

**KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

VERSLAGEN

V - 359

C. J. van der Goot

Enige operationele ervaringen met trajektoriën.

De Bilt 1980

Publikatienummer: K.N.M.I. V-359 (CWD)

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

U.D.C.: 551.511.2 :  
551.509.313

## I N H O U D

Bladzijde

Samenvatting	1
1. Inleiding	2
2. Omschrijving van het onderzoek	2
3. Bespreking van de bevindingen	4
4. Verfijning van het objectief - kwantitatieve onderzoek	5
5. Trajektoriën en temp - voorspelling	6
6. Trajektoriën en neerslaghoeveelheden	6
7. Eindconclusie	7
8. Literatuur	8
 <u>Bijlagen:</u>	
Betekenis van gebruikte symbolen en hun dimensies	9
Overzicht van gebruikte constanten	9
Verschillende afbeeldingen	10 e.v.v.

### Samenvatting

Horizontale en verticale trajektoriën zijn sedert medio februari 1979 beschikbaar in de weerkamer. In dit verslag wordt onderzocht in hoeverre deze trajektoriën en van deze trajektoriën af te leiden grootheden in reële betrekking staan met de werkelijke toestandsveranderingen, die in de atmosfeer plaatsvinden.

Daartoe wordt allereerst onderzocht in hoeverre bewolkingsgebieden m.b.v. trajektoriën geëxtrapolleerd mogen worden. Ten tweede wordt het verband tussen trajektoriën en fronten beschouwd. Vervolgens worden de trajektoriën inclusief de verticale bewegingen gebruikt om verwachte temps samen te stellen en neerslaghoeveelheden te benaderen. Tenslotte worden de afgeleide grootheden vergeleken met overeenkomstige grootheden uit een ander onderzoek (Dissertatie L.C. Heijboer).

De eindconclusie is, dat trajektoriën, mits genoegzaam voorzichtig toegepast, een nuttige bijdrage kunnen leveren bij het optimaliseren van weersverwachtingen.

Dit verslag loopt vooruit op een uitvoeriger en breder opgezet onderzoek aan dit onderwerp, verricht door meerdere medewerkers, dat t.z.t. als KNMI-publicatie zal verschijnen.

## 1. Inleiding

### 1.1. Aanleiding tot het onderzoek

Sinds medio februari 1979 zijn trajektoriën inclusief verticale bewegingen beschikbaar in de weerkamer. Onder de trajektorie van een luchtdeeltje wordt verstaan de baan die dat deeltje in een bepaalde periode doorloopt. Voor een uitgebreide uiteenzetting over dit onderwerp wordt verwezen naar {1}.

Hoe kan de operationele meteoroloog van deze nieuwe informatiebron een optimaal doelmatig gebruik maken ?

### 1.2. Doelstellingen van het onderzoek

- 1e: kennis vergaren van de betekenis en de betrouwbaarheid van de aangeboden grootheden.
- 2e: het ontwikkelen van snelle en eenvoudige methodieken, om deze grootheden in de weerkamer te gebruiken.

## 2. Omschrijving van het onderzoek

### 2.1. Subjektief - kwalitatief onderzoek

#### a: Horizontale trajektoriën

Dagelijks werden de vertrekpunten van de 24-uurs trajektoriën overgebracht in de analyse van de grondkaart en in de satelliet-foto's. Daarna werd vergeleken met de opgetreden toestand 24 uur later.

#### b: Vertikale trajektoriën

Deze werden voor elk van de vijf eindpunten (De Bilt, Eelde, Beek, Vlissingen en Den Helder) grafisch uitgezet en onderling vergeleken.

#### 2.1.1. Bevindingen van het subjektief - kwalitatieve onderzoek

##### a: Horizontale trajektoriën

- 1e: de veranderingen die bewolking in 24-uur-tijds ondergaat, kunnen aanzienlijk zijn. Vooral bij trajektoriën uit de sektor ZO-ZZW is dit het geval (De noodlottige zuidcirculaties dus)
- 2e: warmtefronten trekken meestal langzamer dan de luchtmassa langs de trajektorie beweegt.

3e: 1000 mbar - trajektoriën uit de sektor ZO-ZZW in de winter houden geen rekening met z.g. "koude plaklagen".

b: Vertikale trajektoriën

1e: bevonden de trajektoriën zich in een horizontaal - homogene luchtmassa, dan namen de verticale bewegingen gelijkmatig met de hoogte toe, waren in het algemeen klein en meestal dalend.

