

KONINKLIJK NEDERLANDS  
METEOROLOGISCH INSTITUUT

D e B i l t

Verslagen

V - 284

H.M. van den Dool

Over de verklaring van persistentie  
in de maandgemiddelde temperatuur

De Bilt, 1977

Publikationsnummer: K.N.M.I. V- 284 (M.O.)

U.D.C.: 551.509.323 :  
551.509.331

## Samenvatting

In dit verslag wordt een poging gedaan te begrijpen waarom er maand op maand persistentie is in de maandgemiddelde temperatuur (T30). Er zijn twee effecten te onderscheiden. In de eerste plaats persistentie in de circulatie die, vertaald in weer, persistentie in T30 oplevert. Een tweede faktor is een direkte invloed van anormale thermische omstandigheden in de atmosferische grenslaag in de nabije omgeving van de thermometerhut, b.v. een te warme Noordzee.

Over de circulatie-invloed is uit de literatuur weinig bekend. In dit verslag is de mogelijke direkte invloed nader onderzocht m.b.v. zeewatertemperaturen van het lichtschip Texel (gegevens van P.C.T. van der Hoeven), en luchttemperaturen in Den Helder, De Bilt en Beek.

Op grond van berekeningen van een aantal correlaties zijn enkele konklusies te trekken.

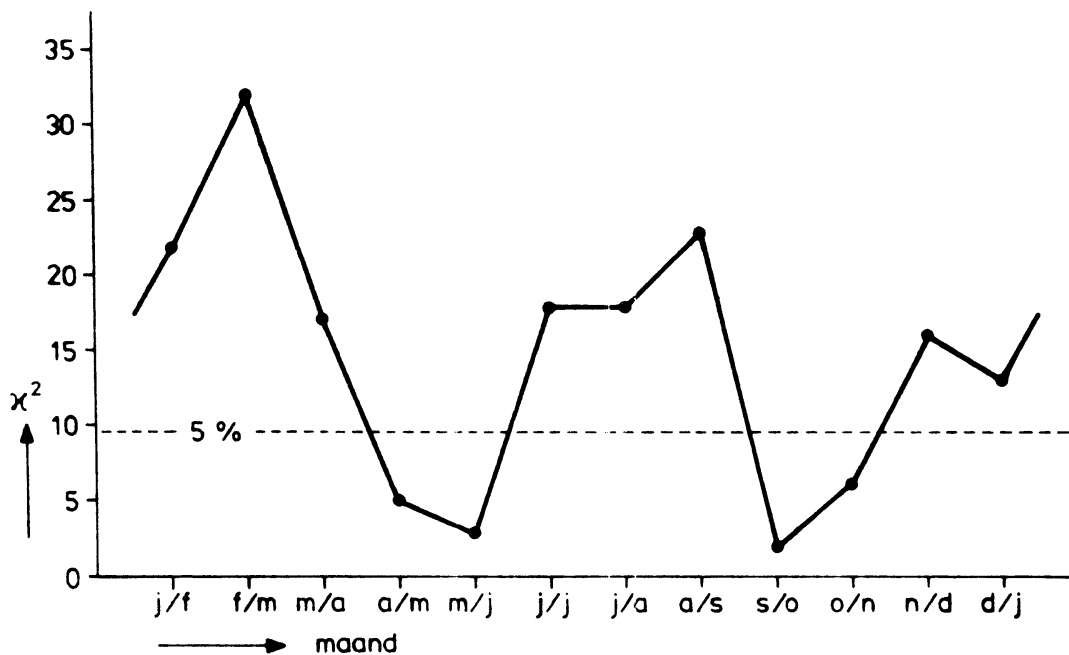
- 1) Er is in alle drie hier onderzochte landstations een kleine bijdrage aan de persistentie in T30 doordat de zee als extern geheugen fungeert. Dit effect is het sterkst in Den Helder.
- 2) De maand-op-maand persistentie in de temperatuur is als gevolg hiervan het grootst in Den Helder. In verscheidene maanden zijn voor Den Helder zeer zinnige kansuitspraken te doen over T30 in de komende maand.

Over het duidelijke verschil in persistentie in T30 over kleine afstanden van 50 a 100 km was weinig bekend.

## 1. Inleiding

In een eerder verschenen WR [1] werd onderzocht hoe men met minimale inspanning een verwachting van de maandgemiddelde temperatuur (T30) te De Bilt kan geven waarmee een prestatie-index (PI) te behalen is, die kan concurreren met semi-operationele methoden. Met behulp van zgn. overgangsregels, afgeleid uit historische gegevens, is een PI te behalen, die over 6 jaar onafhankelijke gegevens (1971-1976) ongeveer 0.10 bedraagt.

De aard van deze overgangsregels is grotendeels persistentie. Dat houdt in, dat de kans op voortzetting van een temperatuur-anomalie groter is dan op grond van toeval is te verwachten. Een interessante vraag is waarom er persistentie is in T30 en waarom deze persistentie zo'n grillig verloop heeft door het jaar, zie figuur 1.



Figuur 1. Verloop van de persistentie van T30 door het jaar heen, uitgedrukt in de waarde  $\chi^2$  behorend bij de overgangsmatrix van twee opeenvolgende maanden (j/f = januari naar februari). Periode 1735-1975.

Langs de vertikale as is de  $\chi^2$  uitgezet (zie onderschrift) voor twee opeenvolgende maanden (zie [1]). Hoe groter  $\chi^2$  hoe meer de kansen op een bepaalde T30 in de komende maand worden beïnvloed door T30 in de vorige maand. Uit figuur 1 zien we voorts dat in 8 van 12 gevallen de  $\chi^2$ -waarde groter is dan de waarde behorende bij een overschrijdingskans van 5 % (zie [1]). De persistentie is het grootst aan het einde van de hoogseizoenen, d.w.z. februari → maart en augustus → september. Persistentie op de tijdschaal van een maand is te verwaarlozen van april tot juni en van september tot november.

## 2. Maand-op-maand persistentie als gevolg van dag-op-dag persistentie

Een eerste verklaring van het verband tussen maandgemiddelde temperaturen zou gelegen kunnen zijn in de dag-op-dag correlatie van de etmaalgemiddelde temperatuur. Indien op de laatste dag van de uitgangsmaand (maand 0) de temperatuur boven normaal is, is de kans op boven-normale temperaturen gedurende de eerste dagen (zeg 5) van de voorspel-maand (maand 1) groter dan de klimatologische. Aannemende dat over de overige 25 dagen niets bekend is, dan nog weet men dat de maandgemiddelde temperatuur, uitsluitend t.g.v. de eerste 5 dagen, een grotere dan klimatologische kans zal hebben om boven normaal uit te vallen. Indien we uitsluitend hierop onze verwachtingen baseren, zou het overigens een lange reeks vergen om dit kleine effect aan te tonen. De PI van deze "voorspelmethode" zal wel klein zijn. Vermoedelijk houdt de lange-termijn forecaster wel rekening met dit effect.

