

Het APL+ programma

R.M. van Westrhenen

Technische rapporten; TR-153

de bilt 1993

publicatienummer: Technische rapporten; TR-153

postbus 201
3730 AE de bilt
wilhelminalaan 10
tel. (030) 206 911
telex 470 96
telefax (030) 210 407

UDC: 551.509.313
551.466.33
681.3.06

ISSN: 0169-1708

ISBN: 90-369-2034-5

© KNMI, De Bilt. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en / of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotocopie, microfilm, of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijk toestemming van het KNMI.

**HET
APL+
PROGRAMMA**

**KNMI 07/12/92
R.M.van Westrhenen**

1.	Inleiding.....	3
2.	Beschrijving van de afgeleide velden	
2.1	Theta-w 850 hPa.....	4
2.2	Verzadigingsoptilling 850 hPa.....	7
2.3	Advectie theta-w 850 hPa.....	8
2.4	Thermische frontparameter.....	8
2.5	Boyden index.....	9
2.6	Dikte 500-1000 hPa	9
2.7	Divergentie 10 meter wind	9
2.8	Absolute vorticititeit 500 hPa	10
2.9	Neerslag 6 uurlijks	10
2.10	Dauwpunts temperatuur.....	10
3.	Beschrijving van het apl+ programma	
3.1	De apl+ structuur	11
3.2	De apl+ programma's	12
3.3	Het starten van het apl+ programma	13
3.4	In- en uitvoerfiles.....	15
	appendix 1 (theta-w 850 grafisch)	16
	appendix 2 (voorbeelden vd afgeleide velden)....	17
	appendix 3 (gebruikte notatie).....	21
	referenties	22

1. Inleiding

De APL ofwel "Automatische Produktie Lijn" bestaat uit een aantal gekoppelde computermodellen. Deze modellen vormen een hulpmiddel bij het voorspellen van het weer, maar ook bij het voorspellen van de verspreiding van luchtverontreiniging, wateropzet, golfhoogte, grenslaag parameters, korte termijn storm waarschuwing, progtemps en het berekenen van trajectoriën.

De APL programma's leveren uitvoer in de vorm van velden. Een veld is de verzameling van de roosterpunt waarden van een parameter. Voor verschillende hoogtes worden velden als luchtdruk, wind, temperatuur, vochtigheid, etc berekend. Het in dit verslag beschreven programma, het "APL+" programma, berekent uit deze basis velden van het LAM, ECMWF, en UKMO model een aantal afgeleide velden die nuttig zijn bij de weersvoorspelling. Deze afgeleide velden zijn :

- theta-w 850 hPa
- advectie theta-w 850
- verzadigingsoptilling 850 hPa
- thermische frontparameter
- boyden index
- dikte 500-1000 hPa
- divergentie 10 meter wind
- absolute vorticititeit op 500 hPa
- 6 uurlijkse neerslag
- dauwpunts temperatuur.

Dit rapport bestaat uit twee delen. Het eerste deel beschrijft hoe de afgeleide velden worden berekend. Het tweede deel beschrijft het apl+ programma.

2. Beschrijving van de afgeleiden velden.

2.1. Theta-w 850

Wanneer een luchtdeeltje op het 850 hPa drukvlak wordt opgetild tot het verzadigd is, en vervolgens verzadigd adiabatisch naar een druk van 1000 hPa wordt gebracht, dan heet de temperatuur die het dan heeft bereikt, de potentiële natteboltemperatuur theta-w 850 (θ_w 850)

In appendix 1 is dit proces grafisch weergegeven in een θ_w , p diagram.

Theta-w 850 wordt gebruikt om :

- De herkomst van luchtsoorten te lokaliseren.
Uit een tabel kan afhankelijk van de waarden van theta-w en de tijd van het jaar, het brongebied van een luchtsoort worden bepaald.
- Fronten op te sporen.
Gebieden met grote theta-w gradiënt duiden op fronten.
- De kans op sneeuw te bepalen.
Bij θ_w van $\pm 3^\circ$ C is de kans op sneeuw 50%. Bij θ_w van 1° C is de kans op sneeuw 90% (tabel Bradbury).

Berekenen van theta-w 850

Bij een gegeven druk P, dampspanning e en temperatuur T kan de natteboltemperatuur T_w worden bepaald. Dit kan m.b.v. de psychrometer formule

$$e - e_s(T_w) = C_1(T_w - T) \quad (1)$$

waarbij

$$C_1 = \frac{C_{pv}}{\epsilon l_v} \approx 0.00646 \text{ K}^{-1} \quad (2)$$

Vergelijking (1) kan m.b.v. de methode Newton-Raphson numeriek worden opgelost. Zie hiervoor Hafkenscheid (1979). Daarin wordt getoond hoe de natteboltemperatuur berekend kan worden uit gegeven e, P en T. Het resultaat is dat de reeks x_n nadert tot de natteboltemperatuur volgens de iteratieformule :

$$x_{n+1} = x_n - \frac{e_s(x_n) - e + C_1 P (x_n - T)}{\frac{C_2 e_s(x_n)}{x_n^2} + C_1 P} \quad (3)$$

waarbij

$$C_2 = \frac{l_v}{R_b} \approx 5419 \text{ K} \quad (4)$$

Deze methode convergeert kwadratisch en bereikt in ca. 3 stappen een nauwkeurige oplossing.

De betekenis van de verschillende thermodynamische grootheden staat in appendix 3.

