

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

D e B i l t

Verslagen

V - 270

P.J. Rijkooft en A. Denkema

Duur en gemiddelde snelheid (t.a.v. diverse  
snelheidsniveau's) van stormen te Den Helder,  
Vlissingen en De Bilt

De Bilt, 1976

Publikationsnummer: K.N.M.I. V-270 (S.B.)

U.D.C.: 551.553.8

## 1. Inleiding en algemene opzet van het onderzoek.

Een van de verzoeken die tot het K.N.M.I. zijn gericht om inlichtingen over extreme windsnelheden voor windbelastingproblemen gaf aanleiding tot de volgende vraag: "Hoeveel bedraagt de stormduur en de gemiddelde windsnelheid van extreme stormen?"

Ter beantwoording van deze vraag zijn windgegevens van de stations Vlissingen, Den Helder en De Bilt bewerkt. Deze gegevens zijn afkomstig uit een in het verleden opgezet bestand van grootheden waarmee een storm is te karakteriseren. De grootheden werden voor de hoofdstations bepaald uit registraties op basis van de volgende stormdefinitie:

"Een storm is een aaneengesloten periode van minstens 3 uren met uurgemiddelden van de windsnelheid, die  $\geq 1\frac{1}{2} \bar{u}$  zijn, terwijl het maximum uurgemiddelde  $\geq 2\frac{1}{2} \bar{u}$  bedraagt; hierin is  $\bar{u}$  de "jaarlijkse normaal" (het gemiddelde van een veeljarige reeks jaargemiddelden) van de windsnelheid".

De waarden van  $\bar{u}$  over de onderzochte perioden bedroegen voor:

Den Helder	6,6 m/s (juli 1922 - dec. 1970)
Vlissingen	6,0 m/s (1910 - 1944)
De Bilt	4,8 m/s (1906 - 1960)

Alle stormen, die aan bovengenoemde definitie voldoen, zijn getabelleerd over de duur tijdens welke de windsnelheid  $\geq 1\frac{1}{2} \bar{u}$  was; op basis hiervan zijn nieuwe tabellen samengesteld waarin per storm de volgende gegevens zijn genoteerd:

$h_b$	: beginuurvak
$h_e$	: einduurvak
$h_m$	: uurvak met $u_m$
$u_m$	: maximaal uurgemiddelde in de storm
$v_m$	: het quotiënt $u_m / \bar{u}$
$R_b$	: windrichting tijdens $h_b$
$R_e$	: windrichting tijdens $h_e$
$R_m$	: windrichting tijdens $h_m$

- $A_{1\frac{1}{2}}$  : aantal uurvakken van  $h_b$  t/m  $h_e$   
 $A_{1\frac{1}{2}}^{\sim}$  : aantal uurvakken van  $h_b$  t/m  $h_m$   
 $A_k$  : aantal uurvakken met  $u \geq k \cdot \bar{u}$  ( $k=2; 2\frac{1}{2}; 3$  etc.)
- 

Bij de opzet van deze stormstatistiek zijn relatieve snelheden ingevoerd door de notatie  $v = u / \bar{u}$ . Dit had in de eerste plaats ten doel voor die stations, waarvan de waarnemingsreeks niet homogeen is, een globale reductie mogelijk te maken. In de tweede plaats bood het invoeren van  $v$  de mogelijkheid desgewenst binnenland en kust relatief te vergelijken, uitgaande van de gedachte dat men aan de kust meer is ingesteld op harde wind dan in het binnenland en een storm mogelijk minder snel als hinderlijk ervaart.

Overigens kan men uiteraard eenvoudig van  $v$  naar  $u$  terug,

Voor de samenstelling van de tabellen met stormgegevens is de notatie  $k$  in feite gebruikt voor de  $v$ -waarden  $2\frac{1}{2}; 3$  enz. De grootheden  $A_k$  kunnen dus als speciale gevallen van de algemenere grootheid  $A_v$  worden beschouwd.

Met het oog op het in dit rapport behandelde probleem wordt nog een grootheid  $\tilde{u}$  (resp.  $\tilde{v}$ ) ingevoerd, die de gemiddelde snelheid over het tijdvak met lengte  $A_v$  voorstelt. De grootheid  $\tilde{u}$  (of  $\tilde{v}$ ) is dus gekoppeld aan een bepaalde  $u$  (of  $v$ ) en zou duidelijkheidshalve ook als  $\tilde{u}_u$  (of  $\tilde{v}_v$ ) genoteerd kunnen worden.

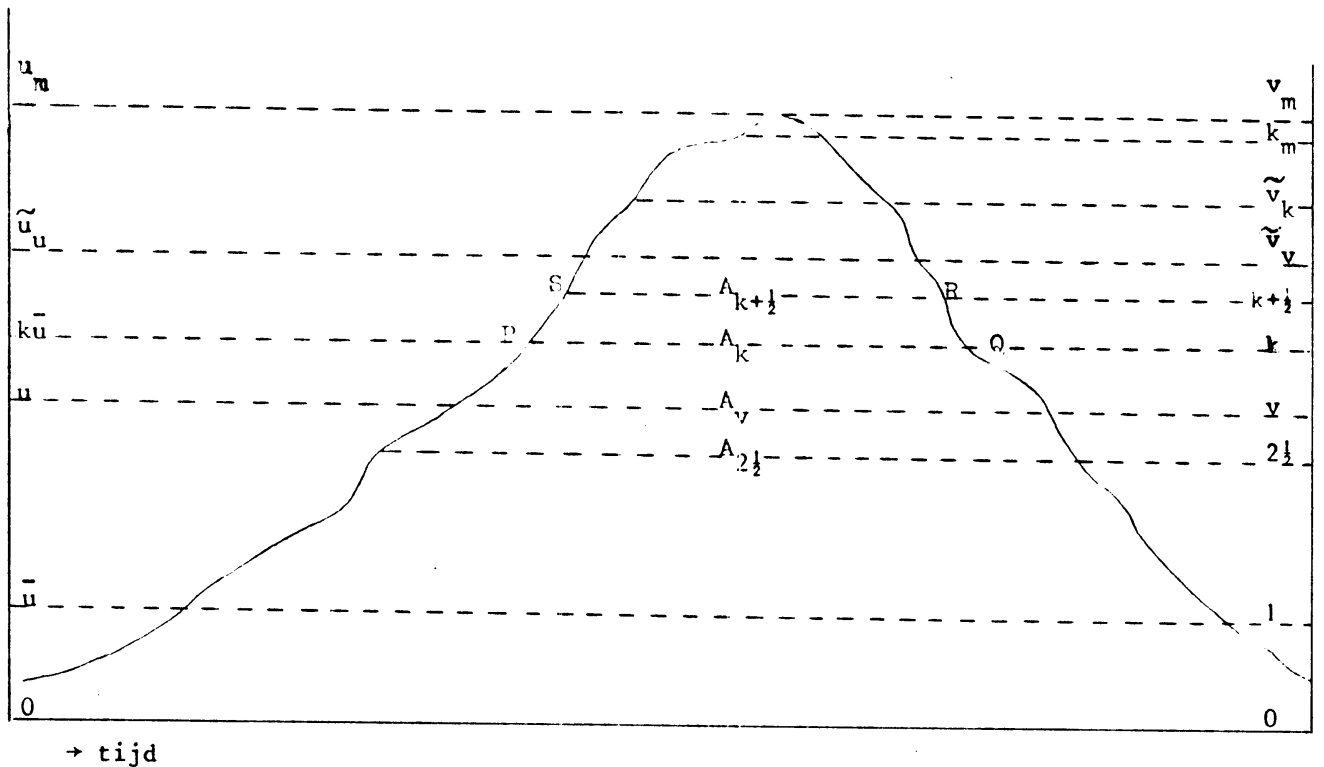
-----

De in het begin gestelde vraag wordt nu als volgt gepreciseerd en gegeneraliseerd:

Hoe is, in het gemiddelde, het verband tussen  $u_m$  en  $A_v$  en tussen  $u_m$  en  $\tilde{u}_u$ ?

Hierbij is het begrip extreme storm dus gekoppeld aan het maximum uurgemiddelde.

Ter verduidelijking van de betekenis van de ingevoerde grootheden is de onderlinge samenhang van deze grootheden in figuur 1 geschetst. In deze figuur zijn links de snelheden zelf aangegeven en rechts de daarmee corresponderende relatieve grootheden.



Figuur 1

Voor de bewerking van de gegevens van de drie stations worden de stormen ingedeeld in vier klassen n.l.:

- A :  $2\frac{1}{2} \leq v_m < 3$
- B :  $3 \leq v_m < 3\frac{1}{2}$
- C :  $3\frac{1}{2} \leq v_m < 4$
- D :  $4 \leq v_m$

Voor elk der groepen wordt berekend:

- $\bar{v}$  : het gemiddelde van  $\hat{v}_{2\frac{1}{2}}$  over alle stormen in de groep.
- $s_{\hat{v}}$  : de standaard afwijking van  $\hat{v}$ .
- $s_{\bar{v}}$  : de standaard fout van  $v$ .
- $\bar{A}_k$  : de gemiddelde lengte van de tijdvakken waarvoor geldt:  $u \geq k \cdot \bar{u}$ .
- $s_{A_k}$  : de standaard afwijking van  $A_k$ .
- $s_{\bar{A}_k}$  : de standaard fout van  $A$ .

$\bar{v}$  kan in goede benadering worden bepaald met de volgende formule:

$$\bar{v} = \frac{1}{A_{2\frac{1}{2}}} \left\{ 2\frac{1}{2}A_{2\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(A_{2\frac{1}{2}} + A_3)^1 + \dots + \frac{1}{2}A_{k_m}(v_m - k_m) \right\}$$

1) Wegens opp. PQRS =  $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}(A_k + A_{k+\frac{1}{2}})$  enz.

In de hoofdstukken 2,3 en 4 worden de resultaten van de in het voorgaande geschetste bewerkingen op de gegevens van de drie stations weergegeven. In de daarop volgende hoofdstukken wordt een vereffening van de verkregen resultaten uitgevoerd en wordt de gezochte relatie in formule gebracht, waarmede grafieken voor het aflezen van de gewenste waarden kunnen worden samengesteld.