We zullen in het onderstaande de correlatiecoëfficiënt tussen opeenvolgende (niet overlappende) maandgemiddelden afleiden op basis van een lineair eerste-orde Markov-proces voor de etmaalgemiddelde temperaturen. We kunnen dan de reeks afwijkingen van normaal van etmaalgemiddelde temperaturen  $T_i$  voorstellen door

$$T_{i+1} = \rho T_i + \varepsilon_{i+1} \quad (2.1)$$

waarin  $\varepsilon$  een random toevoeging is met verwachtingswaarde 0.  $\rho$  stelt de autocorrelatie voor op "lag" 1, zoals blijkt uit het

middelen over zeer lange tijd ( $\bar{\quad}$ ) van de met  $T_i$  vermenigvuldigde vgl. (2.1).

$$\overline{T_i T_{i+1}} = \rho \overline{T_i^2} + \overline{\varepsilon_{i+1} T_i}$$

Aangezien  $\overline{\varepsilon_{i+1} T_i}$  de verwachtingswaarde 0 heeft, krijgen we

$$\rho = \overline{T_i T_{i+1}} / \overline{T_i^2}$$

hetgeen juist de definitie van de autocorrelatiecoëfficiënt op lag 1 is.

Beschouwen we nu een maandgemiddelde:  $\frac{1}{30} \sum_{j=i}^{i+29} T_j$ .

Dan is de autocorrelatie van T30 op lag 1 maand:

$$\rho_{30} = \frac{\frac{1}{30} \sum_{j=i}^{i+29} T_j \cdot \frac{1}{30} \sum_{k=i+30}^{i+59} T_k}{\left( \frac{1}{30} \sum_{j=i}^{i+29} T_j \right)^2}$$

Met vrij veel rekenwerk kan men tenslotte krijgen (Rijkoort, persoonlijke mededeling):

$$\rho_{30} = \frac{\rho(1-\rho^{30})^2}{30(1-\rho^2) - 2\rho(1-\rho^{30})} \quad (2.2)$$

In tabel 1 staan waarden voor  $\rho_{30}$  bij gegeven  $\rho$  berekend volgens (2.2).

$\rho$	$\rho_{30}$
0.2	0.007
0.4	0.016
0.6	0.033
0.7	0.050
0.8	0.087
0.9	0.208
0.99	0.820

Tabel 1.

Enkele waarden voor de maand-op-maand autocorrelatie als de dag-op-dag autocorrelatie gegeven is. De cijfers gelden voor een eerste-orde lineair Markov-proces.

Voor dag-op-dag correlaties groter dan 0.8 kan  $\rho_{30}$  al aanzienlijk worden. In tabel 2 geven we de uit "waargenomen" maandgemiddelde temperaturen berekende  $\rho_{30}$  getallen voor De Bilt over de periode 1890-1975.

maanden	j/f	f/m	m/a	a/m	m/j	j/j	j/a	a/s	s/o	o/n	n/d	d/j
$\rho_{30}$	0.41	0.38	0.25	-0.11	0.14	0.13	0.31	0.40	0.25	0.00	-0.06	0.20

Tabel 2. Berekende waarden voor de autocorrelatie van T30 op lag 1 maand voor De Bilt 1890-1975. (De standaarddeviatie bedraagt ongeveer 0.1!).

In de winter, vroege lente en in de nazomer komen  $\rho_{30}$  waarden voor, die niet uit dag-op-dag correlaties zijn te verklaren. Op het KNMI bleken geen studies voorhanden waaruit de grootte van  $\rho$  en de jaarlijkse gang in  $\rho$  met enige nauwkeurigheid te geven zijn. Om toch een idee te geven werd over de periode 1971-1975 per maand de dag-op dag correlatie van de etmaaltemperatuur bepaald voor De Bilt. Per kalender maand werden de vijf uitkomsten gemiddeld. Deze gemiddelde correlaties zijn in tabel 3 gegeven tezamen met de spreiding van dit gemiddelde.

	jan	feb	mrt	apr	mei	juni	juli	aug	sept	okt	nov	dec	totaal
correlatie	.64	.56	.78	.68	.69	.76	.70	.68	.73	.71	.68	.72	.69
spreiding	.05	.08	.07	.07	.03	.05	.05	.06	.05	.07	.03	.05	

Tabel 3. Gemiddelden over 5 jaar van de dag-op dag correlatie van de etmaalgemiddelde temperatuur opgemaakt per kalendermaand. In de onderste rij de spreiding van dit gemiddelde.

Op grond van tabel 3 en tabel 1 moet men concluderen dat maand-op-maand correlaties groter dan 0.1 niet te verklaren zijn uit dag-op-dag correlaties. Kennelijk gaat het Markov-model (zie vgl. (2.1) niet meer op voor grotere time-lags.

We moeten nu een poging doen te verklaren waarom de temperatuur van de lucht op 1.50 meter te De Bilt enig extra geheugen toont op tijdschalen in de orde van enkele weken. Voor lange-termijn verwachtingen zou het zeer instructief zijn de fysische achtergronden van dit extra geheugen toe te lichten.

### 3. Speculaties over maand-op-maand geheugen

De warmtecapaciteit van lucht is niet groot genoeg om de atmosfeer een langdurig thermisch geheugen te verschaffen. Daarvoor zijn media nodig, die een afwijkende temperatuur over langere tijd kunnen vasthouden. Het enige medium dat in aanmerking lijkt te komen is water, hetzij in vloeibare hetzij in vaste vorm. Er zijn vele manieren waarop we anomalieën in de temperatuur aan de onderzijde van de atmosfeer kunnen laten ontstaan. Om de gedachten te bepalen enkele voorbeelden.

1. Langdurig stroomt warme/koude lucht over de zee, welke hierdoor duurzaam opwarmt/afkoelt.
2. Bij wind evenwijdig aan kusten kan door opwelling koud zeewater omhoog komen.
3. Onder een depressie kan door opwelling een plek koud zeewater ontstaan.
4. De wind kan een anormale zeestroming onderhouden waardoor (anormale) advectie van warm/koud zeewater plaatsvindt.
5. Koude circulaties in de atmosfeer kunnen de vaste aarde van sneeuw voorzien. Dit heeft ook nog invloed via de stralingshuishouding.

In dit (onvolledige) lijstje vinden we de atmosfeer op een aantal manieren als directe veroorzaker van het creëren van anomalieën in (of op) het onderliggende oppervlak. Deze anomalieën bestaan voort, soms lang nadat de oorzaak is weggevallen. De vraag is nu of zulke anomalieën terugkoppelen op de atmosfeer. Over de invloed van de atmosfeer op de oceaan, momentaan en prognostisch, zijn we vrij zeker, zie b.v. [2]; over de invloed van de oceaan op de atmosfeer is minder bekend, hoewel hierover ruim gespeculeerd is ([3], [4], [5]) met name door Namias in talloze artikelen (zie b.v. [6]).

