

**KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT**

Verslagen

V-318

C. J. van der Goot

Een kwasi-objektieve methode voor kwantitatieve
benadering van neerslaghoeveelheden.

De Bilt, 1979

Publikatienummer: K.N.M.I. V-318 (CWD/ME)

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

U.D.C.: 551.509.324.2 :
551.509.313

<u>Inhoud.</u>	<u>bladzijde</u>
Samenvatting.	2
Inleiding.	3
1. Vertikale golven in de atmosfeer, verticale snelheid en opwaarts afgelegde weg (optilling).	4
1.1. De reductie op de optilling.	4
2. Optilling in de laag 850 mbar - 500 mbar.	5
3. De maximale mengverhouding als functie van de hoogte.	5
4. Optilling, maximale mengverhouding en neerslaghoeveelheid.	5
4.1. Neerslaghoeveelheid in <u>niet</u> -verzadigde atmosfeer.	6
5. Neerslaghoeveelheid en optilling in de laag 850 mbar - 500 mbar.	7
6. Berekening met p als verticale coördinaat.	9
7. Verifikatie en statistiek.	12
8. Praktische toepassing.	13
9. Slotbeschouwing.	13
10. Verantwoording.	14
11. Literatuur.	14

Bijlagen:

Betekenis van gebruikte symbolen en hun dimensies.

Tabel 1: Overzicht van gebruikte constanten.

Figuur 1: Verschillende parameters en trajectorie in ruimtelijke voorstelling.

Figuur 2: Verschillende parameters in het vlak van 500 mbar.

Figuur 3: Verschillende parameters in ruimtelijke voorstelling.

Figuur 4: Het gebruik van de A7 analyse lineaal.

Grafiek 1: RR_b in afhankelijkheid van O_5 en T_5 .

θ_s , p diagram.

Kaartjes 1 tot en met 4.

Samenvatting.

Een model en een methodiek worden beschreven waarmee op een eenvoudige manier een kwantitatieve benadering verkregen kan worden van de hoeveelheid neerslag, die gemiddeld in een gebied van een zekere uitgestrektheid verwacht mag worden.

De benadering geschiedt kwasi-objektief aan de hand van series analyses en prognoses van de 500 mbar-stroming en de gemiddelde verticale snelheid, die twee keer per etmaal door het operationele komputermodel worden berekend.

Ondanks de vereenvoudiging die in het beschreven model zijn aangebracht, blijken de resultaten, vooropgesteld de juistheid van de uit de komputerkaarten afgeleide, als objektieve prediktoren gehanteerde parameters, in veel gevallen redelijk te zijn.

Het model mag daarom beschouwd worden als een nuttige "first guess" methodiek voor operationeel gebruik in die gevallen waar een schatting van te verwachten regenhoeveelheid gewenst is.

Inleiding.

In de atmosfeer planten zich grote gebieden met grootschalige verticale bewegingen voort, die met weersystemen samenhangen. Deze bewegingen kunnen benaderd worden door een eenvoudige sinusgolf. Door middel van integratie over een interval, dat gelijk is aan de halve trillingstijd, kan voor een geselecteerd niveau (hier het 500 mbar niveau) de optilling van een luchtdeeltje worden berekend.

De optilling veroorzaakt adiabatische afkoeling, zodat de atmosfeer tenslotte verzadigd raakt van waterdamp. De verticale verdeling van de hoeveelheid waterdamp in een verzadigde atmosfeer wordt beschreven door de verzadigd-adiabaten.

Deze worden in dit verslag benaderd door middel van een parameterisering. Voortgaande afkoeling leidt tot oververzadiging. De hoeveelheid neerslag wordt evenredig met deze mate van oververzadiging (verzadigings - exces) verondersteld.

Uit de optilling van een luchtdeeltje rond het niveau van 500 mbar wordt de optilling van luchtdeeltjes, die in de laag (850 mbar - 500 mbar) plaatsvindt, afgeleid. Vervolgens worden deze optilling en de verticale verdeling van de waterdamp in die laag met elkaar in verband gebracht en daarmee het verzadigings-exces en dus de hoeveelheid neerslag berekend.

1. Vertikale golven in de atmosfeer, verticale snelheid en opwaarts afgelegde weg (optilling).

De uitdrukking voor een lopende verticale transversale golf rond het vlak van 500 mbar in een atmosfeer die verder in rust is, wordt hier geschreven als:

$$w_{500}(x,t) = w_{500}^{\max} \sin \frac{2\pi}{L_x} (x-ct) \quad (1)$$

De x-as valt steeds samen met de vektor van de voortplantingssnelheid \vec{c} . Heeft de atmosfeer rond het vlak van 500 mbar een eigenbeweging \vec{V} t.o.v. de x-as, dan is de komponent van \vec{V} in de richting van \vec{c} : $\frac{\vec{V} \cdot \vec{c}}{|\vec{c}|} = |\vec{V}| \cos \alpha = u$ u is dus de projectie van \vec{V} op \vec{c} .

We kunnen nu schrijven: $x = ut$. Daarmee gaat (1) over in:

$$w_{500}(x,t) = w_{500}^{\max} \sin \frac{2\pi}{L_x} (u-c) t \quad (2)$$

Integratie van (2) naar t tussen de grenzen $t=0$ en $t=\frac{T}{2}$ met $|u-c| = \frac{L_x}{T}$ en gelijkblijvende w_{500}^{\max} (zie straks 1.1.) levert voor de opwaarts afgelegde weg $O_{500}(\frac{T}{2})$ voor een individueel luchtdeeltje op:

$$O_{500}(\frac{T}{2}) = w_{500}^{\max} \frac{1}{\pi} \cdot \frac{L_x}{|u-c|} \quad (3)$$

Een en ander wordt verduidelijkt in de figuren 1, 2 en 3.

Afspraak: $O_{500}(\frac{T}{2})$ wordt voortaan geschreven als O_5 , w_{500}^{\max} als w_5 , enz.

1.1. De reductie op de optilling.

Boven het vlak van 500 mbar nemen de verticale snelheden weer af. Er moet daarom een demping van de verticale bewegingen met toenemende hoogte boven het vlak van 500 mbar bewerkstelligd worden.

Laat daarom gelden: $w(z) = w_5^{\max} f(t)$ met :

$$\begin{aligned} f(0) &= 1, \\ f(\frac{T}{2}) &= 0, \end{aligned} \quad 1 > f(t) > 0 \text{ voor } 0 < t < \frac{T}{2}$$

Een functie die aan bovenstaande voorwaarden voldoet is b.v.:

$$f(t) = \cos \frac{\Pi}{\tau} \cdot t$$

Substitutie van $w_5 \max \cos \frac{\Pi}{\tau} \cdot t$ in (2) levert op:

$$O_5 = w_5 \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{\tau}{\Pi}, \text{ en met } \tau = \frac{Lx}{|u-c|} :$$

$$O_5 = w_5 \cdot \frac{2}{3 \Pi} \cdot \frac{Lx}{|u-c|} \sim w_5 \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{Lx}{|u-c|} \quad (4)$$

2. Optilling in de laag 850 mbar - 500 mbar.

Zij $o(z) = O_5 f(z)$ met randvoorwaarden:

$$\left\{ \begin{array}{l} f(0) = f(850 \text{ mbar}) = 0, \\ f(4000) \sim f(500 \text{ mbar}) = 1, \end{array} \right. \quad 0 < f(z) < 1 \text{ voor } 0 < z < 4000.$$

z is de afstand tot het 850 mbar vlak.