Analoog aan de berekening van de natteboltemperatuur kan de potentiële natteboltemperatuur worden berekend. Er zijn twee methoden:

- I. Door bij de berekening van de natteboltemperatuur i.p.v. de druk P , de dampspanning e en de temperatuur T respectievelijk 1000, de dampspanning e_0 op 1000 hPa en de potentiële temperatuur θ in te vullen bereken je de natteboltemperatuur op 1000 hPa. Deze is gelijk aan de potentiële natteboltemperatuur θ_w .

De potentiële temperatuur θ is gelijk aan

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^{0.286} \quad (5)$$

De dampspanning e_0 op het 1000 hPa vlak is gelijk aan

$$e_0 = 1000 \frac{e_0}{P} \quad (6)$$

Deze methode is voor de berekening van θ_w 850 het nauwkeurigst.

- II. Bij de tweede methode bereken je eerst de natteboltemperatuur op gegeven drukvlak. Vervolgens reken je m.b.v. formule (7) de natteboltemperatuur om naar de potentiële natteboltemperatuur.

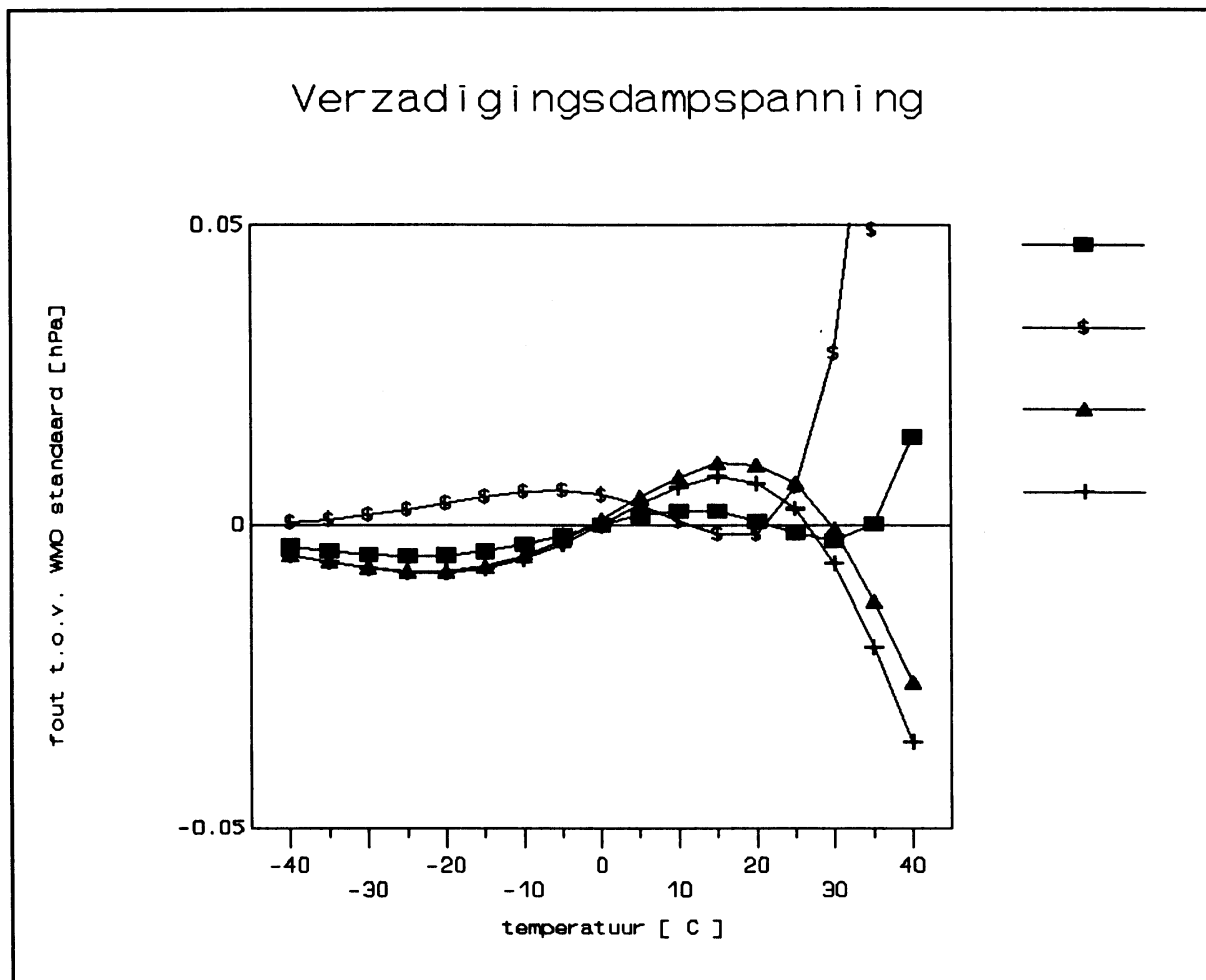
$$\theta_w = (0.00075 * P + 0.24953) * T_w + 52.18023 - 0.5217 * P \quad (7)$$

Voor de berekening van de natteboltemperatuur wordt de verzadigingsdampspanning e_s gebruikt. Deze wordt het nauwkeurigst benaderd door het Goff-Gratch polynoom

$$e_s(T) = 10^{**} \left(\begin{aligned} & 10.79574(1-T_1/T) \\ & - 5.02808 \log(T/T_1) \\ & + 1.50475 \times 10^{-4} [1 - 10^{-8.2969(T/T_1-1)}] \\ & + 0.42873 \times 10^{-3} [10^{4.76955(1-T_1/T)} - 1] \\ & + 0.78614 \end{aligned} \right) \quad (8)$$

waar bij $T_1 = \text{triple point} = 273.16 \text{ K}$

Deze benadering is door de WMO als standaard gekozen maar is erg rekenintensief. In de literatuur zijn verschillende goede benaderingen te vinden die minder rekenintensief zijn. Uit figuur 2 blijkt dat de formule van Magnus in het interval van -40° C en $+40^\circ \text{ C}$ het nauwkeurigst is. Voor de berekening van natteboltemperatuur is deze benadering het best. Overigens zijn de verschillen met andere benaderingen minimaal.