Bij de vraag of de zee invloed heeft op de atmosfeer, is het van belang onderscheid te maken in directe (A) en indirecte (B) terugkoppeling.



- A. Als we een bak water naast een thermometer zetten, zal een anomale temperatuur van het water worden meegedeeld aan de lucht waarvan we de temperatuur meten. Met deze direkte invloed blijven we binnen de grenslaag. We weten dat in het zeewater voor de Nederlandse kust afwijkingen van de klimatologische normaal van 1°C regelmatig kunnen voorkomen. De invloed hiervan op de maand-op-maand persistentie van de luchttemperatuur wordt in sectie 4 besproken. Dat er een dergelijke invloed is van de zee op persistentie in T30 in een beperkt gebied is al door Craddock en Ward [10] gesuggereerd.
- B. Een anomalie in het zeewater van voldoende omvang zou de circulatie van de lucht op grote schaal kunnen beïnvloeden. Persistentie in de circulatie kan, vertaald in weer, aan de grond persistentie in T30 geven.

Bij de bestudering van de indirecte invloed doen zich onmiddellijk twee vragen voor:

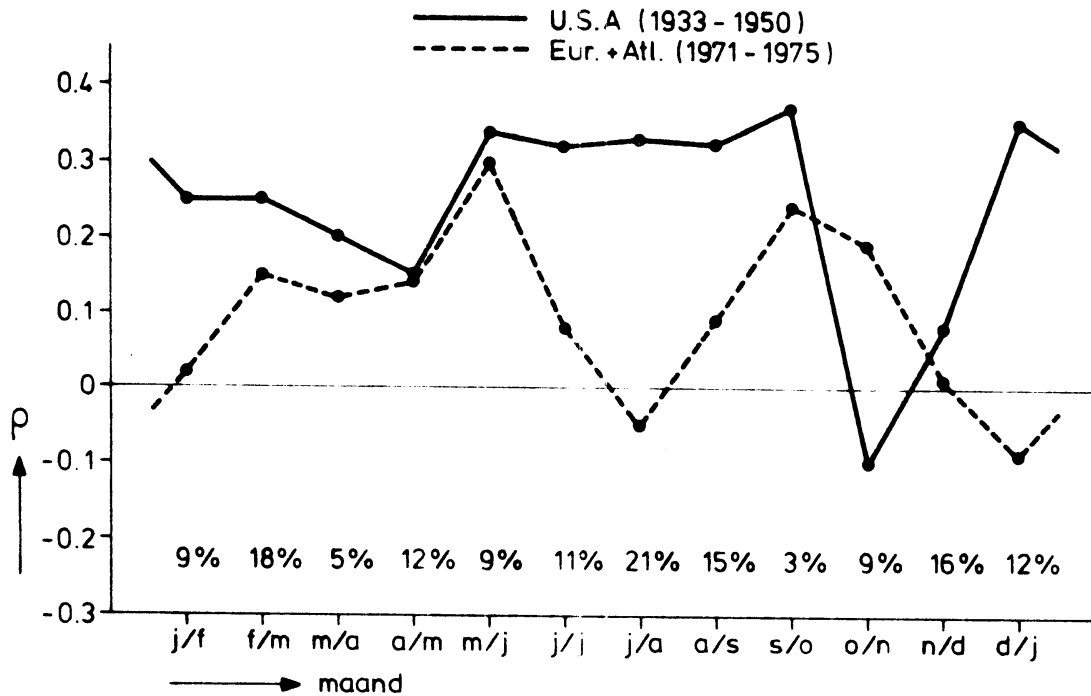
1. Is er een jaarlijkse gang in de maand-op-maand persistentie van de circulatie en lijkt deze op het verloop in figuur 1 en in tabel 2?
2. Kan persistentie in de circulatie, indien aanwezig, het hele jaar door worden vertaald in persistentie in de temperatuur?

ad 1. Vraag 1 is aan de hand van de literatuur niet eenduidig te beantwoorden. Namias [7] bepaalde ruimtelijke correlaties tussen de anomalieën van het 700 mbar vlak in opeenvolgende maanden. De ruimtelijke correlatie tussen twee met de normaal verminderde velden A en B is gedefinieerd als

$$\rho(A,B) = \frac{\overline{A_i B_i} - \overline{A_i} \overline{B_i}}{\left( (\overline{A_i^2} - \overline{A_i}^2) (\overline{B_i^2} - \overline{B_i}^2) \right)^{\frac{1}{2}}}$$

waarin  $A_i, B_i$  de waarde van beide velden in het  $i^{\text{de}}$  rasterpunt.  $(\overline{\quad})$  stelt een gewogen gebiedsgemiddelde voor. Het gebied omvatte de USA; het tijdvak was 1933-1950. Deze correlatie is in figuur 2 weergegeven. Eveneens in figuur 2 vinden

we dezelfde correlatie voor het Europees-Atlantisch gebied over de jaren 1971-1975 (zie [8]).



Figuur 2. Ruimtelijke correlaties van anomalieën in het maandgemiddelde 700 mbar vlak (volgens [7] en [8]) en (in getalvorm) verificatiewaarden voor persistentieverwachtingen van de maandgemiddelde grondkaart (zie [9] en tekst).

Vergelijken we het grafisch beeld van deze twee correlaties, dan blijkt dat er gemiddeld over het gehele jaar sprake is van zwakke persistentie van de maandgemiddelde hoogte van 700 mbar. Het gaat echter te ver om te zeggen dat we veel gelijkens met figuur 1 zien.

Voor de maandgemiddelde luchtdruk op zeeniveau publiceerde Colgate [9] de resultaten van persistentieverwachtingen voor het gehele noordelijke halfrond. Het teken van de afwijking in een bepaalde maand werd voor elk van de 130 roosterpunten opgevat als forecast voor de volgende maand. Bleek deze verwachting in meer dan de helft van het aantal roosterpunten juist te zijn,

dan noemen we dit een treffer. Het totaal aantal treffers verminderd met het door toeval te bereiken aantal treffers gedeeld door het totaal aantal verwachtingen geeft een PI-achtige verificatie-score, die onder in figuur 2 staat.