We kiezen de lineaire betrekking: $o(z) = O_5 \cdot \frac{1}{4} \cdot 10^{-3} z$ (5)

3. De maximale mengverhouding als functie van de hoogte.

De maximale mengverhouding r_s voor een verzadigde atmosfeer wordt voorgeschreven door de algemene betrekking:

$$r_s(z) = a e^{b z}. \quad (6)$$

b.v. met: $r_s(0) = r_s(850 \text{ mbar}) = 8,80 \text{ g kg}^{-1}$ en

$r_s(4000) \sim r_s(500 \text{ mbar}) = 2,24 \text{ g kg}^{-1}$ gaat (6) over in:

$$r_s(z) = 8,80 e^{-0,34 \cdot 10^{-3} z} \text{ g kg}^{-1} \quad (7)$$

De grafiek van (7) is een niet-onredelijke benadering van de verzadigdiabatische temperatuurgradient Γ_s met $\theta_s = 15,8^\circ \text{C}$ en $T_{500} = -16^\circ \text{C}$. Zie de lijn ---- in het θ_s, p diagram.

$T_{500} = T_5$ wordt genoemd de "labeltemperatuur" die bij die Γ_s behoort.

4. Optilling, maximale mengverhouding en neerslag hoeveelheid.

Het waterdamp excès in de laag (850 mbar - 500 mbar) en dus de hoeveelheid neerslag is gelijk aan:

$$\int_0^{4000} \{ r(z + 0(z)) - r(z) \} \cdot \rho(z) dz \quad g \ m^{-2} \quad (8^*)$$

of in $kg \ m^{-2}$ en met $\rho(z) \equiv \bar{\rho}_{T_5}$ (850-500) mbar:

$$RR = \bar{\rho}_{T_5} \int_0^{4000} \{ r(z + 0(z)) - r(z) \} dz \cdot 10^{-3} \quad kg \ m^{-2} = m.m \ neerslag. \quad (8)$$

Na substitutie van (5) en (6) in (8) volgt:

$$RR = -\bar{\rho}_{T_5} \frac{a}{b} \left(\frac{1}{1 + \frac{0_5}{4000}} \{ e^{4000b(1 + \frac{0_5}{4000})} - 1 \} - \{ e^{4000b} - 1 \} \right) m.m \quad (9)$$

Na substitutie van a, b en $\bar{\rho}$ voor bv.: $T_5 = -16^\circ C$..:

$$RR = \frac{0,87 - 8,80}{0,34 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{1}{1 + \frac{0_5}{4000}} \{ e^{-1,36(1 + \frac{0_5}{4000})} - 1 \} + 0,74 \right) m.m \quad (10)$$

Hierin wordt 0_5 berekend met behulp van (4).

De uitdrukking (9) geldt voor 100% verzadiging in de laag 850 mbar - 500 mbar.

Grafiek 1' geeft het verband tussen RR en 0_5 bij verschillende labeltemperaturen.

4.1. Neerslaghoeveelheid in niet-verzadigde atmosfeer:

$r(z)$ wordt nu voorgeschreven door betrekkingen $r_i(z)$ die voldoen aan de randvoorwaarden:

$$r_i(4000) = r_s(4000),$$

$$\frac{dr_i}{dz}(4000) = \frac{dr_s}{dz}(4000), \quad (i, \text{ is een dummy suffix met de waarden } 1, 2, 3 \text{ en } 4)$$

$$\frac{dr_i}{dz}(0) = 0.$$

- Voor een bepaalde labeltemperatuur -

Voor r_i worden nu de volgende uitdrukkingen gedefinieerd:

$$r_i(z) = a_i z^i + b_i \quad (i = 2, 3, 4)$$

en:

$$r_1(z) = a_1 e^{-b_1 z^2}. \quad (i = 1)$$

Zie de lijnen -.-.- in het $\theta_{s,p}$ diagram.

Op deze wijze worden analogons verkregen van een atmosfeer, die onverzadigd is rond het vlak van 850 mbar, maar geleidelijk overgaat naar de verzadigde toestand rond het vlak van 500 mbar, voor een bepaalde labeltemperatuur. Substitutie van bovengenoemde betrekkingen, samen met (5) in (8) toont aan, dat de waarden van RR, gevonden uit (9), moeten worden vermenigvuldigd met een faktor, waarvan de grootte-orde rond 0.5 ligt, wanneer de atmosfeer in de onderste regionen van de laag (850 mbar - 500 mbar) onverzadigd is.

Voor $i = 1, 2, 3, 4$, $T_5 = -16^\circ\text{C}$ en $0_5 = 1000$ m verhouden de waarden zich tot RR berekend uit (10) als: 0.750, 0.487, 0.409 en 0.371 respectievelijk. De verhoudingen zijn maar in geringe mate afhankelijk van T_5 .

5. Neerslaghoeveelheid en optilling in de laag 850 mbar - 500 mbar.

RR is in hoge mate gekoppeld aan het ω - of w veld (Opsteegh {1}) en is dus ook niet onafhankelijk van $0(z)$.

In een vereenvoudigde versie van (8), n.l. een benadering die lineair is in 0_5 , werden verschillende uitdrukkingen voor $0(z)$ gesubstitueerd, die evenwel alle moesten voldoen aan de randvoorwaarden, genoemd in punt 2.

Er werden achtereenvolgens de volgende uitdrukkingen voor verschillende profielen van $0(z)$ beproefd:

$$\begin{array}{l}
 \left. \begin{array}{l}
 \left(\frac{2}{L_g} z - \frac{1}{\Pi} \sin \frac{2\Pi}{L_g} z \right) \\
 \left(1 - \cos \frac{2\Pi}{L_g} z \right) \\
 \left(\sin \frac{2\Pi}{L_g} \cdot z \right) \\
 \frac{1}{2} \left(1 - \cos \frac{2\Pi}{L_g} \cdot z \right)
 \end{array} \right\} \cdot 0_5
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{l}
 (11) \quad \frac{L_g}{2} = 4000 \text{ m} \\
 (12) \quad \frac{L_g}{4} = 4000 \text{ m} \\
 (13) \quad \frac{L_g}{4} = 4000 \text{ m} \\
 (14) \quad \frac{L_g}{2} = 4000 \text{ m}
 \end{array}$$

Neerslaghoeveelheden, berekend uit (11) t/m (14), met $T_5 = -16^\circ\text{C}$ *) verhielden zich tot hoeveelheden berekend uit (10) als 0.47, 0.57, 1.31 en 0.75 respectievelijk.

*) en $0_5 = 1000$ m

Conclusie:

Voor een nauwkeurige uitspraak over neerslaghoeveelheden is kennis van dát profiel van $O(Z)$, waaraan de atmosfeer onder bepaalde omstandigheden de voorkeur schijnt te geven, noodzakelijk.

Vooraf de invloed, die de vrijkomende condensatiewarmte op dit profiel kan hebben, dient nader onderzocht. (Opsteegh {1})

Voor praktische toepassing wordt voorlopig het lineaire profiel van $O(Z)$ (5) gebruikt.

6. Berekening met p als verticale coördinaat.

In plaats van de mengverhouding r wordt in het onderstaande de specifieke vochtigheid q genomen. Het verschil tussen r en q is praktisch verwaarloosbaar.

De neerslag volgens (8*) wordt dan, indien als verticale coördinaat p wordt gekozen:

$$RR = \int_0^{4000} \{ q_s(z + 0(z)) - q_s(z) \} \rho dz = \quad (15)$$

$$-\frac{1}{g} \int_{p_5}^{p_8} \{ q_s(p + 0_p(p)) - q_s(p) \} dp. \quad (16)$$

s staat voor verzadigd. Gebruik is gemaakt van de hydrostatische grondwet $dp = -g\rho dz$. $0_p(p)$ is $0(z)$ in drukeenheden, $p_5 = 500$ mbar, $p_8 = 850$ mbar.

