

TRENDS IN HET VOORKOMEN VAN ZWARE ZOMERSE
DAGNEERSLAGEN

NOTA 52

J.V. Witter

LABORATORIUM voor HYDRAULICA en
AFVOERHYDROLOGIE
LANDBOUWHOGESCHOOL
APRIL 1981

INHOUDSOPGAVE

pagina:

1. Inleiding	1
2. Vraagstelling en gekozen bewerkingen	3
3. Resultaten van de toets op trend	6
4. Enige bewerkingen	15
4.1 Bestudering van het verloop van de reeksen	15
4.2 Omvang van mogelijke contrasten met betrekking tot verstedelijking en industrialisatie	16
4.3 Het verloop van enige lange reeksen	21
5. Ruimtelijke patronen in het optreden van de trends	24
5.1 Inleiding	24
5.2 Evidentie van regionale verschillen in trend	25
6. Conclusies	28
7. Referenties	29
Appendix: lijst van geselecteerde neerslagstations	30

1. Inleiding

Van alle KNMI neerslagstations staan de dagneerslagen voor de periode 1951 tot en met 1979 op magneetband. Uit het totaal van 393 neerslagstations zijn er 140 gekozen, waarvan de reeksen geanalyseerd zijn. Deze selectie is gebaseerd op het aantal ontbrekende waarnemingen.

De kwaliteit van de neerslagcijfers op de magneetband is in het algemeen beter dan die gepubliceerd in de jaarlijkse KNMI-boeken "Regenwaarnemingen". Neerslagtotalen die niet op tijd waren afgetapt én aanvankelijk meerdaagse sommen, zijn op de magneetband (door het KNMI) zo goed mogelijk teruggerekend naar dagtotalen. Verloren gegane metingen zijn aangevuld door interpolatie met behulp van gegevens van naburige stations. Indien echter over een periode langer dan 10 dagen achtereen de metingen verloren zijn gegaan, zijn de gegevens niet aangevuld.

Stations waarvoor het totaal aantal dagen (over de periode '51 t/m '79) met niet-aangevulde verloren gegane metingen, óf met dagsommen berekend uit aanvankelijke meerdaagse sommen, groter dan 100 dagen was, zijn niet in de beschouwingen betrokken. Dit resulteerde uiteindelijk in een selectie van 140 stations.

Voor deze 140 stations werden bepaald jaarlijkse scores met betrekking tot één of ander kenmerk: het aantal dagneerslagen in de zomer (mei t/m september) ≥ 30.0 mm of een andere drempelwaarde (25.0 mm, 15.0 mm, 1.0 mm).

Op de scores werd een normaliserende transformatie toegepast in de vorm:

$$\text{score} = \sqrt{(\text{score})} + \sqrt{(\text{score} + 1)}$$

Door van de getransformeerde scores elk jaar het landelijk gemiddelde (bepaald met behulp van de 140 beschouwde stations) voor het betreffende jaar af te trekken, kan de resulterende neerslagreeks onderzocht worden op een trend, ten opzichte van het landelijk gemiddelde.

Vermoed werd namelijk {1} dat als gevolg van verstedelijking en industrialisatie het aantal zware zomerneerslagen toe zou nemen.

Nadat met behulp van een toets op de helling van de regressielijn, was nagegaan welke "verschilreeksen" een significante trend vertoonden bij de verschillende drempelwaarden, is voor het 25.0 mm niveau nagegaan of er sprake was van enige clustering.

Ook zijn enige langere reeksen neerslaggegevens (1891 t/m 1979) onderzocht op trend.

Deze reeksen zijn bovendien onderzocht op eventuele periodiciteiten in het optreden van zware zomerneerslagen {2} met behulp van spectraalanalyse.

2. Vraagstelling en gekozen bewerkingen

De vraagstelling achter het onderzoek luidde als volgt:

1. is er een trend aanwezig in het jaarlijks aantal zware zomerse neerslagen
2. zo ja, is er enige ruimtelijke samenhang te ontdekken in de trends

Zoals in de inleiding reeds werd opgemerkt, werd voor het antwoord op deze vragen gebruik gemaakt van getransformeerde aantallen en van verschilreeksen.

De niet-getransformeerde jaarlijkse aantallen overschrijdingen (van een bepaalde drempelwaarde) zijn namelijk niet netjes normaal verdeeld, wat onder andere tot uiting komt in een hoge waarde van de scheefheid. Buishand {3} laat zien dat in het geval van reeksen die niet samengesteld zijn uit Gauss-data, de partiële sommenteknik en de Von Neumann's ratio tot enigszins conservatieve resultaten leiden.

In verband hiermee is elke score getransformeerd:

$$\text{score}_{i,j} = \sqrt{(\text{score}_{i,j})} + \sqrt{(\text{score}_{i,j} + 1)}$$

met $\text{score}_{i,j}$ = aantal overschrijdingen voor station i , in jaar j .

Vervolgens zijn elk jaar de "landelijke" (dat wil zeggen over de 140 beschouwde stations) gemiddelden bepaald, en deze zijn afgetrokken van de getransformeerde scores.