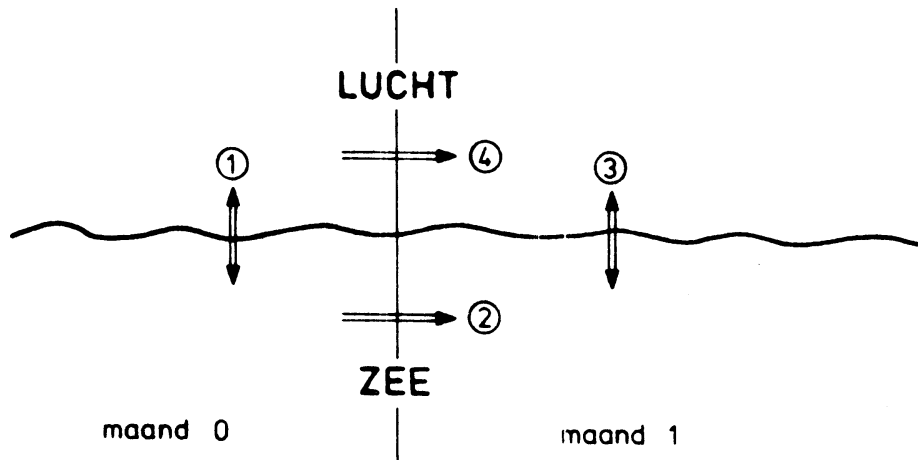
Uit deze drie studies laat zich geen duidelijk beeld over de jaarlijkse gang in de persistentie van de maandgemiddelde circulatie destilleren. Ten dele komt dit ook omdat de studies [7], [8] en [9] op verschillende gebieden, drukvlakken en tijdvakken betrekking hebben. Wel is zeker dat er enige persistentie is in de maandgemiddelde circulatie.

- ad 2. Over de vertaalbaarheid van gemiddelde circulatie in gemiddeld weer is weinig kwantitatief te zeggen. Het persisteren van hetzelfde circulatietype garandeert voor de temperatuur beslist geen persistentie. Zo zal b.v. een continentale circulatie in maart (koud), die doorstaat in april, zowel koud als warm weer kunnen brengen.

#### 4. Een directe invloed van de temperatuur van het Noordzeewater en de maandgemiddelde luchttemperatuur

Voor de bestudering van een directe terugkoppeling van zee-watertemperatuur-anomalieën naar T30 maken we gebruik van waarnemingen van de zeewatertemperatuur, welke werden bewerkt en gecompleteerd door P.C.T. van der Hoeven. Als we een aantal zeewatertemperatuurreeksen vergelijken, blijkt dat het teken van de anomalie veelal hetzelfde is voor de diverse lichtscheperen voor de Nederlandse kust. Om die reden konden we volstaan met één lichtschip, nl. Texel, waarvan een waarnemingsreeks van 1890-1975 ter beschikking stond. Vóór 1941 lag dit schip (toen Haaks) 29 km uit de kust, thans ligt het lichtschip Texel 24 km uit de kust. Vanwege deze verplaatsing moest een kleine seizoensafhankelijke correctie worden uitgevoerd.

In figuur 3 is in beeld gebracht hoe men zich een verband tussen T30 in maand 0 en maand 1, met als extern geheugen de zee, zou kunnen voorstellen.



Figuur 3. Hoe men zich zou kunnen voorstellen dat de persistentie in T30 (communicatie ④) het gevolg is van ① communicatie tussen zee en lucht in maand 0, ② communicatie tussen de zee in maand 0 en in maand 1 en tenslotte ③ een communicatie tussen de lucht en de zee in maand 1.

De communicaties 1, 2 en 3 kunnen bijdragen aan persistentie van T30. Daartoe is allereerst een goede uitwisseling van warmte tussen zee en lucht nodig (1 en 3) en voorts een flinke thermische traagheid van de zee. Overigens zijn de goede communicaties 1 t/m 3 noodzakelijke, maar niet voldoende voorwaarden om een bijdrage te leveren aan de maand-op-maand persistentie, zoals uit het vervolg blijkt.

We onderzoeken de communicaties nu met correlatiecoëfficiënten. Voor twee tijdreeksen  $x(t)$  en  $y(t)$  kan worden berekend:

$$\rho(x,y) = \frac{\overline{x'y'}}{\sqrt{\overline{x'^2} \overline{y'^2}}}$$

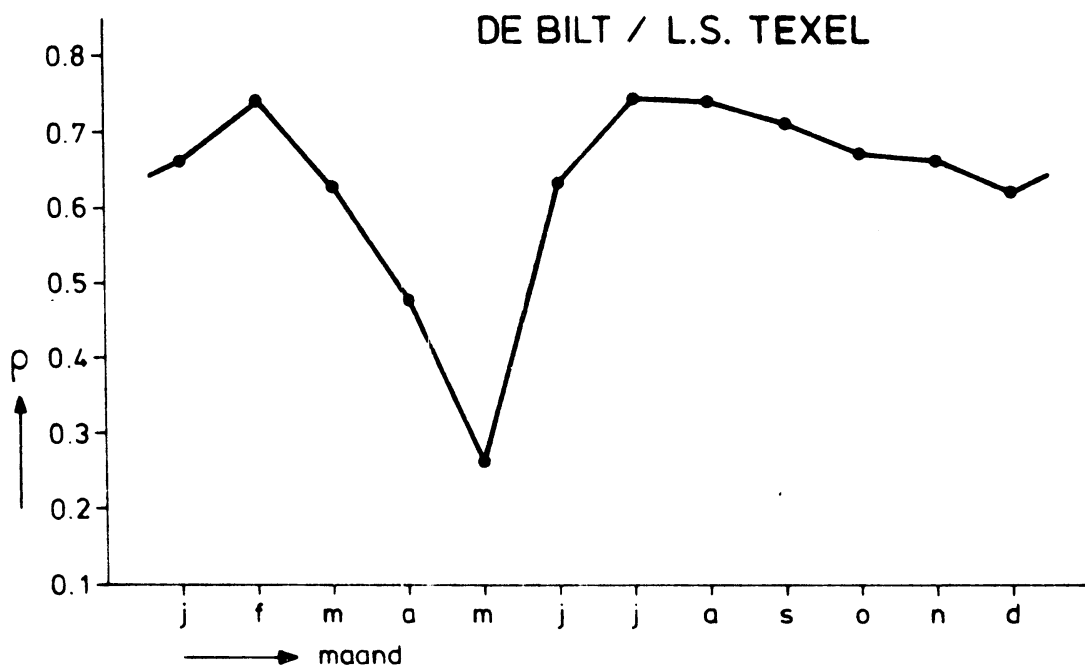
waarbij  $x, y$  de respektieve gemiddelden zijn en  $x', y'$  de deviaties:  $x' = x - \bar{x}$ ,  $y' = y - \bar{y}$ .

De navolgende correlaties zijn bepaald per kalendermaand (i) over de periode 1890-1975:

$$\begin{aligned} \rho(T_{30}(i), T_{30}(i+1)) & \quad (\text{zie tabel 2}) \\ \rho(T_{30}(i), T_{z30}(i)) & \quad (\text{communicatie 1 en 3}) \\ \rho(T_{z30}(i), T_{z30}(i+1)) & \quad (\text{communicatie 2}) \\ \rho(T_{z30}(i), T_{30}(i+1)) & \end{aligned}$$

waarin  $i$  het nummer van de maand is, januari = 1 etc., en  $T_{z30}$  de maandgemiddelde temperatuur van het zeewater bij het lichtschip Texel.