2e: verticale bewegingen in de lagere niveau's als gevolg van de plaatselijke orografie namen met de hoogte af, werden a.h.w. gedempt.

3e: bevonden de trajektoriën zich in horizontaal - inhomogene luchtmassa's, m.a.w. gingen de trajektoriën "door" een front, dan deden zich vaak onderling grote verschillen in de vertikaal afgelegde wegen voor. De verticale bewegingen waren dan uiteraard niet alleen groot, maar wisselden in enkele gevallen met de hoogte zelfs van teken. Nabij 500 mbar heerste een krachtige stijgende beweging, maar beneden 700 mbar kwamen dalende bewegingen voor, die met afnemende hoogte sterker werden.

2.2. Objektief - kwantitatief onderzoek

Voor het eindpunt De Bilt werd voor een groot aantal gevallen de opwaartse trajektorie (optilling),  $\bar{O}$ , voor de niveau's 1000, 925, 850, 700 en 500 mbar beschouwd. Deze optilling wordt door het model gegeven in mbaren (maar kan naar believen voor elke niveau m.b.v. de betrekking  $dp = -\rho g dz$  omgerekend worden in meters). Er ontstaat zodoende een gebroken rechte, het profiel van de optilling, als functie van de hoogte. Zie grafiek 1 en 2. Voor elk niveau is vervolgens het gemiddelde en de standaardafwijking van de optillingen bepaald. Zie onderstaande tabel en de grafieken 1 en 2.

N.B.: in grafiek 1 zijn  $\bar{O}$  en  $\sigma$  in meter/24 uur als functie van z weergegeven.

In grafiek 2 in mbar/24 uur als functie van p.

P(mbar)	Z(m)	$\bar{O}$ (m) per 24 uur	$\bar{\sigma}$ (mbar) per 24 uur	$\sigma$ (mbar) per 24 uur	aantal gevallen
500	5500	1318	88	50	17
700	3000	654	59	32	17
850	1500	277	28	26	23
925	750	185	21	14	21
1000	0	103	13	11	18

Het aantal gevallen met dalende beweging was te gering om verantwoord statistisch te bewerken. "A prima vista" echter vertoonde het profiel grote overeenkomst, maar de standaardafwijkingen leken iets geringer.

#### 2.2.1. Bevindingen van het objektief - kwantitatieve onderzoek

1e: de optilling neemt toe met de hoogte.

2e: het profiel van de optilling suggereert een buigpunt tussen 500- en 850-mbar. Zie grafiek 2 en straks punt 4.

3e: het profiel van de optilling kan redelijk nauwkeurig benaderd worden door een lineaire funktie, met  $O(1000) = 0$  mits we meter - meter mapping toepassen.

### 3. Bespreking van de bevindingen

#### 3.1. Van het subjektief - kwalitatieve onderzoek

##### a: Horizontale trajektoriën

Uit 2.1.1. kunnen we de volgende hoofdzaken afleiden:

1e: bewolking mag men niet zo maar 24 uur vooruit extrapoleren. Dit geldt met name voor convectieve bewolking en voor bewolking die zich in de sektor ZO-ZZW bevindt. Over het algemeen worden de beste resultaten met Stratocumulus-velden bereikt.

2e: geen fronten extrapoleren m.b.v. trajektoriën.

3e: gebieden met stijgende bewegingen (stippengebieden) volgen fronten, trajektoriën volgen luchtmassa's.

4e: in de winter kunnen bij het aanwezig zijn van een koude plaklaag de 850- en 1000-mbar trajektoriën beter niet gebruikt worden voor temperatuurverwachtingen.

##### b: Vertikale trajektoriën

In een horizontaal - homogene luchtmasa zijn de vertikale bewegingen in de gehele laag gelijkmatig, niet zeer groot en meestal dalend. De vertikale bewegingen nemen gemiddeld genomen met de hoogte toe. Vertikale bewegingen als gevolg van orografie worden boven een zeker niveau gedempt. In een dergelijke situatie zal bewolking door subsidentie oplossen. Gaan de trajektoriën daarentegen "door" fronten (stippengebieden), dan zijn de vertikale bewegingen vaak niet gelijkmatig meer. De stijgende bewegingen nemen progressief en ongelijkmatig met de hoogte toe. Soms vindt men in de onderste niveau's

zelfs krachtig dalende bewegingen. Het is mogelijk, dat hier iets tot uiting komt van de vertikale bewegingen, die langs fronten optreden. (De begrippen +, -, anaklien en kataklien bij de frontbeschouwingen van Bleeker {2}).

