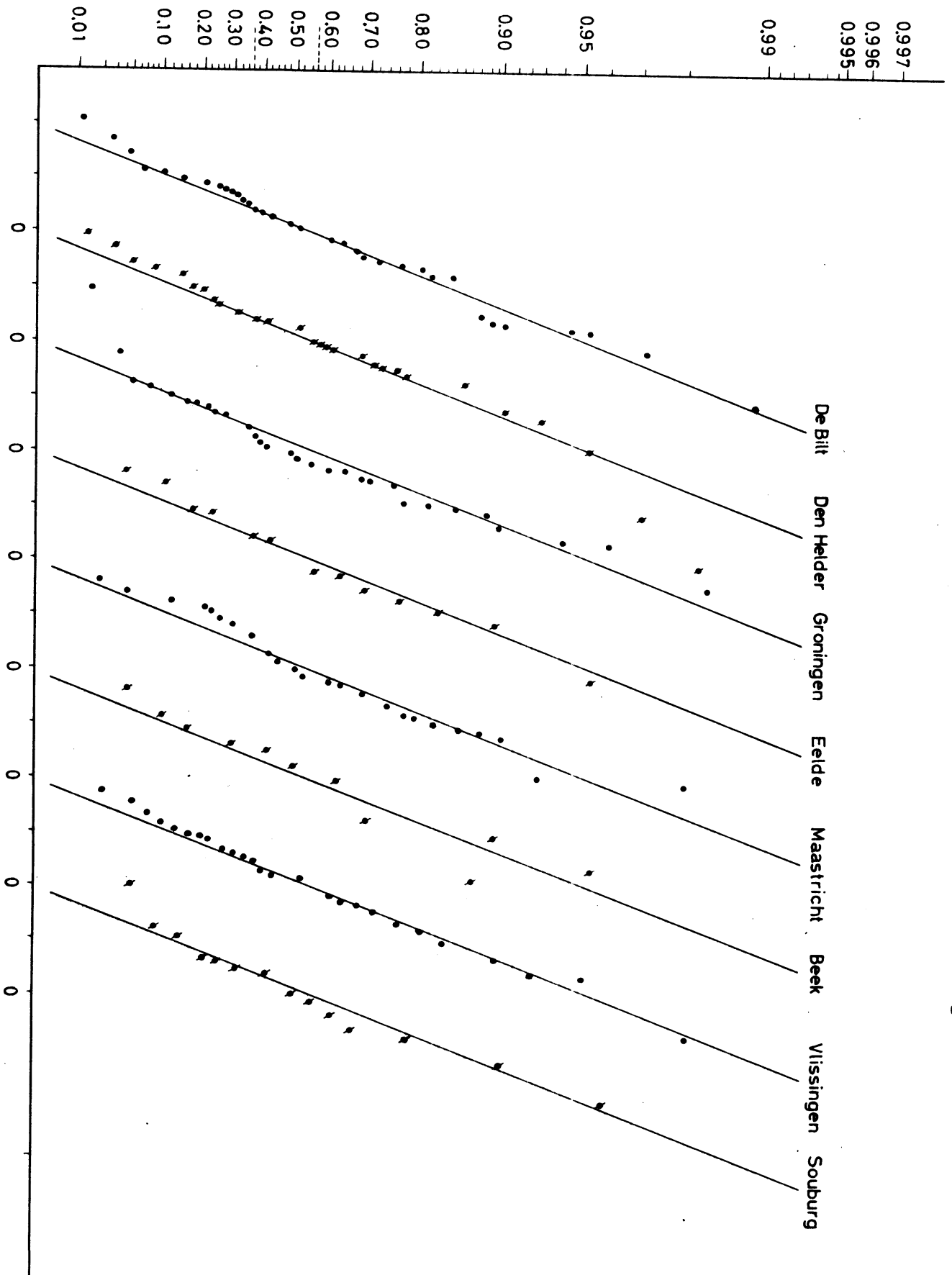
- [1] P.J.Rijkoort: Vergelijking van anemometeropstellingen op de hoofdstations; K.N.M.I. De Bilt, Verslag V-86 (1961)
- [2] I.I.Gringorten: Extreme value statistics in meteorology. A methode of application;
Air Force Surveys in Geophysics-Bedford-Mass.
U.S.A. June 1960.
- [3] I.I.Gringorten: A simplified method of estimating extreme values from data samples; J. of Appl. Met. 2-1 (1963).
- [4] A.Benard en E.C.Bos-Levenbach : Het uitzetten van waarnemingen op waarschijnlijkheidspapier; Stat.Neerl. 7-3 (1953).
- [5] Dr.C.Braak: Het klimaat van Nederland. D.Wind; Med.en Verh. 46
K.N.M.I. De Bilt (1942).
- [6] R.Frost: The velocity profile in the lowest 400 ft; Met.Mag.
London, 76 (1947) p. 14.
- [7] P.J.Rijkoort: Windsnelheidsprofielen gemeten aan masten voor wereldomroep en televisie te Lopik. K.N.M.I. De Bilt Verslag V-100 (1961).
- [8] C.S.Durst: Wind speeds over short periods of time; Met.Mag.
London 89 (1960) p.181.
- [9] H.C.Shellard: The estimation of design wind speeds. Paper 1 Int.
Conf. "Wind effects on Buildings and Structures";
Teddington, England, 26-28 June 1963.
- [10] J.Frenkiel: Gusts over hills. Q.J.R.M.S. 89-380 (1963).

