

**KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

**Verslagen**

**V-313**

**J. A. Mellink**

**C. A. Velds**

**Windmeting op de TV-toren te Markelo.**

**De Bilt, 1979**

Publikationsnummer: K.N.M.I. V-313(MO).

Kon. Nederlands Meteorologisch Instituut,  
Postbus 201,  
3730 AE De Bilt,  
Nederland.

U.D.C.: 551.501.75 :

551.507.7

I N H O U D

Blz.

1.	Inleiding	2
2.	Voorgeschiedenis	2
3.	Opstelling TV-toren Markelo	5
4.	Resultaten	5
4.1	Vergelijking van de waargenomen windrichtingen te Markelo en Cabauw	6
4.2	Vergelijking van de waargenomen windsnelheden te Markelo en Cabauw	8
4.3	Betrouwbaarheid van de schatting door de weerkamer-meteoroloog van windrichtings- en windsnelheidsverschil tussen Markelo (170 m) en Cabauw (200 m)	10
4.3.1.	Uitgangsmateriaal	
4.3.2.	Methode van onderzoek	
4.3.3.	Resultaten	
4.3.4.	Algemene geldigheid van de testresultaten	
4.3.5.	Conclusies	
	Naschrift	16
	Literatuur	17
	Figuuronderschriften	18

## 1. Inleiding

Voor diverse praktijkproblemen, waarbij de meteorologie een rol speelt, zoals de verspreiding van luchtverontreiniging, de start en landing van vliegtuigen, windbelasting op gebouwen en andere constructies, windenergie, is een nauwkeurige kennis van de verandering van de wind met de hoogte in de atmosferische grenslaag noodzakelijk.

Het onderzoek van het windprofiel gebeurt onder andere met behulp van de meteorologische mast te Cabauw, waar het totale grenslaagonderzoek is geconcentreerd (van Ulden et al 1976, Driedonks et al 1978).

Naast deze gedetailleerde metingen van het verticale windprofiel op één punt, is het plan opgevat om tevens de wind te meten op de top van een vijftal TV-torens met het doel gegevens te verkrijgen over het windveld op enige honderden meters hoogte boven Nederland. Dit windveld is van belang bij de ontwikkeling van grenslaagmodellen, voor de bepaling van de verspreiding van verontreiniging bij calamiteiten en voor het verkrijgen van experimentele gegevens van mesoschaaleffecten.

In april 1976 is als proef begonnen met de windmetingen op de TV-toren te Markelo. In dit verslag worden de meetresultaten van de eerste anderhalve maand vergeleken met de windmetingen te Cabauw. Tevens wordt nagegaan in hoeverre de schattingen van de wind op ongeveer 170 m hoogte in het oosten van het land door de weerkamermeteoroloog, met behulp van de hem ter beschikking staande middelen, overeenkomen met de gemeten wind.

## 2. Voorgeschiedenis

Reeds in 1955 en 1956 zijn windsnelheidsmetingen aan de 180 m hoge oude TV-mast en een 40 m hoge NOZEMA-mast te Lopik verricht om aan vragen over windbelasting en verdamping te kunnen voldoen (Rijkoort, 1961). De meetomstandigheden aan deze masten waren verre van ideaal, omdat de apparatuur slechts op korte uithouders aan de masten kon worden bevestigd, waardoor de masten zelf de metingen beïnvloedden.

In 1960 is het plan ontstaan om een mast te laten oprichten die beter geschikt zou zijn voor het meten van verticale wind- en temperatuurprofielen. In een nota van 11 januari 1961 over het meten van de windstructuur in Nederland werden de toenemende mate van luchtverontreiniging, de kans op ongelukken bij kernreactoren en de moeilijkheden, die de luchtvaart ondervindt bij sterk buiige wind als redenen genoemd voor een onderzoek naar de turbulentie in de onderste laag van de atmosfeer. Voorgesteld werd, na voorbereidende proefnemingen, een mast van 100 à 120 m hoogte op te richten en die o.a. uit te rusten met drie-componenten windvanen en bijbehorende apparatuur voor gegevensverwerking. Als plaats van de mast werd aan Delft gedacht. Later werden als vestigingsplaats ook Petten en Harculo genoemd.

In 1964 werd, getuige een memorandum van 9 maart, gedacht aan de oprichting van 2 of 3 masten met een hoogte van ca. 200 m (aan de Noordzeekust, ergens in een vlak gedeelte van het binnenland en in het oosten van Noord-Brabant of in Zuid-Limburg) voor het verkrijgen van een inzicht in de globale verdeling van meteorologische grootheden ten behoeve van de studie van de verspreiding van luchtverontreiniging. Voorgesteld werd in de loop van 1965 te starten met de oprichting van een eerste mast van 80 m hoogte teneinde technische ervaring op te doen. Daar het gebied ten noorden van de Nieuwe Waterweg een van de sterkst verontreinigde streken in ons land is, werd besloten deze 80 m-mast ten noorden van Vlaardingen te plaatsen.

Op 22 december 1966 werd in de Broekpolder deze 80 m hoge, getuigde vakwerkmast in gebruik gesteld (Rijkoort et al, 1970; Raaff, 1975).

Tezelfdertijd begonnen de plannen vaste vorm aan te nemen voor een 200 m hoge meteorologische mast met een identieke constructie als de TV-toren van de PTT ten zuiden van Den Oever. In de tweede helft van 1967 werd beslist dat deze mast te Cabauw (gemeente Lopik) zou worden gebouwd.

Voordat echter in oktober 1969 de eerste paal voor de bouw van de Cabauw-mast de grond in ging, werden al plannen gemaakt om voor het verkrijgen van windgegevens op grotere hoogte gebruik te maken van reeds bestaande hoge masten in Nederland (PTT/TV-torens, luchtmacht/straalzendermasten).

Men steunde hierbij op de goede ervaring die TNO had opgedaan bij metingen van de windbelasting op de TV-zendermast Wieringermeer.

In overleg met het Rijks Instituut voor de Volksgezondheid (RIV) werd afgesproken dat het KNMI bij de PTT zou informeren naar de mogelijkheden tot realisatie van windmetingen op 4 à 5 TV-torens.

Een proefopstelling op de TV-toren Wieringermeer, om na te gaan in hoeverre de hoogfrequentie spanningen de registratie zouden beïnvloeden, kwam op 28 januari 1972 gereed. Gedurende een periode van een maand werden op 205 m hoogte met een reedcontactanemometer en een windvaan windsnelheid en -richting gemeten. Uit de registraties bleek dat deze metingen niet ernstig door de hoogfrequentie velden werden beïnvloed.

Op grond van deze positieve resultaten besloten RIV en KNMI windmetingen te laten verrichten op de top van de 5 TV-torens te Smilde, Markelo, Roermond, Goes en Wieringermeer, die tezamen met de windgegevens uit Cabauw een indruk zullen geven van het windveld op 100 à 200 m hoogte ten behoeve van de voorlichting bij calamiteiten op het gebied van de luchtverontreiniging en de radioactiviteit. Aangezien de resultaten op de weerkamer van het KNMI beschikbaar moeten zijn, stelde men voor de transmissiekanalen van het Nationale Meetnet Luchtverontreiniging te gebruiken voor de verzending van de meetgegevens.