#### 4. Verfijning van het objectief - kwantitatieve onderzoek

We kunnen onze uitspraken nog verfijnen, als we de optilling  $O(p)$  (in mbar per 24 uur) voorstellen d.m.v. een polynoom van Lagrange die door de punten (1000,13); (925,21); (850,28); (700,59) en (500,88) gaat. Dan komt er:

$$- \bar{O}(p) = a_0 p^4 + a_1 p^3 + a_2 p^2 + a_3 p + a_4 \text{ mbar per 24 uur} \quad (1)$$

De waarden van de coëfficiënten van  $p$  worden vermeld in het overzicht aan het eind van dit verslag.

De resultaten van deze 4e graads aanpassing zijn uitgezet in grafiek 3. De grafiek vertoont een uiterste waarde van  $-9.2 \text{ mbar}/24 \text{ uur}$  op 540 mbar en heeft nulwaarden in de punten 380 mbar (en 1054 mbar)

N.B.  $\bar{O}(p)$  is gedefinieerd tussen 1000- en 500-mbar. Buiten dit interval verliest de functie zijn relevantie en wordt daarom ook niet verder beschouwd.

We vergelijken de resultaten met het  $\bar{w}$  - profiel (grafiek 4) medegedeeld door Heijboer, {3}, blz. 22 en ook blz. 28.

Als uiterste waarde van  $\bar{w}$  vinden we bij Heijboer 138 mbar per 24 uur op 510 mbar. In dit verslag:  $9.2 \text{ mbar per 24 uur}$  op 540 mbar. Voor de overeenkomstige waarden van  $w$  geldt: Heijboer  $2.38 \text{ cm s}^{-1}$  op 510 mbar, dit verslag:  $1.51 \text{ cm s}^{-1}$ , eveneens op 510 mbar. Zie nogmaals grafiek 3.

Waarom zijn de vertikale snelheden bij Heijboer zo'n faktor 1.5 groter dan in dit verslag wordt gevonden? Waarschijnlijk omdat Heijboer de momentane vertikale snelheden van een luchtdeeltje in het vlak van 500 mbar berekent, terwijl in dit verslag de gemiddelde optilling van een luchtdeeltje langs een trajektorie over een periode van 24 uur wordt beschouwd, waarbij een luchtdeeltje door een gebied met stijgende bewegingen (stippengebied) heentrekt.

Ten tweede dienen we rekening te houden met de mogelijkheid, dat bij het betrekkelijk gering aantal gevallen waarvan in dit verslag sprake is, relatief weinig extremen zaten.



## 5. Trajektoriën en temp - voorspelling

Horizontale en verticale trajektoriën kunnen gebruikt worden om een verwachte temp samen te stellen. Eerst wordt m.b.v. horizontale trajektoriën en de hoogtestromingsanalyses de temperatuur op de standaarddrukniveau's bepaald. (Advektieve stap). Daarna worden deze temperaturen gecorrigeerd voor verticale bewegingen m.b.v. de verticale trajektoriën. (Adiabatische stap). Het netto-resultaat is dan een vertikaal profiel van temperatuur en e.v.t. dauwpunt voor 24(36) uur vooruit. Zie aerologische diagrammen 1 en 1<sup>a</sup>.

### 5.1. Verifikatie

Resultaten 28 voorspelde temps 24 uur vooruit:

	$\overline{T_v - T_o}$	$\sigma$
500 mbar	~ 0	2.3°
700 mbar	~ 0	2.3°
850 mbar	~ 0	2.3°
925 mbar	~ 0	2.8°
1000 mbar	~ 0	4.0°

Conclusie: De systematische fout  $\overline{T_v(\text{oorspeld}) - T_o(\text{pgetreden})}$  is vrijwel gelijk aan nul. De toevallige fout  $\sigma$  is ongeveer 2.3°, maar neemt beneden 850 mbar snel toe.\* Dit laatste komt, omdat de in 24 uur via de bodem aan de atmosfeer toegevoerde warmte allereerst de grenslaag (850 mbar - 1000 mbar) beïnvloedt.

## 6. Trajektoriën en neerslaghoeveelheden

In {4} wordt afgeleid, hoe de mate van optilling van een luchtdeeltje, vertrekkend vanaf het vlak van 500 mbar, gebruikt kan worden om neerslaghoeveelheden te benaderen. Deze optilling  $O_5$  wordt berekend uit een aantal parameters, die aan een serie opeenvolgende BK<sub>4</sub>-vertikale snelheid-kaarten worden ontleend. {4}, blz. 13 e.v.v..