fig. 1.1.1



Cumulative verdeling van jaarlijkse maximale snelheden (gereduceerd)

fig. 1.31



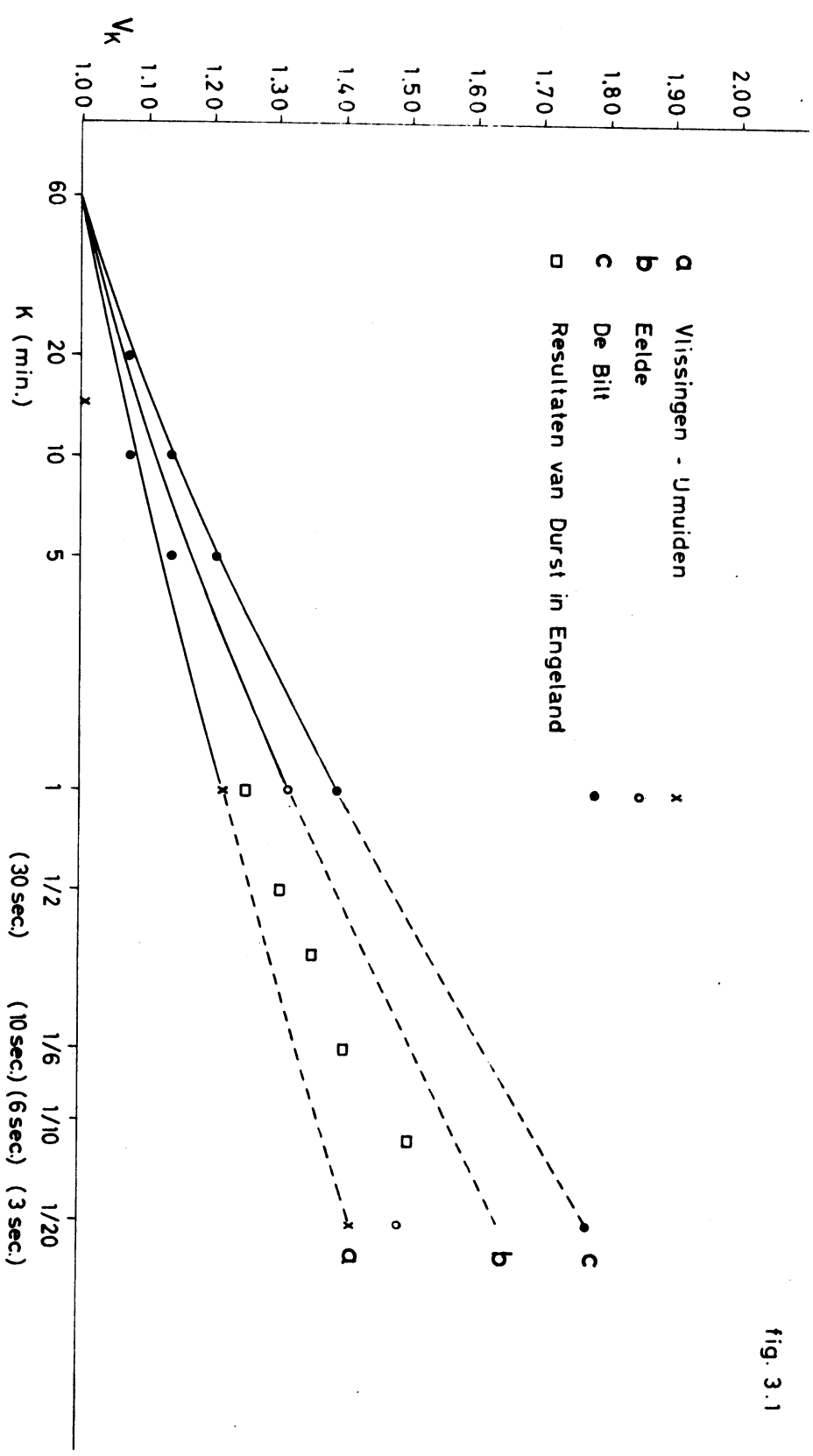


fig. 3.1

fig. 4.1

Verhouding maximale stoot tot