Aan te tonen is dat dit consequenties heeft voor het onderscheidingsvermogen ("power") van de toets:

$$\text{Power} = P(\text{Verwerpen van } H_0 \mid \Delta)$$

met Δ = verschil tussen de verwachting van de score aan het eind en aan het begin van de reeks:

De "power" hangt af van de grootte van Δ ten opzichte van σ_x . Bij een verschilreeks wordt beschouwd:

$$z_{i,j} = x_{i,j} - \bar{y}_j$$

met $z_{i,j}$ = waarde van de verschilvariabele in station i , jaar j

$x_{i,j}$ = score van station i , in jaar j

$\bar{y}_j$ = gemiddelde score in jaar j

σ_x = standaardafwijking van de reeks $x_{i,j}$ (i vast)

Dus moet Δ niet bekeken worden ten opzichte van σ_x , maar ten opzichte van σ_z .

Nu geldt: $\text{var } z = \text{var } x_{i,j} + \text{var } \bar{y}_j - 2 \text{ cov } (x_{i,j}, \bar{y}_j)$

Door verschilreeksen te nemen, neemt de variantie dus toe (nadelig voor de "power"), als

$$\text{var } \bar{y}_j > 2 \text{ cov } (x_{i,j}, \bar{y}_j)$$

of als

$$2\rho(x_{i,j}, \bar{y}_j) \cdot \sqrt{(\text{var } x_{i,j})} < \sqrt{(\text{var } \bar{y}_j)}$$

Bij controle hiervan, aan de hand van enige reeksen, bleek dat een sterk nadelige invloed op de "power" niet te verwachten is.

De verschilreeksen zijn op trend onderzocht met behulp van de toets op de helling van de regressielijn.

Beschouw $x_1, x_2, \dots, x_n$, onderling onafhankelijke trekkingen uit een normale verdeling

met x_i = de getransformeerde score, waarvan het "landelijk" gemiddelde is afgetrokken.

Getoets kan worden de nulhypothese: helling β van de regressielijn van x_i tegen de tijd $t = 0$.

Voor de toetsingsgrootheid

$$\underline{t} = \frac{\underline{b}_1}{\sqrt{(s^2 / \sum (t_i - \bar{t})^2)} } = \frac{\underline{R} \sqrt{(n - 2)}}{\sqrt{(1 - \underline{R}^2)}}$$

met $\underline{b}_1$ = schatter van de helling van de regressielijn

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i)^2 - n (\bar{x})^2}{n - 1}$$

$\bar{t}$ = gemiddelde waarde van de tijdsvariabele

$\underline{R}$ = steekproefcorrelatie-coëfficiënt tussen (x_j, t_j) , $j = 1, \dots, n$

geldt, dat deze onder H_0 isomorf is met $\underline{t}_{n-2}$.

Bij tweezijdig toetsen en een betrouwbaarheidsdrempel van 0.10 hoort een kritieke t-waarde van 1.71

3. Resultaten van de toets op trend van de getransformeerde verschil-
reeksen; jaarlijks aantal zomerneerslagen groter dan een bepaalde drempel-
waarde

Voor de volgende stations week de helling van de regressielijn (overschrijdingen met betrekking tot het 30.0 mm niveau) significant* af van 0 (zie ook fig. 1):

1. Hoorn, NH (222)	-
2. Schagen (228)	+
3. Medemblik (236)	+
4. De Haukes, NH (238)	+
5. Kreileroord (240)	+
6. Kolhorn (252)	+
7. Emmen (333)	-
8. Emmeloord (348)	+
9. Nijmegen (539)	+
10. Geldermalsen (584)	+
11. Hilversum (586)	+
12. Winterswijk (666)	-
13. Borculo (669)	-
14. Gendringen (673)	-
15. Oldenzaal (676)	-
16. Krabbendijke (747)	-
17. Capelle, NB (844)	+
18. Eindhoven (902)	+
19. Buchten (974)	-

*) Tweezijdig toetsen; $\gamma = 0.10$

Voor de volgende stations week de helling van de regressielijn (overschrijdingen met betrekking tot het 25.0 mm niveau) significant af van 0 (zie ook fig. 2):

1. Onnen (158)	-
2. Eelde (161)	-
3. Medemblik (236)	+
4. Kreileroord (240)	+
5. Zweelo (341)	-
6. Vroomshoop (345)	-
7. Emmeloord (348)	+
8. Rotterdam, Westerkade (445)	+
9. Tiel (562)	+
10. Geldermalsen (584)	+
11. Hilversum (586)	+
12. Almelo (664)	-
13. Gendringen (673)	-
14. Oldenzaal (676)	-
15. Terneuzen (742)	-
16. Krabbendijke (747)	-
17. Capelle, NB (844)	+
18. Eindhoven (902)	+
19. Deurne (908)	-
20. Buchten (974)	-

De verschilreeksen met betrekking tot het 25.0 mm niveau zijn ook geanalyseerd zonder dat transformatie was toegepast.