figuur 2. Verzadigingsdampdruk

$$\blacksquare = \text{Magnus} : es(T) = 6.1070 e^{\frac{17.38 T}{T+239.0}} \quad (9)$$

$$\S = \text{Bolton} : es(T) = 6.112 e^{\frac{17.67 T}{T+243.5}} \quad (10)$$

$$\blacktriangle = \text{Tetens} : es(T) = 6.1078 e^{\frac{17.2694 T}{T+237.3}} \quad (11)$$

$$+ = \text{Sprung} : es(T) = 6.107 \cdot 10^{\frac{7.5 T}{T+237.3}} \quad (12)$$

2.2. Verzadigingsoptilling 850 hPa

De verzadigingsoptilling geeft aan hoe hoog een luchtpakketje moet worden opgetild om verzadigd te raken. Het verschil in hoogte tussen het 850 hPa vlak en het optillingscondensatieniveau van het 850 hPa vlak noemt men de verzadigingsoptilling.

De verzadigingsoptilling is een maat voor de vochtigheid van de lucht. Vochtige lucht hoeft maar weinig te worden op getild om verzadigd te raken : de verzadigingsoptilling is klein.

berekenen van de verzadigingsoptilling

Uit de figuur in appendix 1 is de verzadigingsoptilling eenvoudig grafisch af te leiden. Door de druk behorend bij het snijpunt van de mengverhouding en de droogadiabaat af te lezen en deze van 850 af te trekken krijg je de verzadigingsoptilling. Dit proces zou ook iteratief kunnen worden uitgevoerd, maar het is sneller en nauwkeuriger om het condensatieniveau uit de mengverhouding te berekenen. Immers op het condensatieniveau is de mengverhouding (r) gelijk aan de verzadigde mengverhouding (r_{sat}).

$$r = \frac{e}{p-e} \text{ is gelijk aan } r_{sat} = \frac{e_{sat}(T)}{P(T) - e_{sat}(T)} \quad (13)$$

Hieruit kan de verzadigingstemperatuur T_{1cl} berekend worden op een manier analoog aan die in paragraaf 2.1. De druk op het verzadigingsniveau P_{1cl} is dan

$$P_{1cl} = P * \left(\frac{T_{1cl}}{T} \right)^{3.5} \quad (14)$$

2.3. Advectie theta-w

Een positieve advectiewaarde geeft aan dat er instroming is van warme lucht. Hoe hoger de advectiewaarden des te sterker de instroming van warme lucht en dus de optilling en daarmee de kans op bewolking en regen. In de zomer leidt bij hoge θ_w waarden een sterke θ_w advectie vaak tot de vorming van Mesoscale Convective Complexes of andere omvangrijke onweersgebieden. Hiervoor moet θ_w wel minstens 17 °C zijn. MCC's vormen zich hoofdzakelijk in avond en nacht. In de winter zal de θ_w advectie vaak aangeven waar een warmtefront ontstaat en waar er kans op sneeuw is.

Berekening van advectie θ_w

$$\text{advectie}(\theta_w) = \frac{u \cdot \partial \theta_w}{\partial x} + \frac{v \cdot \partial \theta_w}{\partial y} \quad (15)$$

u, v = windcomponenten [m s⁻¹]
 θ_w = potentiële natteboltemperatuur [°C of K]

De eenheid van advectie is 10⁻⁵ K s⁻¹.

2.4. Thermische frontparameter.

Wanneer je de verdeling van θ_w op het 850 hPa drukvlak bekijkt, zie je uitgestrekte homogene gebieden waarin de gradiënt gering is. Deze gebieden worden gescheiden door smalle (overgang) zones met een sterke gradiënt. Fronten bevinden zich aan de warme kant van de gradiënt, daar waar die gradiënt het grootst is, dus waar TFP waarden hoog en positief zijn.

Berekening van de thermische frontparameter :

De thermische frontparameter (TFP) zoals hier berekent, geeft de verandering van de θ_w gradiënt (tweede afgeleide van de θ_w).

$$TFP = - \left(\frac{\partial^2 \theta_w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta_w}{\partial y^2} \right) \quad (16)$$

2.5. Boyden index

De boydenindex is een index voor onweer. Bij een waarden hoger dan 95 is de kans op onweer, bij eventuele buien, groter dan 50%.

Berekenen van de boydenindex

$$\text{boydenindex} = D_{1000-700} - T_{700} - 200 \quad (17)$$

$D_{1000-700}$ = dikte van de lucht laag tussen de 1000 en 700 hPa [dam]

T_{700} = de temperatuur op het 700 hPa vlak [C]

2.6. Dikte 1000-500 hPa vlak

De dikte van de luchtlaag tussen de 1000 en 500 hPa vlakken vormt een maat voor de gemiddelde temperatuur van deze laag.

Berekenen van de dikte 1000-500 hPa vlak.