N.B. Tenslotte dient er nog op te worden gewezen dat de verkregen resultaten een beperkte betekenis hebben in verband met het feit dat de waarnemingen beïnvloed kunnen zijn door de aanwezigheid van obstakels in de omgeving van de anemometeropstellingen. Uiteraard is er getracht de opstellingen zo representatief mogelijk te maken, maar dit is nooit helemaal gelukt. Bovendien speelt ook de terreinruwheid tot op grotere afstand een rol en die kan in de diverse richtingen nog verschillend zijn. Op grond van recent turbulentie-onderzoek (zie V-257 ; J. Wieringa: Bestaat representatieve grondwindmeting?) is thans een correctiemethode beschikbaar om verschillen in terreinruwheid te elimineren. Deze methode voor het gehele oude bestand doorvoeren is echter vooralsnog niet mogelijk.

## 2. De gegevens van Den Helder.

Van dit station is vanaf juli 1922 een lange, homogene waarnemingsreeks beschikbaar tot augustus 1972, slechts met een onderbreking gedurende de 2e Wereldoorlog van september 1944 t/m mei 1945. De gebruikte meetapparatuur bestond uit een Dines anemograaf, meethoogte ca. 15 meter.

De jaarnormaal  $\bar{u}$  van de windsnelheid bedraagt, zoals in de inleiding al wordt meegedeeld 6,6 m/s.

Opdat te Den Helder van storm sprake is, moet dus, volgens de gegeven definitie van storm, de uurlijkse windsnelheid minstens 16,5 m/s hebben bedragen.

De indeling in vier groepen wordt nu:

- A stormen met  $16,5 \leq u_m < 19,8$  m/s
- B stormen met  $19,8 \leq u_m < 23,1$  m/s
- C stormen met  $23,1 \leq u_m < 26,4$  m/s
- D stormen met  $26,4 \leq u_m$

De resultaten van de berekeningen zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 1.

Den Helder 1923 - 1970	Groep A $2,5 \leq v_m < 3$	Groep B $3 \leq v_m < 3,5$	Groep C $3,5 \leq v_m < 4$	Groep D $4 \leq v_m < 4,5$
$\bar{v}$	2,58	2,85	3,06	3,21
$S_{\bar{v}}$	0,069	0,082	0,103	0,187
$S_{\bar{v}}$	0,004	0,009	0,032	0,108
$\bar{A}_{2\frac{1}{2}}$	4,49	12,40	15,65	22,00
$S_{A_{2\frac{1}{2}}}$	4,29	7,01	3,01	3,46
$S_{\bar{A}_{2\frac{1}{2}}}$	0,241	0,770	2,49	2,00
$\bar{A}_3$		3,10	8,00	11,33
$S_{A_3}$		2,82	5,16	1,53
$S_{\bar{A}_3}$		0,311	1,53	0,88
$\bar{A}_{3\frac{1}{2}}$			1,90	7,00
$S_{A_{3\frac{1}{2}}}$			1,33	3,00
$S_{\bar{A}_{3\frac{1}{2}}}$			0,415	1,73
$\bar{A}_4$				1,67
$S_{A_4}$				0,58
$S_{\bar{A}_4}$				0,33
N	621	165	20	3

De waarden van  $\bar{A}_k$ , voor  $k = 2\frac{1}{2}$ , 3 en  $3\frac{1}{2}$  zijn met hun standaardfouten in figuur 2 in beeld gebracht, d.w.z. uitgezet is  $\bar{A}_k \pm 2S_{\bar{A}_k}$  tegen  $k + \frac{1}{2}$ .

In figuur 3 is voor de vier groepen  $\bar{v}$  met zijn standaardfout weergegeven, dus  $\bar{v} \pm 2S_{\bar{v}}$ .

Men zou nu gaarne willen extrapoleren naar  $u_m$ -waarden met zeer kleine kansen, b.v.  $u_m = 32$  m/s, die een gemiddelde herhalingsstijd van ruim 100 jaren heeft. In die gevallen, waarin men tussen twee grootheden een verband vindt, dat niet significant van een lineair verband afwijkt, wordt doorgaans zonder veel bezwaar met dit lineaire verband geextrapoleerd. Waar men echter met een niet-lineair verband te maken heeft, is het probleem veel moeilijker, omdat er vele functies zijn, die een kromlijinig verband kunnen beschrijven. Enige steun heeft men aan de volgende overwegingen: laat men in gedachte  $v_m$  vanuit grote waarden steeds kleiner worden en tot 2,5 naderen, dan zal  $\bar{v}$  ook tot 2,5 naderen en  $\bar{A}_{2\frac{1}{2}}$  tot 1. In het algemeen zal  $\bar{A}_k$  bij  $v_m \rightarrow k$  tot 1 naderen.

Uit de figuren 2 en 3 blijkt verder, dat  $\bar{A}_k$  resp.  $\bar{v}$  met toenemende  $v_m$  steeds minder sterk toenemen. Dit geeft de suggestie dat  $\bar{A}_k$  resp.  $\bar{v}$  tegen  $\ln \frac{v_m}{k}$  mogelijk een lineair verband geeft.

We zouden dus kunnen stellen:

$$\bar{A}_k = 1 + C_1 \ln \frac{v_m}{k} \dots\dots\dots(2)$$

$$\text{en } \bar{v} = 2,5 + C_2 \ln \frac{v_m}{2,5} \dots\dots\dots(3)$$

Voeren we  $y$  in voor  $\bar{A}_k - 1$  resp.  $\bar{v} - 2,5$  en  $x$  voor  $\ln \frac{v_m}{k}$ , resp.  $\ln \frac{v_m}{2,5}$ , dan geeft de kleinst kwadratische aanpassing de oplossing:

$$C_i = \frac{\sum x y}{\sum x^2} .$$

Voor de waarde van  $C_1$  werd bij toepassing in (2) gevonden:

- 38,95 voor  $k = 2\frac{1}{2}$
- 30,015 voor  $k = 3$  en
- 28,90 voor  $k = 3\frac{1}{2}$

en voor  $C_2$  in (3): 1,34.



Met deze waarden van  $C_1$  resp.  $C_2$  zijn in de figuren 2 en 3 de krommen van de vergelijkingen (2) en (3) getekend (zie de niet onderbroken lijnen). Het zou nu wenselijk zijn als aangegeven kon worden, hoe groot de onzekerheid is in schattingen voor de gemiddelde waarden van duur en gemiddelde snelheid van een extreme storm. Het is echter vooralsnog niet duidelijk wat voor model voor de extrapolatie van de standaardfouten, zoals die zijn aangegeven in de figuren 2 en 3, moet worden gebruikt. Volstaan zal moeten worden met een globale grafische schatting van de onzekerheidsmarge.

Uit figuur 2 blijkt, dat een storm met een maximaal uurgemiddelde van 32 m/s een gemiddelde duur van 27 uren zal hebben, met een onzekerheidsmarge, die volgens een globale grafische schatting 19-35 uren zou kunnen omvatten. De individuele stormen met een maximum uurgemiddelde van 32 m/s zullen in duur zeker tussen 8 en 50 uren kunnen variëren.

Voor  $\bar{v}$  zijn de overeenkomstige grootheden te stellen op ongeveer  $22\frac{1}{2}$  m/s met resp. 20-25 m/s voor de onzekerheidsmarge van het gemiddelde en 18-28 m/s voor de individuele stormen.

### 3. De gegevens van Vlissingen.

De langste homogene waarnemingsreeks met gegevens van de windsnelheid is die van juli 1910 - augustus 1944, ontleend aan registraties met een Robinson - anemometer. Voor ons doel is daarom alleen deze reeks bewerkt,

De jaarnormaal van de windsnelheid over genoemde periode bedraagt  $\bar{u} = 6,0$  m/s. Opdat te Vlissingen volgens onze definitie van storm sprake is, moet de uurlijkse windsnelheid dus minstens 15,0 m/s hebben bedragen.

De stormen zijn in de volgende vier groepen onderverdeeld:

- A stormen met  $15,0 \leq u_m < 18,0$  m/s
- B stormen met  $18,0 \leq u_m < 21,0$  m/s
- C stormen met  $21,0 \leq u_m < 24,0$  m/s
- D stormen met  $24,0 \leq u_m$ .

Op analoge wijze als voor Den Helder gedaan is, zijn voor Vlissingen de grootheden  $\bar{v}$ ,  $S_{\bar{v}}$ ,  $S_{\bar{v}^2}$ ,  $A_k$ ,  $S_{A_k}$  en  $S_{\bar{A}_k}$  berekend (zie tabel 2).

Tabel 2.

Vlissingen 1910-1944	Groep A $2,5 \leq v_m < 3$	Groep B $3 \leq v_m < 3,5$	Groep C $3,5 \leq v_m < 4$	Groep D $4 \leq v_m < 4,5$
$\bar{v}$	2,61	2,87	3,10	3,29
$S_{\bar{v}}$	0,077	0,154	0,116	0,193
$S_{\bar{v}^2}$	0,004	0,011	0,015	0,046
$\bar{A}_{2\frac{1}{2}}$	3,47	10,15	15,68	15,56
$S_{A_{2\frac{1}{2}}}$	2,900	6,147	8,655	9,651
$S_{\bar{A}_{2\frac{1}{2}}}$	0,33	0,436	1,146	2,275
$\bar{A}_3$		3,06	8,25	10,06
$S_{A_3}$		2,902	4,566	6,507
$S_{\bar{A}_3}$			0,605	1,534
$\bar{A}_{3\frac{1}{2}}$			2,77	4,89
$S_{A_{3\frac{1}{2}}}$			2,056	3,434
$S_{\bar{A}_{3\frac{1}{2}}}$			0,272	0,810
$\bar{A}_4$				1,89
$S_{A_4}$				1,148
$S_{\bar{A}_4}$				0,271
N	474	199	57	18

De waarden van  $\bar{A}_k$ , voor  $k = 2\frac{1}{2}$ , 3 en  $3\frac{1}{2}$  zijn met hun standaardfouten in figuur 4 in beeld gebracht, d.w.z. uitgezet is  $\bar{A}_k \pm 2 S_{\bar{A}_k}$  tegen  $k + \frac{1}{2}$ .

In figuur 5 is voor de vier groepen  $\bar{v}$  met zijn standaardfout weergegeven: dus  $\bar{v} \pm 2 S_{\bar{v}}$ .

Om te kunnen extrapoleren naar  $u_m$  - waarden met (zeer) kleine kansen, is weer, evenals voor Den Helder, van een lineair verband tussen  $\bar{v}$  resp.  $\bar{A}_k$  en  $\ln \frac{v}{u_m}$  resp.  $\ln \frac{v}{u_m}$  ( $k = 2,5; 3; 3,5$ ) uitgegaan zie (2) en (3). 2,5 k

Voor de waarde van  $C_1$  werd bij toepassing in (2) gevonden:

31,14 voor  $k = 2,5$   
27,82 voor  $k = 3$  en  
20,66 voor  $k = 3,5$

en voor  $C_2$  in (3) : 1,47.

