

KONINKLIJK NEDERLANDS
METEOROLOGISCH INSTITUUT

WETENSCHAPPELIJK RAPPORT
SCIENTIFIC REPORT

W.R. 78-10

J. Oerlemans

Weersomslagen.

Een objectieve benadering.



De Bilt, 1978

Publikationsnummer K. N. M. I. W. R. 78-10 (MO)

U. D. C. : 551.509.318/319

INHOUD

Summary

1. Inleiding
2. Toetsing aan een modelomslag
3. Een voorbeeld
4. Naar een definitie van de weersomslag
5. Omslagklimatologie met $n=4$, $b=2$
6. Omslagen met $n=10$, $b=2$
7. Konklusies

Referentie

Appendices I, II en III

Summary.

In this report an objective approach to break in the weather is presented. The method is based on a comparison of a typical break, defined as $f_x = a \cdot \arctan(bx) / \arctan(bn)$ where $x = -n, \dots, n$, with an interval of a local record of, for instance, daily temperature. The typical break contains two time scales: the length of the persistent periods before and after the break determined by n , and the speed of change fixed by b . The rms-difference between the typical break and the real time series is minimized in order to get the break amplitude.

A break quality is defined as the ratio of the amplitude to the associated rms-difference between the typical and observed break. Such a break quality accounts for noise, i.e. a smooth break will get a higher quality. For each day a break quality may be computed. The real breaks are found by requiring that the break quality has a maximum value with respect to time. Since the break quality is a dimensionless quantity, various weather elements may be compared immediately.

The procedure outlined above was carried out for daily values of temperature, sunshine and precipitation as observed at De Bilt during the period 1949-1974. Two typical breaks were used: $n=4$, $b=2$ and $n=10$, $b=2$. Daily temperature appears to give the highest break qualities whereas precipitation hardly shows clear breaks. Correlation coefficients of break qualities of the various weather elements are very small, they never exceed a value of 0.1. This result leads to the following definition of the weather break: an observed change is called a weather break if a break appears in at least one weather element, with a break quality that is higher than some minimum value (depending on the particular application).

1. Inleiding

De term weersomslag is een algemeen ingeburgerd begrip. Voor velen betekent een goede verwachting van een omslag meer dan een goede verwachting van persistentie. Zo doet het er weinig toe of het in een vorstperiode de volgende dag 2 graden meer of minder zal vriezen, de overheersende vraag is: Wanneer valt de dooi in? Er valt wat voor te zeggen de prestaties van weersverwachtingen op de één of andere manier te wegen met het al of niet optreden van een omslag. Dit eist echter wel een werkbare definitie van de weersomslag.

In klimatologische beschrijvingen wordt zelden iets over weersomslagen gezegd en beperkt men zich meestal tot gemiddelden en standaarddeviaties. Toch vormen weersomslagen een wezenlijk bestanddeel van het klimaat. Vragen zoals "Zijn er periodes in het jaar waarin omslagen vaker voorkomen?" worden vaak gehoord en geven aan dat er behoefte is aan een soort omslagklimatologie.

Op grond van deze overwegingen is, op verzoek van de operationele dienst, een onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheid om weersomslagen op een objectieve manier te definiëren. In de literatuur vindt men nagenoeg niets over een systematische aanpak van dit probleem. Wél is er enig onderzoek verricht op het gebied van langdurige droogteperiodes (e.g. Eriksson, 1965), maar voor ons doel is een meer algemene benadering nodig.

Uit gesprekken met mensen uit de "weerpraktijk" is me duidelijk geworden dat er verschillend gedacht wordt over weersomslagen, zó verschillend dat op voorhand vaststaat dat niet iedereen tevreden gesteld kan worden. Sommigen gaan erg ver in hun eis: bij een echte weersomslag moet er een snelle verandering optreden zowel in de temperatuur, de neerslag en de dominerende windrichting. Zoals later zal blijken zijn dit soort omslagen uiterst zeldzaam. Men kan zich zelfs afvragen of er eigenlijk wel omslagen voorkomen die niet alleen door de meteoroloog als "een sterke verandering van het karakter van het weer" ervaren worden maar ook duidelijk in het verloop van de fysische elementen (temperatuur, wind, enz.) te zien zijn. Om zover mogelijk tegemoet te komen aan de wensen en ideeën die er zijn met betrekking tot een definitie van de weersomslag, heb ik de volgende richtlijnen gevolgd:

- a) De definitie moet volkomen objectief zijn.
- b) De definitie moet het speciale karakter van een weersomslag weerspiegelen, dwz. de aanwezigheid van twee tijdschalen. Een omslag

krijgt pas betekenis als ervoor en erna periodes met persistent weer optreden. De eerste tijdschaal wordt bepaald door de lengte van deze periodes, de tweede door de snelheid van de omslag.

- c) De omslag moet een groter gewicht krijgen als ze gladder verloopt. Zo moet bijvoorbeeld tot uitdrukking komen dat een omslag van droog naar nat weer minder mooi is als er in de droge periode toch af en toe een buitje viel.
- d) Voor de beslissing "wél of géén omslag" is een criterium nodig. De definitie van de weersomslag moet voldoende ruimte laten om het criterium aan te passen aan de specifieke toepassing.