Nu is gebleken dat q_s langs de verzadigde adiabaat θ_s geschreven kon worden als een lineaire functie van p; dus

$$q_s = c(\theta_s)p + d(\theta_s),$$

waarbij c en d afhankelijk zijn van θ_s .

(Zie (2), blz. 11). Dan wordt (16):

$$RR = \frac{-c(\theta_s)}{g} \int_{p_5}^{p_8} 0_p(p) dp \quad \text{N.B. } 0_p \text{ is hier steeds } < 0. \quad (17)$$

Om de waarde van RR te bepalen moeten c (θ_s) en $0_p(p)$ bekend zijn. c (θ_s) wordt bepaald uit de grafiek van q_s als functie van p; het resultaat staat in onderstaande tabel 2.

Tabel 2 (Zie ook tabel 1)

θ_s	0	5	10	15	18	20
T_5 ($^{\circ}C$)	-41.1	-33.8	-25.9	-17.3	-12.2	-8.8
$10^9 \times c$ ($kg^{-1}ms^2$)	58	92	130	176	203	225

Vervolgens moet een realistische schatting van $O_p(p)$ (of $\int_{p_5}^{p_8} O_p(p) dp$) gemaakt worden.

Het meest simpele is $O_p(1000 \text{ mbar}) = 0$ te stellen $O_p(500 \text{ mbar})$ bekend te veronderstellen en verder een lineair verloop tussen 0 en 500 mbar aan te nemen. Dus

$$O_p(p) = \frac{p - 100.000}{-50.000} O_p(50.000),$$

p in pascal.

(17) wordt dan:

$$RR = \frac{c(\theta_s) O_p(50.000)}{g} \int_{50.000}^{85.000} \frac{p - 100.000}{50.000} dp. \text{ Als } g=9.81\text{ms}^{-2}$$

wordt dit:

$$RR = -2319 c(\theta_s) O_p(50.000). \tag{18}$$

Als men (18) wil gebruiken als men over O_5 volgens (5) beschikt, moet de relatie tussen $O_p(50.000)$ en O_5 vastgelegd worden. In {3}, tabel 5, is het verband tussen hoogte en druk langs verzadigd adiabaten gegeven; hieruit kan de gevraagde relatie voor elke waarde van θ_s direkt worden afgelezen.

Het is eenvoudig $O_p(50.000)$ meteen te vermenigvuldigen met $-2319 c(\theta_s)$, zodoende kan tabel 3 worden opgesteld waarin RR volgens (18) wordt gegeven als funktie van θ_s (of T_5) en O_5 .

Voor grote waarden van O_5 geeft tabel 3 hogere waarden voor RR dan grafiek 1.

Tabel 3

Neerslag in 0,1 mm.

hoogte in ham 0 ₅	Temperatuur in °C					
	θ_s 0 T ₅ -41	5 -34	10 -26	15 -17	18 -12	20 -9
1	1	2	2	3	3	3
2	2	3	4	5	6	6
3	3	4	6	8	9	10
4	4	6	8	11	12	13
5	5	7	10	13	15	16
6	6	9	12	16	18	19
7	7	10	14	18	21	23
8	8	12	16	21	24	26
9	8	13	18	24	26	29
10	9	14	20	26	29	32
12	11	17	24	31	35	38
14	13	20	27	36	40	44
16	15	22	31	40	45	49
18	16	25	34	45	51	55
20	18	27	38	50	56	61
24	21	32	45	58	65	71
28	24	36	51	66	75	82
32	27	41	57	75	84	92
36	29	45	63	82	92	101
40	32	49	68	90	99	110
45	35	54	75	98	110	121
50	38	58	81	106	119	131

7. Verifikatie en statistiek.

In 1974 en 1975 werd RR_b (erekend) systematisch vergeleken met RR_o (opgetreden).

RR_o werd bepaald uit de neerslaghoeveelheden gemiddeld uit de (destijds 14) regenstations in Nederland. Er werden 58 gevallen beschouwd. De uitkomst was als volgt:

Correlatie coëfficiënt : 0.995

Regressie : $RR_b = 0.955 RR_o + 0.284$

Gemiddelde procentuele fout met standaard afwijking : $\frac{RR_b - RR_o}{RR_o} \cdot 100\% = + 9\% \pm 16\%$

Opmerkingen.

- 1e. RR_b werd steeds bepaald met behulp van BK_3 analyses. De nogal gunstig uitgevallen verifikatie-resultaten zeggen dus weinig over de prognostische verdiensten van de methodiek. Deze zullen minder groot zijn, gezien de geringe nauwkeurigheid, waarmee verticale snelheden (nog) vooruit berekend kunnen worden.
- 2e. RR_o werd bepaald door middeling van neerslagsommen, opgetreden in een betrekkelijk groot gebied. De methodiek geeft dus geen uitsluitel wat betreft uitspraken omtrent plaatselijke hoeveelheden.
- 3e. Bij aanvang van de verifikatie werd het BK_3 model gekarakteriseerd door (te?) hoge waarden van w . Het huidige model geeft i.h.a. lagere waarden. Blijkt dit tot uiting te komen in te lage waarden van RR_b , dan kan een compensatie verkregen worden door het integratie-interval naar 1000 mbar uit te breiden.
- 4e. Neerslaghoeveelheden, waartoe buien bijdroegen, werden niet beschouwd.
- 5e. Alléén dié gevallen werden beschouwd, waarbij een gebied met opwaartse verticale snelheden gelijkmatig over het gehele land was getrokken.

8. Praktische toepassing. (Zie ook kaartjes 1 t/m 4 en figuur 4).

(w_5^{\max} , L_x , c , u , α , V , T_5 , BK_4 , FUNT).

- 1e. w_5^{\max} uit BK_4 en/of FUNT, regeldrukker uitvoer van de gemiddelde verticale snelheid 500 mbar ("w" - kaarten); 10 eenheden ($\text{kg}^2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-5}$) komen overeen met $w=0.55 \text{ cm s}^{-1}$ op 500 mbar en $w=0.13 \text{ cm s}^{-1}$ op 850 mbar; Voor $0=\emptyset$, dus $w=0 \text{ cm s}^{-1}$ op 850 mbar komen 10 eenheden ongeveer overeen met $w=0.7 \text{ cm s}^{-1}$ op 500 mbar.
- 2e. L_x rechtstreeks door opmeting uit deze kaarten.
- 3e. c volgt uit de isochronen van een gevolgd w-gebied uit een opeenvolgende serie met 12- of 24 uur verschil. (c_{12} , c_{24}).
- 4e. u vereist bepaling van α en V . Beide grootheden zijn uit de kaarten minder eenvoudig af te leiden. De term $|u - c|$ mag echter voor niet-stationnaire w-velden vervangen worden door de faktor $0.7c$. (Proef-ondervindelijk).
- 5e. T_5 uit de handanalyse 500 mbar.
- 6e. Bij advektie van droge lucht moeten de berekende neerslaghoeveelheden gereduceerd worden met de faktor 0.5.
- 7e. De methodiek mag niet toegepast worden voor neerslag uit buien.
- 8e. De methodiek mag alléén toegepast worden als „w” gebied zich gelijkmatig verplaatst. Voor (kwasi)-stationnaire of stationnair wordende w-velden verliest de methodiek zijn kwantitatieve relevantie.

Ad 2e t/m 4e. Dit gaat zeer eenvoudig met de A7 analyse-lineaal.

Zie figuur 4.