Met deze waarden van  $C_1$  en  $C_2$  zijn in de figuren 4 en 5 de krommen van de vergelijkingen (2) en (3) getekend (zie de niet-onderbroken lijnen).

Uit figuur 4 blijkt, dat een storm met een maximaal uurgemiddelde van 33 m/s (die een gemiddelde harhalingstijd van 100 jaren heeft) een gemiddelde duur  $\bar{A}_{2\frac{1}{2}}$  van ongeveer 25 uren zal hebben met een onzekerheidsmarge, die 15-35 uren zou kunnen omvatten. De individuele stormen met het maximum uurgemiddelde van 33 m/s zullen in duur zeker tussen 5 en 50 uren kunnen variëren.

Voor  $\bar{v}$  zijn de overeenkomstige grootheden b.v. te stellen op 22 m/s met resp. 20-24 m/s voor de onzekerheidsmarge van het gemiddelde en 16-30 m/s voor de individuele stormen.

#### 4. De gegevens van De Bilt.

Voor dit station kan gebruik gemaakt worden van een homogene reeks waarnemingen van de windsnelheid, verkregen uit registraties met een rotatie-anemometer van het type Robinson, geplaatst op ca. 37,5 m. hoogte op een oude houten toren (1906-1916), op een betonnen toren (1916-1952) en op een stenen toren (1952-1960). De gemiddelde jaarlijkse snelheid bedroeg over het tijdvak 1906-1960  $\bar{u} = 4,8$  m/s.

Volgens onze definitie stormt het te De Bilt, wanneer het uurgemiddelde  $2\frac{1}{2} \times 4,8 = 12 \text{ m/s}$  bedraagt. De verdeling in vier groepen wordt nu:

- A stormen met  $12,0 \leq u_m < 14,4 \text{ m/s}$
- B stormen met  $14,4 \leq u_m < 16,8 \text{ m/s}$
- C stormen met  $16,8 \leq u_m < 19,2 \text{ m/s}$
- D stormen met  $19,2 \leq u_m$ .

Evenals voor Den Helder en Vlissingen is gedaan, zijn nu eerst de grootheden  $\bar{v}$ ,  $S_{\bar{v}}$ ,  $S_{\bar{v}^2}$ ,  $\bar{A}_k$ ,  $S_{A_k}$  en  $S_{\bar{A}_k}$  ( $k = 2\frac{1}{2}; 3; 3\frac{1}{2}; 4$ ) berekend (zie tabel 3).

Tabel 3.

De Bilt 1906-1960	Groep A $2,5 \leq v_m < 3$	Groep B $3 \leq v_m < 3,5$	Groep C $3,5 \leq v_m < 4$	Groep D $4 \leq v_m < 4,5$
$\bar{v}$	2,60	2,86	3,08	3,25
$S_{\bar{v}}$	0,077	0,093	0,136	0,109
$S_{\bar{v}^2}$	0,007	0,015	0,042	0,064
$\bar{A}_{2\frac{1}{2}}$	3,35	8,76	12,79	11,27
$S_{A_{2\frac{1}{2}}}$	2,93	5,85	5,96	4,79
$S_{\bar{A}_{2\frac{1}{2}}}$	0,258	0,891	1,84	2,83
$\bar{A}_3$		2,47	6,33	6,45
$S_{A_3}$		1,77	3,02	2,62
$S_{\bar{A}_3}$		0,278	0,917	1,59
$\bar{A}_{3\frac{1}{2}}$			1,90	3,54
$S_{A_{3\frac{1}{2}}}$			1,22	2,05
$S_{\bar{A}_{3\frac{1}{2}}}$			0,348	1,30
$\bar{A}_4$				1,18
$S_{A_4}$				0,441
$S_{\bar{A}_4}$				0,280
N	634	208	52	11

De waarden van  $\bar{A}_k$ , voor  $k = 2\frac{1}{2}$ , 3 en  $3\frac{1}{2}$  zijn met hun standaardfouten in figuur 6 in beeld gebracht.

In figuur 7 is voor de vier groepen  $\bar{v}$  met zijn standaard fout weergegeven, dus  $\bar{v} \pm 2 S_{\bar{v}}$ .

Om te kunnen extrapoleren naar  $u_m$  - waarden met (zeer) kleine kansen, is weer, evenals voor Den Helder, van een lineair verband tussen  $\bar{v}$  resp.  $\bar{A}_k$  en  $\ln \frac{v_m}{2,5}$  resp.  $\ln \frac{v_m}{k}$  ( $k = 2,5; 3; 3,5$ ) uitgegaan zie (2) en (3).

Voor de waarde van  $C_1$  werd bij toepassing in (2) gevonden:

23,84 voor  $k = 2,5$

18,06 voor  $k = 3$  en

13,08 voor  $k = 3,5$

en voor  $C_2$  bij toepassing in (3): 1,41.

Met deze waarden van  $C_1$  resp.  $C_2$  zijn in de figuren 6 en 7 de krommen van de vergelijkingen (2) en (3) getekend (zie de niet onderbroken lijnen). Uit figuur 6 is af te lezen, dat in het geval van 26 m/s, als maximaal uurgemiddelde de gemiddelde duur  $\bar{A}_{2\frac{1}{2}}$  ongeveer 20 uren zal bedragen, met een onzekerheidsmarge, die volgens een globale grafische schatting 10-30 uren zou kunnen omvatten. De individuele stormen met een maximum uurgemiddelde van 26 m/s zullen in duur zeker tussen 5 en 50 uren kunnen variëren. Voor  $\bar{v}$  zijn de overeenkomstige grootheden te stellen op ruim 17 m/s met resp. 16-19 m/s voor de onzekerheidsmarge van het gemiddelde en 12-25 m/s voor de individuele stormen.

##### 5. Vereffeningsprocedure.

Bij het in grafiek zetten van de 3 waarden van  $C_1$ , berekend voor elk van de stations Den Helder, Vlissingen en De Bilt bleek het verloop van de waarden van Den Helder duidelijk niet in overeenstemming met die van de andere stations. Om de verschillen tussen de stations "glad te strijken", werden de in tabel 4 opgenomen berekeningen uitgevoerd; hierbij is de gecorrigeerde  $C_1$  verkregen als de algebraïsche som van het algemeen gemiddelde (25,83), een term, die men als het rij-effect zou kunnen omschrijven, en een term, die men het kolom (plaats-) effect kan noemen, b.v.  $38,10 = 25,83 + 5,48 + 6,79$ .

Tabel 4

Berekende waarden van C<sub>1</sub> Gecorr. waarden van C<sub>1</sub>

	Den Helder	Vlissingen	De Bilt	Som	gemidd.	afw.	Den Helder	Vlissingen	De Bilt
k = 2½	38,95	31,14	23,84	93,93	31,31	+5,48	38,10	32,02	23,81
k = 3	30,02	27,82	18,06	75,90	25,30	-0,53	32,09	26,01	17,80
k = 3½	28,90	20,66	13,08	62,64	20,88	-4,95	27,67	21,59	13,38
Som	97,87	79,62	54,98						
gemidd.	32,62	26,54	18,33		25,83				
afw.	+6,79	+0,71	-7,50						

In de figuren 2, 4 en 6 hebben de gestreepte curven betrekking op de gecorrigeerde  $C_1$  - waarden. In figuur 6 zijn de verschillen tussen gestreepte en getrokken curve soms te klein, om zichtbaar te zijn. In de figuren 2 en 4 zijn de verschillen groter; voor een storm met een maximaal uurgemiddelde van b.v. 32 m/s zal men in figuur 2 nu een gemiddelde duur van ca. 26 uren i.p.v. 27 uren aflezen.

6. Verdere beschouwing over het verband tussen  $\bar{A}_k$  (resp.  $\tilde{u}_u$ ) en  $k$ .

In figuur 8 is op enkel-logaritmisch papier het verband tussen  $k$  en de gladgestreken waarden van  $C_1$  (opgenomen in tabel 4) in beeld gebracht. Het blijkt, dat de drie rechten, die op het oog door de drie punten van één station getrokken kunnen worden, elkaar bij benadering snijden in het punt  $(\frac{1}{2}, 75)$ . Voor het verband tussen  $k$  en  $C_1$  kan daarom geschreven worden:

$$\ln C_1 = a_i k + b$$

$$\text{of } \ln \frac{C_1}{75} = a_i (k - \frac{1}{2})$$

$$\text{d.i. } C_1 = 75 e^{a_i (k - \frac{1}{2})}$$

Voor de waarden  $a_i$  werd voor de stations Den Helder, Vlissingen en De Bilt resp. gevonden: -0,332; -0,421 en -0,575, zodat de vergelijkingen (2) nu in de volgende vorm gebracht kunnen worden:

$$\text{Den Helder } \bar{A}_k = 1 + 75 e^{-0,332 (k - \frac{1}{2})} \ln \frac{v_m}{k} \dots\dots\dots(4)$$

$$\text{Vlissingen } \bar{A}_k = 1 + 75 e^{-0,421 (k - \frac{1}{2})} \ln \frac{v_m}{k} \dots\dots\dots(5)$$

$$\text{De Bilt } \bar{A}_k = 1 + 75 e^{-0,575 (k - \frac{1}{2})} \ln \frac{v_m}{k} \dots\dots\dots(6)$$