Nadat in 1973 toestemming was verkregen van de Directeur-Generaal van de PTT kwamen KNMI en RIV overeen dat op de TV-torens alleen windsnelheid en -richting zullen worden gemeten, in eerste instantie alleen als uurgemiddelde, later ook met een spreidingsmaat ten opzichte van het uurgemiddelde.

Daar er geen uithouders aan de TV-toren kunnen worden bevestigd, kunnen de metingen alleen op de top van de toren plaatsvinden. Bij wijze van proef zou men beginnen met de metingen op één TV-toren. Indien deze proefneming gunstig zou uitvallen, zou aan de PTT toestemming worden gevraagd ook de andere vier TV-torens met windmeetapparatuur te mogen uitrusten.

In de tweede helft van 1975 werd door het RIV, in overleg met het KNMI, opdracht gegeven om de windmeetapparatuur op de TV-toren te Markelo te plaatsen.

Op 9 maart 1976 werd de opstelling gerealiseerd en is sinds 1 april op het meetnet aangesloten.

3. Opstelling TV-toren Markelo

De TV-toren te Markelo is gesitueerd in het dal van de Schipbeek ongeveer 4 km ten westen van Markelo en 5 km ten zuiden van Holten (coördinaten  $52^{\circ} 14' 16''$  NB,  $6^{\circ} 26' 32''$  OL, 12.70 m boven NAP).

Op het topbordes (NAP + 179.15) is een 3 m hoge mast opgericht met een horizontale arm die ongeveer noord-zuid staat gericht. Op deze arm bevindt zich aan de noordkant de anemometer en aan de zuidkant de windvaan (fig. 1). De opstelling bevindt zich dus ongeveer 170 m boven maaiveld.

De anemometer is van het fabriekaats Thies 3300, de windvaan is analoog aan de normale KNMI vaan 01-00-520 IV R.

4. Resultaten

In dit verslag worden de resultaten besproken van een statistische vergelijking tussen de wind gemeten op 170 m hoogte te Markelo en op 200 m hoogte te Cabauw en van de mogelijkheden, die de weerkamermeteoroloog heeft om de wind op ongeveer 170 m hoogte in het oosten van het land te schatten.

De wind te Cabauw werd op 200 m hoogte genomen, daar de wind op 160 m hoogte slechts op één uithouder (zuid-oost) werd gemeten en daarom minder betrouwbaar leek.

De windwaarnemingen te Markelo zijn vergeleken met die te Cabauw voor de periode 1 april 1976 (de dag waarop de Markelo-metingen het eerst door de Klimatologische dienst van het KNMI zijn bewerkt) t/m 10 mei 1976 (de laatste dag dat de Cabauwmast in bedrijf was).

Van de maximaal 960 uren (40 dagen), waarvoor een vergelijking mogelijk zou zijn, bleven door uitval van de waarnemingen op één der beide masten 579 uren over. Deze zijn ingedeeld naar windrichting (volgens de windrichting op 200 m hoogte te Cabauw) als volgt:

oost	(045 - 134)	145	waarnemingen
zuid	(135 - 224)	65	waarnemingen
west	(225 - 314)	121	waarnemingen
noord	(315 - 044)	248	waarnemingen

#### 4.1. Vergelijking van de waargenomen windrichtingen te Markelo en Cabauw

De uurgemiddelde waarden van de windrichting te Markelo zijn vergeleken met de over de laatste 30 minuten in een uur gemiddelde waarden van de windrichting te Cabauw. Hierbij is nog een splitsing gemaakt in dag (7-18 GMT) en nacht (19-6 GMT).

In tabel I is de frequentieverdeling gegeven van het windrichtingsverschil Markelo minus Cabauw voor dag, nacht en dag en nacht tezamen, ingedeeld naar 4 windrichtingssectoren.

De hoogste frequentie voor het totale waarnemingsmateriaal wordt gevonden bij een windrichtingsverschil van  $-10^{\circ}$ , dus een ruiming van Cabauw ten opzichte van Markelo met  $10^{\circ}$ . Dit geldt ook voor dag en nacht apart en voor de windrichtingen oost, west en noord. Bij zuidenwind is het meest voorkomende windrichtingsverschil  $-20^{\circ}$ . De afwijking ten opzichte van de andere windrichtingsverschillen is hier echter klein en bovendien is het aantal gevallen met zuidenwind (65) erg laag.

In 12,1% van de waarnemingen is het verschil tussen Markelo en Cabauw, absoluut gezien, groter dan  $30^{\circ}$ . Deze grote windrichtingsverschillen treden vooral op bij zuiden- en westenwind, bij de eerstgenoemde overdag en bij de laatste des nachts.

Overdag komen grote windrichtingsverschillen voor in 41 van de 276 gevallen (14,8%); 's nachts in 29 van de 303 gevallen (9,6%).

Een gedeelte van de grote windrichtingsverschillen kan worden geweten aan het feit dat bij Cabauw de windrichting is gemiddeld over het laatste half uur van ieder uur. Wanneer van Cabauw ook uurgemiddelden worden genomen heeft dit tot gevolg dat van de 70 waarnemingen met windrichtingsverschillen groter dan  $30^{\circ}$  er 26 een kleiner windrichtingsverschil vertonen, 11 een groter, terwijl het in 33 gevallen geen effect heeft. Het aantal waarnemingen met een windrichtingsverschil groter dan  $30^{\circ}$  loopt terug tot 61.



TABEL I Frequentieverdeling van het windrichtingsverschil Markelo minus Cabauw

Markelo minus Cabauw	Aantal uren overdag 7 - 18 uur				Aantal uren 's nachts 19 - 6 uur				Totaal aantal				Totaal alle wind- rich- tingen
	oost	zuid	west	noord	oost	zuid	west	noord	oost	zuid	west	noord	
+ 170°				2								2	2
+ 160°				2								2	2
+ 150°				2								2	2
+ 140°				1								1	1
+ 130°				1								1	1
+ 120°				4								4	4
+ 90°		1				1				2			2
+ 70°		1						1		1		1	2
+ 60°					1		1			1		1	2
+ 50°		1		2	1				1		1		4
+ 40°		1		3			2		1	1	2	3	6
+ 30°		4		5	1	2	2	5	1	6	2	10	19
+ 20°	5	5	1	13		1	2	7	5	6	3	20	34
+ 10°	3	2	8	26	7	4	9	10	10	6	17	36	69
0°	13	5	12	19	21	2	14	25	34	7	26	44	111
- 10°	19	5	19	17	20	3	16	30	39	8	35	47	129
- 20°	5	2	5	10	20	7	6	22	25	9	11	32	77
- 30°		3	1	6	17	4	3	11	17	7	4	17	45
- 40°	1	4		4	1	2	4	3	2	6	4	7	19
- 50°	1	2	2		1		4		2	2	6		10
- 60°					1		2	1	1		2	1	4
- 70°			1	1							1	1	2
- 90°					1				1				1
- 100°					1				1				1
- 130°	1								1				1
- 140°				1			1						1
- 160°			1								1	1	2
- 170°				1							1		1
niet te bepalen	4	3	4	11	-	-	1	2	4	3	5	13	25
totaal	52	39	54	131	93	26	67	117	145	65	121	248	579
aantal groter dan 30°	3	10	4	24	7	3	14	5	10	13	18	29	70
percen- tage	5.8	25.6	7.4	18.3	7.5	11.5	20.9	4.3	6.9	20.0	14.9	11.7	12.1

Concluderend kan dus gesteld worden dat in meer dan 10% van de waarnemingen het verschil tussen de uur-gemiddelde windrichting op 200 m in Cabauw en de uur-gemiddelde windrichting op 170 m te Markelo groter is dan  $30^\circ$ .