\* De zelfde toevallige fout vertoont de temperatuur-voorspelling van BK<sub>4</sub> (mededeling Reiff). Door de temp op de boven omschreven wijze te construeren kan echter onderscheid gemaakt worden tussen de invloed van advektie en de invloed van de verticale bewegingen.

Het trajektoriën-model echter geeft de optilling van een luchtdeeltje eindigend in het vlak van 500 mbar. Omdat de verticale snelheden over het algemeen met de hoogte toenemen (z.g. rekking of krimp van de luchtkolom) dient de optilling die door de verticale trajektorie wordt gegeven, opge-  
waardeerd te worden. Dit kan als volgt geschieden: De optilling uit het trajektoriën-model volgt uit:  $O_{T(\text{trajektorie})} = P_v - 500 \text{ mbar}$ . Hierin is  $p_v$  de vertrek beginhoogte van het luchtdeeltje dat na 24 of evt. 36 uur in het vlak van 500 mbar eindigt. (Voor stijgende bewegingen is  $p_v > 500 \text{ mbar}$ ). Substitueren we nu  $O_{T(\text{trajektorie})}$  in de uitdrukking voor de optilling voor  $O_s$  (de optilling vanaf 500 mbar):  $O_s = \frac{500}{1000 - p_v} \cdot O(p)$  {4}, blz. 10, formule 17 en ook {5}, blz. 3, dan komt er:

$$O_s = \frac{500 (p_v - 500)}{1000 - p_v} \text{ mbar. Merk op dat:}$$

$O_s = O_T = 0$  als  $p_v = 500$  en  $O_s > O_T$  voor alle waarden van  $p_v > 500$  (mbar).  $O_s$  neemt progressief toe bij toenemende  $p_v$ . Grafiek 5 geeft het verloop van  $O_s$  als functie van  $p_v$  weer.

Omdat  $O_s$  nu bekend is, kunnen we, mede in afhankelijkheid van de 500 mbar temperatuur  $T_s$  en de mate van verzadiging, de neerslaghoeveelheid berekenen, althans een indruk krijgen van de grootte-orde: enkele 0.1 van m.m., enkele m.m., ca. 10 m.m. of meer. Zie nogmaals grafiek 5.

De methodiek heeft in een aantal gevallen een nuttige bijdrage kunnen leveren in de verwachtingspraktijk in de weerkamer.

## 7. Eindconclusie

- 1e: Het trajektorie-model levert waarden van grootheden en hieruit afleidbare grootheden op die in overeenstemming zijn met resultaten van andere onderzoeken. (Heijboer). Deze grootheden staan dus in reële betrekking met de werkelijke toestandveranderingen die in de atmosfeer plaatsvinden. Daarom kunnen (mits met de vereiste omzichtigheid toegepast):
- 2e: trajektoriën in combinatie met satellietfoto's de operationeel meteoroloog nuttige informatie verschaffen v.w.b. bewolgingscondities in het brongebied. Zie echter 2.1.1. en 3.
- 3e: trajektoriën toegepast worden om verwachte temps te construeren. Zie 5. en 5.1.
- 4e: trajektoriën de orde van grootte aangeven van de te verwachten neerslaghoeveelheden. Zie 6.

## 8. Literatuur

- {1}: F. Cannemeijer - J. Reiff - M.J.M. Saraber:  
Bepaling van brongebieden en trajektoriën. W.R. 78-6.
- {2}: W. Bleeker:  
Leerboek der Meteorologie. D1 1. 1942.
- {3}: L.C. Heijboer:  
Design of a baroclinic three-level quasi-geostrophic model with special emphasis on developing short frontal waves. Diss. 1977.
- {4}: C.J. van der Goot:  
Een kwasi-objektieve methode voor kwantitatieve benadering van neerslaghoeveelheden. Verslagen V-318. 1979.
- {5}: C.J. van der Goot:  
Een aangepaste grafiek voor kwantitatieve benadering van neerslaghoeveelheden. ME memorandum. Volgnr. 79-5. **(Unpublished)**.