Het is nu in de eerste plaats mogelijk, bij een gegeven maximum uurgemiddelde, voor een willekeurige snelheid  $u$  de grootte  $\bar{A}_k$  te bepalen voor andere waarden dan de veelvoud van  $\frac{1}{2}$  die als waarden voor  $k$  waren vastgesteld. Daarom wordt nu algemener geschreven:

$$\bar{A}_v = 1 + 75 e^{-a_i (v - \frac{1}{2})} \ln \frac{v_m}{v} \quad (7)$$

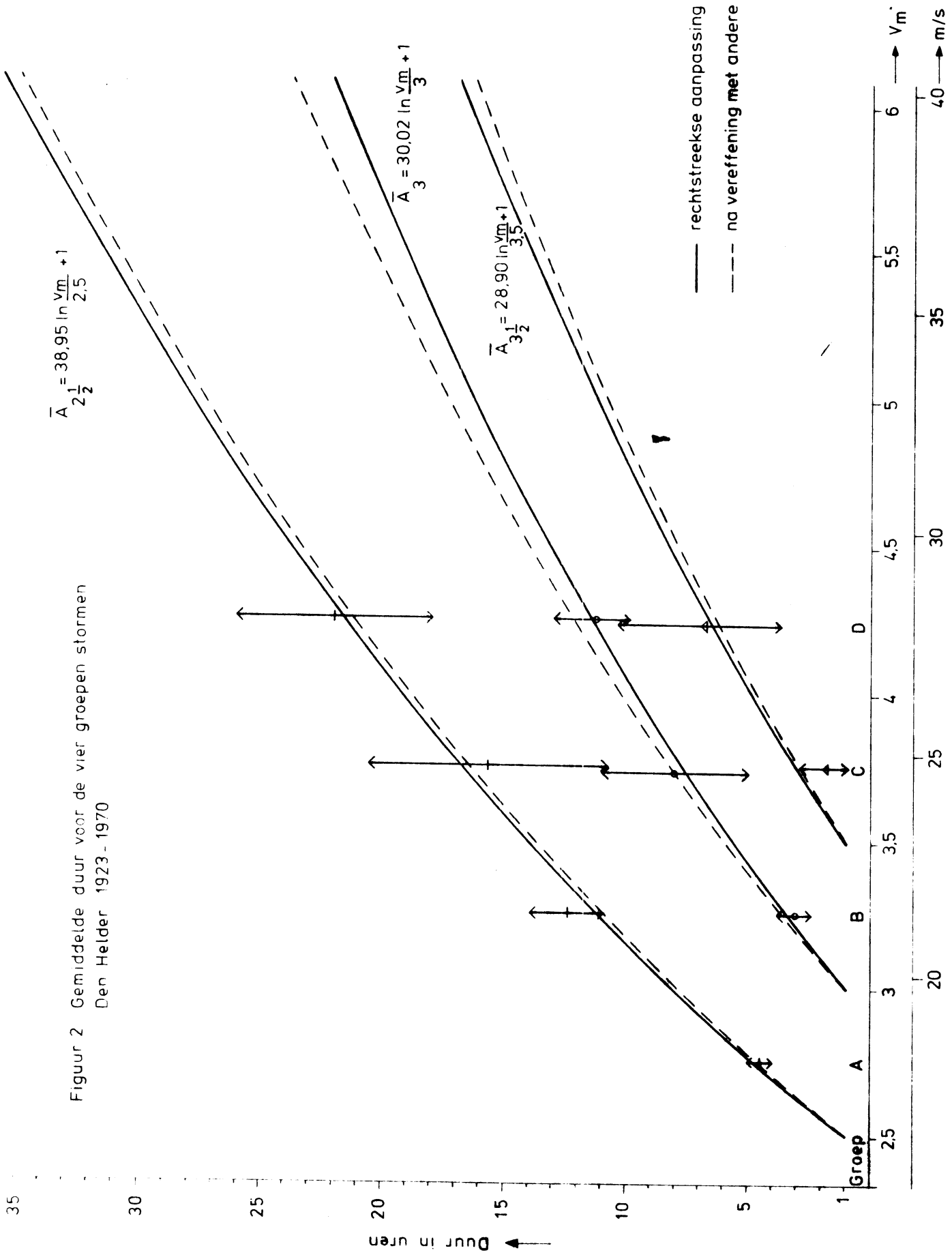
De gemiddelde snelheid tijdens het  $A_v$  tijdvak zal nu met  $\tilde{u}_u$  worden aangegeven en deze kan uit formule (7) worden verkregen door integratie volgens:

$$\begin{aligned} \tilde{u}_u &= \bar{u} \cdot \frac{vA_v + \int_v^{v_m} A_v dv}{A_v} = \\ &= \bar{u}v + \frac{\bar{u}}{A_v} \cdot \int_v^{v_m} \left\{ 1 + 75 e^{-a_i(v - \frac{1}{2})} (\ln v_m - \ln v) \right\} dv = \\ &= u + \frac{\bar{u}}{A_v} \cdot \left[ v_m - v + 75 e^{\frac{1}{2}a_i} (e^{-a_i v} - e^{-a_i v_m}) \frac{\ln v_m}{a_i} \right. \\ &\quad \left. - \int_v^{v_m} e^{-a_i v} \ln v dv \right] \end{aligned} \quad (8)$$

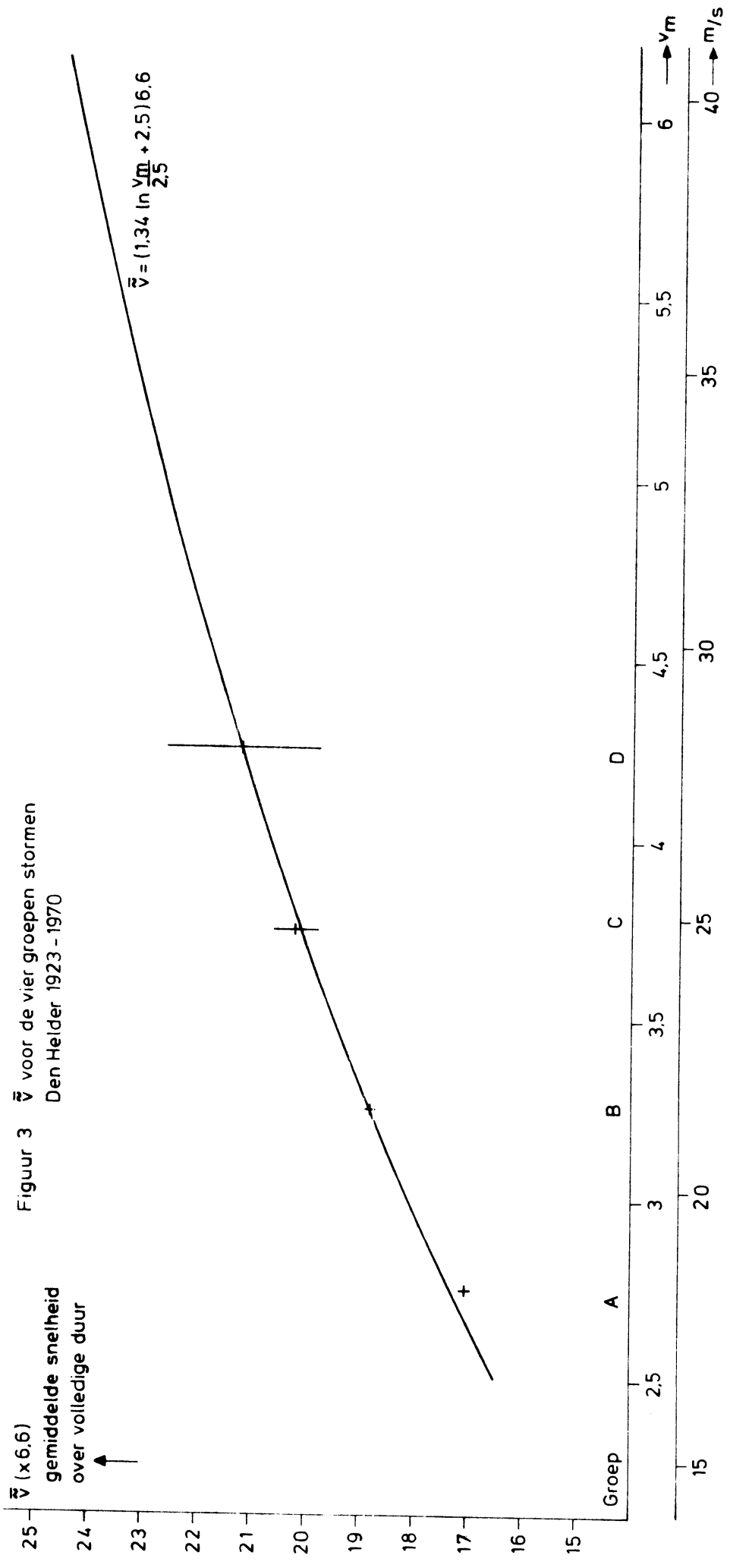
In de figuren 9<sup>a,b</sup> en c is de functie (7) in beeld gebracht en in de figuren 10<sup>a,b</sup> en c de functie (8). Hierbij is  $u_m$  als parameter gebruikt met als waarden de 5-vouden tussen 15 en 35. Deze figuren kunnen nu als nomogram gebruikt worden. Wenst men b.v. te weten, hoe groot  $\bar{A}_v$  is (station Den Helder) voor  $u = 15$  m/s en  $u_m = 27$  m/s, dan geeft figuur 9<sup>a</sup>:  $\bar{A}_v = 26$  uren, terwijl uit figuur 10<sup>a</sup> blijkt:  $\tilde{u}_u = 20$  m/s. Anderzijds kunnen deze figuren ook schattingen leveren voor  $u_m$  als  $u$  en  $\bar{A}_v$ , resp.  $u$  en  $\tilde{u}_u$  gegeven zijn en voor  $u$  als  $u_m$  en  $\bar{A}_v$  resp.  $u_m$  en  $\tilde{u}_u$  gegeven zijn. Eventueel moet men daarbij dan interpoleren tussen de 5-vouden van  $u_m$ . Zo blijkt b.v. uit figuur 9<sup>b</sup>, dat de beste schatting van  $u_m$  voor de storm te Vlissingen, die 20 uren waait met snelheden van minstens 15 m/s, 27 m/s is.