#### 4.2. Vergelijking van de waargenomen windsnelheden te Markelo en Cabauw

De uur-gemiddelde waarden van de windsnelheid te Markelo zijn vergeleken met de uur-gemiddelde waarden van de windsnelheid te Cabauw. Hierbij is alleen een splitsing gemaakt in 4 windrichtingssectoren.

De resultaten zijn grafisch uitgezet in de figuren 2 t/m 5. In tabel II zijn de uitkomsten gegeven van de toetsing van de correlatie tussen de windsnelheden te Markelo en Cabauw en van de schatting van de regressielijn, waarbij ook alle 4 windrichtingssectoren tezamen zijn genomen (kolom Totaal).

Zoals te verwachten was, is er voor alle windrichtingen een significante correlatie (betrouwbaarheid groter dan 99,9%) tussen de waarnemingen van de windsnelheid op beide masten. De gemiddelde windsnelheid te Markelo  $\bar{y}$  komt binnen de spreiding met de gemiddelde windsnelheid te Cabauw  $\bar{x}$  overeen.

Voor de richtingen oost en zuid gaat de regressielijn door de oorsprong en wijkt de regressiecoëfficiënt niet significant van 1 af. Voor de windrichtingen west en noord en voor het totale waarnemingsmateriaal is dit niet het geval. Daarom is onderzocht of de regressielijnen voor de diverse richtingssectoren significant afwijken in gemiddelde en spreiding van de regressielijn voor het totale waarnemingsmateriaal. Met de formules voor de vergelijking van twee regressierechten (Diem, 1960, blz. 170.8) kan worden aangetoond, dat de regressielijnen voor de vier richtingssectoren apart met een significantiegrens groter dan 95% identiek zijn aan de regressielijn voor het totale waarnemingsmateriaal.

Geconcludeerd kan worden dat er gemiddeld een significant verband is tussen de gelijktijdig gemeten windsnelheden te Markelo en Cabauw. Uit de regressielijnen blijkt dat bij lage windsnelheden de waarden te Markelo hoger zijn dan te Cabauw, vooral bij noorden- en westenwind. Extrapolatie van de regressielijn tot de ij-as geeft aan dat bij een windsnelheid  $0$  te Cabauw een windsnelheid van  $(0,6 \pm 0,35)$  m/s te Markelo valt te verwachten.

TABEL II Resultaten correlatie- en regressieberekening van de windsnelheden te CABAuw en MARKELO

Grootheid	w i n d r i c h t i n g				Totaal
	oost	zuid	west	noord	
n	145	65	121	248	579
$\bar{x}$ m/s	9,28	6,30	7,61	8,53	8,28
S <sub>x</sub> m/s	3,66	3,21	3,59	3,60	3,68
$\bar{ij}$ m/s	8,74	6,38	7,77	8,25	8,06
S <sub>y</sub> m/s	3,79	3,77	3,46	3,62	3,70
r	0,903	0,825	0,891	0,881	0,885
b	0,935	0,970	0,858	0,885	0,891
S <sub>b</sub>	0,037	0,084	0,040	0,030	0,020
a m/s	0,057	0,265	1,240	0,699	0,687
S <sub>a</sub> m/s	0,371	0,591	0,336	0,281	0,177
Vergelijking	$Y=0,935x+0,057$ $Y=0,970x+0,265$ $Y=0,858x+1,240$ $Y=0,885x+0,699$ $Y=0,891x+0,687$				

Verklaring

n	aantal waarnemingsparen
$\bar{x}$	gemiddelde windsnelheid Cabauw in m/s
S <sub>x</sub>	standaardafwijking van de windsnelheden te Cabauw in m/s
$\bar{ij}$	gemiddelde windsnelheid Markelo in m/s
S <sub>y</sub>	standaardafwijking van de windsnelheden te Markelo in m/s
r	correlatiecoëfficiënt
b	regressiecoëfficiënt
S <sub>b</sub>	standaardafwijking in de regressiecoëfficiënt
a	ij-as afsnijding van de regressielijn in m/s
S <sub>a</sub>	standaardafwijking in de asafsnijding in m/s
Vergelijking	vergelijking voor de regressielijn.

Uit de figuren 2 t/m 5 blijkt dat er voor de individuele uren grote verschillen kunnen optreden tussen de op beide masten gemeten windsnelheden.

4.3. Betrouwbaarheid van de schatting door de weerkamermeteoroloog van windrichtings- en windsnelheidsverschil tussen Markelo(170 m) en Cabauw(200 m)

4.3.1. Uitgangsmateriaal

Gekozen is voor het volgende uitgangsmateriaal:

- a. wind- en temperatuurgegevens van de meetmast te Cabauw;
- b. synoptische grondweerkarten (3-uurlijks);
- c. uurgemiddelde winden van het waarnemingsstation Twente;
- d. PASQUILL-stabiliteiten (uurlijks) van het waarnemingsstation De Bilt;
- e. geostrofische windsnelheden van Cabauw (berekend m.b.v. GEOWIND-programma) (Cats, 1977).

Weerkaarten met uurlijkse waarnemingen werden niet gebruikt, omdat deze van het tijdvak waarbinnen de testperiode viel niet voorhanden zijn. De mogelijkheid bestaat dat dit extra-materiaal een verbetering van de schatting te zien zou hebben gegeven, maar deze moet gering worden geacht, mede gezien de aard van het tijdens de testperiode heersende weertype.

Zowel de berekening van de geostrofische wind, als ook de schatting van de wind uit de grondkaart, leverde een momentane waarde van de wind op. Door middeling van de waarde van het begin en van het einde van een uurvak werd de "uur-gemiddelde" wind van dat uurvak verkregen. Door deze wijze van middelen ontstonden "uur-gemiddelde" winden die goed vergelijkbaar waren met de geregistreerde uur-gemiddelde winden.