$T_{30}$  zal in eerste instantie betrekking hebben op De Bilt. In figuur 4 is uitgezet  $\rho(T_{30}(1), T_{z30}(i))$ , de momentane correlatie tussen de maandgemiddelde zeewatertemperatuur en luchttemperatuur.

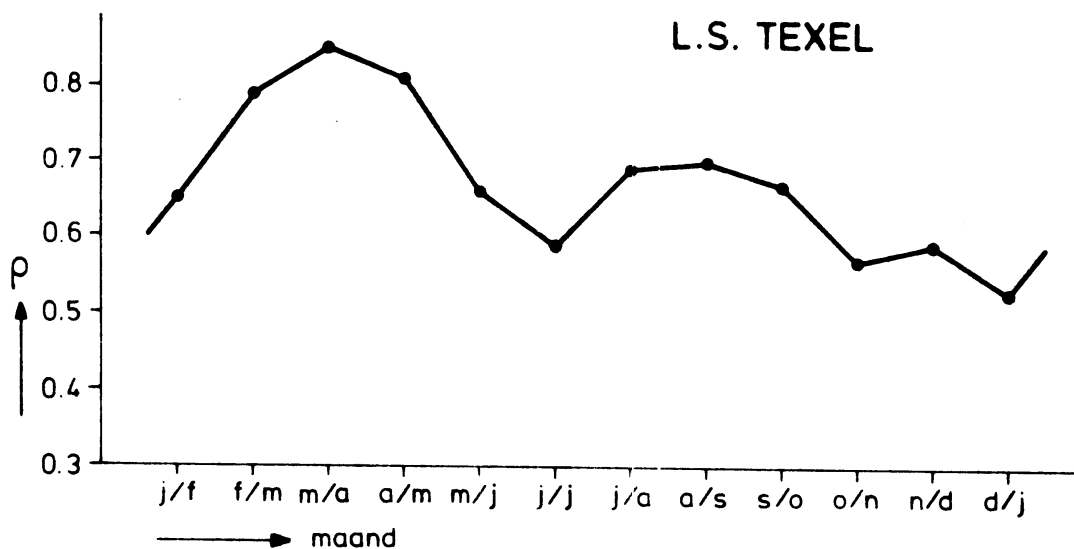


Figuur 4. De correlatiecoëfficiënt tussen  $T_{30}$  en  $T_{z30}$  als functie van de kalendermaand. Periode 1890-1975.

Uit figuur 4 blijkt dat de correlatie zich beweegt tussen 0.6 en 0.7 met april en mei als uitzondering. Wetende dat zowel in maand  $i$  als maand  $i+1$  de communicatie tussen zee en lucht goed moet zijn, concluderen we dat het geheugen van de zee weinig aan

de persistentie van  $T_{30}$  bijdraagt in april  $\rightarrow$  mei en mei  $\rightarrow$  juni. Uit figuur 1 bleek ook al dat er in deze maanden weinig geheugen te verklaren valt.

In figuur 5 is de correlatie tussen  $T_{z30}$  in opeenvolgende maanden gegeven. Hiermee geven we een idee van het geheugen van de zee.



Figuur 5. De correlatiecoëfficiënt  $\rho(T_{z30}(i), T_{z30}(i+1))$  als functie van de kalendermaand.  $i = 1$ : januari etc.

Het resultaat is dat in alle maanden een redelijk verband bestaat tussen zeevatertemperaturen in opeenvolgende maanden. Een maximum is er (merkwaardigerwijze) in het vroege voorjaar, terwijl er een secundair maximum in de buurt van augustus te vinden is. De laagste waarden,  $\rho \approx 0.55$ , vallen in de winter.

Met het fysisch beeld uit figuur 3 en de resultaten uit de figuren 4 en 5 weten we dat aan een aantal voorwaarden, die de persistentie in  $T_{30}$  bevorderen, is voldaan. Dit is echter nog niet voldoende om  $T_{z30}$  prognostische waarde met betrekking tot  $T_{30}$  te geven.

Immers indien

$$\rho(T_{z30}(i), T_{z30}(i+1)) = r_1 \quad \text{en}$$

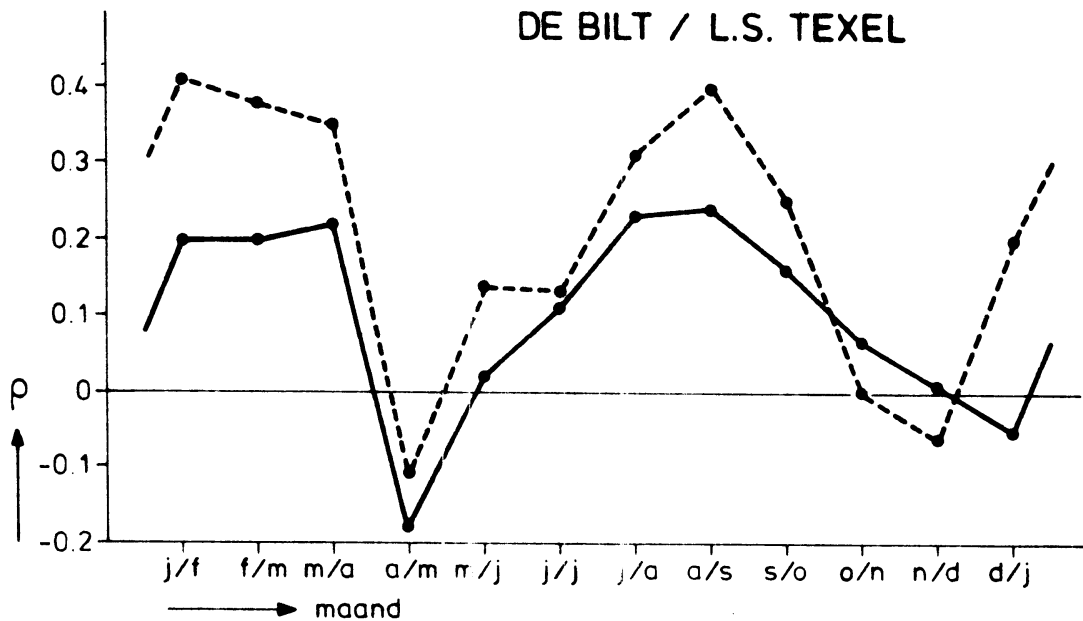
$$\rho(T_{z30}(i+1), T30(i+1)) = r_2$$

dan volgt hieruit slechts:

$$\rho(T_{z30}(i), T30(i+1)) = r_1 r_2 \pm \sqrt{(1-r_1^2)(1-r_2^2)}; \quad -1 \leq \rho \leq 1.$$

$r_1$  en  $r_2$  zijn altijd  $> 0$ ;  $r_1 r_2$  haalt in sommige maanden waarden van 0.5.

In figuur 6 zien we  $\rho(T_{z30}(i), T30(i+1))$  per kalendermaand uitgezet.