9. Slotbeschouwing.

In deze publikatie is aangetoond, dat de beschreven methodiek, mits met enige omzichtigheid toegepast, gezien mag worden als een nuttige "first guess" methode voor de schatting van neerslaghoeveelheden die in een bepaald gebied verwacht mogen worden.

De methodiek, hoewel in principe objectief, laat bovendien enige ruimte voor subjektieve interpretatie en correctie en is daarom bij uitstek geschikt voor praktische toepassing in de weerkamer.

Benadering van O_5 en nader onderzoek naar $O(z)$ profielen kan eveneens van belang worden om temperatuur veranderingen in de onderste regionen van de atmosfeer te schatten en daarmee vorming en oplossen van bewolking, labilisatie- en stabilisatie processen e.d. te voorspellen. Verder onderzoek in deze richting wordt aanbevolen.

10. Verantwoording.

De opsteller van dit verslag dankt drs. A.W. den Exter Blokland voor de zéér kritische, maar inspirerende wijze waarop hij de totstandkoming van deze publikatie heeft begeleid en, waar nodig, verbeterd en uitgebreid. Wat dit laatste betreft, hoofdstuk 6 is van zijn hand. Tenslotte nog mijn erkentelijkheid aan dr. G.P. Können en de heer S. Stel, voor het uitvoeren van enkele berekeningen.

11. Literatuur.

- { 1}. J.D. Opsteegh: Over de nauwkeurigheid van verticale bewegingen, berekend met een baroklien 3-parameter model.
W.R. 78-12.
- { 2}. A.W. den Exter Blokland: Experimenten met het numeriek opstellen van neerslagverwachtingen.
W.R. 72-8.
- { 3}. Tables of precipitable Water and other Factors for a Saturated Pseudo-Adiabatic Atmosphere. Weather Bureau, Technical Paper no. 14, Washington 1951.

Betekenis van gebruikte symbolen en hun dimensies.

z	: hoogte	m
Φ	: geopotentiaal	$m^2 s^{-2}$
x	: coördinaat waarlangs lopende verticale transversale golf zich voortplant	m
L_x	: golflengte langs x-coördinaat	m
L_z	: golflengte langs (z) coördinaat	m
0	: optilling, verheffing van een luchtdeeltje boven zeker referentieniveau	m
\vec{V}	: snelheidsvektor 500 mbar stroming	ms^{-1}
u	: component van \vec{V} op x	ms^{-1}
$w = \frac{dz}{dt}$: verticale snelheid langs (z) coördinaat	ms^{-1}
c_{12}, c_{24}	: vektor van de voortplantingssnelheid, berekend uit 12- respectievelijk 24 uurs-isochronen	ms^{-1}
α	: hoek tussen c en \vec{V}	graden
t	: tijd	s
τ	: trillingstijd	s
T	: temperatuur	$^{\circ}C$
θ_s	: verzadigd potentiële temperatuur	$^{\circ}C$
p	: druk	$m^{-1} kgs^{-2}$
ρ	: dichtheid	kgm^{-3}
r	: maximale mengverhouding	gkg^{-1}
Γ_s	: verzadigd adiabatische temperatuurgradient	$mkg^{-1} s^2 ^{\circ}C$
$\omega = \frac{dp}{dt}$: verticale snelheid langs (p) coördinaat	$m^{-1} kgs^{-3}$
RR	: neerslaghoeveelheid	liter $m^{-2} = m.m$

Niet vermelde symbolen worden in de tekst verduidelijkt.

TABEL 1

Overzicht van gebruikte constanten

Labeltemperatuur T_5 Verz.Pot.Temperatuur $\theta_{s,p}$	-11°	-16°	-21°	-26°	-31°	DIMENSIE
	+18.7°	+15.8°	+12.9°	+9.9°	+6.8°	
a	11.0	8.8	7.0	5.5	4.3	gkg ⁻¹
b	-0.3	-0.34	-0.40	-0.44	-0.49	m ⁻¹ .10 ⁻³
$\bar{e}(T_5)$	0.863	0.870	0.880	0.895	0.912	kgm ⁻³
$e(T_5)$	0.664	0.678	0.691	0.705	0.719	kgm ⁻³
a ₁		4.34				gkg ⁻¹
a ₂		-0.094				gkg ⁻¹ m ⁻² .10 ⁻⁶
a ₃		-0.0156				gkg ⁻¹ m ⁻³ .10 ⁻⁹
a ₄		-0.029				gkg ⁻¹ m ⁻⁴ .10 ⁻¹²
b ₁		0.0426				m ⁻² .10 ⁻⁶
b ₂		3.70				gkg ⁻¹
b ₃		3.20				gkg ⁻¹
b ₄		2.95				gkg ⁻¹
$\bar{e}(T_5) \cdot \phi_s$	21.0	18.3	15.6	13.0	10.5	kg ⁻¹ ms ⁺² .10 ⁻⁸

$$\bar{e}(T_5) = \frac{1}{3} (e_{850} + e_{700} + e_{500})$$

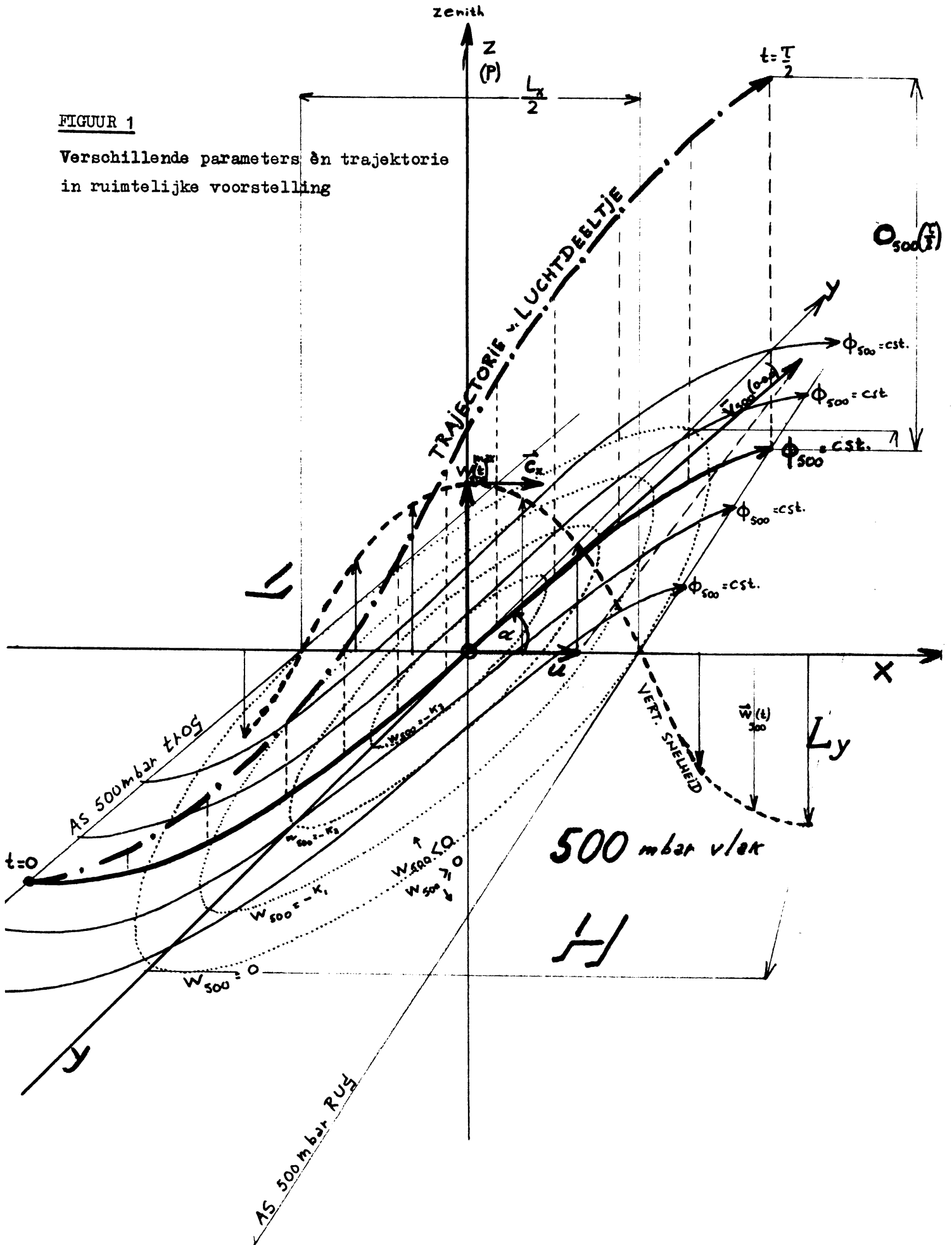
$$g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$$