2. Toetsing aan een modelomslag.

We zullen nu een methode bespreken waarmee omslagen in een tijdreeks (bijvoorbeeld dagelijkse temperaturen) bepaald worden door toetsing aan een modelomslag. Deze modelomslag definiëren we als

$$M_x = a \cdot f_x \quad \text{met} \quad f_x = \frac{\arctan(b \cdot x)}{\arctan(b \cdot n)} \quad ; \quad (1)$$

f_x noemen we de omslagfunctie en a de omslagamplitude; x is een geheel getal: $x = -n, -n+1, -n+2, \dots, n-2, n-1, n$. We beschouwen dus een interval ter grootte $2 \cdot n + 1$. Er geldt altijd $f_n = 1$ en $f_{-n} = -1$. Het centrale punt van de omslag ligt bij $x=0$ en de omslagsnelheid wordt gegeven door

$$\left. \frac{d}{dx}(f_x) \right|_{x=0} = b / \arctan(b \cdot n) \quad . \quad (2)$$

Als b groter is vindt de omslag sneller plaats. Een en ander is geïllustreerd in Fig. 1 waarin 3 modelomslagen getoond worden met verschillende omslagsnelheden. Voor $b=0.01$ stelt f_x praktisch een rechte lijn voor, we kunnen dan beter van een trend spreken dan van een omslag. Een snelle omslag wordt verkregen door $b=2$ te stellen en een langzame omslag kunnen we definiëren door $b=0.5$ te nemen. Het zal nu duidelijk zijn dat de twee tijdschalen, waarover in de inleiding gesproken werd, vastgelegd worden door de parameters b en n .

We gaan nu de modelomslag langs de tijdreeks schuiven en kijken waar ze het best past. Beschouw een interval uit de tijdreeks met $2 \cdot n + 1$ elemen-

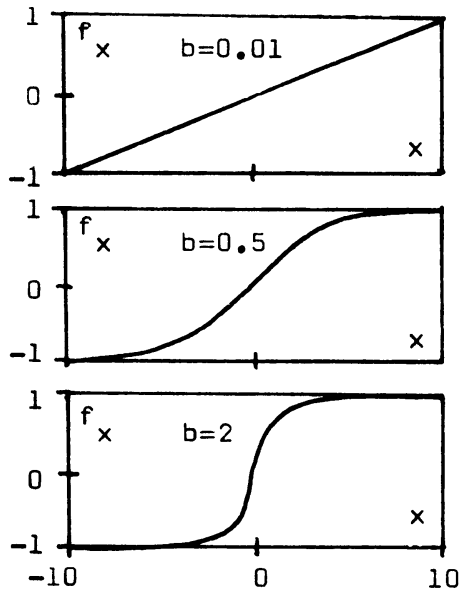


Fig. 1. Drie modelomslagen met verschillende omslagsnelheden. De omslagen omvatten 21 elementen ($n=10$). We kunnen spreken van een trend ($b=0.01$), een langzame omslag ($b=0.5$) en een snelle omslag ($b=2$).

ten. De afwijkingen van de elementen van het gemiddelde over dat interval geven we aan met T_x met $x=-n, \dots, n$. De volgende toetsingsgrootte kan nu gebruikt worden om na te gaan hoe goed T_x in de modelomslag past:

$$h(a) = \frac{1}{2 \cdot n + 1} \cdot \sum_{x=-n}^n [T_x - a \cdot f_x]^2 \quad (3)$$

Naarmate $h(a)$ kleiner is, past T_x beter in "rms-zin".

De amplitude a kan nu zo gekozen worden dat $h(a)$ minimaal wordt (zie Appendix I), dwz.:

$$\left. \frac{dh(a)}{da} \right|_{a=a_0} = 0 \quad (4)$$

De echte omslagamplitude is dus a_0 .

Als we nu even een blik terug werpen naar de inleiding dan blijkt dat er aan de richtlijnen a) en b) aardig voldaan is. Ten aanzien van punt c) moet er echter nog wat ondernomen worden, dwz. de gladheid van de omslag moet in rekening gebracht worden. Figuur 2 laat schematisch zien dat dit nodig is. De krommen 1) en 2) stellen intervallen uit een tijdreeks voor die bij toetsing aan het omslagmodel dezelfde omslagam-

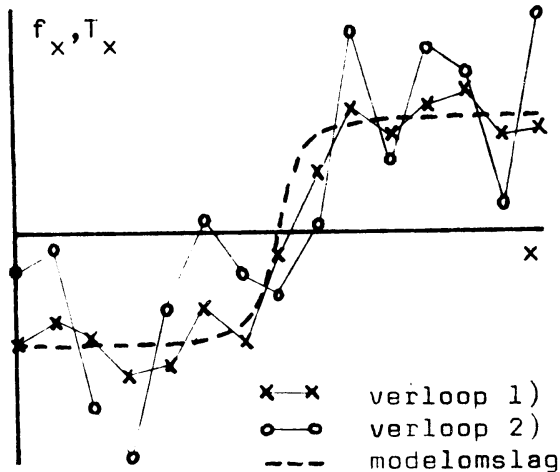


Fig. 2. Twee omslagen die dezelfde amplitude hebben maar zich onderscheiden door een verschil in "ruis" ten opzichte van de modelomslag.

plitude opleveren. Toch wordt verloop 1) als een veel duidelijkere omslag ervaren dan verloop 2). Hoe kunnen we deze omslagen nu onderscheiden? Een mogelijkheid is een omslagkwaliteit q te definiëren door de omslagamplitude te delen door de standaarddeviatie van de werkelijke omslag ten opzichte van de modelomslag, dus

$$q = a_0 / \sqrt{h(a_0)} \quad . \quad (5)$$

Voor het gemak definiëren we nog $q^+ = |q|$.