In dat geval scoorden de volgende stations significant:

1. Eelde (161)	-
2. Medemblik (236)	+
3. De Haukes, NH (238)	+
4. Kreileroord (240)	+
5. Zweelo (341)	-
6. Vroomshoop (345)	-
7. Rotterdam, Westerkade (445)	+
8. Tiel (562)	+
9. Beekbergen (573)	+
10. Geldermalsen (584)	+
11. Gendringen (673)	-
12. Oldenzaal (676)	-
13. Krabbendijke (747)	-
14. Capelle, NB (844)	+
15. Eindhoven (902)	+
16. Beek, Limburg (973)	-
17. Buchten (974)	-

Voor de volgende stations week de helling van de regressiëlijn (overschrijdingen met betrekking tot het 15.0 mm niveau) significant af van 0 (zie ook fig. 3):

1. Leeuwarden (85)	-
2. Onnen (158)	-
3. Eelde (161)	-
4. Zaandijk (230)	-
5. Bergen, NH (234)	-
6. Emmen (333)	-
7. Emmeloord (348)	+
8. Nagele, NOP (352)	+
9. Groot Ammers (434)	+
10. Mookhoek (455)	+
11. Aalsmeer (458)	-
12. Dordrecht (459)	+
13. De Bilt (550)	+
14. Lunteren (558)	+
15. Terneuzen (742)	-
16. Cadzand (763)	+
17. Tilburg (827)	+
18. Herwijnen (830)	+
19. Andel (835)	+
20. Nieuwendijk, NB (840)	+
21. Capelle, NB (844)	+
22. Eersel (915)	+
23. Buchten (974)	-

Voor de volgende stations week de helling van de regressielijn (overschrijdingen met betrekking tot het 1.0 mm niveau) significant af van 0 (zie fig. 4):

1. Lemmer, Tacoz. (74)	-
2. Leeuwarden (85)	-
3. Ter Apel (144)	+
4. Zoutkamp (145)	+
5. Sappemeer (148)	+
6. Rodeschool (151)	+
7. Eenrum (154)	+
8. Lemmer, Buma (359)	-
9. Groot Ammers (434)	+
10. Lijnden (437)	-
11. Oostvoorne (456)	+
12. Dirksland (462)	+
13. Nijkerk (547)	-
14. Tiel (562)	+
15. Hulshorst (564)	-
16. Twente Vlgb. (670)	-
17. Gendringen (673)	-
18. Oldenzaal (676)	-
19. St. Kruis (740)	+
20. Nuland (901)	+
21. Megen (903)	+
22. Buchten (974)	-

Ook de gemiddeldenreeksen zijn met behulp van de toets op de helling van de regressielijn op trend onderzocht. Alle vijf gemiddeldenreeksen werden gekenmerkt door een negatieve trend. Alleen in het geval van de reeksen met betrekking tot het aantal zomerse dagen met meer dan 1.0 mm neerslag, was deze niet significant ($\gamma = 0.10$; tweezijdig).



Figuur 1: stations waarvan de helling van de regressielijn (overschrijdingen met betrekking tot het 30.0 mm niveau) significant afweek van 0.

- = afname
- ★ = toename



Figuur 2: stations waarvan de helling van de regressielijn (overschrijdingen met betrekking tot het 25.0 mm niveau) significant afweek van 0.

● = afname
★ = toename



Figuur 3: stations waarvan de helling van de regressielijn (overschrijdingen met betrekking tot het 15.0 mm niveau) significant afweek van 0.

- = afname
- ★ = toename



Figuur 4: stations waarvan de helling van de regressielijn (overschrijdingen met betrekking tot het 1.0 mm niveau) significant afweek van 0.

● = afname
★ = toename

4. Enige bewerkingen

4.1. Bestudering van het verloop van de reeksen

Voor nadere bestudering van het verloop in de tijd van een variabele, kan gebruik worden gemaakt van de partiële sommentechiek. In het geval van een sprong in de reeks wordt de plaats van de sprong met behulp van de partiële sommentechiek echter teveel in het midden van de reeks gelocaliseerd. Buishand {4} besteedt hieraan aandacht en stelt een alternatief voor:

Stel $x_1, x_2, \dots, x_n$ onderling onafhankelijke trekkingen van $\underline{x}$

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n$$

$$\bar{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / n$$

$$S_j = \sum_{i=1}^j x_i - j \cdot \bar{x} \quad (j = 1, \dots, n), \text{ dus } S_n = 0$$

$$A_n^+ = \max (S_j)$$

$$A_n^- = \min (S_j)$$

In plaats dat nu wordt beschouwd B_n^+ (of B_n^-)

$$B_n^+ = \max \{S_k\} / (\bar{\sigma} \sqrt{n}) \quad 1 \leq k \leq n-1,$$

wordt beschouwd:

$$V_n^+ = \max \{S_k\} / (\bar{\sigma} \sqrt{k(n-k)}) \quad 1 \leq k \leq n-1$$

Dit levert een indicatie op voor de plaats van een eventuele sprong, nl. de waarde van k waarvoor V_n^+ maximaal is.

Met behulp van deze gewogen partiële sommentechiek zijn de getransformeerde verschilreeksen met betrekking tot het jaarlijks aantal zomerse dagtotalen ≥ 25.0 mm geanalyseerd.

Voor die stations waarvan de helling van de regressielijn afweek van 0 ($\gamma = 0.20$; tweezijdig), is de verdeling van k over het interval (1, 28) nagegaan.

Helling significant > 0

k	score
1 - 4	0
5 - 8	1
9 - 12	4
13 - 16	2
17 - 20	5
21 - 24	1
25 - 28	2

Helling significant < 0

k	score
1 - 4	0
5 - 8	2
9 - 12	1
13 - 16	3
17 - 20	5
21 - 24	1
25 - 28	1

Het maximum - of minimum - ligt voor deze stations min of meer in het midden. Dit wijst in de richting van een trend in de tijd.