4.3.2. Methode van onderzoek

Met behulp van het vertikaal temperatuurprofiel van de meetmast te Cabauw werden de tijdstippen bepaald waarop de energiebalans omsloeg. Hierdoor werd het mogelijk een scheiding aan te brengen tussen DAG en NACHT-gevallen. De DAG-gevallen werden vervolgens aan de hand van de stabiliteitsklassificatie van PASQUILL onderverdeeld in:

+ DAG-I : (n= 114, 21%) onstabiel (klassen A, B en C).

+ DAG-II : (n= 123, 22%) neutraal (klasse D).

De NACHT-gevallen werden als volgt onderscheiden:

+ NACHT-I : (n= 179, 32%) windsnelheid te CABA UW (200 m) kleiner dan de lokale geostrofische windsnelheid.

+ NACHT-II : (n= 137, 25%) "over"-geostrofische windsnelheid te CABA UW (gevallen met een sterk inversieële temperatuuropbouw).

Voor het schatten van het windrichtings- en windsnelheidsverschil tussen MARKELO en CABA UW is gebruik gemaakt van drie schattingsmethoden:

+ I schatting m.b.v. 200 m-wind CABA UW gecombineerd met synoptische grondkaarten, waaruit de geo-wind werd geschat.

+ II schatting m.b.v. 10 m-wind TWENTE (lokale grondwind). Hierbij is aangenomen dat de wind in "dag" gevallen op 170 m hoogte 5 graden is geruimd ten opzichte van de 10 m-wind. Uit het materiaal werd met behulp van de zogenaamde machtwet een eenvoudig verband afgeleid tussen de windsnelheid op 10 m en 170 m hoogte te Markelo. Voor "neutrale gevallen werd voor de exponent p de waarde 0,15 gevonden, voor "onstabiele" gevallen de waarde 0,11. De waarden zijn gebruikt om de windsnelheid op 170 m hoogte af te leiden uit de 10 m-wind.

+III schatting m.b.v. de aanname dat: MARKELO-wind = CABA UW-wind.

Bij de eerste twee methoden heeft de weerkamermeteoroloog een inbreng.

In tabel III (kolom 1 en 2) staat aangegeven welke van deze twee voor de verschillende groepen van gevallen (voor wat betreft de testperiode !) de beste (+) resultaten geeft. De laatste kolom van de tabel vermeldt of bij het hanteren van methode III beter (++) of slechter (-) wordt gescoord dan bij de twee methoden waarbij de meteoroloog een bijdrage levert.

TABEL III Vergelijking van 3 schattingsmethoden voor de wind op 170 m hoogte

	CABAUW + grondkrt.	10m-wind TWENTE	MARKELO=CABAUW
<u>Windrichting</u>			
DAG-I(onstabiel)		+	-
DAG-II(neutraal)	+		-
NACHT-I	+		++
NACHT-II(sterk stabiel)	+		++
<u>Windsnelheid</u>			
DAG-I(onstabiel)		+	-
DAG-II(neutraal)		+	-
NACHT-I	+		++
NACHT-II(sterk stabiel)	+		++

Verklaring

- + : beste schatting meteoroloog
- ++ : aannname MARKELO-wind = CABAUW-wind geeft betere resultaten dan schatting meteoroloog
- : MARKELO-wind = CABAUW-wind geeft minder goede resultaten.

Voor de DAG-gevallen geldt in het algemeen dat een lokaal grondwindgegeven de beste schatting oplevert. Blijkbaar spelen lokale cirkulaties een overheersende rol, waardoor de lokale verticale samenhang (over  $\pm$  160m) groter is dan de horizontale over de afstand MARKELO-CABAUW ( $\pm$  100 km). Alleen in de neutrale DAG-gevallen wordt de windrichting aan de hand van de grondkaarten beter geschat.

Voor de NACHT-gevallen kan door het in de beschouwing betrekken van synoptische gegevens geen betere schatting verkregen worden dan op grond van de metingen te CABAUW. Dit hangt nauw samen met het optreden van discontinuïteiten in het verticale windveld als gevolg van inversievorming. (dicht onder de inversie vormt zich in veel gevallen een low level jet met geringe verticale uitgestrektheid).

4.3.3. Resultaten

In de tabellen IV en V zijn de beste prestaties van de weerkamermeteoroloog (Tabel III, kolommen 1 en 2) vergeleken met de resultaten, die verkregen worden als aangenomen wordt dat de wind in MARKELO gelijk is aan de wind in CABAUW (Tabel III, kolom 3).

TABEL IV Schatting windrichtingsverschil  
MARKELO (170 m) - CABA UW (200 m)

DAG-I (onstabiel) (n = 114)			DAG-II (neutraal) (n = 123)		
$\Delta$ ( $^{\circ}$ )	MET.(%)	MAR=CAB(%)	$\Delta$ ( $^{\circ}$ )	MET.(%)	MAR=CAB(%)
< 5	24	20	< 5	24	20
< 15	57	52	< 15	67	62
< 25	76	68	< 25	84	80
< 35	83	72	< 35	94	90

NACHT-I (n = 179)			NACHT-II (sterk st.) (n = 137)		
$\Delta$ ( $^{\circ}$ )	MET.(%)	MAR=CAB(%)	$\Delta$ ( $^{\circ}$ )	MET.(%)	MAR=CAB(%)
< 5	19	23	< 5	21	14
< 15	57	57	< 15	45	46
< 25	77	78	< 25	79	70
< 35	86	90	< 35	83	85

Percentages schattingen met een ( $\Delta$ ) in de schatting van minder van 5, 15, 25 of 35 $^{\circ}$ .  
Fout ( $\Delta$ ) : afwijking (absolute waarde) tussen geschat verschil en geregistreerd verschil.

MET. : Schattingspercentage indien gebruik wordt gemaakt van synoptische gegevens (inbreng weerkamermeteoroloog)

MAR=CAB : percentage indien wordt aangenomen dat MARKELowind = CABA UWwind.

TABEL V Schatting windsnelheidsverschil MARKELO (170 m) - CABA UW (200 m)

DAG-I (onstabiel) (n = 114)			DAG-II (neutraal) (n = 123)		
$\Delta$ (kts)	MET.(%)	MAR=CAB(%)	$\Delta$ (kts)	MET.(%)	MAR=CAB(%)
< 1	39	38	< 1	42	35
< 2	61	54	< 2	60	55
< 3	83	71	< 3	75	73
< 4	88	86	< 4	87	86

NACHT-I (n = 179)			NACHT-II (sterk st.) (n = 137)		
$\Delta$ (kts)	MET.(%)	MAR=CAB(%)	$\Delta$ (kts)	MET.(%)	MAR=CAB(%)
< 1	28	32	< 1	23	32
< 2	48	50	< 2	38	54
< 3	64	66	< 3	53	65
< 4	78	79	< 4	60	76

Percentages schattingen met een fout( $\Delta$ ) in de schatting van minder dan 1, 2, 3 of 4 knopen.

Fout( $\Delta$ ) : afwijking (absolute waarde) tussen geschat verschil en geregistreerd verschil.

MET. : schattingspercentage indien gebruik gemaakt wordt van synoptische gegevens (inbreng weerkamermeteoroloog).