De definitie van de omslagkwaliteit heeft een bezwaar: q^+ kan in principe oneindig groot worden. Als de lengte van het interval echter voldoende groot wordt gekozen (n groter dan 3) blijken er géén problemen op te treden omdat de natuurlijke variabiliteit in de weerselementen voor een ondergrens van $h(a_0)$ zorgt. Overigens doet het er niet toe waar de variantie in T_x vandaan komt zodat automatisch rekening wordt gehouden met de jaarlijkse gang in de variantie: de omslagamplitude moet, om dezelfde omslagkwaliteit te halen, in de winter groter zijn dan in de zomer. Een groot voordeel van deze aanpak is dat q dimensieloos is. Dit maakt het mogelijk omslagkwaliteiten van verschillende weerselementen onmiddellijk met elkaar te vergelijken.

We vinden nu de tijdstippen waarop de omslagen plaatsvinden door het interval $(-n, n)$ steeds 1 element te verschuiven en q te berekenen. Daar waar q^+ een maximum bereikt bevindt zich een omslag ($q_i^+ > q_{i-1}^+$ én $q_i^+ > q_{i+1}^+$).

3. Een voorbeeld.

Om enig gevoel te krijgen voor het gedrag van de omslagkwaliteit bekijken we een voorbeeld. Figuur 3 toont een tijdreeks van daggemiddelde temperaturen (10 jan. - 10 febr. 1949) en het verloop van de omslagkwaliteit voor een modelomslag met $b=2$ en $n=4$ (de lengte van het interval is dus 9 dagen). We moeten ons goed realiseren dat de omslagkwaliteit op dag i de waarde van q^+ is die we vinden door dag i als centrale dag van de omslag te beschouwen.

Er zijn 5 dagen waarop q^+ een maximum bereikt: dag 5, 13, 18, 23 en 28. De vorstinvall op dag 23 levert de grootste q^+ op en heeft een amplitude (de helft van de totale temperatuursverandering !) van -3.1 °C en een rms-waarde van 0.6 °C. De dooi-inval op dag 28 heeft de grootste amplitude (3.6 °C) maar de kwaliteit is toch minder omdat de "ruis" erg groot is (1.4 °C). Als we dag 28 en 29 zouden verwisselen zou de kwaliteit van deze omslag aanzienlijk groter zijn.

Dit voorbeeld geeft al enigszins aan welke kant het op moet met de vaststelling van een criterium. Men kan bijvoorbeeld eisen $q^+ > 3$; of $q^+ > 2.5$ én $|a_0| > 2.5$ °C. In ieder geval hebben we twee parameters in handen, a_0 en q^+ , waarmee we de grens naar believen kunnen trekken.

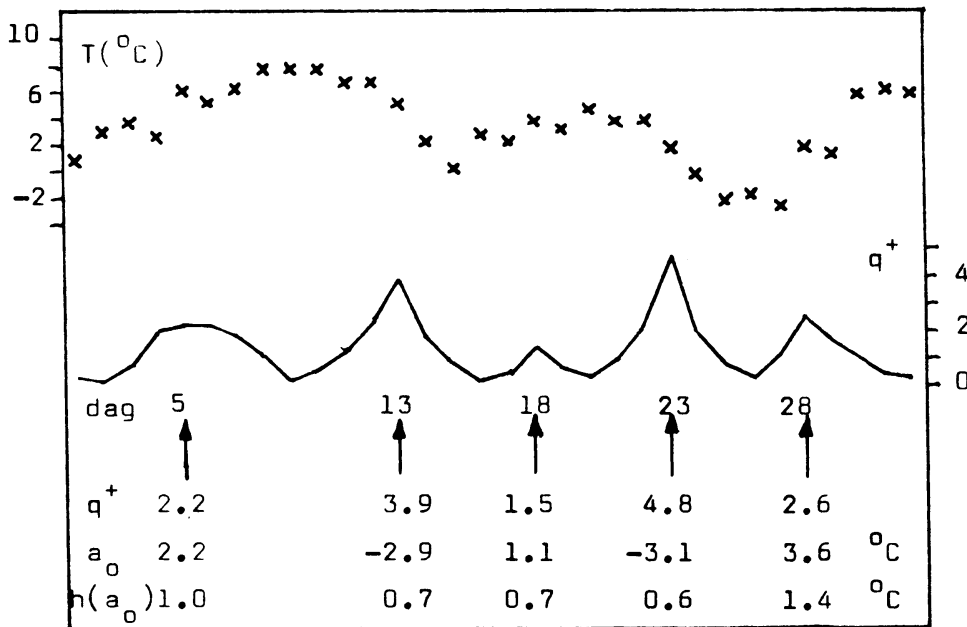


Fig. 3. Voorbeelden van omslagen in een temperatuurreeks zoals die tevoorschijn komen door analyse met de modelomslag ($b=2$, $n=4$).

4. Naar een definitie van de weersomslag.

In het voorgaande voorbeeld kwamen in de daggemiddelde temperatuur enkele mooie omslagen voor. De vraag rijst nu hoe vaak dit soort omslagen optreedt en of andere weerselementen soortgelijke resultaten geven. Of, om het scherper te stellen: welk element of combinatie van elementen leent zich het beste voor een definitie van de weersomslag? Om dit te onderzoeken werd het volgende experiment uitgevoerd.