Betekenis van gebruikte symbolen en hun dimensies

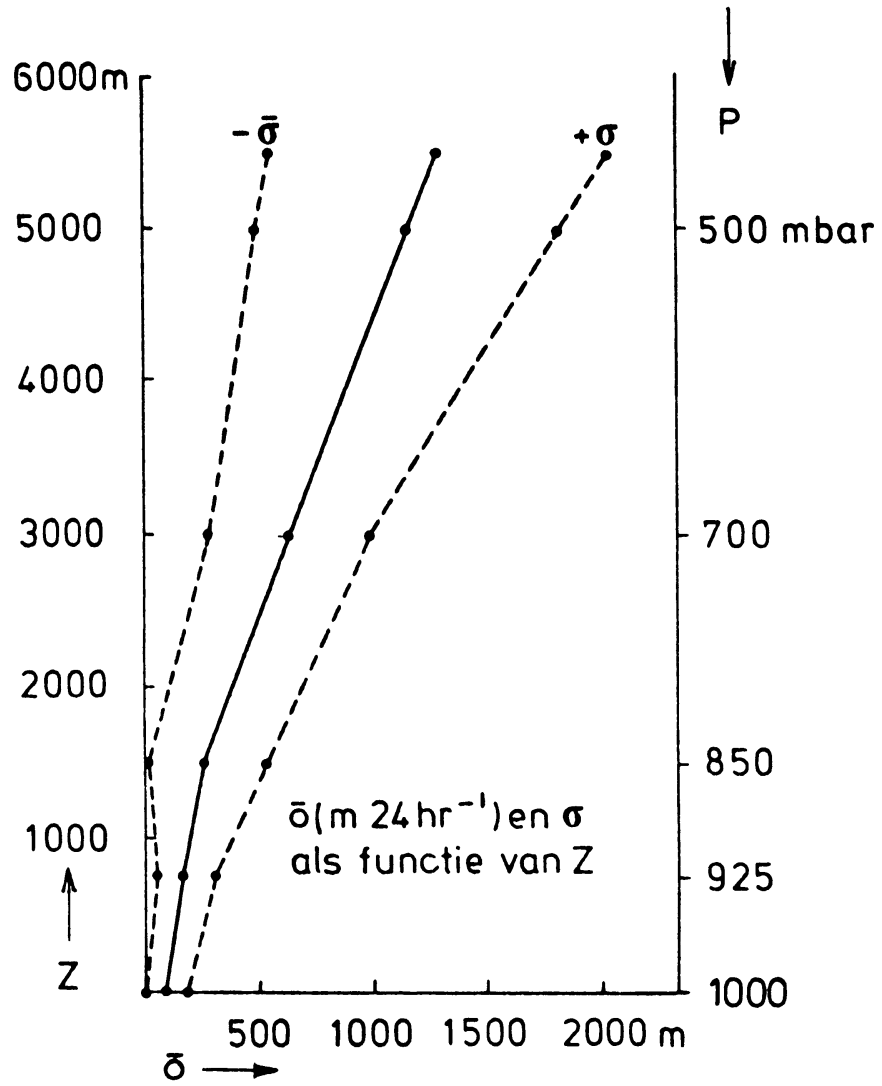
z:	hoogte	m.
O:	optilling, verheffing van een luchtdeeltje boven zeker refentieniveau	m
w:	$\frac{dz}{dt}$ : verticale snelheid langs z-coördinaat	cm s <sup>-1</sup>
g:	versnelling van de zwaartekracht	m s <sup>-2</sup>
p:	druk	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
ρ:	dichtheid	kg m <sup>-3</sup>
ω:	$\frac{dp}{dt}$ : verticale snelheid langs p-coördinaat	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-3</sup>
T:	temperatuur	°C
t:	tijd	s
c:	standaardafwijking van een steekproef	