Figuur 6. De correlatie tussen de zeevatertemperatuur  $T_{z30}$  en de  $T30$  in de maand erna (dikke lijn). De dunne lijn geeft het te verklaren effect  $\rho(T30(i), T30(i+1))$ , als referentie.

Het blijkt dat  $T_{z30}$  slechts licht gecorreleerd is met  $T30$  in de maand erna. Als de correlatie al significant van 0 afwijkt, is de toepasbaarheid nog te verwaarlozen. Bij een reeks paren van waarnemingen, onder de nulhypothese dat er geen verband is tussen de

twee reeksen, is de verwachtingswaarde  $\rho = 0$  terwijl de standaarddeviatie  $s = 1/\sqrt{N-1} = 1/\sqrt{85} = 0.11$  bedraagt. Er zijn in figuur 6 geen paren van maanden te vinden waarin de berekende waarde voor  $\rho$  veel meer dan  $2s$  afwijkt van 0. Vanwege het gegroepete optreden van de hoogste waarden en het regelmatige verloop door het jaar, is het toch wel mogelijk dat de zee een klein beetje bijdraagt aan de maand-op-maand persistentie van de luchttemperatuur in De Bilt. Als we de maand-op-maand correlatie in T30 (dunne streepjeslijn in fig. 6) in De Bilt ernaast leggen, is de overeenkomst treffend.

We besluiten hier met te concluderen dat de thermische traagheid van de Noordzee en de communicatie tussen zee en lucht er toe bijdragen dat er in De Bilt persistentie is in T30. Het teken en jaarlijks verloop van de invloed van de zee klopt; alleen de absolute grootte van dit effect is te klein.

#### 5. Een vergelijking met Beek en Den Helder

We hebben in sectie 4 enige vermoedens over de invloed van de zee op persistentie in de luchttemperatuur gekregen. We kunnen dit verder staven door vast te stellen dat, indien de communicatie tussen zee en lucht beter is, de bijdrage aan de persistentie in T30 groter zal zijn. Vandaar dat we alle eerder vermelde correlaties ook bekeken hebben voor:

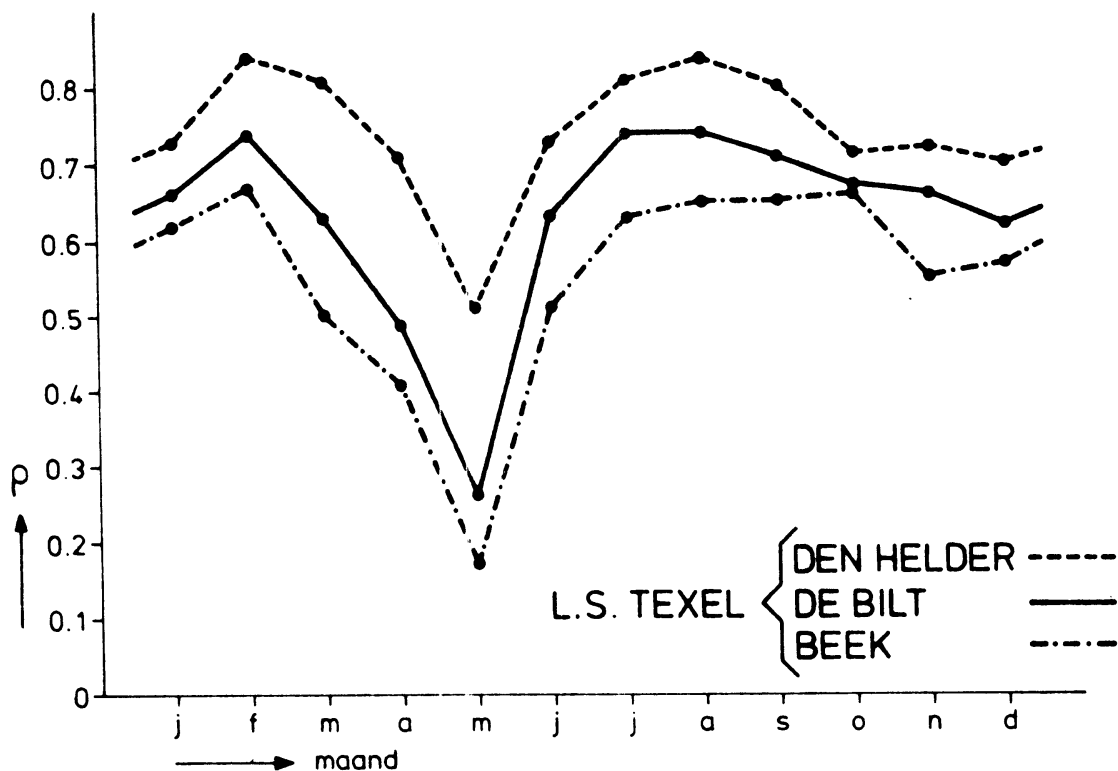
L.S. Texel/Den Helder

en L.S. Texel/Beek.

Het is duidelijk dat we voor Den Helder een grotere directe bijdrage van de zee verwachten. Het externe geheugen ligt daar dichterbij de meetopstelling dan in Beek. Den Helder ligt praktisch aan zee, De Bilt heeft een kortste afstand van 55 km tot de zee, terwijl Beek zo'n 175 km van de kust ligt.

In het onderstaande herhalen we de grafieken uit de figuren 4 en 6, aangevuld met Beek en Den Helder. De gegevens van Den Helder zijn vanaf 1-8-1972 in feite in De Kooij gemeten, zodat een correctie moest worden toegepast. De periode is zoals steeds 1890-1975.