Met de modelomslag ($b=2, n=4$) werden alle omslagen berekend in T_x (maximum temperatuur), T_n (minimum temperatuur), $(T_x+T_n)/2$ (ongeveer gelijk aan de daggemiddelde temperatuur), SS (relatieve duur van de zonneshijn) en RR (neerslag) over de periode 1949-1974 zoals gemeten te De Bilt. De tijdreeksen bestonden dus ieder uit 9496 getallen. Voor elk element werd een kumulatieve frekwentieverdeling van q^+ uitgerekend en omdat q^+ dimensieloos is kunnen we de resultaten direkt vergelijken. Ze zijn gegeven in Tabel I; N betekent aantal. Het valt onmiddellijk op dat de dag-

weerselement	N(alle q^+)	N($q^+ > 2$)	N($q^+ > 3$)	N($q^+ > 4$)	N($q^+ > 5$)
$(T_x+T_n)/2$	1850	483	177	79	35
T_x	1877	431	143	51	26
T_n	1995	312	94	32	10
SS	2251	153	44	15	8
RR	2217	39	6	2	1
RFO	2083	276	128	53	21
geop. hoogte 500 mb-vlak te De Bilt	1784	706	336	164	74

Tabel 1. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de omslagkwaliteit q^+ voor weerselementen waargenomen te De Bilt in de periode 1949-1974. Ter vergelijking zijn ook de frekwentieverdelingen van de RFO en de hoogte van het 500 mb-vlak opgenomen.

gemiddelde temperatuur de meeste "mooie" omslagen (die we nu definiëren door de eis $q^+ > 4$) heeft. In de duur van de zonneshijn komen deze veel minder voor en het aantal mooie omslagen in de hoeveelheid neerslag is volkomen te verwaarlozen. De twee laatste regels in tabel I geven de frequentieverdeling van q^+ voor RFO (het aantal stations in Nederland met ten minste 0.3 mm neerslag, RFO is minimaal 0 en maximaal 14) en de geopotentiële hoogte van het 500 mb-vlak op een roosterpunt in onze omgeving. Van alle elementen geeft laatstgenoemde verreweg de meeste mooie omslagen te zien. Hiervoor zijn twee oorzaken aan te geven. In de eerste plaats is de geopotentiële hoogte bepaald uit een geanalyseerd veld zodat de ruis voor een gedeelte verwijderd is. In de tweede plaats zijn invloeden van de grenslaag, die een behoorlijke ruis kunnen veroorzaken, op 500 mb minder duidelijk merkbaar. Het effect van gladstrijken is ook terug te vinden in de omslagkwaliteiten van RFO. RFO bevat veel meer mooie omslagen dan RR !

Uit Tabel I blijkt nog een interessant verschijnsel: bij een groter totaal aantal omslagen is het aantal mooie omslagen kleiner. Bovendien zien we dat er ongeveer één keer in de 5 dagen een omslag optreedt. In de daggemiddelde temperatuur komt een mooie omslag gemiddeld één keer in de 120 dagen voor.

Omslaganalyse van andere tijdreeksen, waaronder gegenereerde eerste orde Markov-processen, brachten aan het licht dat de genoemde eigenschappen tamelijk universeel zijn en nauw samenhangen met de autokorrelatiefunctie. Geïnteresseerden vinden hierover meer in Appendix II.

De q^+ -frequentieverdelingen van de genoemde 5 weerselementen werden ook berekend voor de stations Vlissingen, Beek, Eelde en Den Helder / De Kooij (de verplaatsing van dit station leverde géén mooie omslag op). Op alle stations is het beeld hetzelfde: mooie omslagen komen hoofdzakelijk in de temperatuur voor. Tabel II geeft een vergelijking tussen de verschillende stations voor $(T_x + T_n)/2$. Het aantal mooie omslagen heeft een maximum te Beek en een minimum te Den Helder. De tabel suggereert dat de omslagkwaliteit aan de kust kleiner is dan in het binnenland. In grote lijnen bleek dit ook het geval te zijn bij de andere weerselementen. We concentreren ons nu verder op De Bilt.

Is het nu mogelijk op grond van bovenstaande resultaten een definitie van "de" weersomslag op te stellen? Het karakter van het weer wordt door alle weerselementen bepaald en het is dan ook logisch een definitie te konstrueren waarin al deze elementen opgenomen zijn. We kunnen

station	N(alle q^+)	N($q^+ > 2$)	N($q^+ > 3$)	N($q^+ > 4$)	N($q^+ > 5$)
Beek	1816	567	236	106	55
De Bilt	1850	483	177	79	35
Den Helder	1881	464	156	59	34
Vlissingen	1817	540	192	64	26
Groningen	1857	464	178	63	19

Tabel II. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de omslagkwaliteit q^+ voor $(T_x + T_n)/2$ op de 5 hoofdstations.

bijvoorbeeld denken aan een gekombineerde omslagkwaliteit van de vorm $q^+(T_{\text{dag}}) + q^+(RR) + q^+(SS)$ of $q^+(T_{\text{dag}}) \cdot q^+(RR) \cdot q^+(SS)$. Een omslagkwaliteit van dit type heeft echter pas zin als er een duidelijk verband bestaat tussen omslagen in de verschillende elementen. Is dit niet zo, dan wordt de gekombineerde omslagkwaliteit een zeer vlakke functie. Het verband tussen de omslagen in temperatuur, neerslag en zonneshijn werd onderzocht door correlatiecoëfficiënten uit te rekenen tussen de omslagkwaliteiten. Als een omslag in een element meestal gepaard gaat met een omslag in het andere element zal dit in de correlatiecoëfficiënt tot uitdrukking moeten komen. Dit bleek nauwelijks het geval te zijn. De coëfficiënten waren wel maximaal bij een time-lag van 0 of 1 dag tussen de elementen, maar de maxima waren nooit groter dan 0.08. De konklusie is dat de eerder genoemde omslagkwaliteiten géén zin hebben. Als we tóch meerdere elementen in de definitie willen hebben blijft er maar één zinvolle mogelijkheid over: we definiëren een gekombineerde omslagkwaliteit Q als volgt:

$$Q = 1 \text{ als } q^+(T_{\text{dag}}) > .. \text{ of } q^+(SS) > .. \text{ of } q^+(RR) > ..$$

terwijl de betreffende q^+ een maximum heeft,

$$Q = 0 \text{ anders.}$$

De criteria, aangegeven met .., kunnen naar behoeven worden vastgesteld. Als $Q=1$ spreken we van een weersomslag, anders niet. Omdat in de prak-

tijk blijkt dat omslagen met een grote omslagkwaliteit ook een grote amplitude hebben (bedenk dat $h(a_0)$ een ondergrens heeft) worden er geen eisen gesteld aan a_0 . Dit zou de zaak nodeloos ingewikkeld maken.