Overzicht van gebruikte constanten

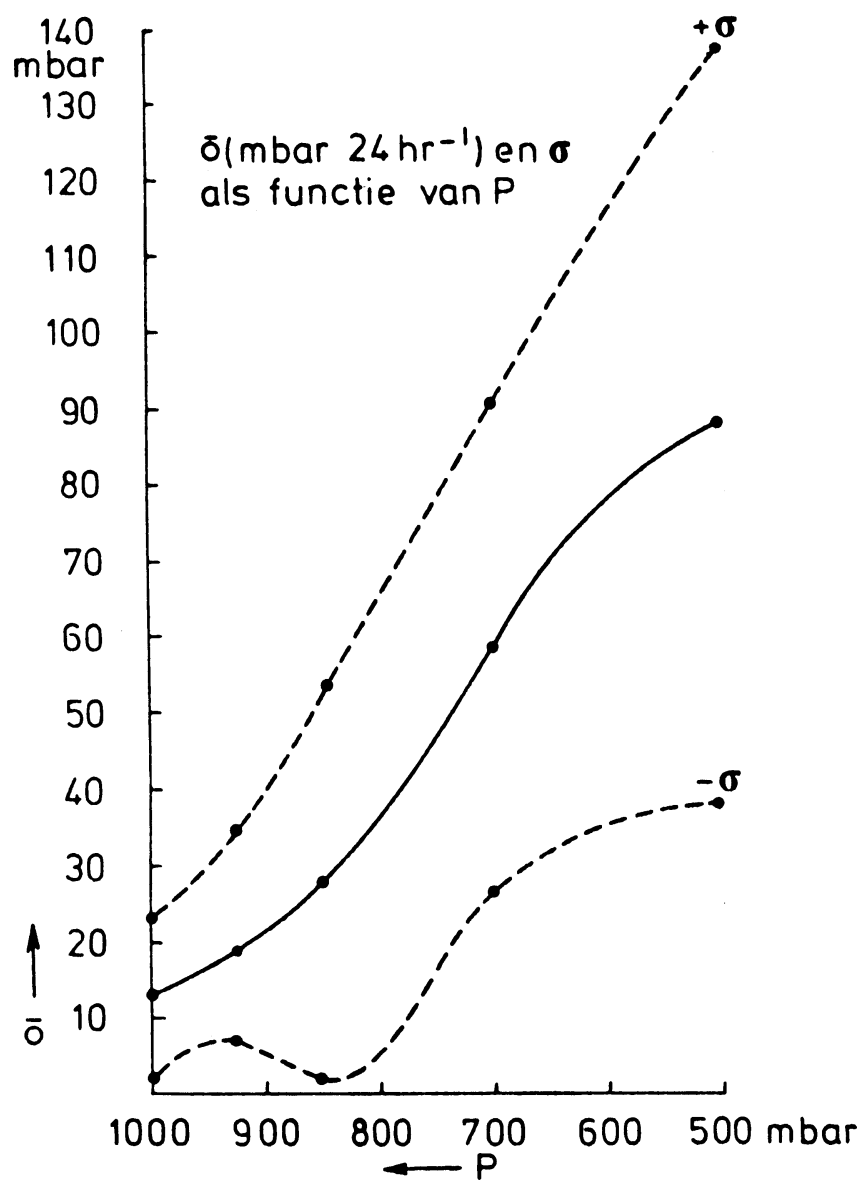
a <sub>0</sub> :	-7.1501193*10 <sup>-9</sup>	m <sup>3</sup> kg <sup>-3</sup> s <sup>5</sup>
a <sub>1</sub> :	2.2871356*10 <sup>-5</sup>	m <sup>2</sup> kg <sup>-2</sup> s <sup>3</sup>
a <sub>2</sub> :	-2.6809757*10 <sup>-2</sup>	m kg <sup>-1</sup> s
a <sub>3</sub> :	13.446237	s <sup>-1</sup>
a <sub>4</sub> :	-2344.716	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-3</sup>
g:	9.81	m s <sup>-2</sup>

Niet vermelde symbolen worden in de tekst verduidelijkt.