Temperaturen zijn gelijkgesteld aan virtuele temperaturen.

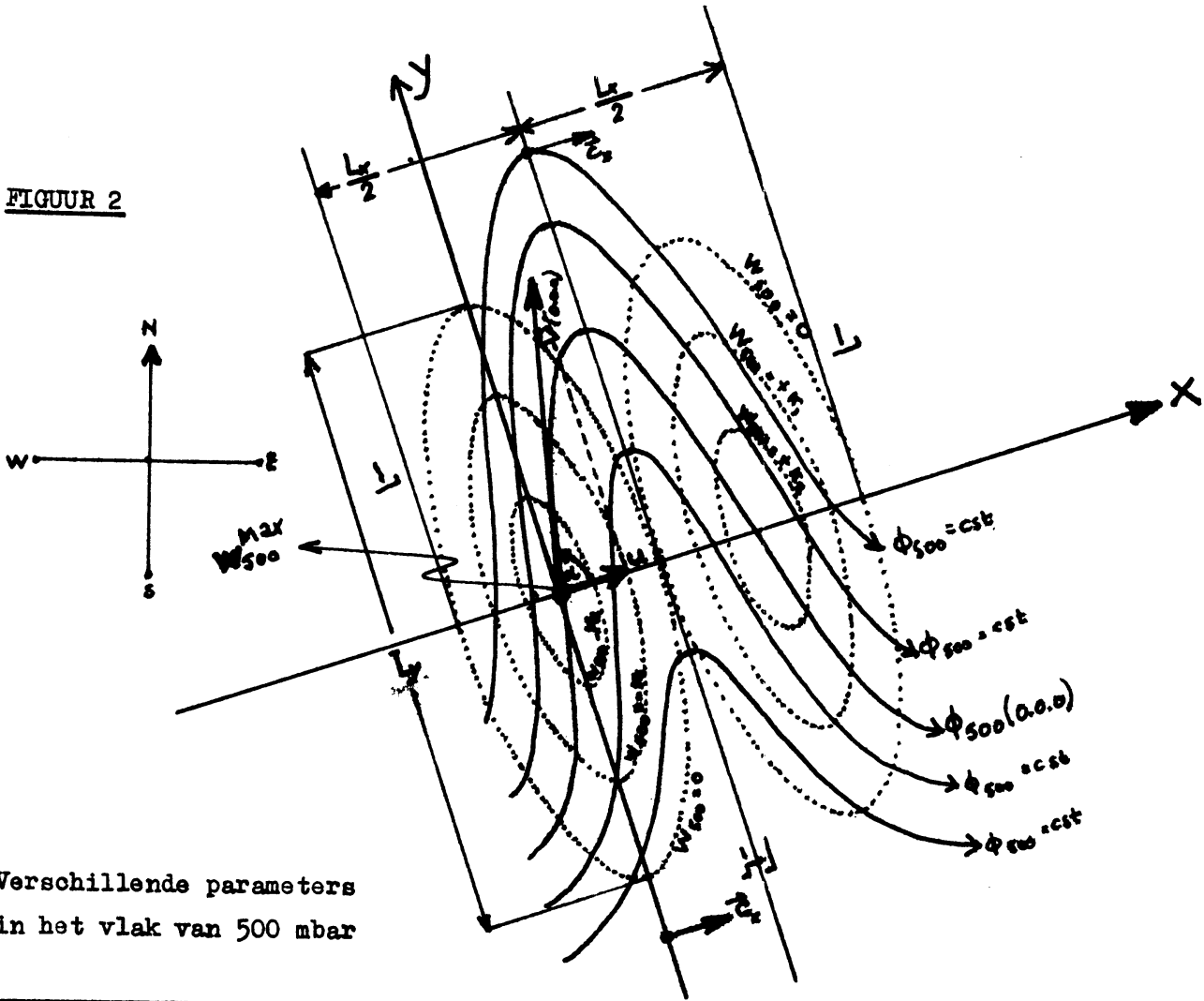
De constanten, die betrekking hebben op de maximale mengverhouding zijn grafisch uit het $\theta_{s,p}$ diagram afgeleid en kunnen daarom mogelijk iets afwijken van waarden, verkregen uit daarop betrekking hebbende tabellen.