4.2. Omvang van mogelijke contrasten met betrekking tot verstedelijking

en industrialisatie

Enig inzicht in de omvang van mogelijke contrasten tussen "stedelijke" en "landelijke" stations werd als volgt verkregen.

Uit de 140 beschouwde KNMI-neerslagstations werden 9 "stedelijke" stations gekozen en 9 min of meer overeenkomstige (wat betreft topografie, ligging ten opzichte van de kust) "landelijke" stations.

Geteld werd voor alle 18 stations, het aantal malen dat in de beschouwde periode een bui viel van meer dan 15.0 mm (30.0 mm) in de zomer (niet-zomer).

Verwacht werd dat met name in de zomer deze scores voor de "stedelijke" stations hoger zouden liggen.

De scores zijn vermeld in de tabellen op pag. 18.

(NB: N30Z = aantal malen dat in de beschouwde periode een bui viel van meer dan 30.0 mm in de zomer; N30N = aantal malen dat in de beschouwde periode een bui viel van meer dan 30 mm in de niet-zomer, etc)

"STEDELIJKE STATIONS"

Plaats	N30Z	N15Z	N30N	N15N
Zaandijk (230)	12	116	7	119
Amsterdam (441)	23	167	9	140
Rotterdam (445)	35	175	9	106
Bergschenhoek (453)	30	159	6	108
Hengelo (668)	18	142	4	102
Enschede (665)	19	136	6	99
Terneuzen (742)	23	145	2	97
Vaals (968)	37	173	16	150
Beek (973)	17	137	3	84
gemiddelde	23.8	150.0	6.9	111.7
standaardafwijking	8.5	19.8	4.2	21.2

"LANDELIJKE STATIONS"

Plaats	N30Z	N15Z	N30N	N15N
Overveen (225)	14	134	7	129
Kolhorn (252)	9	129	11	115
Sassenheim (L) (436)	11	126	6	102
Oude Wetering (439)	16	147	6	109
Rheezerveen (339)	23	123	5	91
Vroomshoop (345)	13	146	4	99
St.-Kruis (740)	13	128	7	101
Winterswijk (666)	17	136	4	99
Gendringen (673)	24	123	3	82
gemiddelde	15.6	132.4	5.9	103.0
standaardafwijking	5.1	9.1	2.4	13.6

Op de scores is weer de normaliserende transformatie toegepast:

$$n = \sqrt{n} + \sqrt{(n+1)}$$

Getoetst is de nulhypothese (geen verschil tussen "landelijke" en "stedelijke" stations) met behulp van de 2 steekproeven t-toets met als toetsingsgrootte:

$$t = \frac{(\bar{y}_{1.} - \bar{y}_{2.})}{\sqrt{(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}) \cdot \frac{y_R^2}{r}}}$$

met n_1 = aantal "stedelijke" stations = 9

n_2 = aantal "landelijke" stations = 9

$r = n_{\text{tot}} - 2 = 16$

$\bar{y}_{1.}$ = gemiddelde van de getransformeerden voor de 9 "stedelijke" stat.

$\bar{y}_{2.}$ = gemiddelde van de getransformeerden voor de 9 "landelijke" stat.

$$y_R^2 = y^2 - y_D^2$$

Onder H_0 geldt dat er geen verschil is in de getransformeerden $\sqrt{n} + \sqrt{(n+1)}$ voor "stedelijke" en "landelijke" stations.

Onder H_0 geldt voor t : $t \approx t_{16}$.

Aangezien verwacht worden hogere waarden van y in de "stedelijke" stations (H_a : $E(y_1) > E(y_2)$) wordt eenzijdig (rechts-) getoetst (met $\gamma = 0.05$)

In onderstaande tabel is voor elk van de 4 gevallen de realisatie van t aangegeven, alsmede de conclusie met betrekking tot het al dan niet verwerpen van de nulhypothese.

H_0	t	H_0 ver- wor- pen
Geen verschil in getransformeerde (zomerse neerslagen ≥ 30.0 mm)	2.52	ja
Geen verschil in getransformeerde (zomerse neerslagen ≥ 15.0 mm)	2.34	ja
Geen verschil in getransformeerde (niet-zomerse neerslagen ≥ 30.0 mm)	0.47	nee
Geen verschil in getransformeerde (niet-zomerse neerslagen ≥ 15.0 mm)	1.00	nee

Er zijn echter ook andere indelingen mogelijk dan "stedelijk" en "landelijk" waarbij eveneens contrasten optreden in het jaarlijks aantal dagen met neerslag boven een bepaalde drempelwaarde (zie bijv. Kaart 30 van de KNMI-klimaatatlas {5}).

Voor een 14-tal stations* werd beschikt over dagcijfers voor de periode 1893 t/m 1950 en 1951 t/m 1979.

Bij toetsing (met behulp van Pearson's X^2 -toets) of de verdeling in klassen van dagtotalen (0 - 10 mm, 10 - 20 mm, 20 - 30 mm, ≥ 30 mm, zowel over de zomer als over het gehele jaar) voor deze 14 klimatologisch-willekeurige stations als gelijk beschouwd mocht worden, moest de nulhypothese (verdelingen gelijk) in alle vier gevallen verworpen worden.