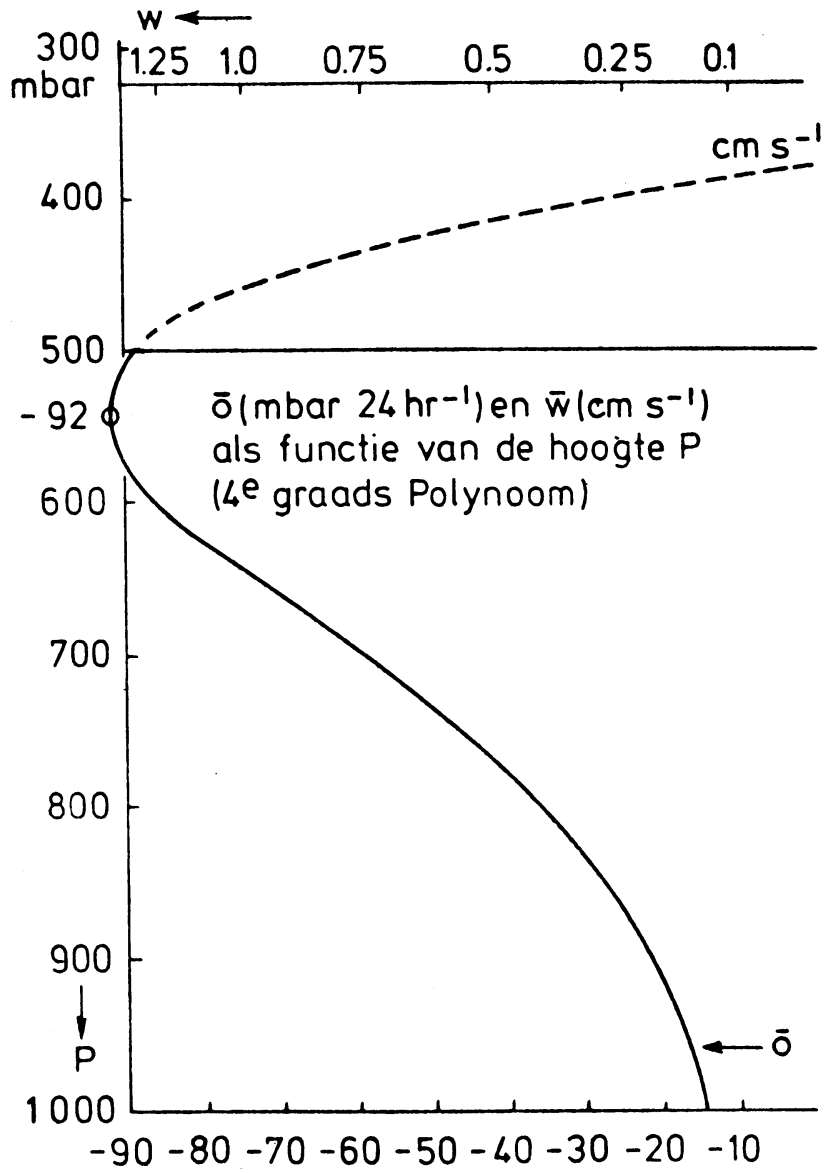
Grafiek 1



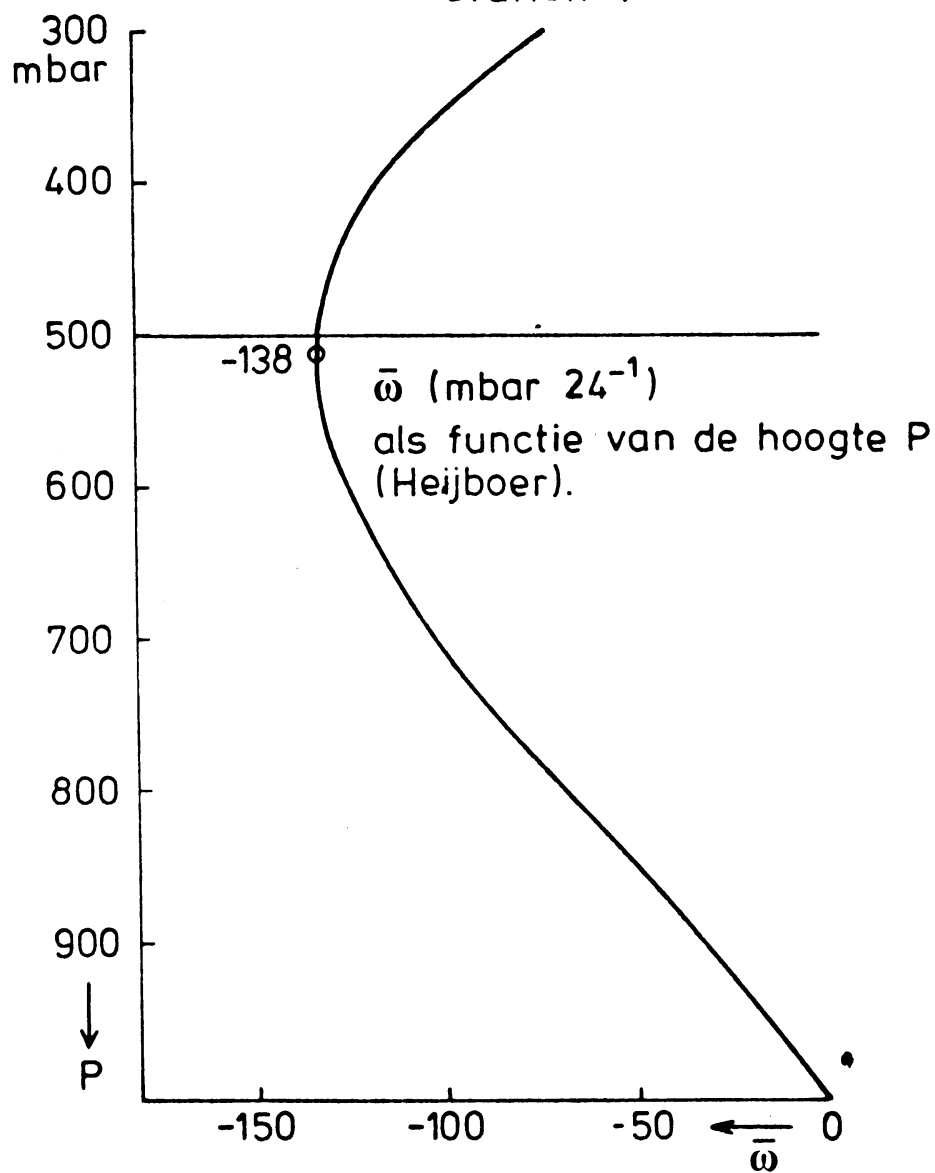
Grafiek 2



Grafiek 3



Grafiek 4

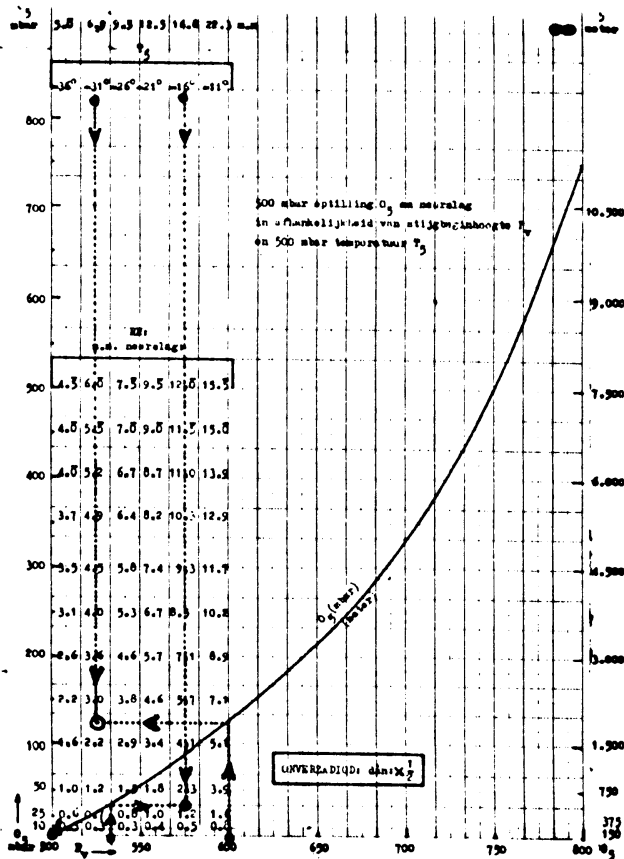




**NEERSLAG en TRAJEKTORIE**

Hoeveel millimeter neerslag?

- 1<sup>o</sup>: 500 en 700 mbar trajectorie geheel „gestippeld’’? **NEEN: STOP**
- 2<sup>o</sup>: Passeert een „stippengebied’’ gedurende de periode H+24 ? (Zie overeenkomstige HK<sub>4</sub> kaart(en) verticale snelheid) **NEEN: STOP**
- 3<sup>o</sup>: Breng getalswaarde bij vertrekpunt 500 mbar trajectorie (P<sub>v</sub> mbar) over op abscis grafiek
- 4<sup>o</sup>: Vanuit dit punt recht omhoog tot kromme O<sub>5</sub> gesneden wordt
- 5<sup>o</sup>: Door dit snijpunt een rechte evenwijdig aan abscis