kwartiergemiddelde van de windsnelheid als functie van de hoogte

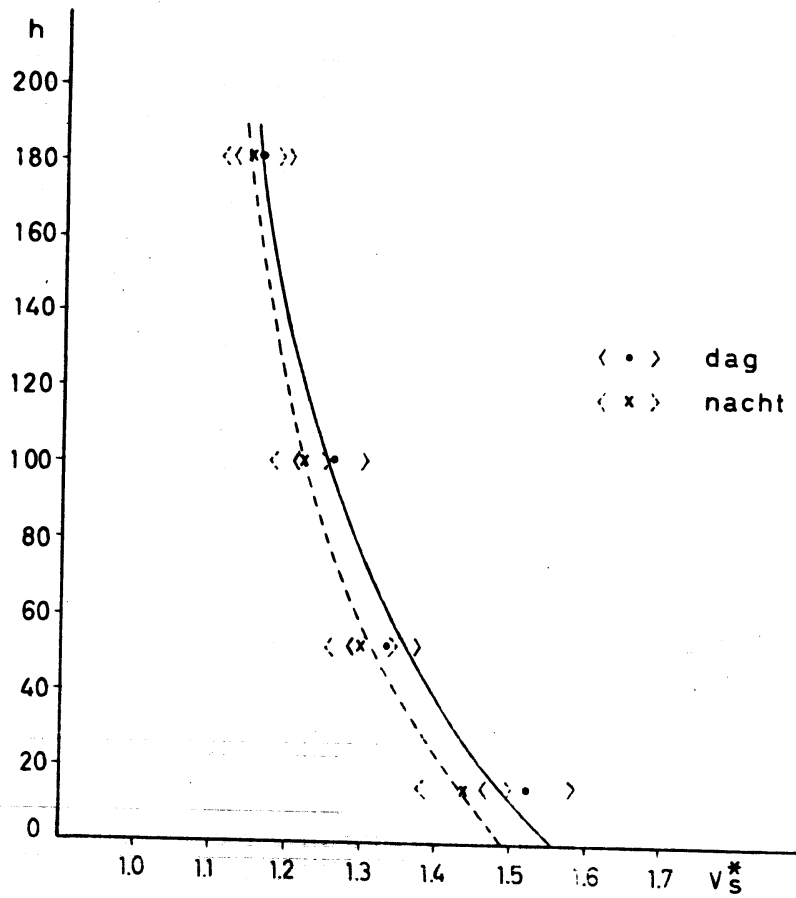


fig. 4.2

Verband machtwetexponenten voor gemiddelde snelheid $p_{\bar{u}}$ en maximale stoot p_s