Reeks	Seizoen	Toetsingsgrootheid X^2	H_0
1893 t/m 1950	zomer	62.71	verworpen
	hele jaar	94.06	"
1951 t/m 1979	zomer	56.30	"
	hele jaar	81.37	"

Blijkbaar treden er dus zowiezo substantiële plaatselijke verschillen op.

*Leeuwarden, Groningen, Vlissingen, Hoofddorp, Putten, Roermond, Scheveningen, Lemmer, Winterswijk, Hoorn, West-Terschelling, Oudenbosch, Ter Apel, Helmond

Voor deze 14 stations werd ook gekeken naar een eventuele positieve correlatie tussen het aantal dagen in de periode 1893 t/m 1950, waarop de neerslag in een bepaald grootteklasse (bijv. 10 - 20 mm) lag, en hetzelfde aantal in de tweede periode 1951 t/m 1979.

Dit geeft allereerst enig inzicht in de "waardevastheid" van een kenmerk als "op dit station valt meer dan het landelijk gemiddelde aantal zware zomerse dagneerslagen".

Bovendien geeft het daarmee een indruk van het belang van "man made" - oorzaken als verstedelijking e.d. voor het aantal zware dagneerslagen/zomer.

<u>Grootteklasse</u>	<u>Correlatiecoëfficiënt</u> (aantal in eerste periode tegen aantal in tweede periode)
0 - 10 mm	0.69
10 - 20 mm	0.60
20 - 30 mm	0.11
≥ 30 mm	0.44

Geconcludeerd kan worden dat er een redelijke correlatie is tussen klassen-
onderlingen, gebaseerd op reeksen uit verschillende perioden.

De uitschieter in de klasse 20 - 30 mm is evenwel opvallend.

4.3. Het verloop van enige lange reeksen

Van een 11-tal stations* zijn lange reeksen dagneerslagen (1893 t/m 1979) onderzocht. Allereerst is het jaarlijks aantal zomerse dagtotalen ≥ 25.0 mm (getransformeerde verschilreeksen) onderzocht op een trend met behulp van de toets op de helling van de regressielijnen ($\gamma = 0.10$; tweezijdig). Voor de reeks van Lemmer werd een positieve trend geconstateerd ($\gamma = 0.10$; tweezijdige toetsing).

* Leeuwarden, Groningen, Vlissingen, Hoofddorp, Scheveningen, Lemmer, Winterswijk, Hoorn, Oudenbosch, Ter Apel, Helmond

Ook de gemiddeldenreeks (van de getransformeerde gegevens) is met behulp van de toets op de helling van de regressielijn op trend onderzocht. Dit leverde een positieve hellingshoek op ($b = 0.0023$), en een t-waarde van 1.059.

Significantie werd dus niet bereikt voor $\gamma = 0.20$; tweezijdige toetsing. Deze reeksen zijn ook onderzocht op langjarige, periodieke componenten. Reeksen van klimatologische variabelen bezitten namelijk naast hele hoge frequenties (dag, maand, jaar) en heel lage frequenties (21.000 jaar, 41.000 jaar; in verband met bewegingen van zon en aarde ten opzichte van elkaar), ook enige frequenties hier tussenin: 11 jaar, 80 jaar, een paar eeuwen en meer (6).

Deze laatste periodieke componenten hangen samen met de invloed op het aardse klimaat van zonnevlekken en de daarmee gepaard gaande emissies van kortgolvlige ultraviolette stralingen en van geladen deeltjes.

De effecten van kortgolvlige stralingen worden geacht van electro-chemische aard te zijn: ze bevorderen het ontstaan van ozon in de bovenste lagen van de atmosfeer en accentueren het atmosferische "broeikaseffect". Dit leidt tot reductie van de thermische gradiënten aan het aardoppervlak, wat leidt tot vermindering van de cellulaire kenmerken van de atmosferische drukverdeling op zeeniveau.

De gevolgen van de emissie van geladen deeltjes zijn geconcentreerd aan de polen, in verband met het magnetisch veld van de aarde. Na dergelijke emissies neemt de luchtdruk in de hogere breedtes toe, en neemt ze af in de lagere breedtes. Hoe beide verschijnselen doorwerken op de frequenties van zware zomerse neerslagen, is moeilijk aan te geven. Zonder dat dit verder uitgewerkt wordt overigens, stelt het Engelse Flood Studies Report, dat cycliciteiten met periodes korter dan 12 jaar "...groot genoeg blijken te zijn, om van veel praktisch belang te zijn." (7, deel II, pag. 29).

Een eerste en snelle indruk van het al dan niet aanwezig zijn van een cyclische component met een periode van 11 jaar werd als volgt verkregen. Van 11 stations waren voor de periode 1893-1979 (87 jaar; dit is nogal kort voor een dergelijk onderzoek) beschikbaar het jaarlijks aantal zomerse neerslagen ≥ 25.0 mm. Deze zijn gemiddeld over de 11 stations, en met behulp van de resulterende gemiddeldenreeks werden weer 11 nieuwe gemiddelden bepaald:

$$\begin{aligned} \text{gem.}_1 &= (\text{gem. jaar } 1 + \text{gem. jaar } 12 + \dots + \text{gem. jaar } 78)/8 \\ \vdots & \\ \text{gem.}_{11} &= (\text{gem. jaar } 11 + \text{gem. jaar } 22 + \dots + \text{gem. jaar } 77)/7 \end{aligned}$$

Uitzetten van deze reeks tegen de tijd, leverde niet direct een indicatie op voor de aanwezigheid van een cyclische component met een periode van 11 jaar. Vervolgens is het "power spectrum" bepaald van de 87-jaar lange reeks met gemiddelde aantallen (over de 11 stations) zomerse neerslagen ≥ 25.0 mm. Het power spectrum is een grafische uitbeelding van de bijdrage aan de variatie in de tijdreeks van elk sinus- en cosinusvormige component tegen zijn frequentie. Het oppervlak onder de curve is daarbij een maat voor de variatie die "verklaard" kan worden door componenten van een bepaald frequentiebereik.