De dikte wordt uitgedrukt in meters en volgt uit het geopotentiaal verschil tussen het 500 en 1000 hPa vlak, gedeeld door de gravitatie constante g .

$$\text{dikte} = (\Phi_{500} - \Phi_{1000})/g \quad (18)$$

g = gravitatieconstante = 9.80665

Φ = geopotentiaal [m^2s^{-2}]

2.7. Divergentie

Divergentie duidt op dalende bewegingen. Convergentie (negatieve waarden van de divergentie) duidt op stijgende beweging. Bij voldoende vocht (kleine verzadigingsoptilling) kan dan gemakkelijk bewolking ontstaan.

Mist boven de Noordzee handhaaft zich vaak bij een divergent patroon, terwijl het bij een convergent patroon optrekt.

De divergentie wordt als volgt berekend :

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \quad (19)$$

De praktische eenheid die gebruikt wordt voor de divergentie is 10^{-6} s^{-1}

2.8. Absolute vorticititeit 500 hPa.

Vorticititeit is een maat voor draaiende luchtbeweging. Positieve relatieve vorticititeit op het noordelijk halfrond duidt vaak op een lage luchtdruk gebied (cyclonaal draaiend), negatieve op een hoog luchtdruk gebied (anticyclonaal draaiend).

Een absoluut vorticititeitscentrum is het effectieve rotatiecentrum en is op satellietbeelden meestal duidelijk zichtbaar. Het is dus een goed middel om analyses en verwachtingen van modellen op correctheid te controleren en eventueel bij te sturen. Verder is vorticititeit een hulpmiddel voor de plaatsbepaling van z.g.n. comma clouds en meestal ook voor koufronten. Deze wolkenformaties houden hun positie t.o.v. de isovorten, de lijnen van gelijke vorticititeit.

berekening van de vorticititeit op 500 hPa:

$$\text{Vorticititeit} \quad Z = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \quad (20)$$

$$\text{absolute vorticititeit } Z_A = Z + f \quad (21)$$

$$\text{coriolisparameter} \quad f = 2 * \Omega * \sin(\alpha) \quad (22)$$

Ω = draaisnelheid van de aarde in rad s⁻¹.

α = breedtegraad.

2.9. Neerslag

De meeste weersvoorspellingsmodellen geven de neerslag cumulatief. Zo is bv de neerslag van de +30 alle neerslag vanaf het analyse tijdstip tot 30 uur vooruit. Het apl+ programma berekend de neerslag per 6 uur. De +30 geeft dan de neerslag van +24 tot +30 uur vooruit.

2.10. Dauwpunts temperatuur

Uit de twee meter temperatuur T en de dampspanning e kan m.b.v. de formule van Magnus (9) de dauwpunt temperatuur worden berekend :

$$T_d = \left(\frac{239.0 L}{17.38 - L} \right) \quad (23)$$

$$L = \ln e - \ln 6.1070$$

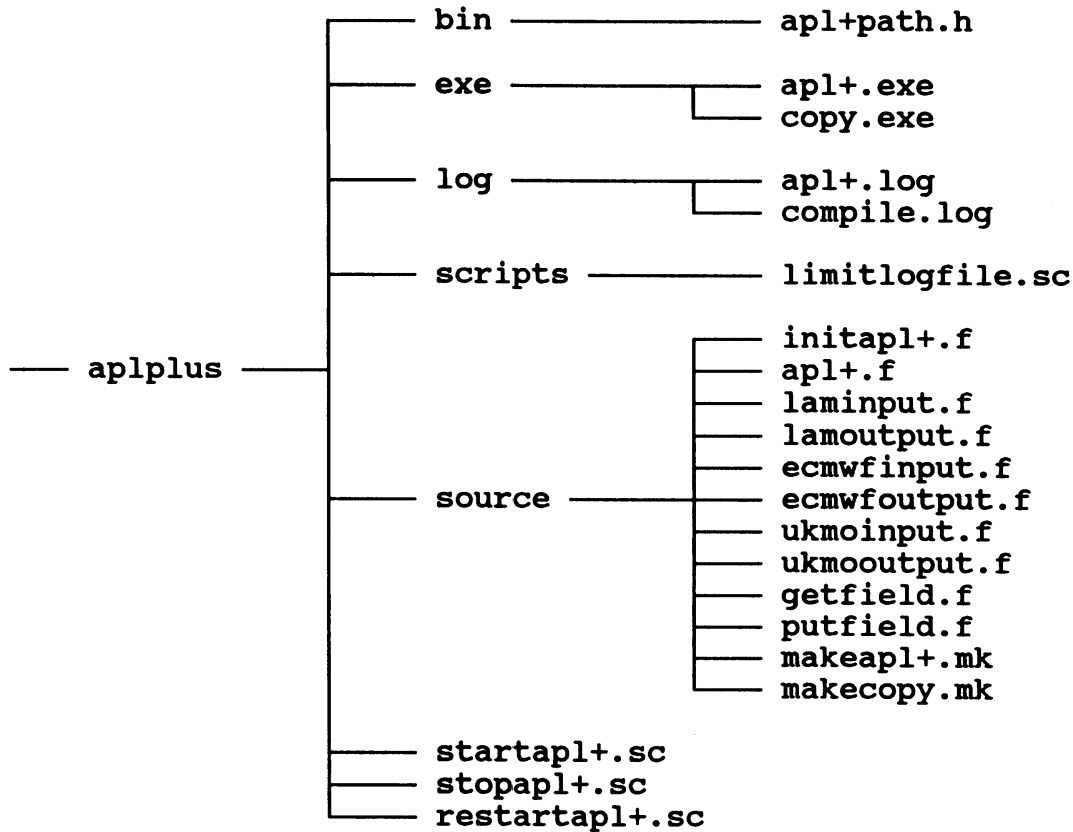
In plaats van de dampspanning kan ook de relatieve vochtigheid rv, de mengverhouding r of de specifieke vochtigheid q worden gebruikt. Immers

$$e = \frac{rv e_s(t)}{100} = \frac{P r}{0.622 + r} = \frac{q P}{0.622} \quad (24)$$

3. Beschrijving van het apl+ programma

3.1. De apl+ structuur.

In onderstaand schema zijn alle apl+ directories en programma's weergegeven.