- 6<sup>o</sup>: Schat de 500 mbar temperatuur T<sub>5</sub> boven ons land gedurende de periode, dat de neerslag wordt verwacht. Dit levert een van de kolommen -36°.....-11° op. (Linker bovenhoek en linkergedeelte grafiek)
- 7<sup>o</sup>: Het snijpunt van deze kolom met de rechte uit 5<sup>o</sup> geeft het aantal millimeters neerslag voor een VERZADIGDE atmosfeer
- 8<sup>o</sup>: Voor ONVERZADIGDE atmosfeer (aanhoudende advektie van droge lucht in onderste niveau's) moet het aantal m.m. neerslag gereduceerd worden met een faktor, die VAN DE ORDE VAN GROOTTE van 0.5 is.



Een tweetal VOORBEELDEN:

1<sup>o</sup>: P<sub>v</sub> = 535; T<sub>5</sub> = -16°;  
Dan is RR: 1.6 m.m.

2<sup>o</sup>: P<sub>v</sub> = 600; T<sub>5</sub> = -31°;  
Dan is RR: 2.6 m.m.

Deze waarden voor een VERZADIGDE atmosfeer.

Voor ONVERZADIGDE atmosfeer dienen deze waarden met 0.5 vermenigvuldigd te worden.

**GRAFIEK 5**