In verband met een vermoede periodiciteit van 11 jaar werd als hoofdfrequentie $1/11 \text{ jaar}^{-1}$ aangehouden. Een aanwijzing voor een 11-jarige cyclus werd niet gevonden. Wel werd een zwakke aanwijzing gevonden voor een component met een periode van 3 jaar. De autocorrelatiecoëfficiënt $r(k)$ van de gemiddelde scores met een "lag" van 3 jaar ($k = 3$) bedroeg 0.18. Dit ligt nog binnen het betrouwbaarheidsinterval dat geldt voor $r(k) = 0$ bij onafhankelijke waarnemingen (2-zijdige toetsing; onbetrouwbaarheid $\gamma = 0.95$).

Gezien bovendien de relatief korte lengte van de reeks en de afwezigheid van een fysische verklaring voor een dergelijke periodiciteit, luidt de conclusie dat geen systematische fluctuaties zijn geconstateerd in deze reeks met gemiddelde (over 11 stations) aantallen zomerse neerslagen ≥ 25.0 mm (1893-1979).

5. Ruimtelijke patronen in het optreden van de trends

5.1. Inleiding

Het construeren van een interpolatievlak van overschrijdingskansen, bepaald in enige punten van het vlak (c.q. Nederland), is een mogelijkheid om de uitgestrektheid te bepalen van de deelgebieden binnen het vlak, waarvoor de één of andere overschrijdingskans kleiner is dan een bepaalde, kritieke waarde.

In dit onderzoek werd geschat de helling van de regressielijn van het jaarlijks aantal zomerse neerslagen boven een bepaalde drempel (eventueel getransformeerd en gladgestreken) met de tijd. Getoetst werd voor neerslagreeksen van 140 stations de nulhypothese: hellingshoek = 0.

De beschouwde toetsingsgrootte was:

$$\underline{t} = \frac{\underline{r}\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{(1-\underline{r}^2)}} \frac{\sim}{H_0} \underline{t}_{n-2}$$

Men kan nu op een kaart van Nederland de 140 beschouwde stations elk een variabele p_i , met $i = 1, \dots, 140$ meegeven, met

$$p_i = P\{|\underline{t}| \geq t\}$$

Na constructie van een interpolatievlak van p_i waarden, komen automatisch gebieden tot stand, waarbinnen aangenomen zou mogen worden, dat de helling van de regressielijn significant van 0 verschilt.

Voordat men echter een dergelijk interpolatievlak construeert (en daarmee noodzakelijkerwijs een regionale indeling), is het van belang te toetsen of voor die indeling enige evidentie bestaat.

5.2. Evidentie van regionale verschillen in trend

Ga uit (zie (8)) van één of ander kenmerk, bijv. de t -waarde die het resultaat was van de toets op de helling van de regressielijn ($H_0 : \beta = 0$) van de getransformeerde verschilreeks met betrekking tot het 25.0 mm niveau voor een bepaald station. Dit levert dus 140 getalletjes t op. Als model wordt verondersteld^{*}:

$$\underline{t} \approx N(\xi, I, R)$$

Gesteld kan worden:

$$R^{-\frac{1}{2}} \underline{t} \approx N(R^{-\frac{1}{2}} \xi, I)$$

Getoetst wordt de nulhypothese: $\xi = 0$. Dit houdt in dat Nederland beschouwd kan worden homogeen te zijn met betrekking tot het optreden van trends in neerslagen boven bepaalde drempels in de tijd.

Voor $\xi = 0$ geldt dan:

$$\underline{t}' \cdot R^{-1} \cdot \underline{t} \approx \chi_m^2$$

, met m = het aantal beschouwde reeksen.

H_0 wordt besproken door grote waarden van $\underline{t}' \cdot R^{-1} \cdot \underline{t}$, met als kritieke grens $\chi_m^2 (1 - \alpha)$, d.i. ca. 168 voor $m = 140$ en $\alpha = 0.05$ (zie de benadering voor de Chi-kwadraatverdeling op pag. 212 van (9)).

^{*}Als $\underline{Y}$ een standaard-normaal verdeelde variabele is, en $\underline{U}$ een Chi-kwadraat variabele met ν vrijheidsgraden, en $\underline{Y}$ en $\underline{U}$ zijn onafhankelijk, dan heeft $\frac{\underline{Y}}{\sqrt{\nu/\underline{U}}}$

een $\underline{t}$ -verdeling met ν vrijheidsgraden. De $\underline{t}$ -verdeling heeft verwachting $E(\underline{t}) = 0$

variantie $\text{var}(\underline{t}) = \nu/(\nu - 2)$, voor $\nu > 2$

Als ν groter wordt, benadert de $\underline{t}$ -verdeling de standaard-normale. In het onderhavige geval geldt $\nu = 27$. Ter vergelijking (bij 2-zijdige toetsing):

$$\underline{t}_{27;0.95} = 1.71 \quad ; \quad \chi_{0.95} = 1.65$$

Een alternatieve toetsingsgrootheid voor $\underline{t}' \cdot R^{-1} \cdot \underline{t}$ is:

$$\underline{b}' \cdot R^{-1} \cdot \underline{b}$$

, met $\underline{b}$ = de vector van geschatte hellingen b_i ($i = 1, 2, \dots, 140$) van de regressielijn voor elk van de 140 stations.