Samengevat: we spreken van een weersomslag als tenminste één element een omslag vertoond met een zekere minimale omslagkwaliteit.

5. Omslagklimatologie met $n=4$, $b=2$.

In dit hoofdstuk zal een klimatologie worden gegeven van omslagen met omslagfunctie $n=4$, $b=2$. Fig. 4 toont omslagen in T_{dag} , SS en RR in de onderzochte jaren waarbij geëist is $q^+ > 3$. We zien dat het aantal omsla-

jaar	T_{dag}	SS	RR
1949	xxxx	x	
50	xxxxxxxxxx	x	
51	xxxx	x	
52	xxxxxxxxxx	x	x
53	xxxxxx	xx	
54	xxxxxxxxxx	xxx	
55	xxxxxxxxxx		
56	xxxxxx	x	
57	xxxxxxxxxx	x	
58	xxx		x
59	xxxxxxxxxx	xxx	
1960	xxxxxxxxxxxxxx	x	
61	xxx	xx	
62	xxxxxxxxxx	xxx	
63	xxxxxx	xxx	
64	xxxxxxxxxx	xx	
65	xxxxx	xxxxx	
66	xxxxxx		xxx
67	xxxxxx	x	
68	xxxxxx	xxxxx	x
69	xxxxx	x	
1970	xxxxxx	xx	
71	xxxxxx	xxx	
72	xxxxxx		
73	xxx	xx	
74	xx		

Fig. 4. Aantal omslagen in T_{dag} , SS en RR voor de jaren 1949 t/m 1974, met omslagfunctie $n=4$, $b=2$. Elk kruisje stelt een omslag voor met een kwaliteit groter dan 3.

maand	$q < -3$	$q > 3$	T_{dag}
januari	xxxxxxxxxx	xxxxxxxxxx	$q^+ > 3$
februari	xxxxxxx	xxxxxxxxxx	
maart	xxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxxxx	
april	xxxxxxxxxx	xxxxxxx	
mei	xxxxxxx	xxxxxxxxxxxxxxxxxx	
juni	xxxxxxx	xxxxxxxxxxxxxxxxxx	
juli	xxxxx	x	
augustus	xxxxx	xxx	
september	xxxxx	xx	
oktober	xxxxxxxxxx	xxx	
november	xxxxxxxxxx	x	
december	xxxxxxxxxxxxxx	xxxx	

Fig. 5. Aantal omslagen in T_{dag} , nu uitgesplitst per maand. Het aantal negatieve omslagen staat links, het aantal positieve rechts.

maand	$q < -2$	$q > 2$	SS
januari		x xxxx	$q^+ > 2$
februari	xxxxxxx	xxxxx	
maart	xxxxx	xxxxxxxx	
april	xxxxx	xxxxxxxxxx	
mei	xxxxxxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxxxx	
juni	xxxxxxxxxxxxxx	xxxxx	
juli	xxxxxxxxxx	xxxxx	
augustus	xxxxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxxxx	
september	xxxxx	xxxxx	
oktober	xxxxxxxxxx	xxxxx	
november	xxxxx	xxxxx	
december	xxxxx	xxxxx	

Fig. 6. Aantal omslagen in SS, met $q^+ > 2$! , uitgesplitst per maand.

gen nogal fluktueert van jaar tot jaar. Duidelijke periodiciteiten of tendenzen zijn niet aanwezig.

Interessanter is een uitsplitsing van de omslagen naar de maand van het jaar. In Fig. 5 zijn zowel de negatieve als de positieve omslagen in T_{dag} aangegeven. Er blijkt weinig symmetrie te zijn: terwijl negatieve omslagen "regelmatig" gedurende het hele jaar voorkomen (zij het in de zomer wat minder), komen positieve omslagen in de maanden juli - december veel minder vaak voor dan in de maanden januari - juni. Het

totale aantal omslagen is het grootst in de winter en in het voorjaar. Het is opvallend dat in de maanden maart en april er ongeveer net zo veel negatieve als positieve zijn opgetreden.

Fig. 6 laat zien hoe dit er bij de relatieve zonneshijn uitziet. Om een redelijk aantal omslagen over te houden werd in dit geval geëist $q^+ > 2$. In mei en augustus vinden we de meeste omslagen, zowel negatieve als positieve.

Omslagen in RR werden niet uitgesplitst omdat dan $q^+ > 1$ geëist zou moeten worden om tot een redelijk aantal omslagen te komen. Het heeft echter weinig zin nog van een omslag te spreken als q^+ net iets groter dan 1 is.

In Appendix III wordt een lijst gegeven van alle omslagen in T_{dag} en SS met $q^+ > 3$.

6. Omslagen met $n=10$, $b=2$.

De in het vorige hoofdstuk gebruikte omslagfunctie kan men ruwweg interpreteren als behorend bij overgangen van de ene Groszwetterlage naar de andere. Als we $n=10$ nemen komen we terecht bij langdurige blokkades en het is interessant om te zien wat we daar nu eigenlijk van terug vinden.