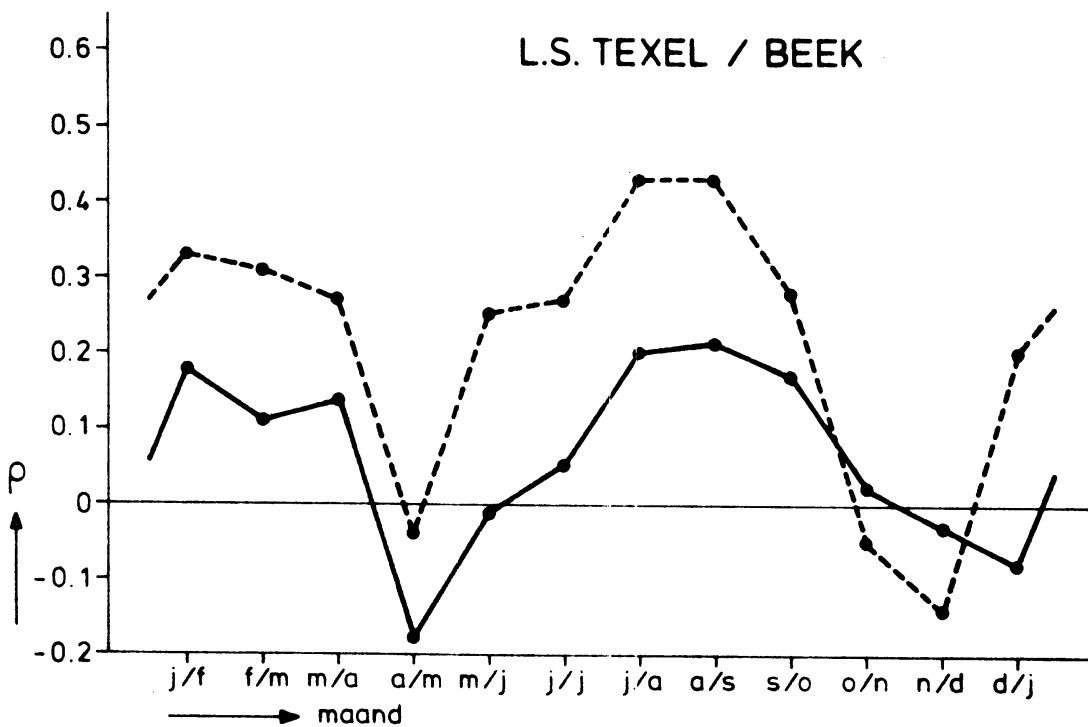
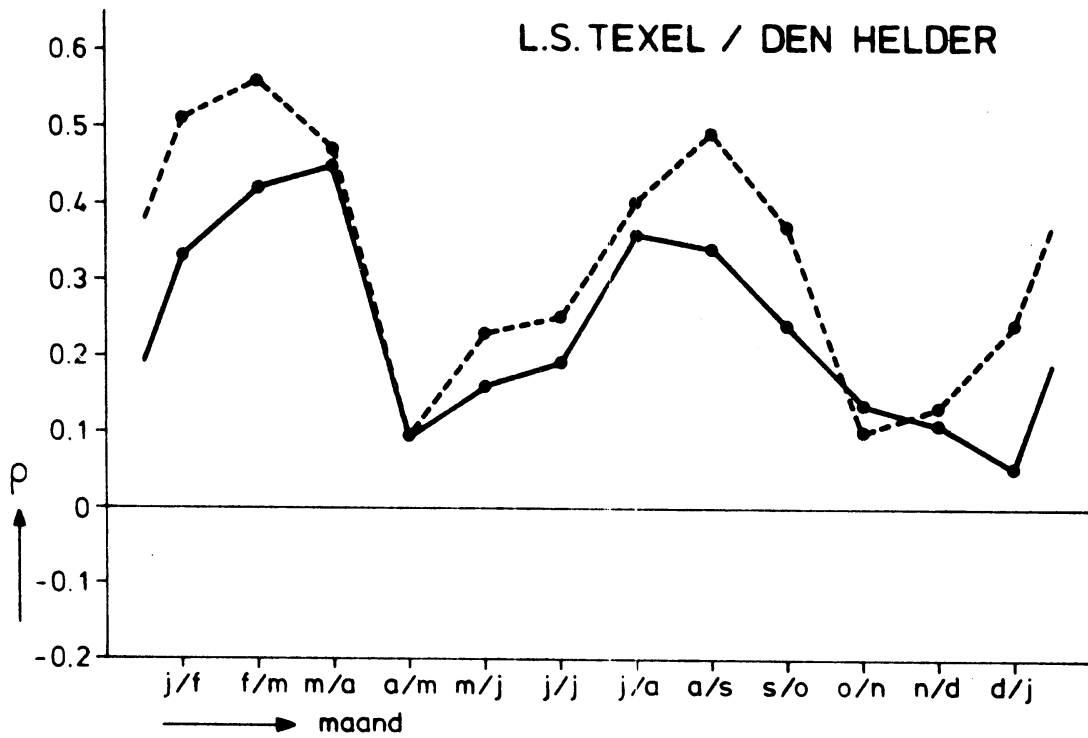




Figuur 7.  $\rho(T_{30}(i), T_{z,30}(i))$  als functie van de kalendermaand bepaald voor Den Helder, De Bilt en Beek.

Uit figuur 7 blijkt dat de communicatie tussen zee en lucht in Den Helder fors hoger is dan in Beek, terwijl De Bilt daartussen ligt. De bijna dramatische terugval in mei treedt overal op. Dat komt natuurlijk mede door de grote onderlinge samenhang in  $T_{30}$  in Den Helder, De Bilt en Beek. De veel betere communicatie tussen zee en lucht in Den Helder blijkt inderdaad te leiden tot een grotere prognostische waarde van de zeewatertemperatuur in de uitgangsmaand. (Zie de figuren 8 en 9).

Vergelijken we de dikke lijnen in de figuren 6, 8 en 9, dan blijkt kennis van de zeewatertemperatuur bij het L.S. Texel informatief te zijn voor  $T_{30}$  te Den Helder een maand later. Voor De Bilt en zeker Beek geldt dit al veel minder sterk.



Figuur 8 en 9.  $\rho(T_z 30(i), T30(i+1))$  als functie van de kalendermaand (dikke lijn). De dunne lijn geeft als referentie het te verklaren effect, nl.  $\rho(T30(i), T30(i+1))$ .

Het is ook nu pas gebleken dat  $\rho(T_{30}(i), T_{30}(i+1))$  in Den Helder veel sterker is dan in het binnenland. Voor de overgang februari → maart geldt  $\rho = 0.5 \text{ à } 0.6$ . Dit is een even sterk verband als tussen de etmaalgemiddelde temperaturen vandaag en overmorgen. Men zou het wellicht als volgt kunnen interpreteren:

De persistentie in de circulatie zorgt voor een zekere persistentie in  $T_{30}$ . Hieraan wordt door de aanwezigheid van de zee nog enig "direkt geheugen" toegevoegd, hetwelk een functie is van de afstand tot de kust.

## 6. Discussie

De aanvankelijke opzet van deze studie was na te gaan of de zeewatertemperatuur in de Noordzee informatief is voor de luchttemperatuur een maand later. Dit zou een aanvulling moeten zijn op de al ontwikkelde overgangsregels [1], die zijn gebaseerd op de persistentie in  $T_{30}$ . We zijn nu echter geneigd te concluderen dat een deel van het persistentie-effect in  $T_{30}$  is te verklaren uit de zeewatertemperatuur. Als we dus aan het einde van een maand behalve  $T_{30}$  ook  $T_z$  kennen, zal nauwelijks een betere kansuitspraak mogelijk zijn dan wanneer we alleen  $T_{30}$  kennen.