Probleem hiermee is dat $\underline{b}$ niet keurig standaard-normaal verdeeld is (variancie $\neq 1$). Hierdoor:

$$R^{-1/2} \underline{b} \approx N(R^{-1/2} \xi, \sigma^2, I)$$

, en het vervolg van de toets wordt aanmerkelijk moeizamer.

De correlatiecoëfficiëntenmatrix R is rechtstreeks bepaald* uit de getransformeerde verschilreeksen. Daarna was smoothen noodzakelijk, door de bepaalde correlatiecoëfficiënten ($140 \times 141/2$) per afstandsklasse (0 - 10 km, 10 - 20 km, enz.) te middelen. Vervolgens werd met behulp van regressie het verloop van de correlatiecoëfficiënt $r(d)$ met de afstand d bepaald. Dit leverde op:

$$r(d) = 0.4534 - 0.0092 \times d \quad (\text{voor } d > 49.28 \text{ km : } r(d) = 0)$$

Dit smoothen van de correlatiecoëfficiëntmatrix was noodzakelijk, omdat er meer stations dan jaren waarnemingen zijn. Hiermee wordt het probleem overbepaald. De correlatiematrix wordt singulier, inverteren van de matrix moeilijk, en het behalen van een bevredigende nauwkeurigheid onmogelijk.

De resulterende waarde van $\underline{t}' \cdot R^{-1} \cdot \underline{t}$ bedroeg 171. De nulhypothese ("Nederland is homogeen") moet dus verworpen worden. In plaats van dit lineaire verloop van de correlatiecoëfficiënt met de afstand, werd $r(d)$ ook nog benaderd met een derde graads polynoom. Deze gaf een betere fit, en leverde een waarde van de toetsingsgrootheid op van 167.

*Ook had een variogram-achtige aanpak gehanteerd kunnen worden waarbij $E(\underline{t}_i - \underline{t}_j)^2 = 2 \times (1 - R_{i,j})$ als functie van de afstand wordt uitgezet, met: $R_{i,j}$ = correlatiecoëfficiënt voor t -waardes van stations i en j op afstand d .

Dit levert ook een functie van het verloop van de correlatiecoëfficiënt met de afstand op.

Ruwweg gesproken is er voor de beschouwde periode (1951 t/m 1979) en voor de beschouwde reeksen (overschrijdingen met betrekking tot het 25 mm niveau; getransformeerde verschilreeksen) een zône langs de Duitse grens en een smalle strook over delen van Zeeuws Vlaanderen, Zuid Beveland en West-Brabant, waarbinnen de trends dalend zijn. Stijgende trends treden op in een smalle strook over Midden Nederland (van Eindhoven naar Hilversum en Nijkerk), in de Wieringermeerpolder en het zuiden van de Noord-Oost Polder en in het gebied Rotterdam-Dordrecht. Daarnaast zijn er nog enkele plaatselijke uitschieters (naar beide kanten).

6. Conclusies

1. De jaren 1951 t/m 1979 worden gekenmerkt door een lichte, significante, afname van het jaarlijks aantal zware, zomerse dagneerslagen.
2. Met betrekking tot deze afname mag Nederland niet-homogeen geacht worden.
3. Een fysische verklaring van het resulterende ruimtelijke patroon is niet eenvoudig te geven.
4. Gezien de geringe lengte van de neerslagreeksen lijkt het te overwegen het onderzoek te richten op ruimtelijke verschillen in plaats van op trends in de tijd. Ten einde het aantal vrijheidsgraden fors omlaag te brengen, is indeling van Nederland in een aantal gebieden aan te bevelen.
5. Een systematische component in de fluctuaties van het jaarlijks aantal zware zomerse dagneerslagen was niet aantoonbaar.
6. Bij vergelijking van de resultaten van dit onderzoek met de resultaten gepresenteerd in (1), moet bedacht worden:
 - (a) dat daar niveaus van aantallen overschrijdingen voor 2 periodes vergeleken worden,
 - (b) waarvan de 2e periode bijna even lang is (1957 t/m 1979) als de hier beschouwde periode (1951 t/m 1979)

In dit onderzoek werd bijvoorbeeld een significante toenemende trend geconstateerd in jaarlijkse aantallen zomerse neerslagen ≥ 30.0 mm voor 5 stations in de kop van Noord-Holland. Voor een gebied waar deze 5 stations in liggen, wordt in (1) een daling van jaarlijks aantal zomerse neerslagen ≥ 30.0 mm geconstateerd voor periode II (1957 t/m 1979) ten opzichte van periode I (1933 t/m 1944, 1946 t/m 1956). Dit is met elkaar verenigbaar, omdat de hier geconstateerde toenemende trend zich afspeelt op een absoluut laag niveau.