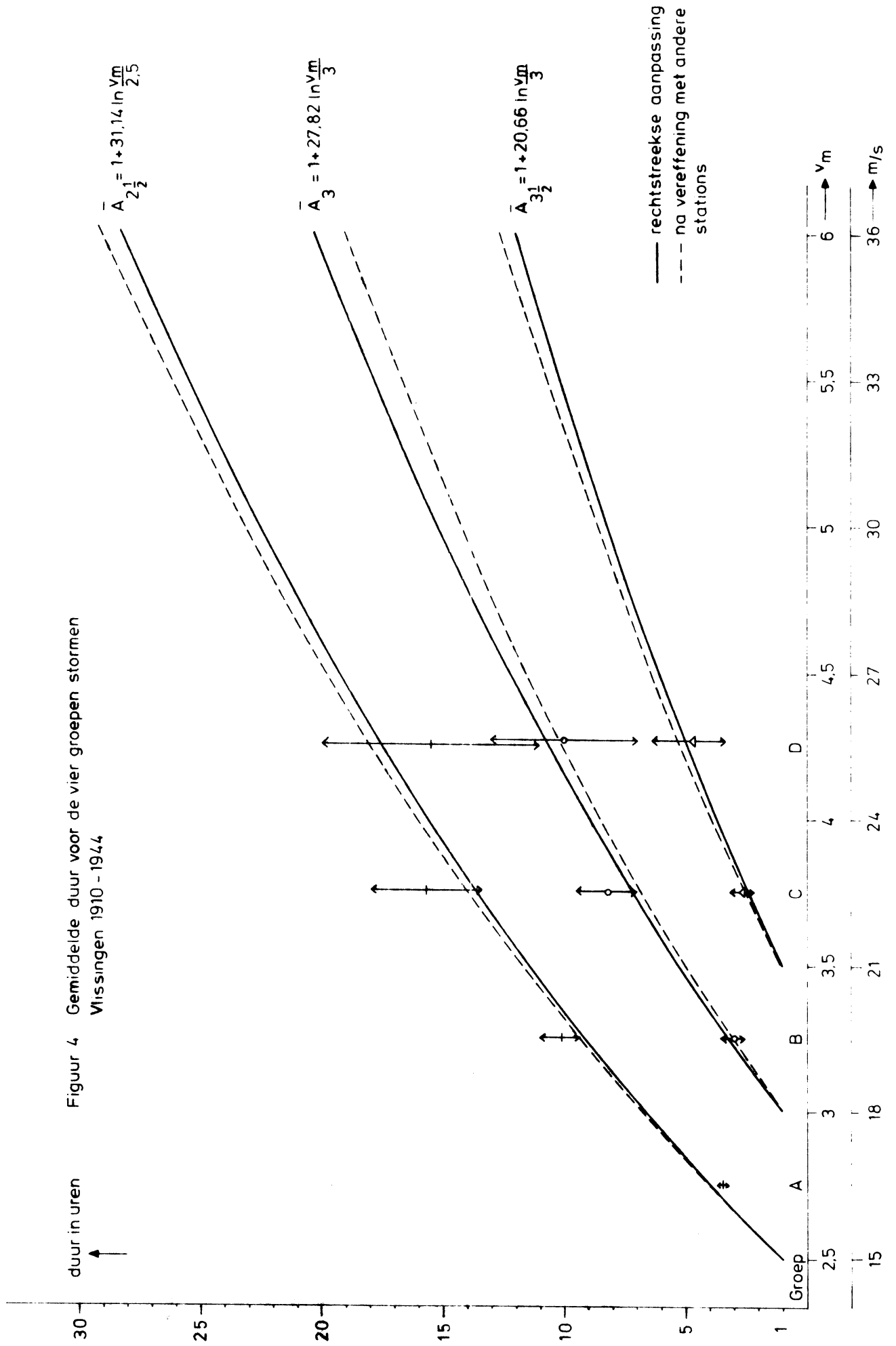
N.B. de  $u$ -schaal in de figuren 9 en 10 begint bij 10 m/s. Strikt genomen zou deze bij  $2\frac{1}{2}\bar{u}$  moeten beginnen omdat bij de afleiding van de formules de  $A_k$  getallen alleen voor  $k \geq 2\frac{1}{2}$  zijn betrokken. In hoeverre de formules nog gelden voor snelheden beneden  $2\frac{1}{2}\bar{u}$  valt moeilijk te zeggen; in beperkte mate lijkt extrapolatie wel toelaatbaar.

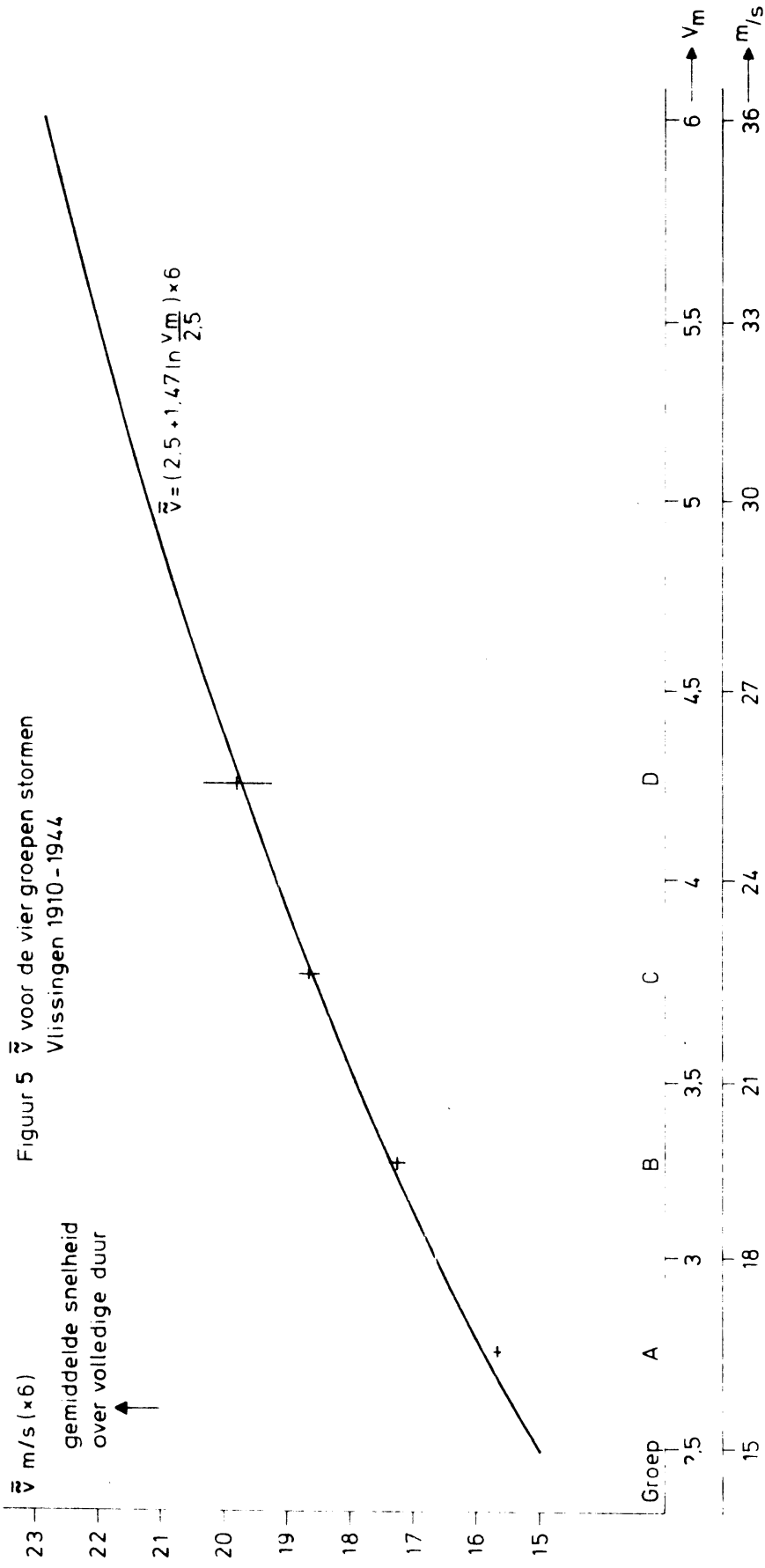




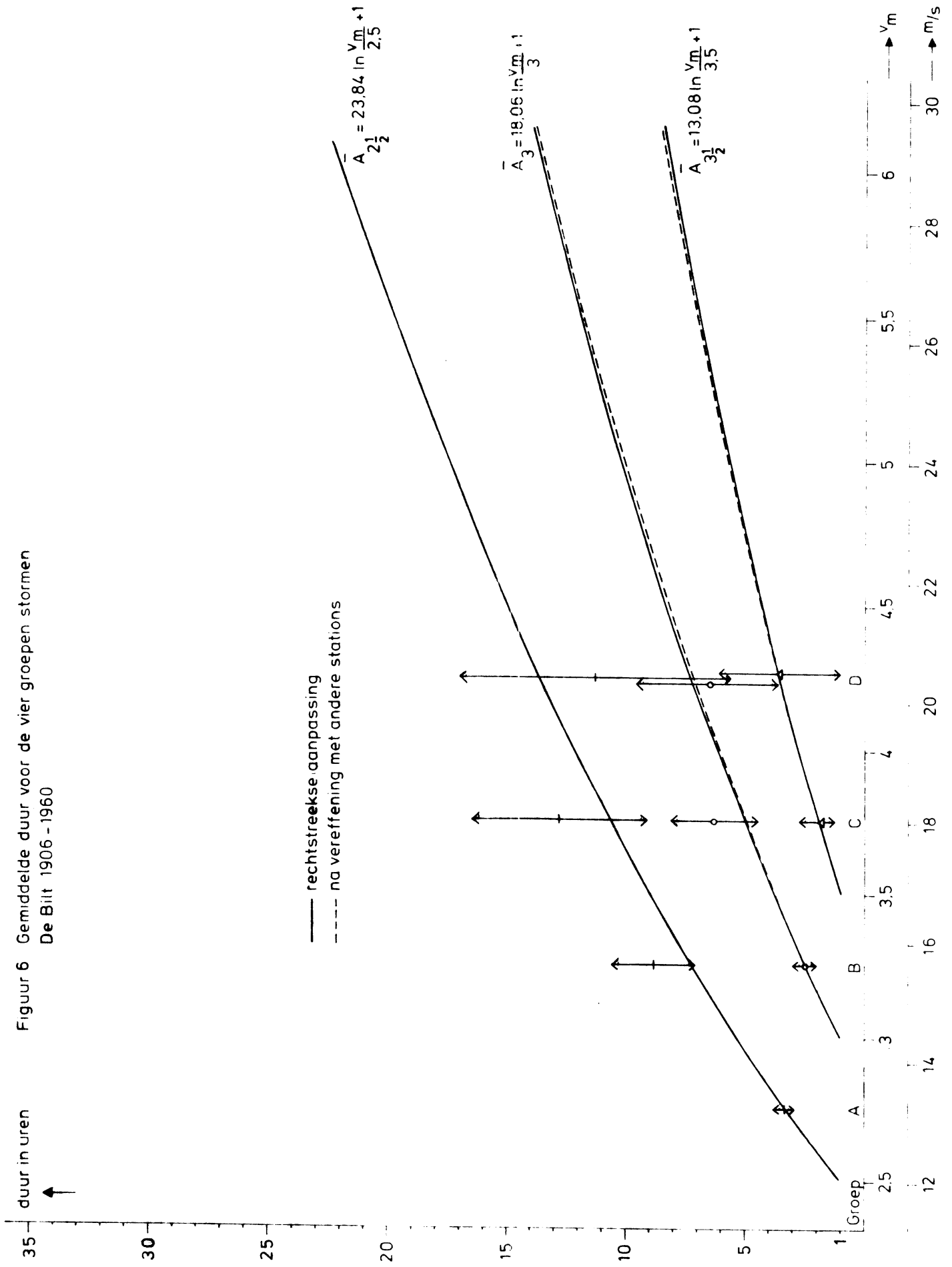
Figuur 2 Gemiddelde duur voor de vier groepen stormen  
Den Helder 1923 - 1970