Omslagen met $n=10$, $b=2$ werden uitgerekend voor T_{dag} , T_x , T_n , SS, RR, RFO en de geopotentiële hoogte van het 500 mb-vlak. Tabel III geeft het resultaat. Vergelijking met Tabel I leert dat de omslagen nu een veel kleinere kwaliteit hebben en dat, afgezien van de geopotentiële hoogte, T_{dag} het weer het beste doet. Het totale aantal omslagen (linker kolom) is voor alle elementen aanzienlijk minder dan in het geval $n=4$, $b=2$.

Uit verder onderzoek is gebleken dat de omslagkwaliteit gestaag met n afneemt. De omslagkwaliteit hangt uiteraard ook van b af omdat b de snelheid van de modelomslag bepaalt. Een kleinere keuze van b bleek tot een grotere gemiddelde omslagkwaliteit te leiden, dwz. "langzame" omslagen ($b=0.01$) treden veel vaker op dat "snelle" omslagen ($b=2$). Het weer aan de grond bestaat dus niet uit een verzameling persistente periodes verbonden door snelle omslagen, maar eerder uit geleidelijke overgangen waarbij heel af en toe eens een snelle omslag optreedt.

weerselement	$N(\text{alle } q^+)$	$N(q^+ > 1)$	$N(q^+ > 1.5)$	$N(q^+ > 2)$	$N(q^+ > 2.5)$
$(T_x + T_n)/2$	1253	371	150	70	19
T_x	1304	351	145	50	17
T_n	1345	263	80	26	10
SS	1933	63	15	6	3
RR	1912	18	3	1	0
RFO	1341	312	137	33	15
geop. hoogte 500 mb-vlak te De Bilt	1119	410	200	87	37

Tabel III. Kumulatieve frekwentieverdelingen van de omslagkwaliteit q^+ voor weerselementen waargenomen te De Bilt in de periode 1949-1974. De parameters van de modelomslag zijn $n=10$ en $b=2$.

7. Konklusies.

Om tot een objektieve definitie van de weersomslag te komen hebben we een methode onderzocht waarbij veranderingen in tijdreeksen getoetst worden aan een modelomslag. Deling van de omslagamplitude door de rms-waarde van de waargenomen omslag t.o.v. de modelomslag leverde een dimensieloze grootte, de omslagkwaliteit, die een bruikbare en vrij universele maat blijkt te zijn voor het omslag-achtige karakter van een verandering.

De daggemiddelde temperatuur geeft de mooiste omslagen, bij de relatieve duur van de zonneshijn zijn de omslagkwaliteiten veel minder en in de hoeveelheid neerslag komen nauwelijks mooie omslagen voor. Tot op zekere hoogte blijkt middeling de omslagkwaliteit te verhogen; dit komt omdat dan de ruis en daarmee de hierboven genoemde rms-waarde afneemt.

De korrelatie tussen omslagen in de verschillende weerselementen is te klein om tot een definitie van de weersomslag te komen waarin deze elementen op een afhankelijke wijze voorkomen. Het voorstel is dan ook

van een weersomslag te spreken als tenminste één van de beschouwde weers-elementen (T_{dag} , SS en RR) een omslag vertoont met een zekere minimale omslagkwaliteit. In de praktijk zal dit meestal T_{dag} blijken te zijn. De minimale omslagkwaliteit(en) en de omslagparameters n en b kunnen afhankelijk van de toepassing gekozen worden.

Tenslotte zij opgemerkt dat men zich van het verschijnsel weersomslag geen overdreven voorstelling moet maken. Een snelle omslag blijkt een betrekkelijk zeldzaam verschijnsel te zijn, geleidelijke overgangen komen véél meer voor.

Referentie.

Eriksson, B., 1965: A climatological study of persistency and probability of precipitation in Sweden. Tellus, vol. 17, pp. 484-497.

APPENDIX I

Berekening van de omslagamplitude.

Door (3) naar a te differentiëren en vervolgens (4) toe te passen verkrijgen we de zogenaamde normaalvergelijking:

$$\sum_{x=-n}^n [T_x - a_0 \cdot f_x] \cdot f_x = 0 \quad .$$

Hieruit, volgt de omslagamplitude onmiddellijk:

$$a_0 = \frac{1}{C} \cdot \sum_{x=-n}^n T_x \cdot f_x \quad \text{met} \quad C = \sum_{x=-n}^n f_x^2 \quad .$$

De bijbehorende rms-afwijking wordt:

$$h(a_0) = \sum_{x=-n}^n [T_x - a_0 \cdot f_x] \quad .$$

APPENDIX II

Het aantal omslagen dat optreedt in een tijdreeks hangt nauw samen met de autokorrelatiefunctie, gedefiniëerd als:

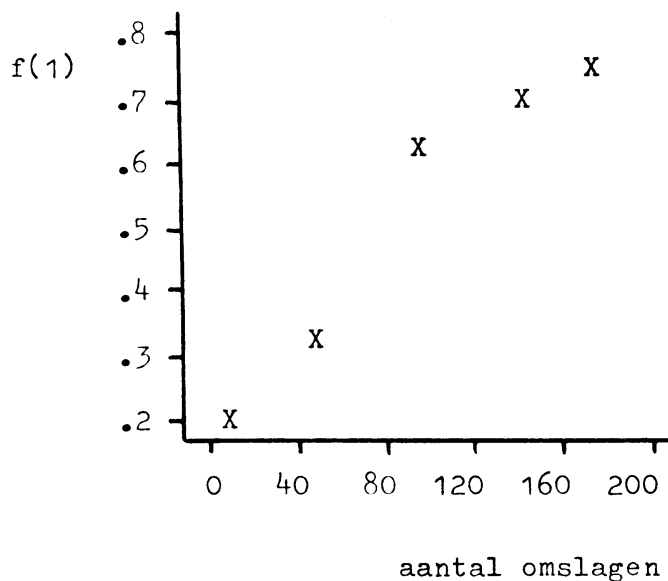
$$f(\tau) = \overline{T_i \cdot T_{i-\tau}} / \overline{T_i^2} \quad .$$