Aplplus is de home-directory. Deze bevat de subdirectories bin, exe, log, scripts, source en de programma's om apl+ te starten. Uit de extensie van de file is op te maken wat voor een soort file het is :

- .f = fortran 77 programma
- .exe = een executable
- .sc = unix script
- _GB = gribcode file (in- en out-put)
- .log = logfile
- .mk = makefile
- .h = file met path namen. file namen en environment variabelen.

3.2 De apl+ programma's

Het fortran 77 programma **apl+** is het hoofdprogramma. Hierin staan alle subroutines om de afgeleide velden te berekenen.

Deze subroutines zijn :

- **init** → initialiseerd grib definition block (gribcode).
- **theta-w** → berekent theta-w 850.
- **lift** → berekent de verzadigingsoptilling.
- **boyden** → berekent de boyden index.
- **dikte** → berekent de dikte 500-1000 hPa.
- **advection** → berekent de advection van theta-w 850.
- **diver** → berekent de divergentie van de 10 m wind.
- **frontp** → berekent de thermische frontparameter.
- **vort** → berekent de absolute vorticititeit 500 hPa.

Vanuit het **apl+** programma worden de volgende fortran programma's aangeroepen :

- **laminput**, **ecmwfinput** en **ukmoinput**. Deze programma's lezen de (gribcode) velden van het betreffende atmosfeermodel.
- **lamoutput**, **ecmwfoutput** en **ukmooutput** schrijven de afgeleide velden in een gribcode database.
- **getfield** decodeert een gribcode bericht.
- **putfield** codeert een gribcode bericht.
- **init** initialiseert alle globale variabelen.

In de file **path.h** staan de namen van alle in- en uitvoerfiles, paden en environment variabelen. Wanneer het programma wordt geïnstalleerd, hoeft alleen deze file te worden aangepast.

Apl+.exe is het gecompileerde **apl+** programma. Deze executable wordt aangemaakt door de makefile **makeapl+.mk** die de fortran 77 files **initapl**, **apl+**, **laminput**, **lamoutput**, **ecmwfinput**, **ecmwfoutput**, **ukmoinput**, **ukmooutput**, **getfield** en **putfield** aan elkaar linkt en compileert.

Copy.exe is het gecompileerde **copy.f** programma. Dit programma kopieert een aantal basis velden direct van de invoerfile naar de uitvoerfile. Deze velden worden voor de presentatie gebruikt in combinatie met één van de afgeleide velden. Deze executable wordt aangemaakt door de makefile **makecopy.mk**.

In de **apl+.log** file wordt bijgehouden wanneer het **apl+** programma is gestart en of het programma foutloos is verlopen.

Compile.log bevat informatie over de laatste compilatie van het **apl+** programma. Eventuele compilatie fouten zijn in deze file terug te vinden.

Om te voorkomen dat de **apl+** logfile te groot wordt, zorgt het unix script **limitlogfile.sc** er voor dat berichten, ouder dan 10 dagen, uit de logfile worden verwijderd.

3.3 Het starten van het apl+ programma.

Het apl+ programma wordt gestart m.b.v. het script **startapl+.sc**. Dit script controleert of de juiste invoerfiles aanwezig zijn. Is dit niet het geval, dan wordt hier melding van gemaakt in de apl+ logfile en stopt het script. Indien wel dan worden de makefiles aangeropen. Deze zorgen dat de executables up to date zijn. Vervolgens kan het apl+ programma gestart worden. Afhankelijk van de argumenten die bij aanroep van het script worden meegegeven zal het programma het volgende doen :

1. Geen argument meegegeven : startapl+.sc

Het script bepaalt wat de datum van de laatste LAM uitvoerfile is en start het apl+ programma hiermee. De afgeleide velden van het LAM model worden berekend.

2. Als argument een model : startapl+.sc <model>

Het apl+ programma wordt gestart met als invoer de recentste <model> run. Model kan zijn LAM, ECMWF of UKMO.

3. Als argument een model en het aantal runs : startapl+.sc <model> <n>

Het apl+ programma wordt n keer gestart met als invoer de n laatste <model> runs

4. Als argument het model en een datum : startapl+.sc <model> <datum>

Het apl+ programma berekent de afgeleide <model> velden voor gegeven <datum>. Datum bestaat uit yymmdduu.

5. Als argument het model, startdatum, stopdatum en stap grootte : startapl+.sc <model> <startdat> <stopdat> <stap>

Het apl+ programma wordt de eerste keer gestart met de startdatum. De tweede keer met de startdatum plus stap aantal uren. De derde keer met startdatum plus tweemaal stap uren, etc, tot en met de stopdatum.

Het programma wordt binnen de apl m.b.v. de cron-utility automatisch gestart. Om de 3 uur worden de afgeleide velden van het LAM model berekend, om de 12 uur die van het UKMO model en om de 24 uur die van het ECMWF model.