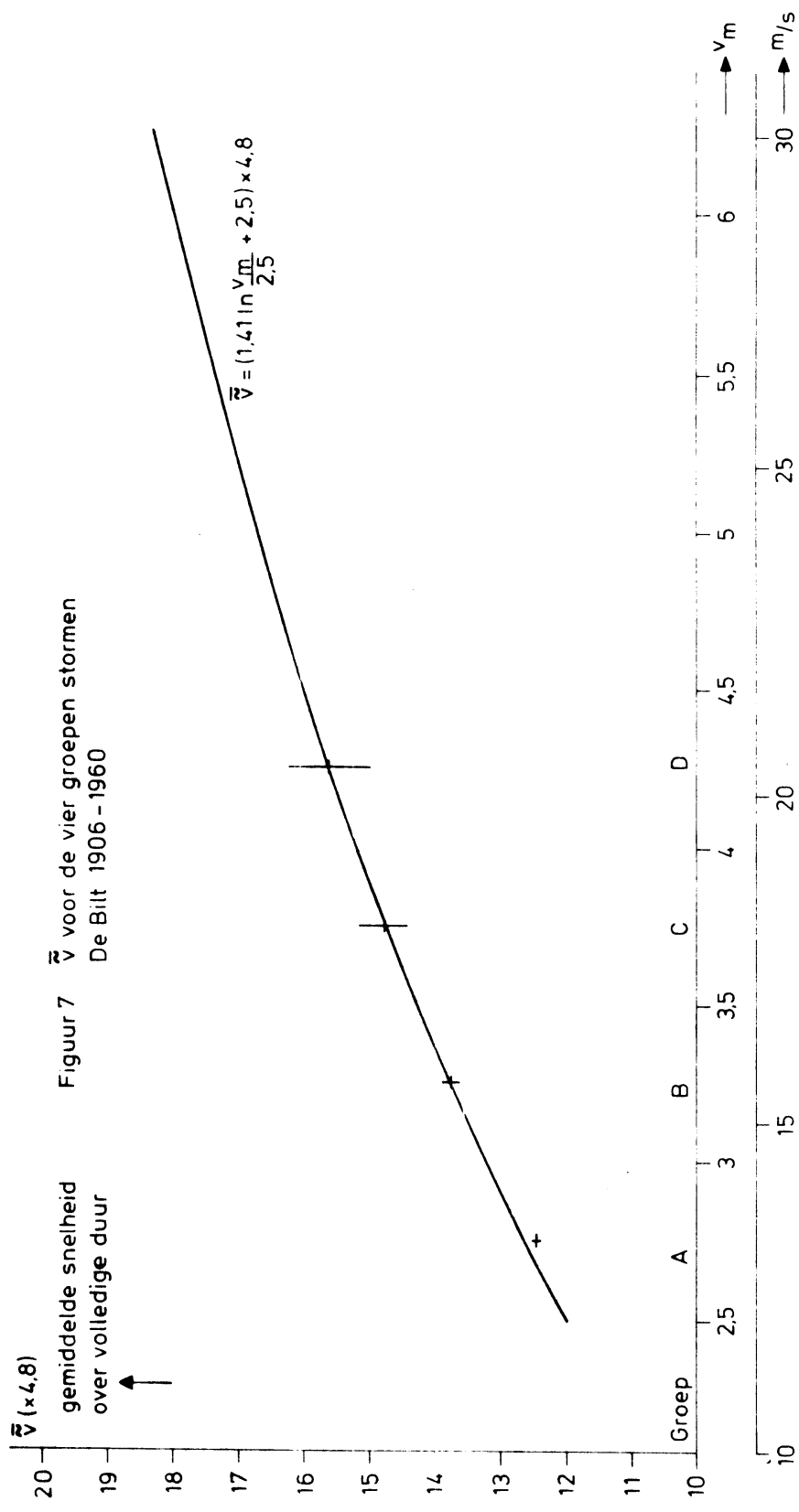


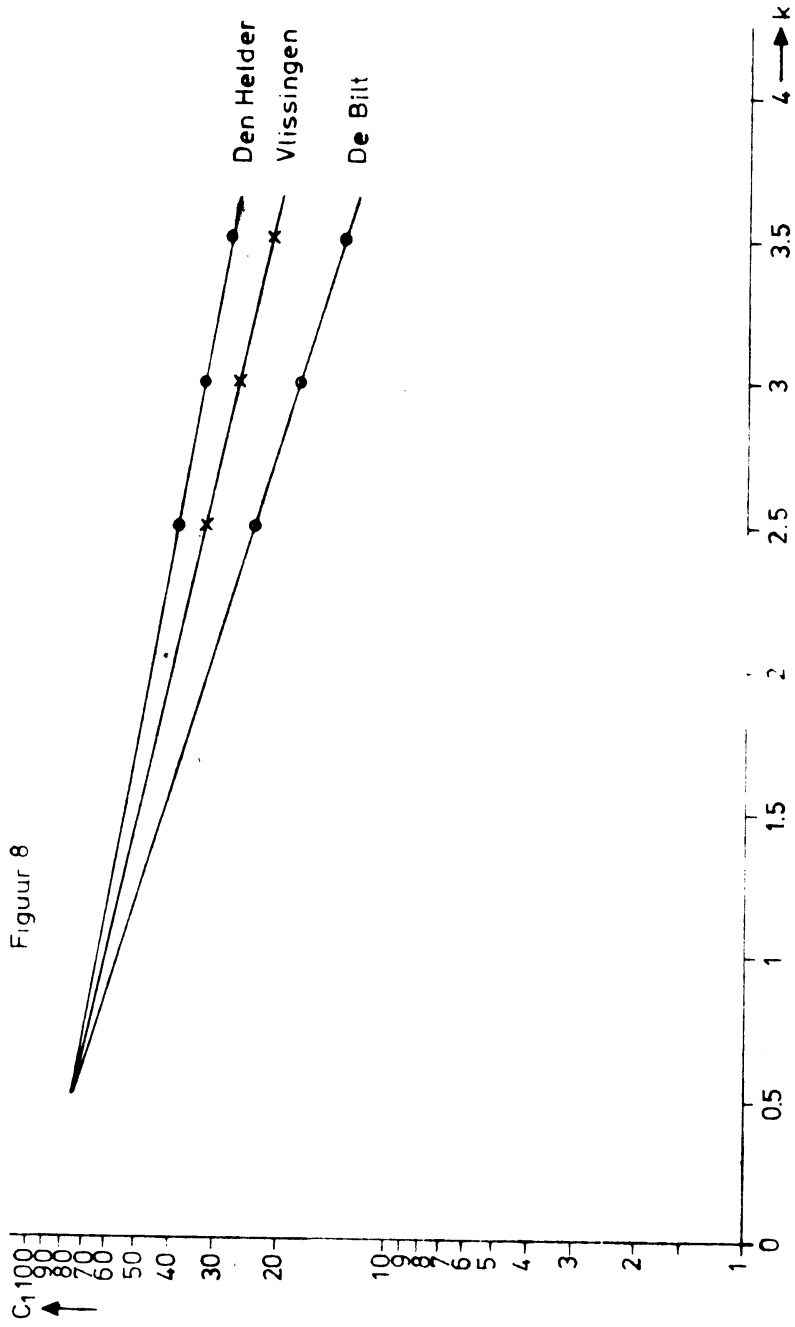


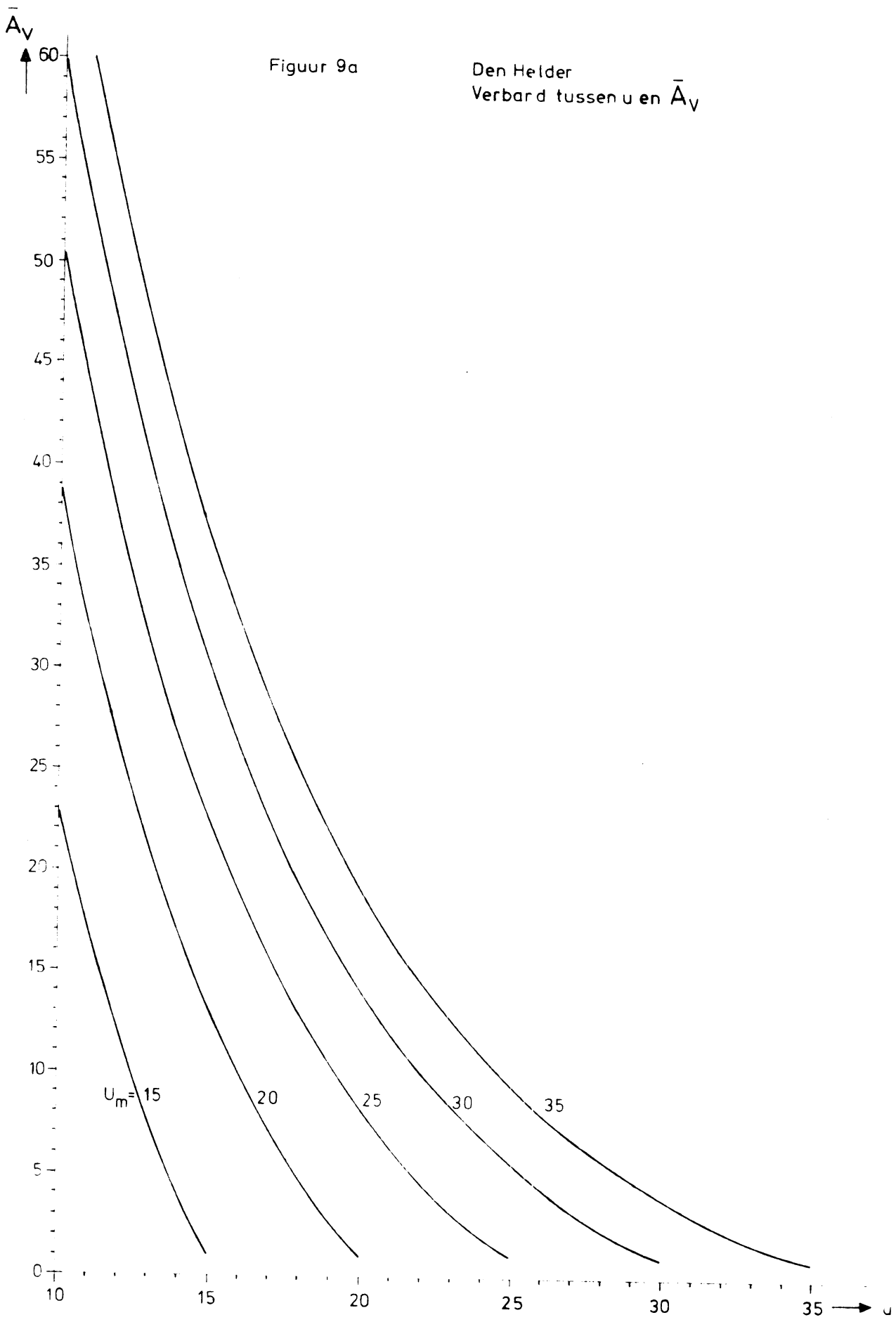


Figuur 6 Gemiddelde duur voor de vier groepen stormen  
De Bilt 1906 - 1960