Hierin zijn de T_i de elementen van de reeks waarvan het gemiddelde over de hele reeks afgetrokken is. De streep duidt middeling over i aan en τ is de time-lag (verschuiving) in dagen. Er geldt $f(0)=1$, $f(\tau)=f(-\tau)$ en $-1 \leq f(\tau) \leq 1$. De autokorrelatiefunctie werd berekend voor T_x , T_n , T_{dag} , SS en RR. De gebruikte periode was weer 1949-1974 en de jaarlijkse gang en de trend werden eerst zorgvuldig verwijderd. De tabel geeft het resultaat voor $\tau=1, \dots, 15$. Met een horizontaal streepje is aangegeven waar $f(\tau)$ de waarde 0.25 passeert. We zien dat de persistentie in T_{dag} behoorlijk groot is terwijl die in RR weinig voorstelt.

100.f(τ)

	T_x	T_n	T_{dag}	SS	RR
$\tau = 0$	100	100	100	100	100
1	71	63	76	<u>32</u>	<u>19</u>
2	51	43	55	15	8
3	37	31	41	9	7
4	<u>29</u>	<u>26</u>	33	5	6
5	<u>23</u>	<u>22</u>	<u>27</u>	4	5
6	19	18	<u>22</u>	4	3
7	15	15	18	1	3
8	14	13	16	3	2
9	12	13	15	2	2
10	11	11	12	3	2
11	10	8	10	2	3
12	8	6	8	2	2
13	7	5	7	-1	-1
14	5	4	5	-1	0
15	4	3	4	0	-1

Omdat de kans op persistente periodes toeneemt als $df(\tau)/d\tau$ kleiner wordt komen er meer omslagen voor in tijdreeksen met een langzaam afnemende auto-korrelatiefunctie. Naarmate de parameter n in de modelomslag groter is zal dit sterker tot uitdrukking komen. In onderstaande figuur is $f(1)$ uitgezet tegen het aantal omslagen met $n=4$, $b=2$, $q^+ > 3$ voor T_x , T_n , T_{dag} , SS en RR . We zien dat er een duidelijk verband tussen deze twee grootheden is.



APPENDIX III

Omslagen met omslagfunctie $n=4$, $b=2$ die een omslagkwaliteit groter dan 3 hebben.

a) T_{dag} ; de eenheid in de tweede kolom is $^{\circ}\text{C}$.

datum van cen- trale dag	q^+	$2 \cdot a_0$	datum van cen- trale dag	q^+	$2 \cdot a_0$
22 01 49	3.95	-5.86	31 12 54	5.70	-10.57
01 02 49	4.81	-6.19	28 01 55	3.44	8.28
22 03 49	3.16	8.19	12 02 55	3.33	-6.02
12 05 49	4.70	4.74	02 03 55	5.80	6.28
01 02 50	5.27	12.03	07 03 55	3.03	-3.91
03 03 50	5.01	7.56	22 03 55	3.20	11.25
15 03 50	5.43	7.62	03 04 55	3.31	8.36
18 04 50	3.01	4.98	27 04 55	3.73	9.06
23 04 50	5.15	-6.74	09 07 55	4.75	7.94
09 05 50	4.26	6.78	12 11 55	4.20	-5.43
14 05 50	5.06	-6.98	23 12 55	3.21	6.82
02 06 50	6.02	8.81	27 02 56	5.24	16.82
08 06 50	3.03	-8.44	05 03 56	3.29	-5.72
03 12 50	3.46	-8.61	16 03 56	4.53	6.06
05 01 51	3.22	6.35	03 05 56	4.76	7.31
01 05 51	3.42	8.27	04 10 56	3.09	-7.80
01 06 51	3.01	4.24	19 11 56	4.02	-7.83
27 10 51	3.13	4.60	19 12 56	4.17	-7.55
25 03 52	5.56	-7.45	23 12 56	3.01	-5.52
05 04 52	3.30	8.15	14 01 57	3.52	-6.55
08 04 52	3.05	7.84	06 03 57	3.46	6.14
21 04 52	3.20	-4.95	15 04 57	4.42	6.21
23 06 52	3.29	2.61	04 05 57	4.32	-5.57
28 06 52	3.33	6.68	09 05 57	4.51	8.97
11 10 52	3.70	-5.04	14 06 57	3.16	8.85
14 11 52	3.51	-6.16	19 06 57	3.31	-7.60
28 12 52	4.57	-6.22	27 06 57	3.79	12.64
16 01 53	3.24	5.87	12 09 57	3.75	-4.20
01 02 53	3.35	-6.64	25 03 58	6.26	13.79
17 02 53	5.73	8.18	30 03 58	3.05	-8.90
27 05 53	4.06	-9.31	27 08 58	3.81	5.48
07 06 53	3.09	6.53	02 01 59	3.55	-4.46
19 09 53	3.91	-3.74	09 01 59	4.79	-4.30
22 01 54	3.98	-8.17	19 01 59	4.01	10.24
22 02 54	3.29	4.50	24 01 59	3.02	-6.11
12 03 54	3.97	-6.76	07 05 59	4.28	11.43
19 03 54	4.08	8.93	27 08 59	3.56	-6.10
09 05 54	4.29	12.20	02 09 59	3.06	3.28
14 05 54	6.12	-10.25	13 09 59	3.16	-6.62
01 08 54	3.20	4.70	22 11 59	3.09	-6.49
07 08 54	6.55	-4.38	17 01 60	3.89	7.95