MAR=CAB : percentage indien wordt aangenomen dat MARKELowind = CABA UWwind.

De fouten in de schattingen van windrichtings- en windsnelheidsverschil zijn ingedeeld in 4 klassen en een restklasse met fouten groter dan  $35^{\circ}$  respectievelijk groter dan 4 knopen. De foutenpercentages zijn cumulatief weergegeven.

Wanneer de distributieve aantallen in de 5 klassen voor de beide schattingsmethoden in contingentietabellen onderling worden getoetst met een  $\chi^2$ -verdeling, blijkt het volgende.

Voor de windrichting is de prestatie van de weerkamermeteoroloog voor de "dag" gevallen beter (maar niet significant) dan de schatting MARKELO = CABAUW. Voor de "nacht-II" gevallen is de schatting met behulp van MARKELO = CABAUW significant beter.

Bij de windsnelheid is de prestatie van de weerkamermeteoroloog in de "dag-I" gevallen significant beter en van de schatting MARKELO = CABAUW in de "nacht-II" gevallen.

#### 4.3.4. Algemene geldigheid van de testresultaten

Uit de tabellen komt duidelijk de geringe bijdrage van de weerkamermeteoroloog aan de betrouwbaarheid van de schatting tot uiting. Opgemerkt moet worden dat tijdens de testperiode overwegend noord- en oostcirculaties in Nederland en omgeving voorkwamen, o.a. 7 dagen HNz, 5 dagen NEa, 5 dagen Nz, 4 dagen HB en 3 dagen Na. Deze circulatietypes worden gekenmerkt door homogene, stationaire windvelden (frontpassages, die aanleiding geven tot discontinuïteiten in het windveld ontbreken hierbij nagenoeg geheel), waardoor grote verschillen tussen de wind in Markelo en Cabauw weinig optreden. Verwacht mag worden dat in het algemeen (dus als de verschillen groter zijn dan tijdens de testperiode) de schattingsbetrouwbaarheid geringer zal zijn, maar dat de inbreng van de weerkamermeteoroloog relatief groter is.

Van invloed op de schattingsbetrouwbaarheid is ook de frequentieverdeling van de geostrofische windsnelheid. Immers, naarmate de horizontale samenhang in het windveld groter wordt, zal voor wat betreft de windrichtingsverschillen de betrouwbaarheid van de schatting toenemen.

In tabel VI is de relatie tussen de geostrofische windsnelheid in CABAUW en de fout in de schatting van het windrichtingsverschil zichtbaar gemaakt.



TABEL VI Relatie tussen de geostrofische windsnelheid in CABA UW en de fout in de schatting van het windrichtingsverschil

$\Delta$ in °	Geostrofische Windsnelheid		
	0-12 kts	13-20 kts	groter dan 20 kts
< 5	13 %	21 %	26 %
< 15	36 %	50 %	70 %
< 25	65 %	69 %	87 %
< 35	74 %	83 %	95 %

$\Delta$ : Afwijking (absolute waarde) tussen geschat verschil en opgetreden verschil.

Tabel VII vergelijkt de snelheidsverdeling van de geostrofische wind te Cabauw tijdens de testperiode met de klimatologische verdeling (Heyboer, 1973). Uit deze vergelijking blijkt, dat hoge windsnelheden tijdens de

TABEL VII Frequentie verdeling geostrofische windsnelheid

snelheid geowind	"klimatologisch" (Heyboer, 1973)	CABA UW tijdens testperiode
0-10 kts	21	20
10-20 kts	35	32
groter dan 20 kts	44	48

testperiode iets oververtegenwoordigd zijn geweest, zodat aangenomen mag worden dat in het algemeen de schattingspercentages voor wat betreft de windrichtingsverschillen niet hoger zullen liggen dan die welke tijdens de testperiode zijn bepaald.

Voor de windsnelheidsverschillen betekent een geringe oververtegenwoordiging van hoge windsnelheden dat de gevonden betrouwbaarheid iets aan de lage kant is. Maar dit wordt hoogstwaarschijnlijk overgecompenseerd door de eerdergenoemde synoptische uitzonderlijkheid van de testperiode (homogeniteit van het windveld).

Tabel VIII, waarin de resultaten van de beste schattingsmethoden van tabel III zijn gecombineerd, geeft dan ook een hogere betrouwbaarheid aan dan die voor een klimatologisch representatieve periode te behalen valt.

TABEL VIII Maximale schattingsbetrouwbaarheid van de wind te Markelo (170 m). Combinatie van de beste schattingsmethoden uit Tabel III.

WINDRICHTING		WINDSNELHEID	
fout $\Delta$ in $^{\circ}$	cum. percentage	fout $\Delta$ in kts	cum. percentage
< 5	23	< 1	36
< 15	56	< 2	56
< 25	79	< 3	71
< 35	88	< 4	82

#### 4.3.5. Conclusies

De betrouwbaarheid van de schattingen komt uit tabel VIII naar voren. Hieruit blijkt dat in bijna 50% van de gevallen de schatting van de windrichting meer dan  $15^{\circ}$  afwijkt van de werkelijk opgetreden windrichting en dat de windsnelheid in bijna de helft van de gevallen meer dan 2 knopen afwijkt van de geschatte windsnelheid.

Op grond hiervan kan men concluderen dat de waarnemingen op de TV-toren te Markelo van belang zijn voor de verbetering van het inzicht in de windstroming op grotere hoogte.

Hierbij moet worden bedacht dat de testperiode in synoptisch opzicht niet representatief is voor een klimatologie, de bijdrage van de weer-kamermeteoroloog aan de betrouwbaarheid van de schattingen wordt hierdoor enigszins in negatieve zin vertekend.

#### Naschrift

De heer C. Hofman bewerkte de waarnemingen en de heren P.J. Rijkoort en A. Denkema gaven waardevolle statistische adviezen, waarvoor de samenstellers van dit verslag hun dank betuigen.

LITERATUUR

- G.J. Cats (1977) Berekening van de geowind  
KNMI Wetenschappelijk Rapport W.R. 77-2.
- H. Diem (1960) Documenta Geigy, Wissenschaftliche Tabellen.  
6. Auflage J.R. Geigy A.G. Basel.
- A.G.M. Driedonks,  
H. van Dop en  
W.H. Kohsiek (1978) Meteorological observations on the 213 m mast at  
Cabauw, in the Netherlands.  
Preprints Fourth Symposium on meteorological obser-  
vations and instrumentation, Denver.  
Amer. Meteor. Soc., Boston, 41-46.
- L.C. Heyboer (1973) Windverwachting voor 12 en 24 uur vooruit op 850 mbar  
door het BK-3 model en de relatie tussen de geostrofi-  
sche wind op 850 mbar en de gemeten wind van de meet-  
paal Katwijk.  
KNMI Wetenschappelijk Rapport W.R. 73-1.
- W.R. Raaff (1975) Windmetingen aan de 80 m-mast te Vlaardingen in 1967/68.  
KNMI Wetenschappelijk Rapport W.R. 75-11.
- P.J. Rijkoort (1961) Windsnelheidsprofielen gemeten aan masten voor wereld-  
omroep en televisie te Lopik.  
KNMI Verslag V - 100.
- P.J. Rijkoort, F.H. Schmidt, C.A. Velds en J. Wieringa (1970) A meteorological 80 m tower near Rotterdam.  
Boundary - Layer Meteorology 1, 5- 17.
- A.P. van Ulden,  
J.G. van der Vliet  
en J. Wieringa (1976) Waarnemingen van temperatuur en wind op hoogten van 2 m  
tot 200 m te Cabauw in 1973.  
KNMI Wetenschappelijk Rapport W.R. 76-7

FIGUURONDERSCHRIFTEN

Figuur 1.