Het automatisch starten kan worden geblokkeerd m.b.v. het script stopapl+.sc. Als dit script wordt aangeroepen met als argument een model, dan worden de afgeleide velden van betreffend model niet meer berekend. Wordt het script zonder argument aangeroepen, dan wordt van geen enkel atmosfeermodel de afgeleide velden berekend.

Met behulp van het script restartapl+.sc wordt deze blokkade weer ongedaan gemaakt en zal het apl+ programma weer automatisch starten. Restartapl+.sc kan ook met een model als argument worden gestart, zodat voor betreffend model de blokkade ongedaan gemaakt wordt.

3.4. In en uitvoerfiles.

Zowel de apl+ in- als uitvoerfiles zijn gribcode files. Het apl+ programma leest uit de apl database een van de volgende files van het LAM, ECMWF of UKMO model.

```
LAMF_FMT_yymmdduu00_00000_AB
ECMF_PQS_yymmdduu00_00000_AB
UKMO_ARG_yymmdduu00_00000_AB
```

De apl+ uitvoerfiles zijn :

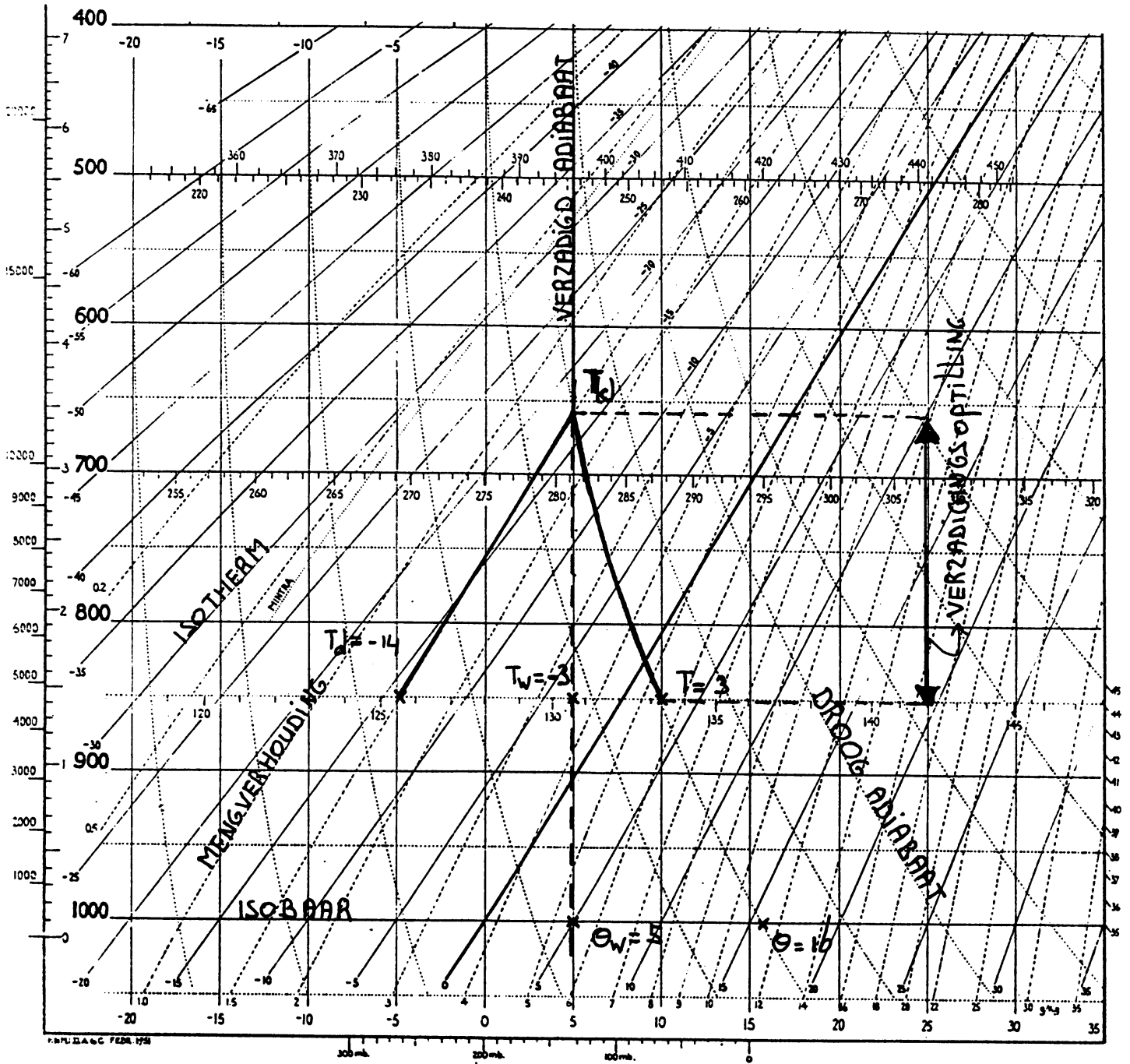
titel	grootte (mbyte)	aantal per etmaal	cpu gebruik	
			analyse (sec)	fore cast
APL+_LAM_yymmdduu00_00000_AB	0.32	8	5	30
APL+_ECM_yymmdduu00_00000_AB	0.62	1	nvt	35
APL+_UKM_yymmdduu00_00000_AB	0.22	4	3	25

De apl+ uitvoerfile bestaat uit het zelfde gebied als de invoerfile en heeft evenveel roosterpunten. Uitvoerfiles ouder dan drie dagen worden door het script startapl+.sc verwijderd.