FIGUUR 1

Verschillende parameters en trajectorie in ruimtelijke voorstelling



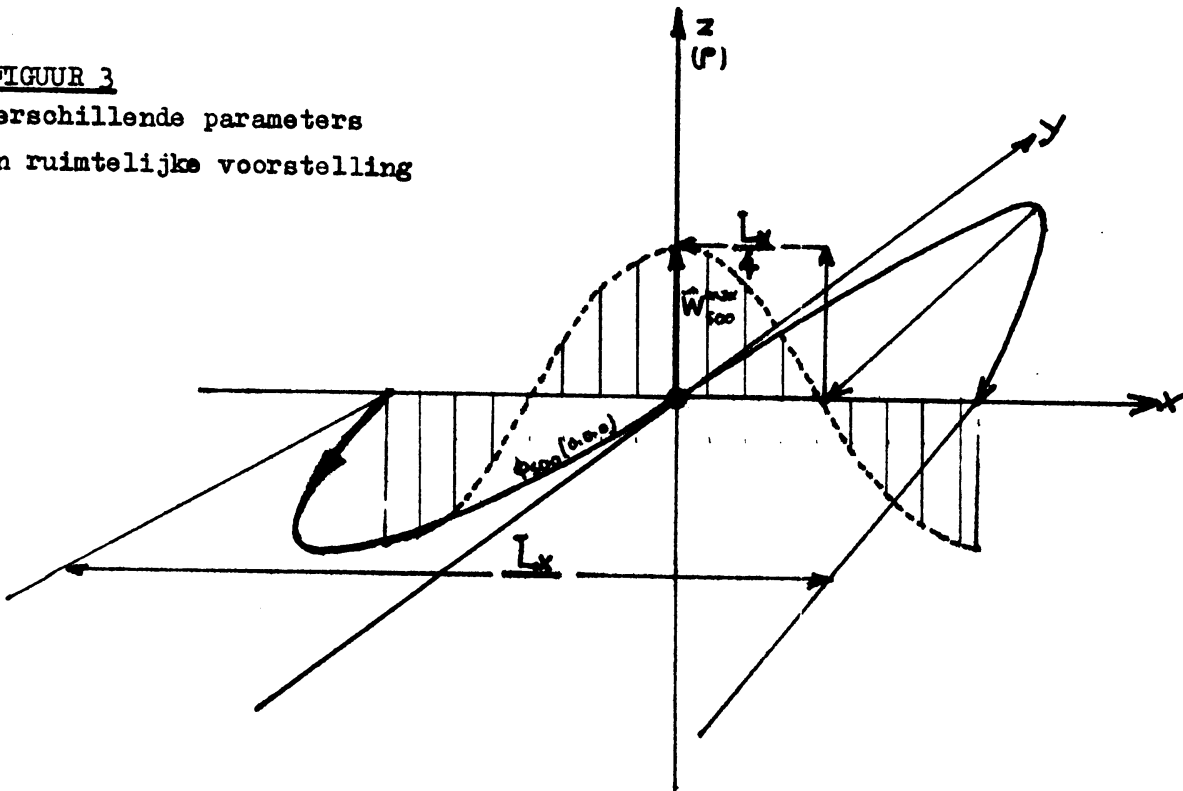
FIGUUR 2



Verschillende parameters
in het vlak van 500 mbar

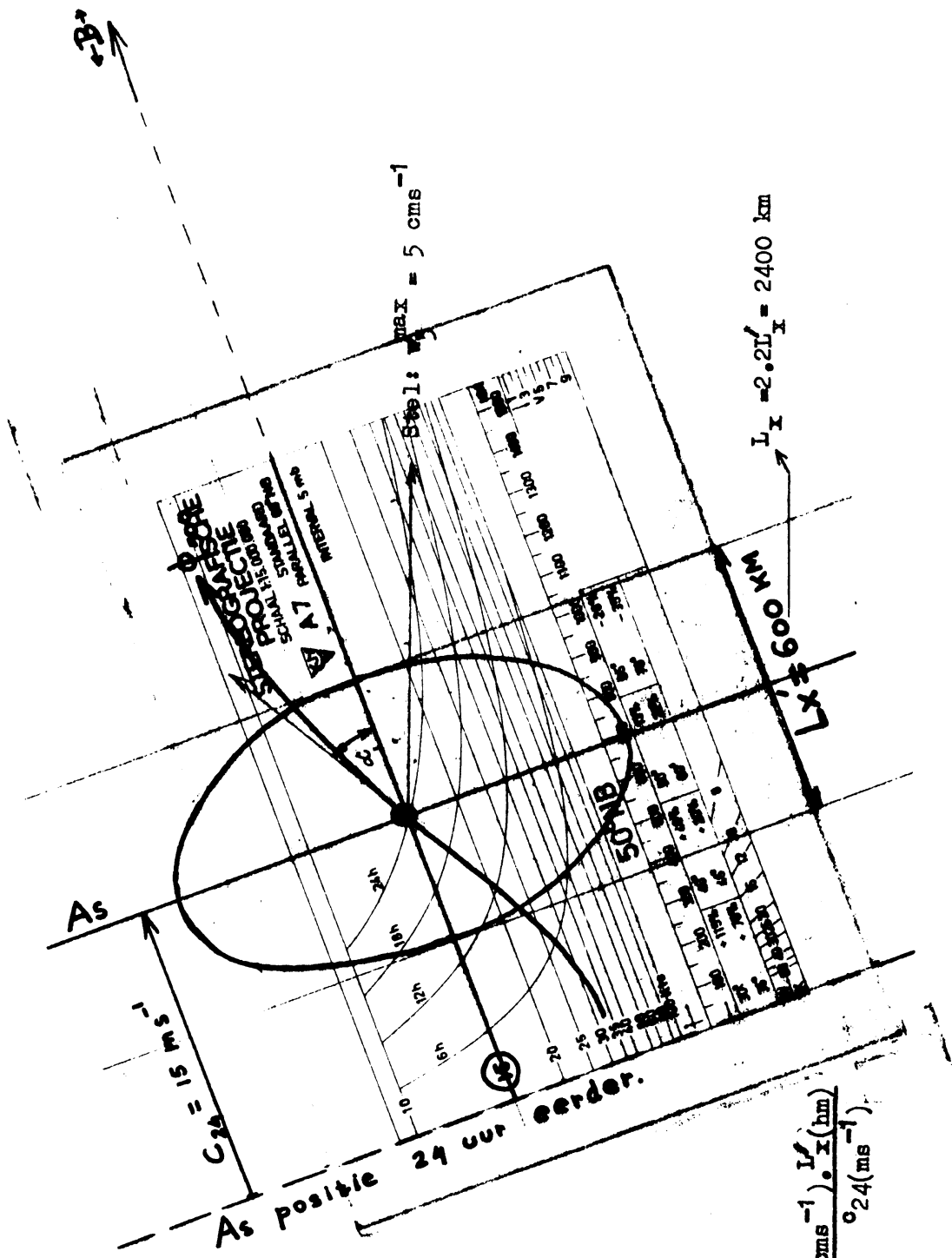
FIGUUR 3

Verschillende parameters
in ruimtelijke voorstelling



FIGUUR 4

Het gebruik van de A7 analyse-lineaal



kaartschaal 1:30.10⁶
overlayschaal 1:15.10⁶

L_x op overlay = $2 L_x$ op kaart

c_{24} (in kts) op overlay =
 $2 c_{24}$ (in kts) op kaart =
 c_{24} (in ms^{-1}) op kaart.

w_5^{max} in ms^{-1}

$$0_5 = 5 \cdot \frac{w_5^{max} \cdot 10^{-2} \cdot 2.2 \cdot L_x \cdot 10^3}{0.7 \cdot c_{24}} \approx \frac{w_5^{max} (cms^{-1}) \cdot L_x (km)}{0.24 (ms^{-1})}$$

In dit geval:

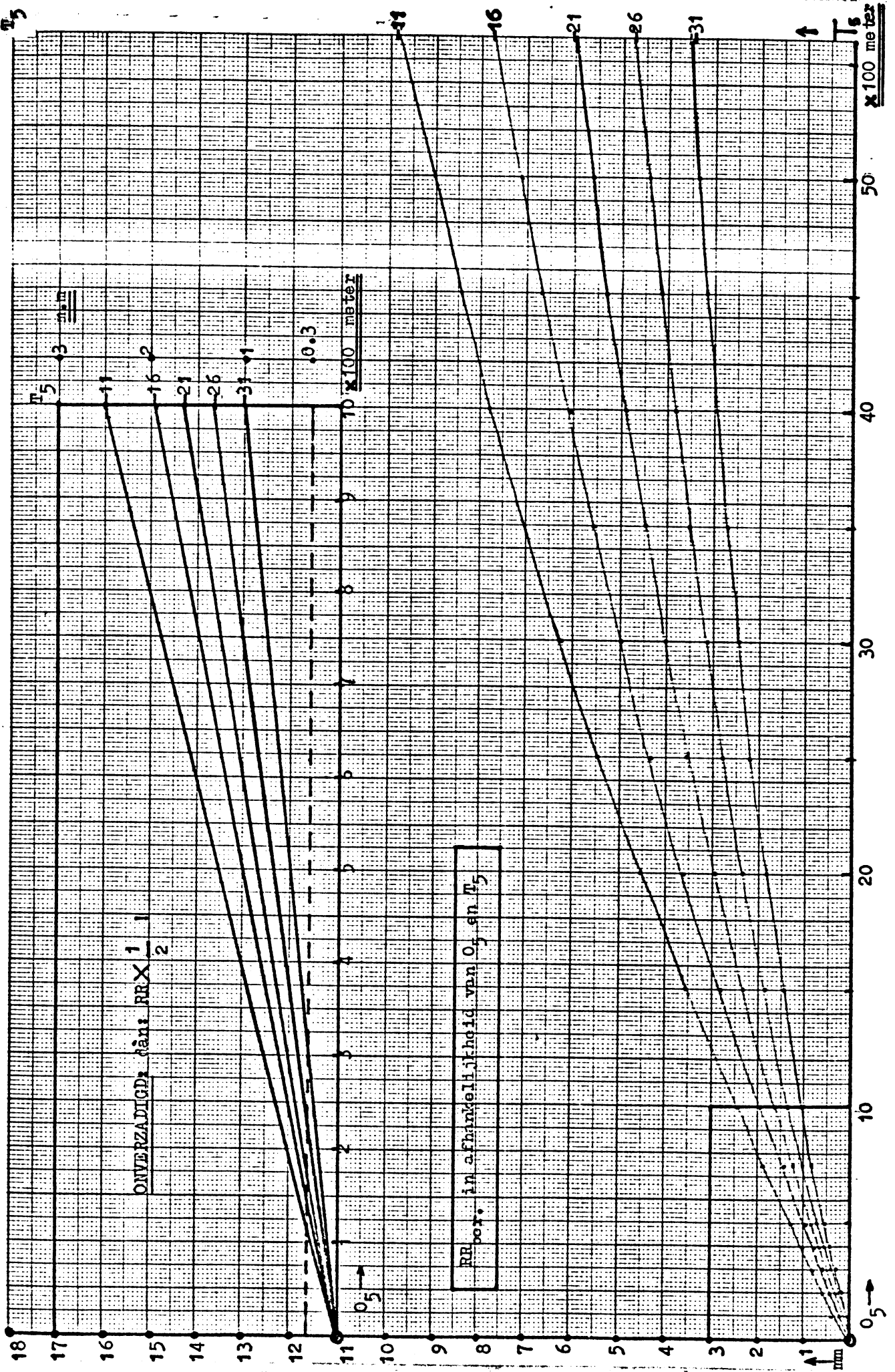
$$0_5 \approx \frac{5 \cdot 6000}{15} = 2000 \text{ m}$$