Opstelling van de windmeetapparatuur op het topbordes van de T.V.-toren te Markelo.

Figuur 2.

Correlatiediagram tussen de windsnelheid op 170 m te Markelo en op 200 m te Cabauw bij oostenwind op 200 m te Cabauw.

Figuur 3.

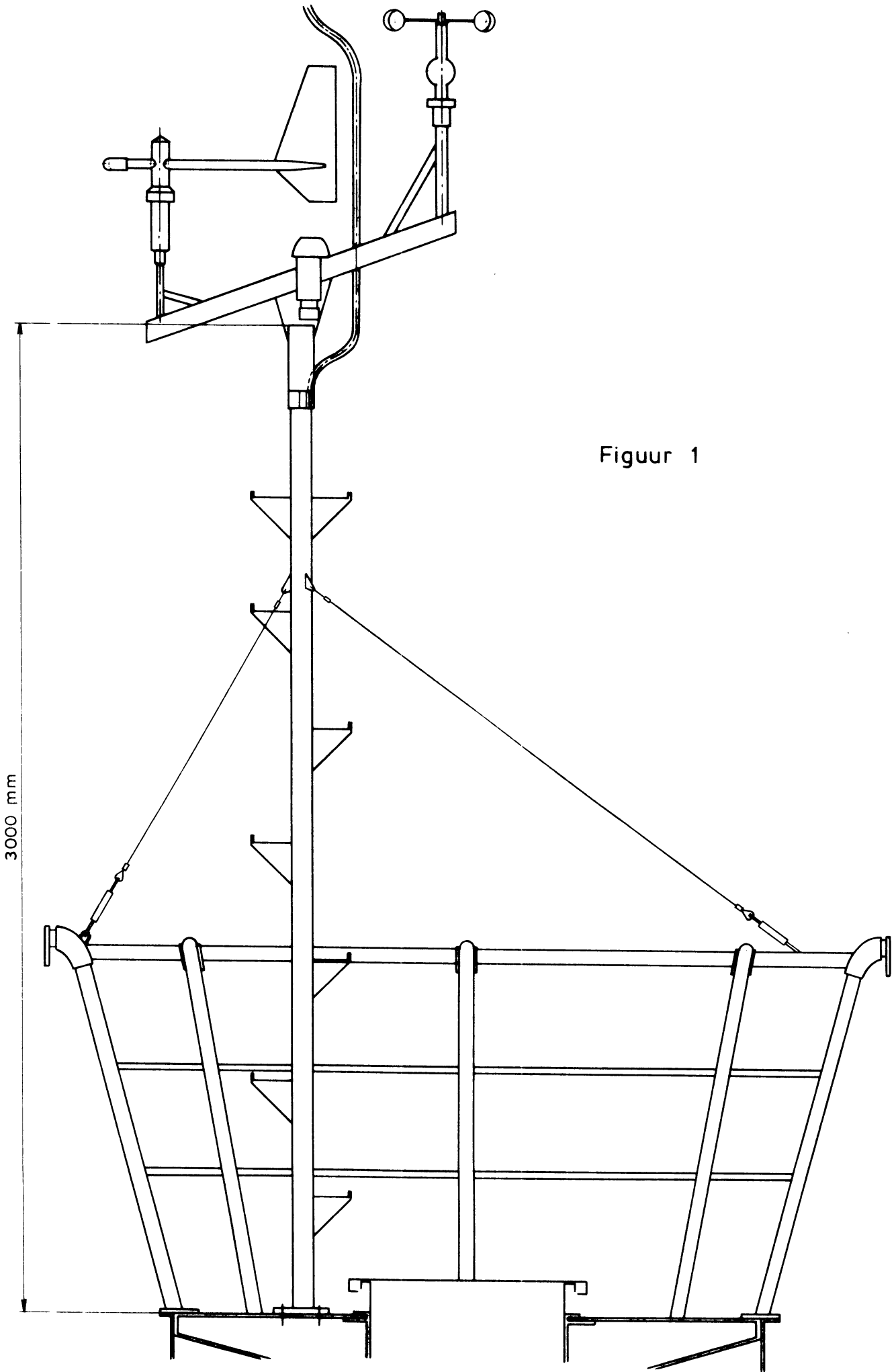
Correlatiediagram tussen de windsnelheid op 170 m te Markelo en op 200 m te Cabauw bij zuidenwind op 200 m te Cabauw.

Figuur 4.