datum van cen- trale dag	q^+	$2.a_0$	datum van cen- trale dag	q^+	$2.a_0$
26 02 60	6.64	8.16	24 10 66	3.60	-4.50
16 03 60	3.52	-7.18	10 11 66	3.54	-8.38
05 05 60	5.55	9.59	05 01 67	4.31	-10.64
02 06 60	6.82	9.22	11 01 67	3.78	12.36
27 06 60	4.91	-8.91	10 05 67	4.14	7.95
05 07 60	3.19	4.32	15 05 67	3.08	-8.63
21 08 60	3.68	5.42	12 09 67	3.99	4.66
28 08 60	3.53	4.67	01 10 67	3.87	-4.50
26 09 60	5.53	-5.22	14 04 68	5.07	11.24
02 10 60	3.89	7.29	21 05 68	4.87	6.82
07 10 60	5.04	3.97	05 06 68	3.37	-4.89
28 01 61	3.03	10.76	12 06 68	3.75	7.27
05 09 61	3.92	-7.22	04 11 68	5.00	-11.46
15 12 61	7.31	-14.85	15 12 68	3.25	7.29
22 02 62	3.49	-8.18	26 12 68	4.36	-8.19
17 04 62	4.25	7.07	05 04 69	4.39	9.47
05 05 62	3.46	7.97	17 06 69	3.13	-5.17
10 05 62	3.01	-4.78	06 07 69	3.35	-5.47
05 06 62	4.94	7.19	22 12 69	4.70	9.97
11 11 62	3.12	-6.50	27 12 69	4.16	-7.82
25 11 62	3.28	8.31	09 01 70	3.78	7.69
01 12 62	3.35	-9.03	26 04 70	4.38	-5.63
08 12 62	5.56	7.85	02 05 70	3.47	8.67
22 12 62	3.36	-10.35	06 06 70	3.73	9.61
08 01 63	3.11	-9.25	12 06 70	5.71	-9.15
30 01 63	3.67	-6.19	05 07 70	4.04	8.39
26 02 63	4.50	5.85	22 12 70	3.79	-8.77
05 03 63	7.35	8.62	26 02 71	6.95	-6.68
20 03 63	4.63	-6.49	03 03 71	7.42	-6.56
25 03 63	7.48	5.49	08 03 71	5.81	11.81
17 08 63	3.01	-2.22	02 05 71	3.07	6.89
03 12 63	3.47	-5.63	22 07 71	3.07	6.74
12 02 64	4.50	-5.03	08 10 71	3.45	6.47
23 02 64	8.22	13.27	13 10 71	3.68	-9.46
01 03 64	4.05	9.94	28 01 72	3.17	-7.60
20 03 64	3.37	8.65	02 02 72	4.83	11.31
15 04 64	4.24	7.65	14 03 72	3.73	9.22
21 04 64	3.02	-6.90	30 04 72	6.49	7.76
24 06 64	3.23	7.09	19 05 72	3.06	6.34
24 08 64	3.15	9.42	16 07 72	5.34	10.14
09 10 64	3.73	-3.17	01 03 73	3.49	5.63
03 11 64	3.53	-4.80	17 05 73	3.44	8.04
03 02 65	4.36	4.31	10 10 73	6.15	-9.20
15 02 65	4.35	-4.83	21 05 74	3.07	-4.42
12 03 65	4.60	6.97	13 06 74	5.28	8.31
01 05 65	3.05	4.61			
12 11 65	7.61	-11.29			
21 01 66	4.08	8.17			
27 01 66	3.99	6.96			
09 02 66	4.17	-11.69			
12 04 66	5.39	-10.37			

b) SS ; de eenheid in de tweede kolom is %.

datum van cen- trale dag	q^+	$2 \cdot a_0$
18 05 49	4.49	69.5
09 05 50	6.34	90.6
17 11 51	3.74	-72.1
22 05 52	3.73	-67.2
18 04 53	6.59	84.0
26 12 53	3.33	51.3
23 01 54	3.43	80.1
07 02 54	3.17	-70.6
16 05 54	3.87	-79.8
02 05 56	4.26	63.8
05 08 57	3.52	-78.1
05 02 59	3.13	-90.1
04 07 59	3.57	83.6
27 07 59	3.08	-78.1
24 09 60	4.23	64.6
20 01 61	3.24	-80.8
27 12 61	3.86	-82.2
26 02 62	3.82	-53.5
30 11 62	6.03	86.5
07 12 62	6.21	-82.9
05 03 63	3.63	-56.4
13 06 63	5.48	-77.8
01 08 63	4.06	-74.8
05 03 64	5.57	89.5
23 06 64	4.24	64.6
11 05 65	3.07	69.8
10 08 65	7.96	56.0
24 08 65	3.24	44.4
03 11 65	4.95	76.9
16 11 65	4.46	-81.0
05 10 67	3.06	-36.2
03 06 68	3.19	-70.0
09 06 68	3.33	75.0
27 08 68	3.09	-69.5
17 11 68	3.34	-77.6
10 12 68	3.09	72.6
03 04 69	3.55	73.5
28 07 70	5.99	55.9
21 12 70	3.17	75.7
29 04 71	3.26	39.5
03 08 71	3.14	-43.2
31 10 71	3.34	-93.1
23 03 73	3.56	67.9
16 08 73	3.24	-81.6