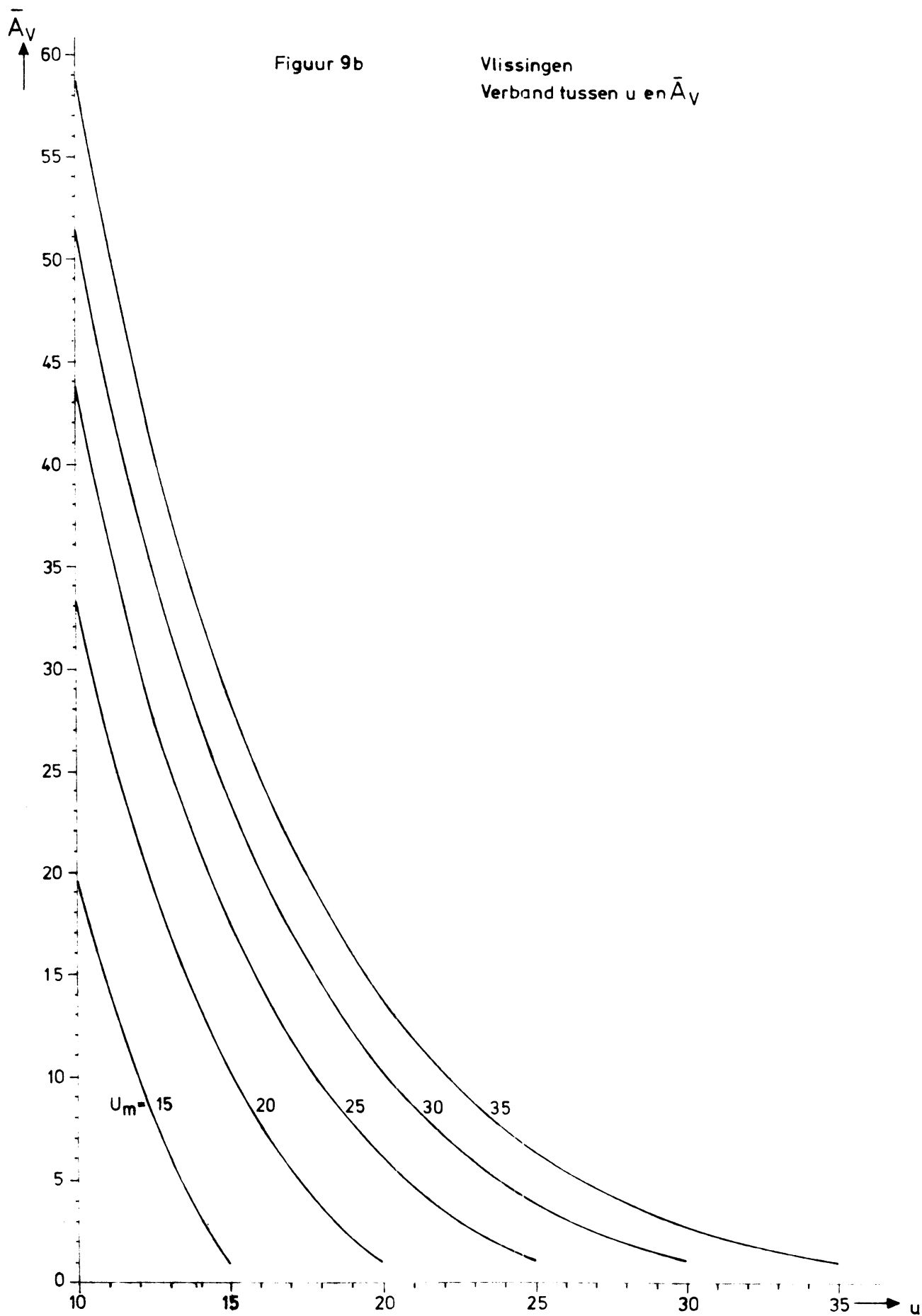


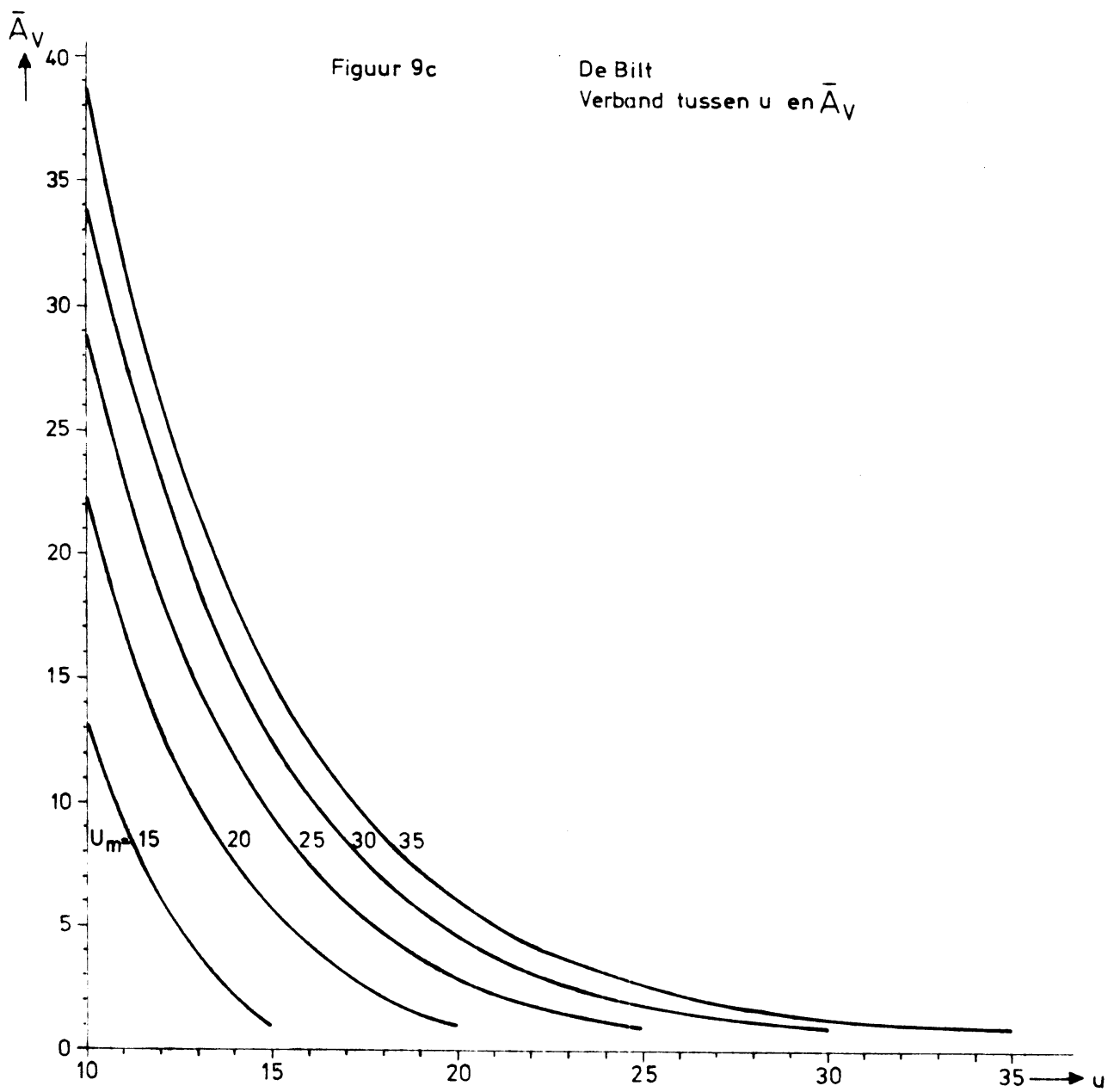


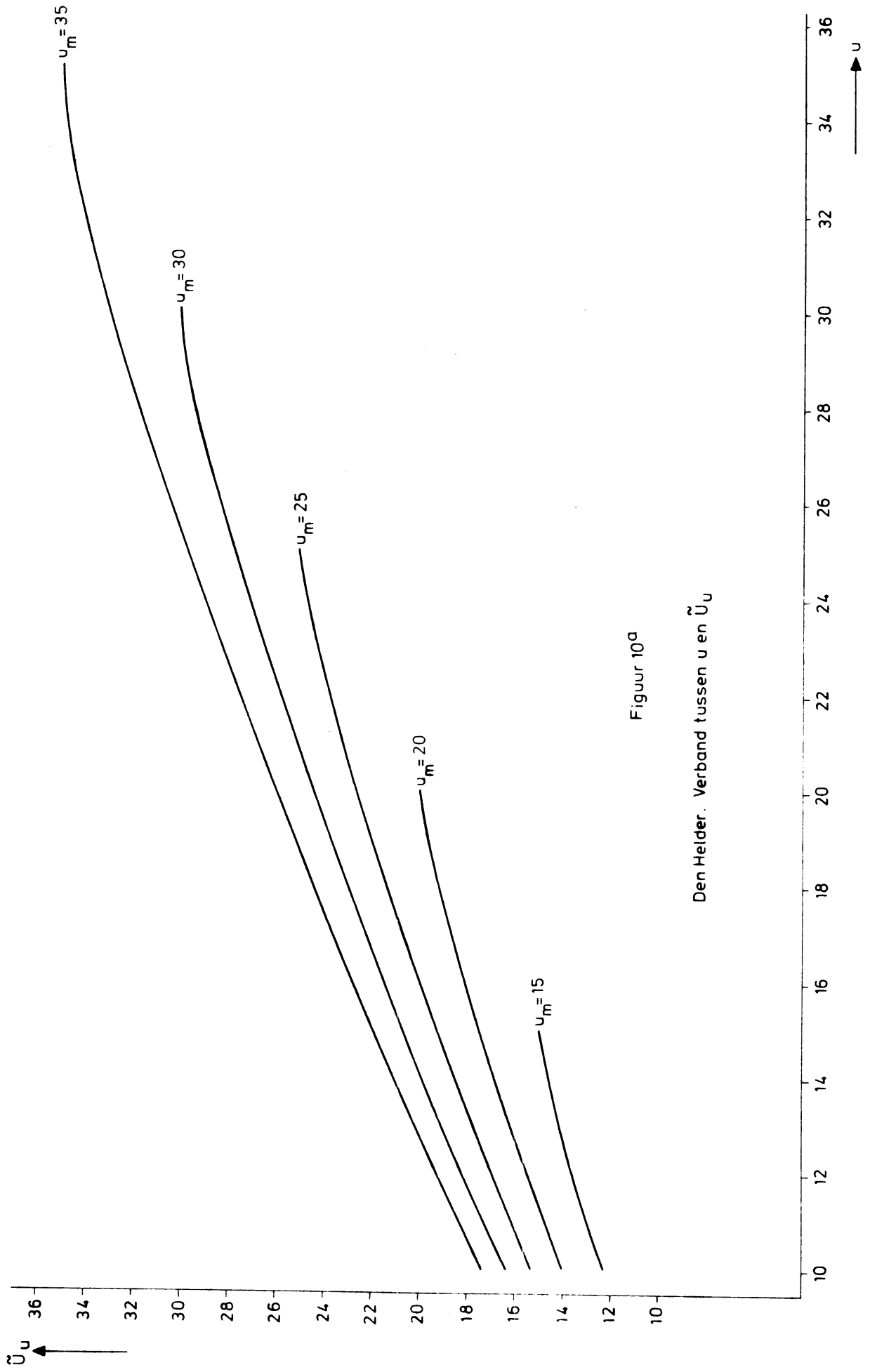
Figuur 9a

Den Helder  
Verband tussen  $u$  en  $\bar{A}_v$



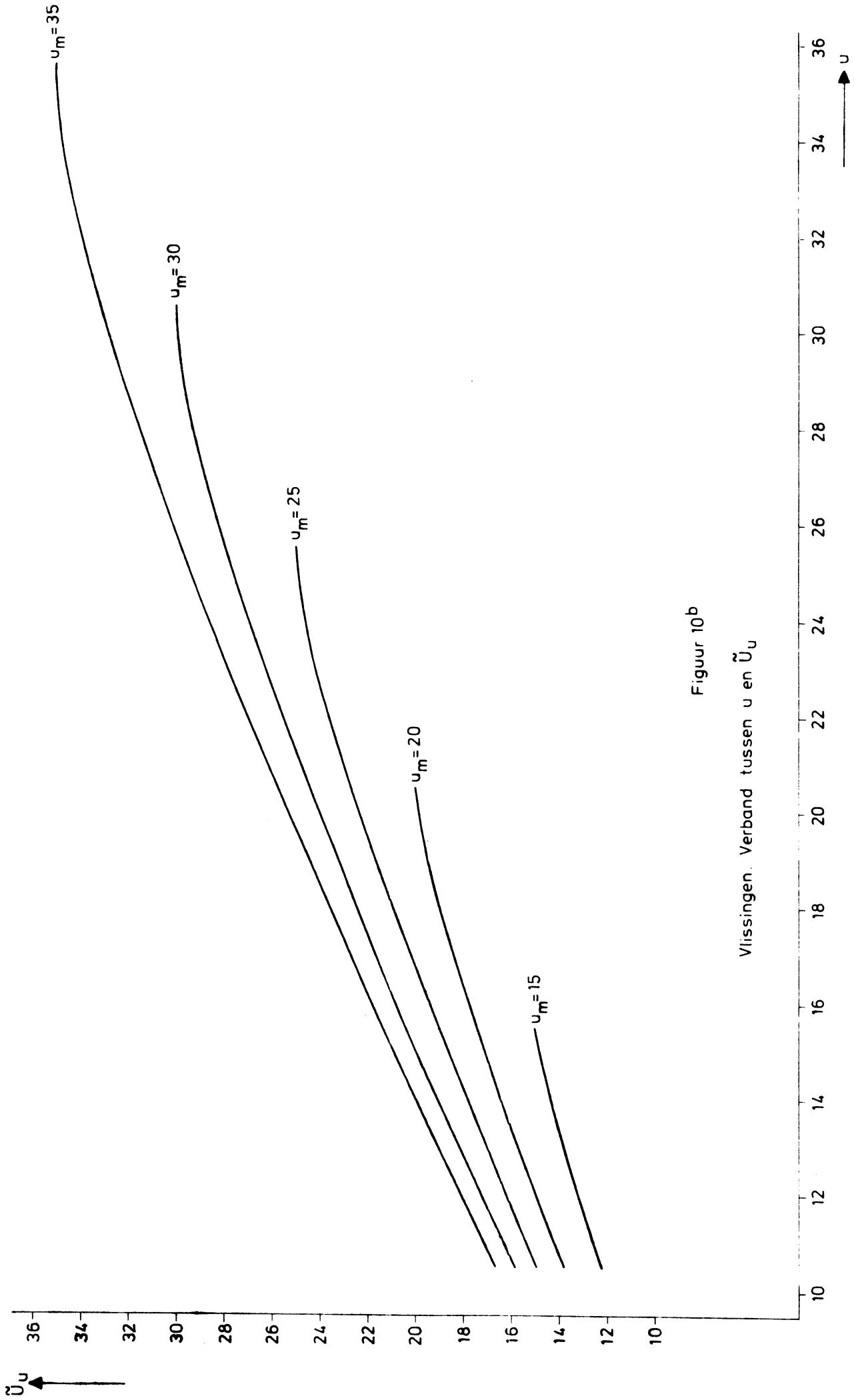