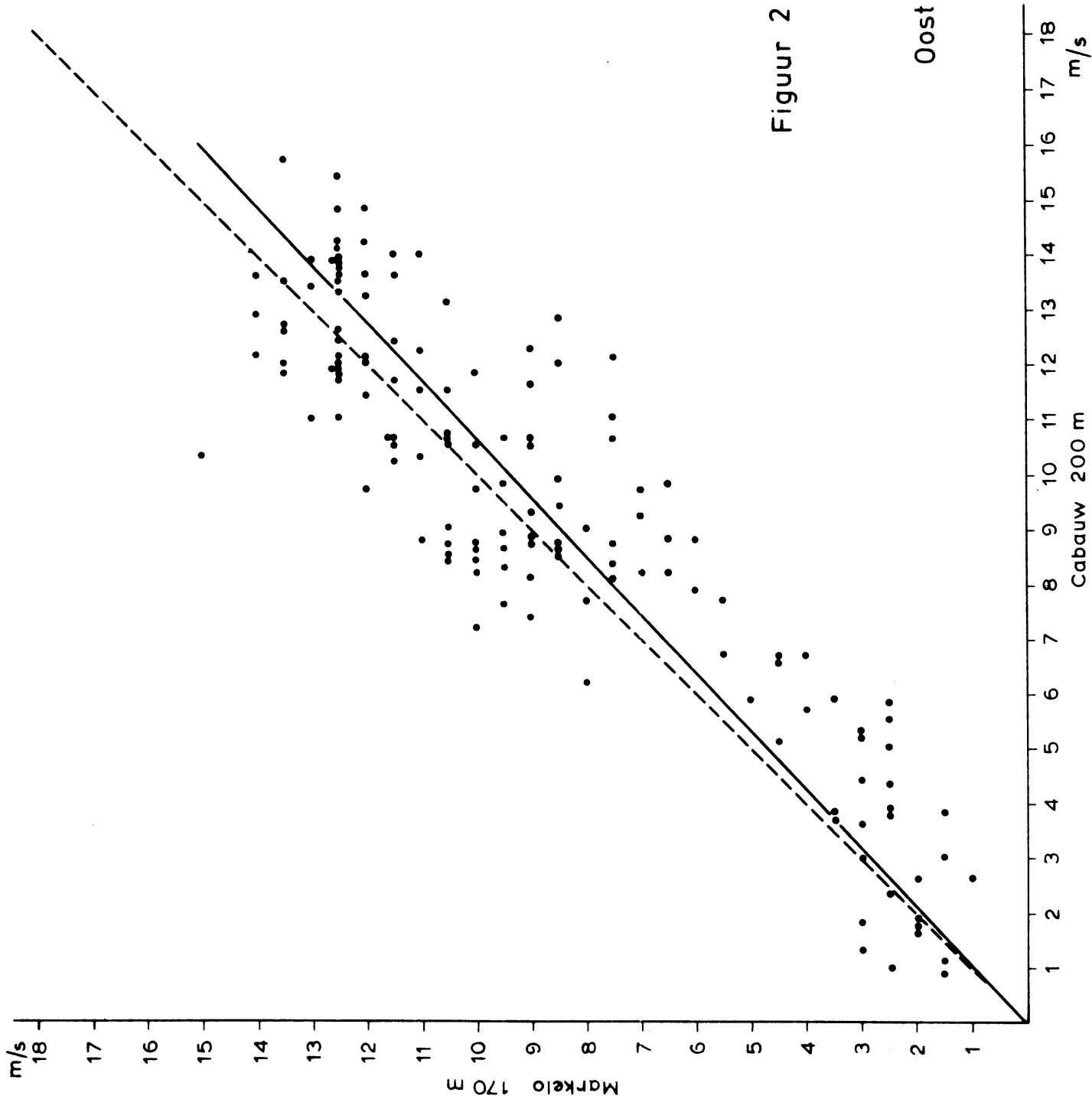
Correlatiediagram tussen de windsnelheid op 170 m te Markelo en op 200 m te Cabauw bij westenwind op 200 m te Cabauw.

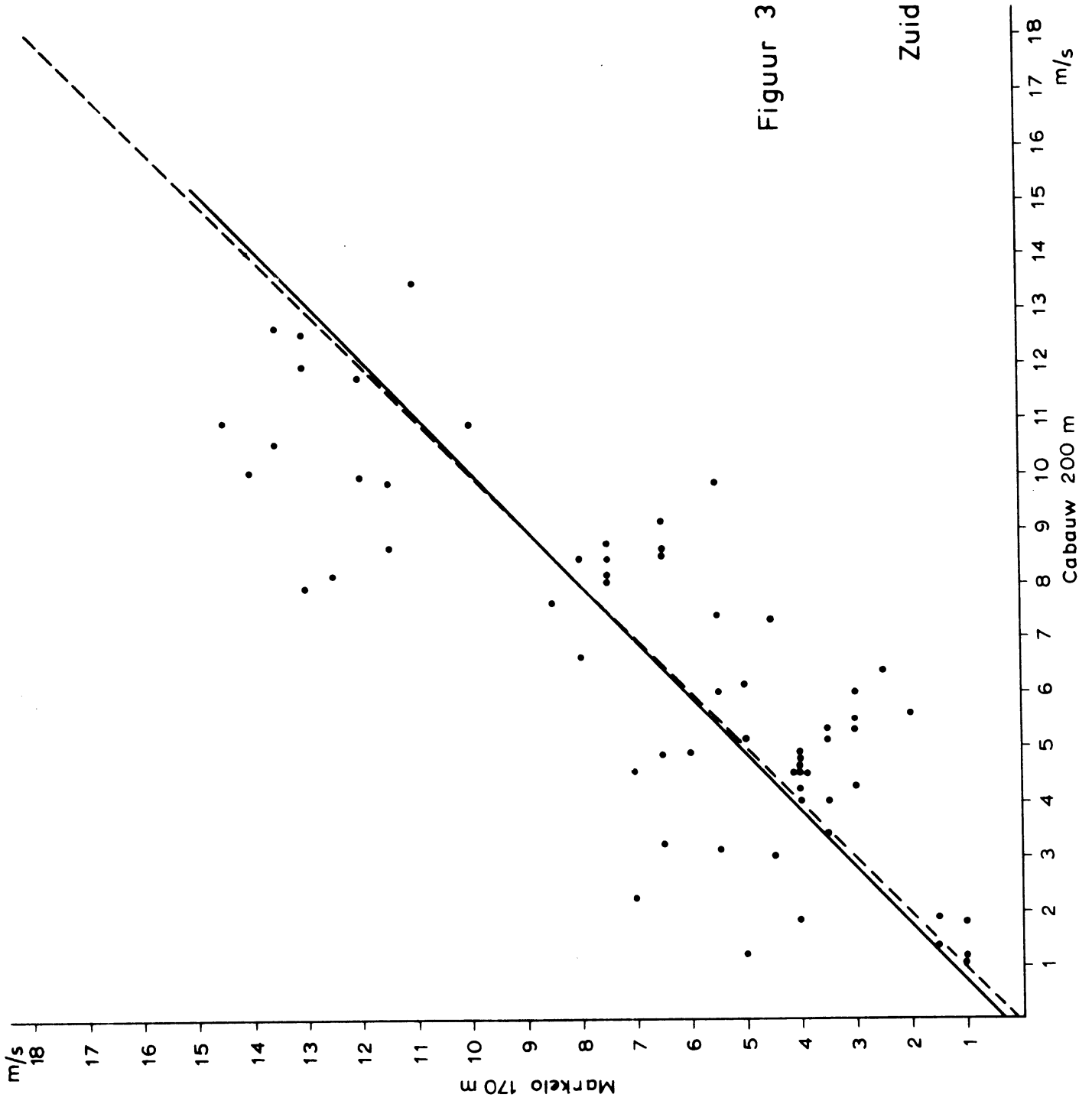
Figuur 5.