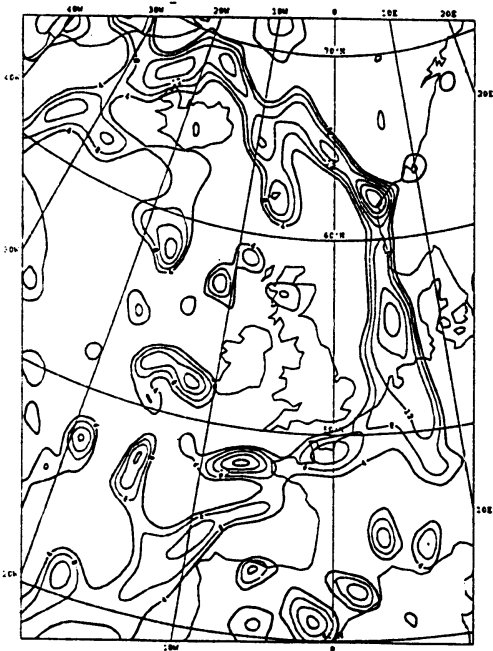
De gribcode parameters (uit het produkt definition block) van de afgeleide velden zijn :

parameter	veld
128	theta-w
129	verzadigingsoptilling
130	advectie theta-w
131	thermische frontparameter
132	boyden index
8	dikte 500-1000 hPa
44	divergentie 10 m wind
41	absolute vorticititeit
61	neerslag

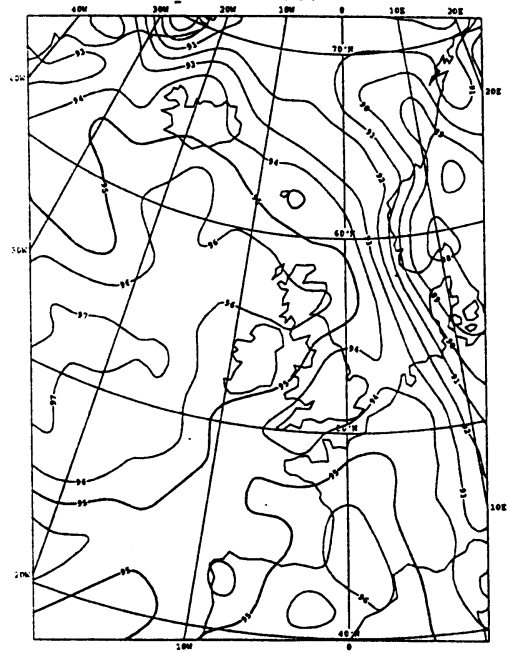
Appendix 1 Potentiële natteboltemperatuur uit θ_e -p diagram.



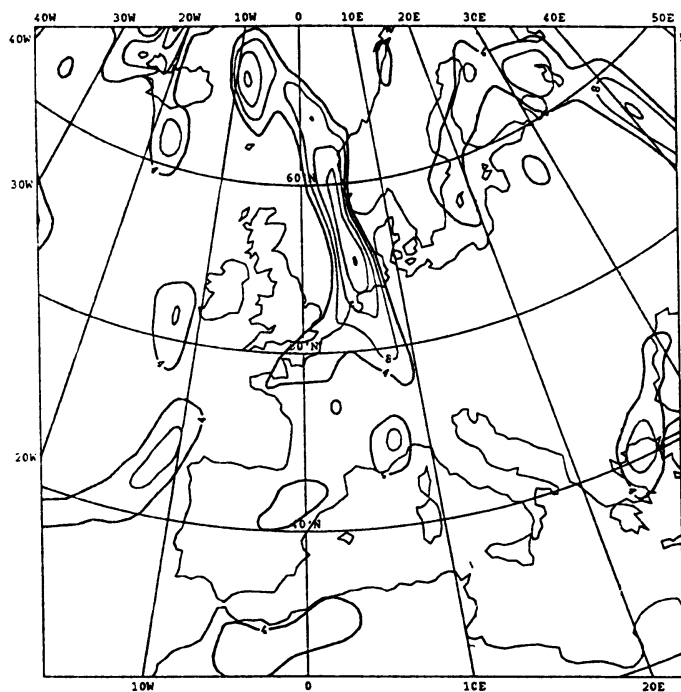
- T = temperatuur 850 hPa = 3 °
- Td = dauwpunts temperatuur op 850 hPa = -14 °
- Tw = natteboltemperatuur = -3
- θ = potentiële temperatuur = 16 °
- θ_w = potentiële natteboltemperatuur = 5 °