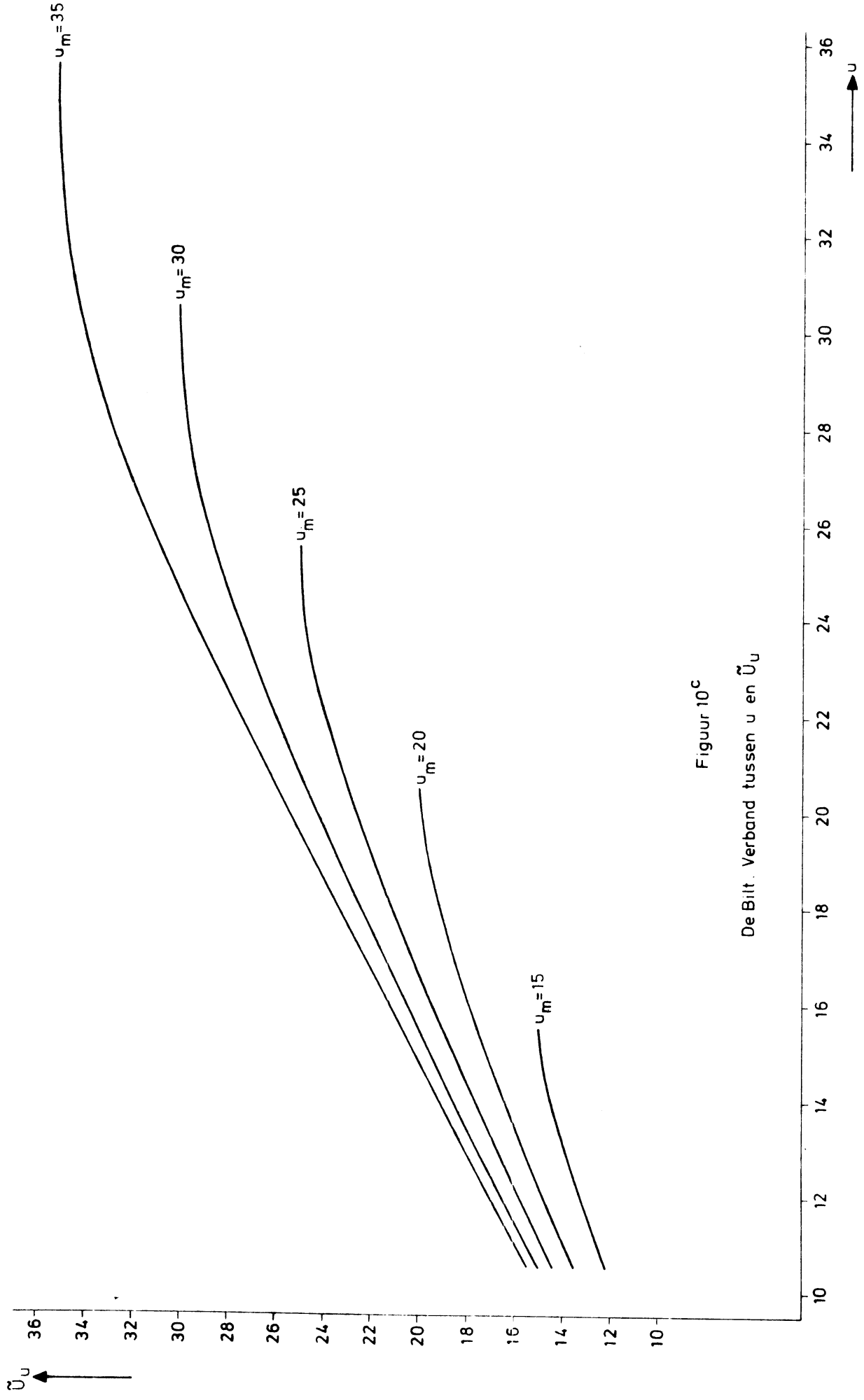
Figuur 10<sup>a</sup>

Den Heider. Verband tussen  $u$  en  $\tilde{u}_u$



Figuur 10b

Wissingen. Verband tussen  $u$  en  $U_u$



Figuur 10<sup>c</sup>

De Bilt. Verband tussen  $u$  en  $u_u$