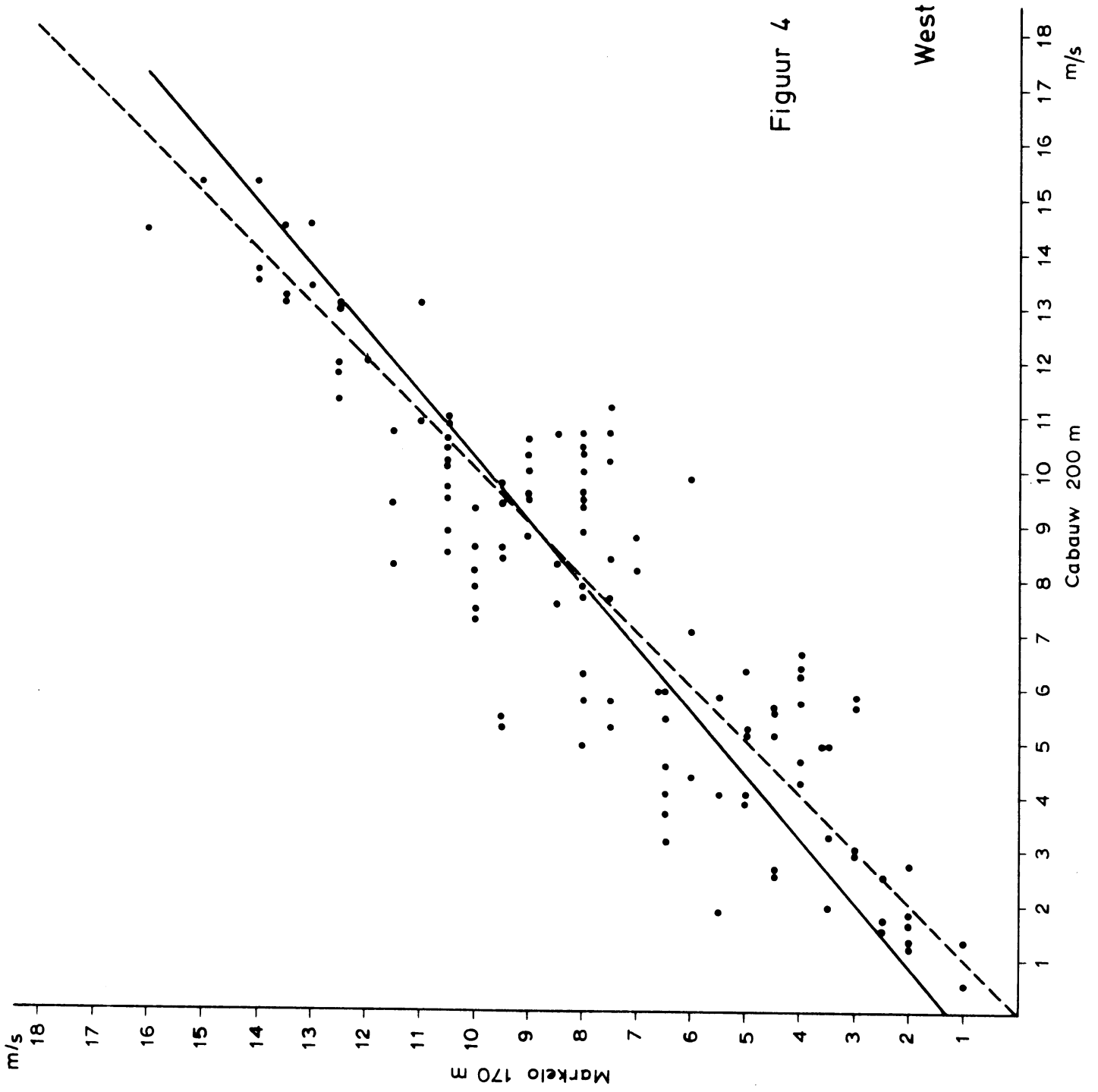
Correlatiediagram tussen de windsnelheid op 170 m te Markelo en op 200 m te Cabauw bij noordenwind op 200 m te Cabauw.



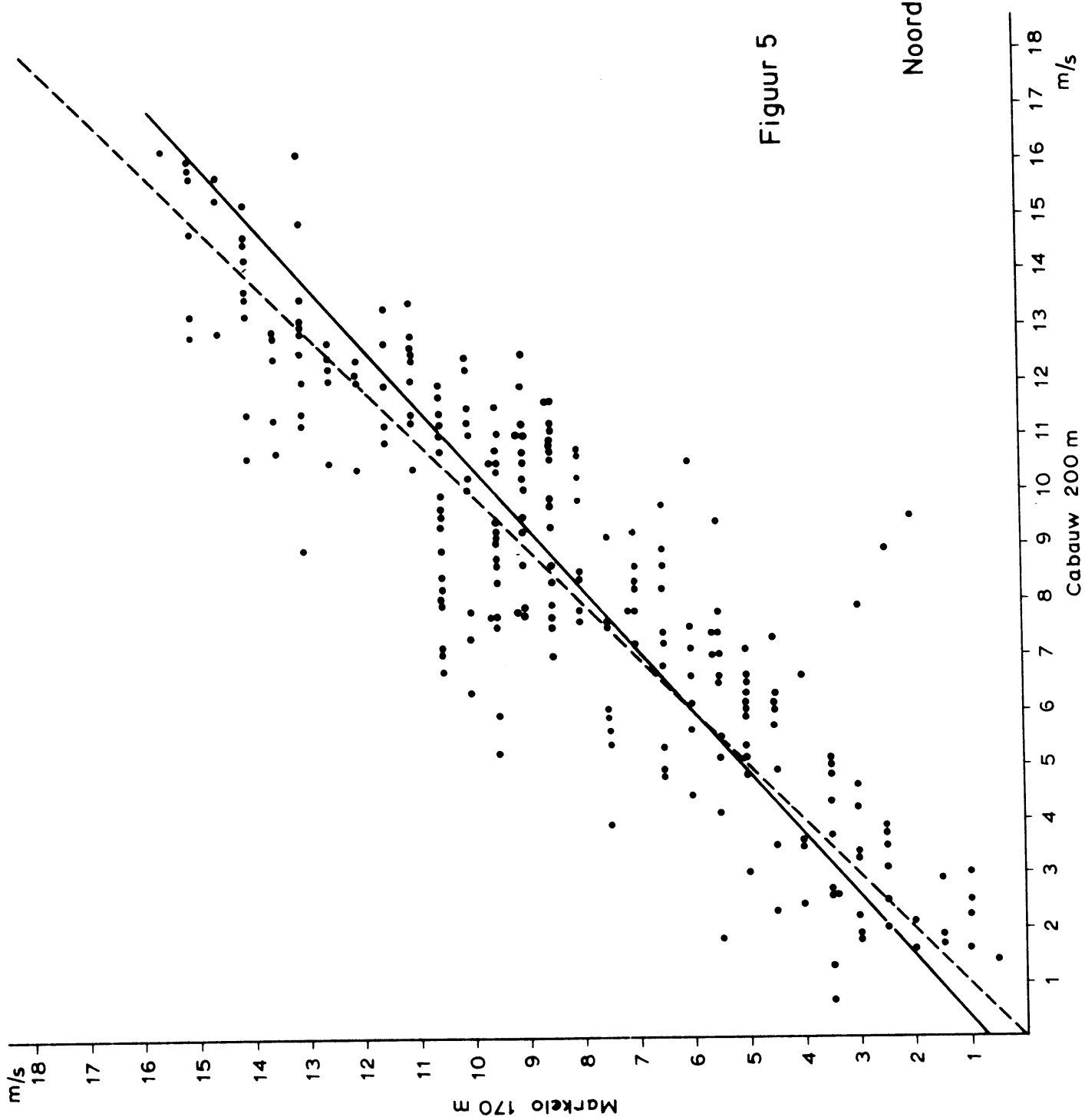
Figuur 1











Figuur 5

Noord