7. Referenties

1. D.A. Kraijenhoff van de Leur, J. Kroeze, G.E. Arnold:
"Heftige regens leiden tot snelle afvoeren"
(Waterschapsbelangen, 66 (1981), pp. 64-68)
2. zie eveneens: J.V. Witter:
"Verslag van het vooronderzoek 'de invloed van de verstedelijking en
industrialisatie op de neerslag in Nederland'"
app. F, pp. 4 en 5
3. T.A. Buishand:
"Stochastic modelling of daily rainfall sequences"
(L.H. Wageningen, 1977)
4. T.A. Buishand:
"Onderzoek van een tijdreeks met een sprong in het gemiddelde"
(De Bilt, 1981)
5. KNMI:
"Klimaatatlas"
(Staatsuitgeverij Den Haag, 1972)
6. P.S. Eagleson:
"Dynamic hydrology"
(Mc Graw-Hill New York, 1970)
7. "Flood Studies Report"
(National Environment Research Council London, 1975)
8. M.A.J. van Montfort:
"Opmerkingen met betrekking tot pag. 4"
(Wageningen, 5 oktober 1980)
9. L.C.A. Corsten:
"Collegedictaat wiskundige statistiek, Deel 2"
(L.H. Wageningen, 1979)

Appendix: Lijst van geselecteerde neerslagstations

no.	KNMI no.	naam
1	10	Hollum (Am.)
2	12	Schiermonnikoog
3	16	Petten
4	17	Den Burg (Texel)
5	19	Cocksdoorp (Texel)
6	67	Dokkum
7	74	Lemmer (Taco.)
8	75	Oldeholtspade
9	76	Kornwerderzand
10	80	Stavoren
11	82	Gorredijk
12	84	Ezumazijl
13	85	Leeuwarden
14	139	Groningen
15	140	Assen
16	144	Ter Apel
17	145	Zoutkamp
18	148	Sappemeer
19	151	Roodeschool
20	153	Winschoten
21	154	Eenrum
22	156	Vlagtwedde
23	158	Onnen
24	161	Eelde
25	162	Niekerk
26	166	Marum (Gr.)
27	221	Enkhuizen
28	222	Hoorn (N.H.)
29	225	Overveen
30	228	Schagen
31	230	Zaandijk
32	234	Bergen (N.H.)
33	235	Castricum
34	236	Medemblik
35	238	De Haukes (N.H.)
36	239	Den Oever
37	240	Kreileroord
38	246	Marken
39	252	Kolhorn
40	329	Wapenveld
41	330	Zwolle
42	333	Emmen
43	339	Rheezerveen
44	341	Zweelo
45	345	Vroomshoop

no.	KNMI no.	naam
46	346	Kraggenburg (NOP)
47	347	Urk
48	348	Emmeloord
49	352	Nagele (NOP)
50	353	Blokzijl
51	354	Dedemsvaart
52	356	Kuinre
53	359	Lemmer (Buma)
54	434	Groot Ammers
55	436	Sassenheim (Leeghw.)
56	437	Lijnden
57	438	Hoofddorp
58	439	Oude Wetering
59	440	Scheveningen
60	441	Amsterdam (H.B.)
61	442	Boskoop
62	443	Gouda
63	444	Katwijk a/d Rijn
64	445	Rotterdam (Westerk.)
65	449	Delft
66	450	Numansdorp
67	453	Bergschenhoek
68	455	Mookhoek
69	456	Oostvoorne
70	458	Aalsmeer
71	459	Dordrecht
72	462	Dirksland
73	466	Wassenaar
74	467	Poortugaal
75	469	Leiden
76	471	Ouddorp
77	539	Nijmegen
78	541	Arnhem
79	543	Apeldoorn
80	547	Nijkerk
81	550	De Bilt
82	556	Bussum
83	558	Lunteren
84	562	Tiel
85	564	Hulshorst
86	571	Harskamp
87	573	Beekbergen
88	578	Oosterbeek
89	579	Veenendaal
90	584	Geldermalsen
91	586	Hilversum
92	664	Almelo

no.	KNMI	naam
—	no.	—
93	665	Enschede
94	666	Winterswijk
95	667	Doetinchem
96	668	Hengelo (Ov.)
97	669	Borculo
98	670	Vliegveld Twente
99	673	Gendringen
100	674	Rekken
101	676	Oldenzaal
102	677	Deventer
103	678	Almen
104	681	Lettele
105	733	Vlissingen
106	740	St. Kruis
107	742	Terneuzen
108	745	Axel
109	747	Krabbendijke
110	751	Vrouwenpolder
111	752	Haamstede
112	756	Middelburg
113	759	St. Annaland
114	760	s'-Heerenhoek
115	763	Cadzand
116	827	Tilburg
117	828	Oudenbosch
118	830	Herwijnen
119	832	Bergen op Zoom
120	833	Oosterhout
121	834	Chaam
122	835	Andel
123	838	Ginneken
124	839	Hoogerheide
125	840	Nieuwendijk (NB)
126	843	Vliegbasis Gilze Ri
127	844	Capelle (NB)
128	896	Helmond
129	899	Gemert
130	910	Nuland
131	902	Eindhoven
132	903	Megen
133	908	Deurne
134	911	Dinther
135	912	Leende
136	915	Eersel (Witrijt)
137	968	Vaals
138	970	Stramproij
139	973	Beek (L.)
140	974	Buchten