De wijze waarop we hier persistentie-effecten onderzocht hebben, nl. met correlatie-coëfficiënten, is niet ideaal. In de eerste plaats wordt gedaan alsof positieve en negatieve anomalieën zich op dezelfde wijze gedragen (lineair). In werkelijkheid is dat niet altijd zo. Soms zijn koude perioden veel persistenter dan warme. In de tweede plaats zijn de hier gebruikte reeksen slechts 86 jaar lang, zodat nog aanzienlijke onzekerheidsmarges in diverse antwoorden zijn vervat. Een derde belangrijke tekortkoming is, dat correlaties geen causale verbanden hoeven voor te stellen. We weten nu dat  $T_z$  ( $i$ ) en  $T_{30}$  ( $i+1$ ) gecorreleerd zijn, maar hoe zoiets komt volgt hieruit niet zonder meer. We hebben figuur 3 als fysisch beeld gebruikt en verondersteld dat er een direkte invloed van  $T_z$  op  $T$  is. Het zou ook anders kunnen. Stel b.v. dat een anomale temperatuur in de Noordzee heel vaak onderdeel is van een anomalie van grotere afmetingen in het costen van de Atlantische Oceaan. Indien

deze anomalie boven de oceaan via de circulatie aanleiding geeft tot een anomalie van hetzelfde teken in de luchttemperatuur boven Nederland, is de correlatie tussen  $T_z^{30}(i)$  en  $T_{30}(i+1)$  ook verklaard. Waarschijnlijk is deze verklaring niet, omdat de persistentie in de circulatie, naar we verwachten, niet zo sterk zal variëren over afstanden van 50 of 100 km.

Een verrassend feit is, althans voor schrijver dezes, dat aan de kust kansuitspraken over  $T_{30}$  in de komende maand betrekkelijk zinnig zijn.  $\rho(T_{30}(i), T_{30}(i+1))$  is in Den Helder in liefst vijf maanden 0.4 of meer, in De Bilt en Beek komt dit in twee maanden voor. Volgens een vuistregel van A.W. Hanssen geldt dat de PI van een methode gebaseerd op lineaire regressie gelijk is aan de relatieve reductie van de standaardfout. B.v. voor februari maart geldt in Den Helder  $\rho = 0.56$ . Dan is de standaardfout 0.83 s en

$$PI = \frac{s - 0.83 s}{s} = 0.17$$

Het toepassen van overgangsregels geeft voor De Bilt een fors hogere PI dan op grond van de waarde van  $\rho$  is te verwachten. Dit zal voor Den Helder ook gelden, zodat voor dit kuststation een methode te ontwikkelen moet zijn, die een PI (gemiddeld over het jaar) in de orde van 0.15 haalt. Zijn er echter ook geïnteresseerden?

Het is op zichzelf verwonderlijk, dat de maand-op-maand persistentie in  $T_{30}$  in De Bilt en Den Helder zoveel verschilt, nl. 0.19 tegen 0.32 gemiddeld over alle twaalf maanden. Als alleen de circulatie verantwoordelijk is voor deze persistentie, is een dergelijk verschil niet te verklaren, omdat De Bilt en Den Helder in verhouding tot de synoptische schaal dicht bij elkaar liggen. Deze overwegingen pleiten voor een direkte invloed van de zee. Er is echter nog een mogelijkheid, nl. dat, hoewel circulatie-persistentie vrijwel hetzelfde is in De Bilt en Den Helder, de vertaling van circulatie in weer sterk van de plaats afhangt, met name in de buurt van een fysische grens als de Noordzeekust. We kunnen dit echter moeilijk kwantificeren.

Deze studie kan op diverse punten met literatuur worden vergeleken. Door Craddock en Ward [10] zijn voor Europa uitgebreide onderzoeken gedaan naar de mate van persistentie. Voor zoveel mogelijk stations werden contingentiematrices (= overgangsmatrices) bepaald. De  $\chi^2$ -waarden, die hierbij horen, werden ruimtelijk geanalyseerd voor ieder paar van opeenvolgende maanden. Het blijkt nu, dat hoge waarden van de persistentie geconcentreerd zijn rond de Oostzee en (iets minder) de Noordzee. Extreem persistent is februari → maart. (Dit komt ook goed overeen met de goede resultaten van Nyberg [11], die persistentieverwachtingen voor Stockholm ontwikkelde). De hoge persistentie rondom de Noord- en Oostzee wijst ook op invloed van het zeewater in een beperkt gebied. De analyse van Craddock en Ward is bij lange na niet fijn genoeg om het verschil tussen De Bilt en Den Helder duidelijk te maken. In andere gebieden stelden ze wel grote verschillen vast, b.v. tussen Aberdeen en Edinburgh. De overgangsmaanden blijken voor het gehele Noord- en Oostzeegebied mei en oktober/november te zijn.

Dickson [12] heeft voor de Verenigde Staten een met [10] vergelijkbare studie gedaan. Het beeld wat hieruit naar voren komt is buitengewoon grillig. De maxima in de persistentie zijn in de V.S. midden in de zomer en winter en niet zoals in NW-Europa in nazomer en nawinter. Ook in de V.S. is de persistentie het hoogst waar maritieme invloed is.

### Referenties

- 1 H.M. van den Dool 1976  
Verwachtingen van de maandgemiddelde temperatuur  
m.b.v. overgangsregels.  
W.R. 76-14. De Bilt.
- 2 R.E. Davis 1976  
Predictability of sea surface temperature and  
sea level pressure anomalies over the North Pacific  
Ocean.  
Journ. Phys. Oceanogr. Vol. 6, pp 249-266.
- 3 J. Bjerknes 1964  
Atlantic air-sea interaction.  
Advances in Geophysics, 10, pp 1-81.

- 4 R.A.S. Ratcliffe en R. Murray 1970  
New lag associations between North Atlantic sea temperature and European pressure applied to long-range weather forecasting.  
Q.J.Roy.Met.Soc., 96, 226-246.
- 5 J. Oerlemans 1975  
On the occurrence of "Groszwetterlagen" in winter related to anomalies in North Atlantic sea temperature.  
Meteorol. Rdsch. 28, pp 83-88.
- 6 J. Namias 1976  
Seasonal forecasting experiments using North Pacific air/sea interactions.  
Preprints sixth conference of weather forecasting and analysis, pp 13-16.
- 7 J. Namias 1952  
The annual course of month to month persistence in climatologic anomalies.  
Bull.Am.Met.Soc., 33, 279-285.
- 8 H.M. van den Dool en J.L. Nap 1976  
Verifikatie van het basisprodukt van de Amerikaanse maandverwachting.  
KNMI V-verslag 280.
- 9 M.G. Colgate 1975  
An attempt to predict the anomalies in the monthly mean sea level pressure field a month ahead.  
Q.J.Roy.Met.Soc., 101, 267-280.
- 10 J.M. Craddock en R. Ward 1962  
Some statistical relationships between the temperature anomalies in neighbouring months in Europe and western Siberia.  
Meteorological Office London. Scientific Paper No. 12.
- 11 A. Nyberg 1975  
An experiment in forecasting monthly mean temperature in Stockholm.  
Tellus, 27, pp 34-37.
- 12 R.R. Dickson 1967  
The climatological relationship between temperatures of successive months in the United States.  
Journ.appl.met., 6, 31-38.