De halve rechte O....B is de meetkundige plaats van alle punten met gelijke RR_b

De fout, veroorzaakt door het verschil in standaardparallel, is verwaarloosd

kaartschaal 1:30.10⁶

GRAFIK 1



KON. NED. MET. INSTITUUT
 Θ_{SP} DIAGRAM

C

II/iii

Datum

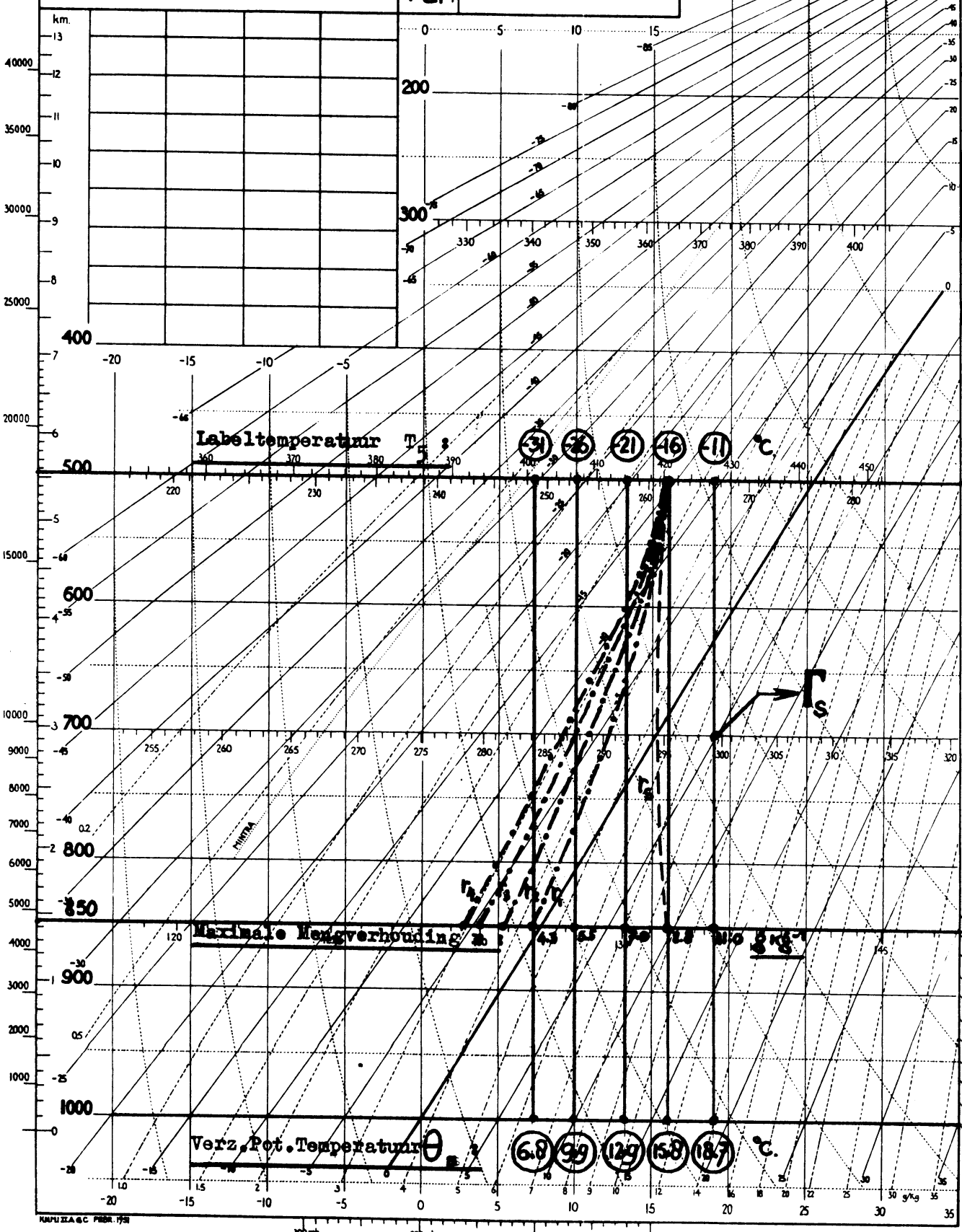
/ / '5

TgTg

GGgg

Z

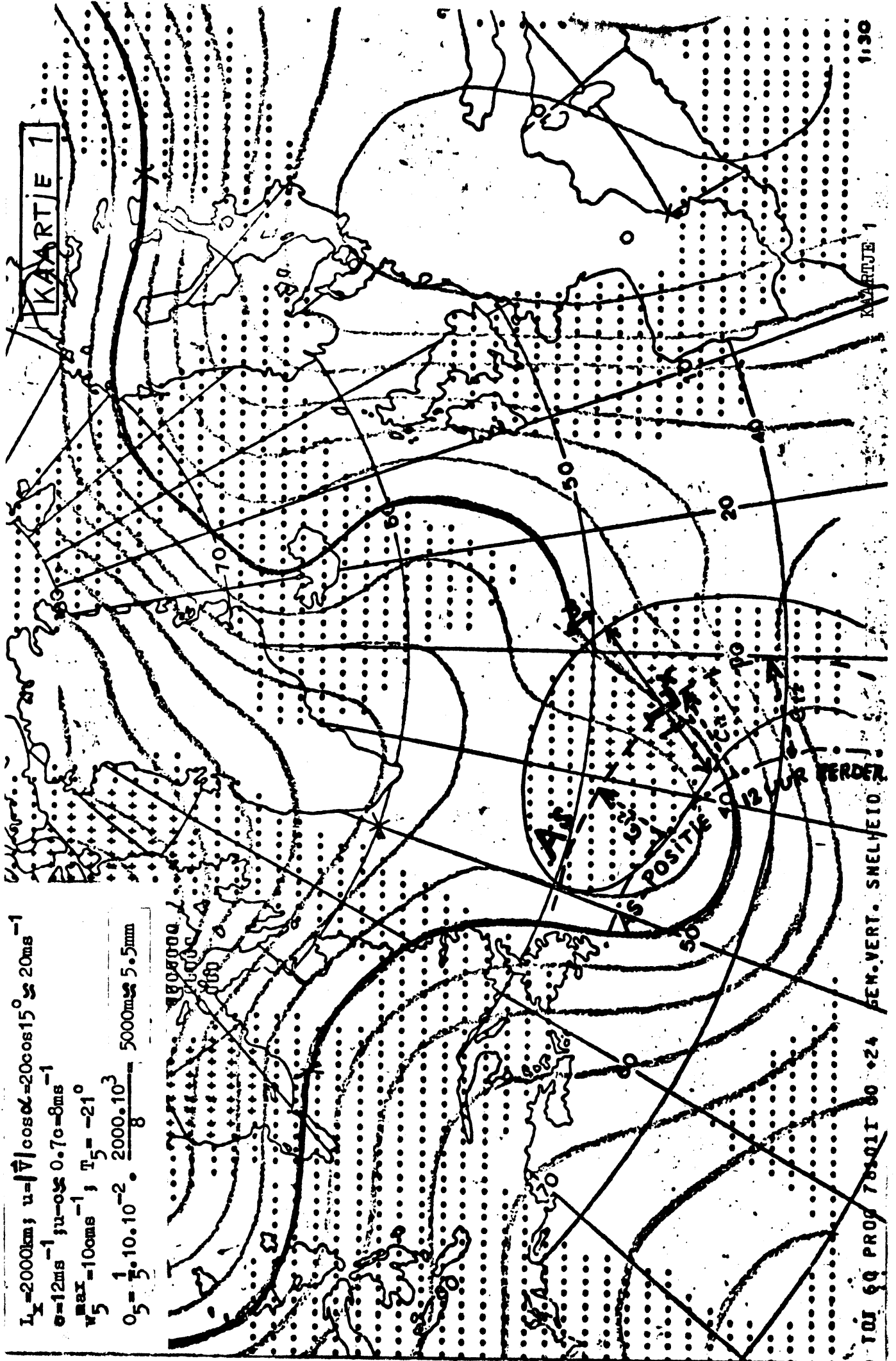
Par:



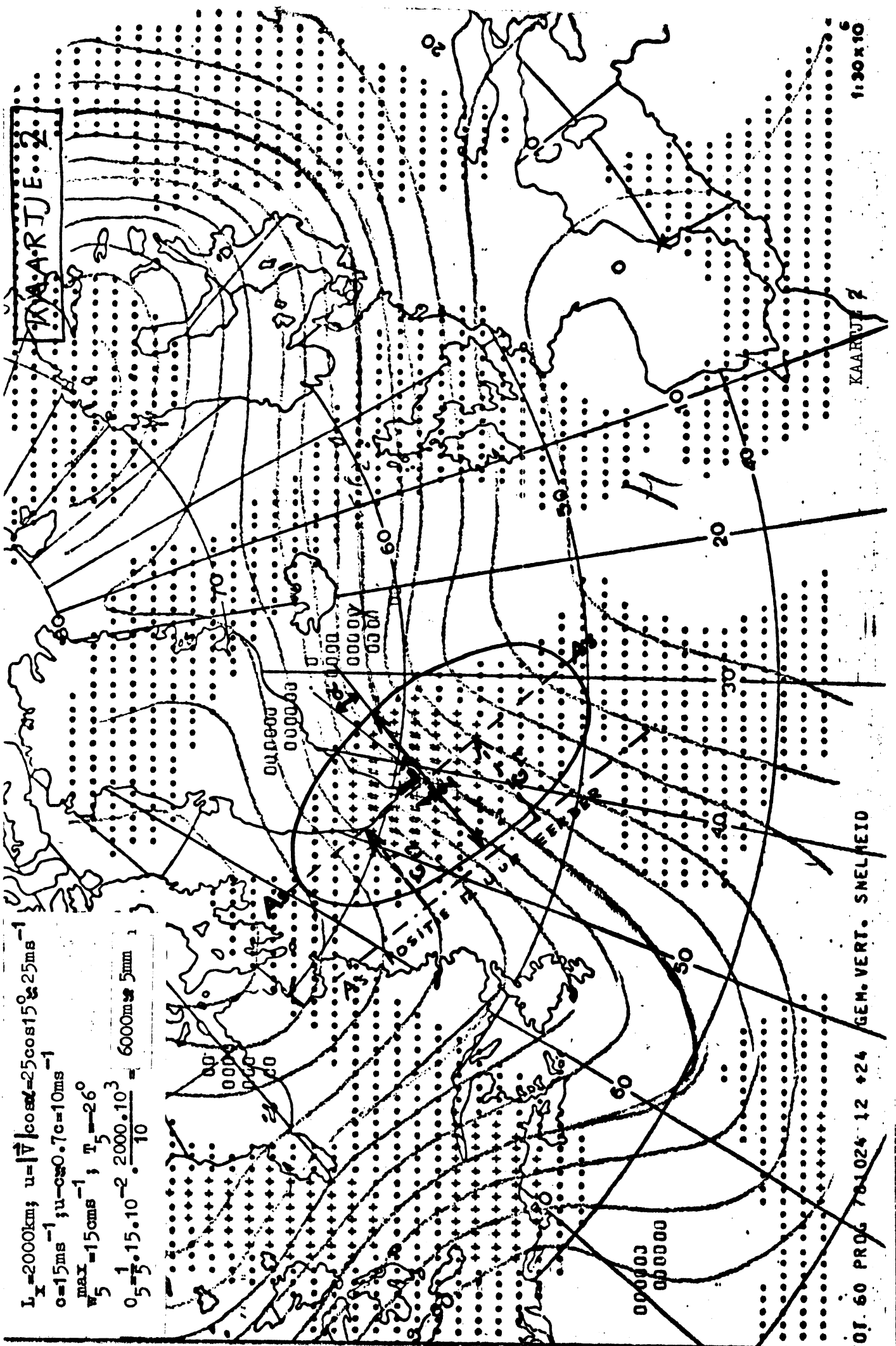
: 4000 m.

0

$L_x = 2000 \text{ km}$; $u = \sqrt{v} \cos \alpha = 20 \cos 15^\circ \approx 20 \text{ ms}^{-1}$
 $\sigma = 12 \text{ ms}^{-1}$; $\mu = 0.5$; $0.7 \sigma = 8 \text{ ms}^{-1}$
 $v_{\text{max}} = 10 \text{ ms}^{-1}$; $T_5 = -21^\circ$
 $O_5 = \frac{1}{5} \cdot 10 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2000 \cdot 10^3}{8} = 5000 \text{ m} \approx 5.5 \text{ mm}$



$L_x = 2000 \text{ km}$; $u = \sqrt{v} \cos \alpha = 25 \text{ cm s}^{-1}$
 $\alpha = 15^\circ$; $u - c = 0.7 \text{ cm s}^{-1}$
 $w_5^{\text{max}} = 15 \text{ cm s}^{-1}$; $T_5 = 26^\circ$
 $0.5 = \frac{1}{5} \cdot 15 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{2000 \cdot 10^3}{10} = 6000 \text{ m s}^{-1} \text{ mm}^{-1}$



KAARTJE 2

OF. 60 PROG 70-1024 12 +24 GEM. VERT. SNELHEID

KAARTJE 2 1:30 x 10