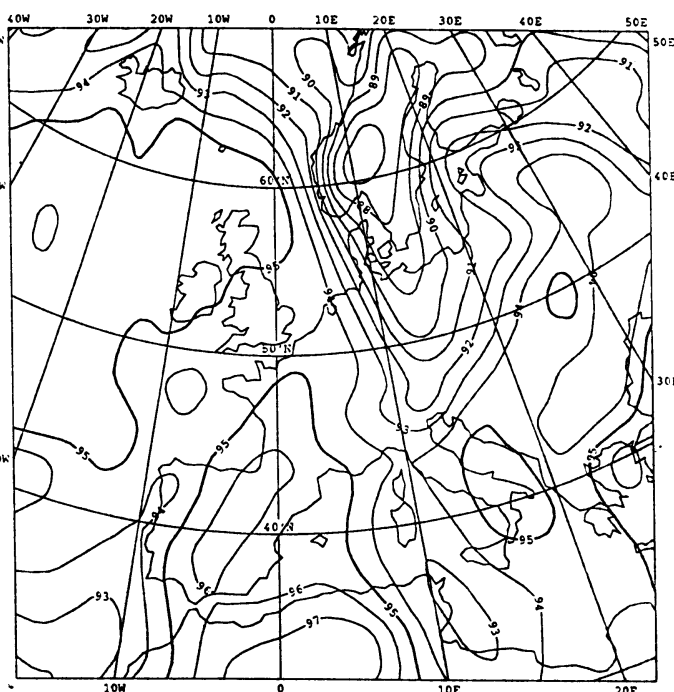
thermische frontparameter



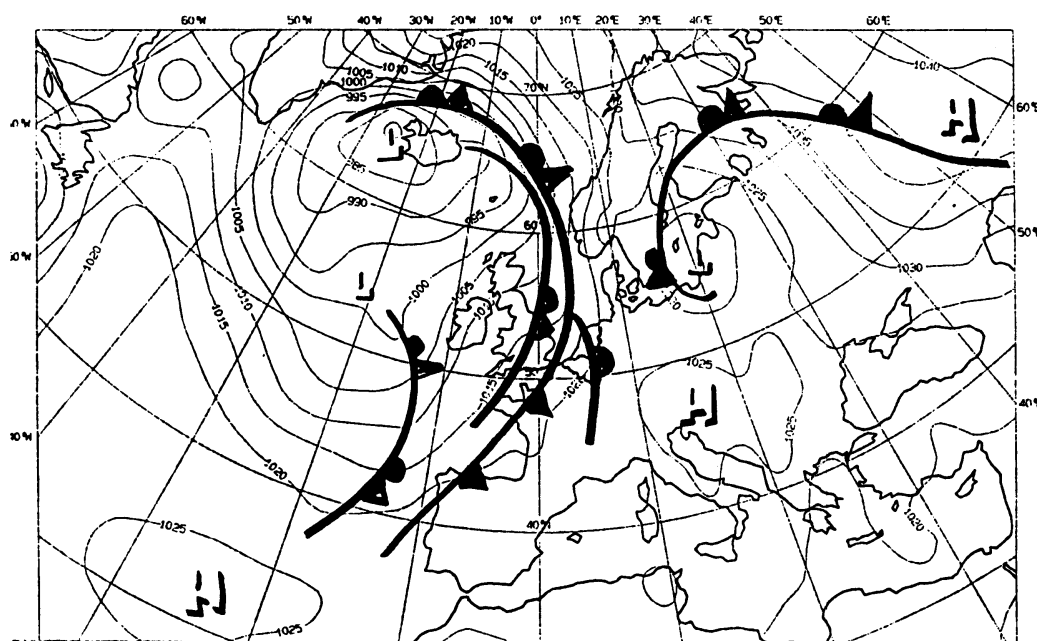
boydenindex



thermische frontparameter



boydenindex



kaartje van de weerdienst met fronten ingetekend

Appendix 3 Gebruikte notatie

C_{pd}	= soortelijke warmte van droge lucht bij constante druk = 1004.67	[J kg ⁻¹ K ⁻¹]
e	= dampspanning	[hPa]
$e_s(T)$	= verzadigde dampspanning bij temperatuur T	[hPa]
f	= coriolis parameter	
Ω	= draaisnelheid van de aarde	[rad s ⁻¹]
P_0	= luchtdruk aan de grond	[hPa]
P	= luchtdruk	[hPa]
r	= mengverhouding	
rv	= relatieve vochtigheid	[%]
T	= temperatuur	[C]
T_d	= dauwpunt temperatuur	[C]
T_w	= natteboltemperatuur	[C]
θ	= potentiële temperatuur	[C]
θ_w	= potentiële natteboltemperatuur	[C]
$L_v(T)$	= verdampingswarmte van water bij T ° C	[J kg ⁻¹]
ϵ	= verhouding gasconstante van droge lucht en waterdamp = 0.6220	
q	= specifieke vochtigheid	
Z	= vorticititeit	
Z_a	= absolute vorticitiet	

Referenties

- Abbott P.F. and Tabony R.C.(1985) The estimation of humidity parameters. *Meteorological Magazine*, 114, 49-56.
- Bolton D. (1980) The Computation of Equivalent potential Temperature. *Monthly Weather Review*, 108, 1046-1053.
- Blaauboer D. (1992) *Definition and input source of various derived parameters*. [Intern dokument].
- Floor C. (1992) *Produkten van atmosfeermodellen en meerdaagse verwachtingen*. [Intern dokument].
- Hafkenscheid L.M. (1979) *Snel convergerende iteratieprocedure voor het berekenen van de (isobarische) natteboltemperatuur*. KNMI verslagen V-327, 5p.
- Hafkenscheid L.M, Bernard J.H.A, Wessels H.R.A, Reiff J, Saraber M.J.M. (1979) *Analyse methoden en frontenstructuur*. *Synoptisch symposium*, KNMI Wetenschappelijk Rapport WR.79-2, 61p.
- Holton J.R.(1979) *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Second edition, Academic Press, 391 p.
- Otten H. (1982) *Handleiding voor het gebruik van verwachtingsondersteuningskaarten*. [Intern document].
- Stull R.B.(1988) *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Kluwer Academic Publishers, 666p
- Wessels H.R.A.(1991) *Syllabus Fysische meteorologie I*. KNMI Technisch Rapport TR-140, 55p.
- Wexler A.(1976) Vapor Pressure Formulation for Water in Range 0 to 100 °C. A Revision. *Journal of Research*, Vol.80a, p775-785.
- World Meteorological Organisation (1988) *Definition and specifications of water vapour in the atmosphere*. Technical Regulations, Vol 1, Geneva, WMO no 49, Appendix b.