

VERDROGING NATIONAAL PARK

MEIJNWEG

Statistische analyse grondwaterstandsreeksen

Auteurs : ing. M.J. van Bracht
ir. P.R. Defize (IWIS-TNO)
opdrachtgever: Staatsbosbeheer
Rapport nr. : OS 84-30
datum : november 1984

DIENST GRONDWATERVERKENNING TNO

Postbus 285

2600 AG Delft

<u>INHOUD</u>	<u>pag.</u>
A. PROBLEEMSTELLING	1
B. DOEL VAN HET ONDERZOEK	1
C. WERKPLAN	1
1. BESCHIKBARE TIJDSWAARNEMINGEN	2
1.1 De grondwaterwinningen	2
1.2 Het neerslagoverschot	5
1.3 De grondwaterstandstijdreeksen	5
2. STATISTISCHE ANALYSE GRONDWATERSTANDSREEKS 58GP-45	14
2.1 Keuze analysetechniek	14
2.2 Relatie neerslagoverschot/reeks 58GP-45	15
2.2.1 Inleiding	15
2.2.2 Resultaten	17
2.3 Invloed onttrekking pompstation Herkenbosch	20
3. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	23
3.1 Conclusies	23
3.2 Aanbevelingen	23
REFERENTIES	25

A. PROBLEEMSTELLING

In opdracht van het Staatsbosbeheer heeft de Dienst Grondwaterverkenning TNO een oriënterend onderzoek uitgevoerd naar mogelijke oorzaken van verdrogingsverschijnselen in het Nationaal Landschap. De bevindingen zijn in een betreffend rapport vastgelegd (Houtman, 1983).

Het rapport concludeert, dat de verdroging zich in eerste instantie laat verklaren uit langjarige fluctuaties van het freatisch niveau. Voorts blijkt uit het onderzoek dat zich op schol I over de periode 1960-1976 een gestage daling van de grondwaterstijghoogte in het tweede watervoerend pakket heeft voorgedaan, zonder merkbare invloed op de grondwaterstand in het bovenliggend freatisch pakket.

Het vermoeden bestaat, dat de stijghoogtedaling in het tweede watervoerend pakket mede zijn oorzaak vindt in de grondwaterwinning door het pompstation Herkenbosch.

B. DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het onderzoek heeft tot doel stijghoogtereeksen van waarnemingsfilters statistisch te analyseren, ten einde vast te stellen in welke mate het neerslagoverschot en de grondwaterwinning - elk afzonderlijk - invloed uitoefenen op het stijghoogteverloop in de watervoerende pakketten.

C. WERKPLAN

- Het vertalen van de geohydrologische problematiek naar de juiste statistische techniek.
- Het verzamelen en terugrekenen naar gelijke grootheden van de te analyseren gegevens. Dit zijn:
 - . neerslaggegevens
 - . onttrekkingscijfers
 - . stijghoogten grondwater
- Het visualiseren van eventuele overeenkomsten.
- Het toetsen op trend en op trendwijzigingen.
- Het kwantificeren van de samenhang tussen de diverse gemeten grootheden met behulp van beschikbare statistische technieken.
- Interpretatie van resultaten in een rapport met conclusies en aanbevelingen.

1. BESCHIKBARE TIJDWAARNEMINGEN

De geconstateerde verlagingen in het grondwaterstandsvlak kunnen zijn veroorzaakt door:

- grondwaterwinning
- verandering van het neerslagoverschot
- onttrekking van grondwater in verband met ontginning van steenkool
- grondwaterstandsverlaging door Duitse bruinkoolwinning

Van de eerste twee genoemde mogelijke oorzaken zijn tijdwaarnemingen beschikbaar, nl. gemeten neerslaghoeveelheden, Penman verdampingscijfers en onttrekkingshoeveelheden van pompstation Herkenbosch.

1.1 De grondwaterwinningen

Op relatief korte afstand van het onderzoeksgebied wordt op twee plaatsen grondwater gewonnen (voor ligging zie figuur 1). Pompstation "Nieder krüchten" ligt in Duitsland. Onttrokken wordt onder de reuverklei op een diepte van ± 45 m beneden maaiveld. Het winnen van grondwater is gestart in 1977. Van deze onttrekking zijn alleen de volgende jaarcijfers bekend.

1977	94 000 m ³	1981	910 000 m ³
1978	885 000 m ³	1982	ca. 900 000 m ³
1979	904 000 m ³	1983	ca. 900 000 m ³
1980	903 000 m ³		

Tabel 1 jaarcijfers onttrekking pompstation "Nieder Krüchten" (Dld.)

Van pompstation "Nieder Krüchten" zijn verder geen gedetailleerde onttrekkingscijfers bekend. De winningshoeveelheden zullen dan ook niet in de statistische analyse worden betrokken.

De hoeveelheid gewonnen grondwater door pompstation Herkenbosch is vanaf 1960 toegenomen en wel van ca. 110 000 m³ tot ca. 500 000 m³ in 1967. Na 1976 verdubbelde de jaarlijkse hoeveelheid tot ca. 1 000 000 m³. Vanaf 1968 zijn maandcijfers van deze winning bekend (zie figuur 2).

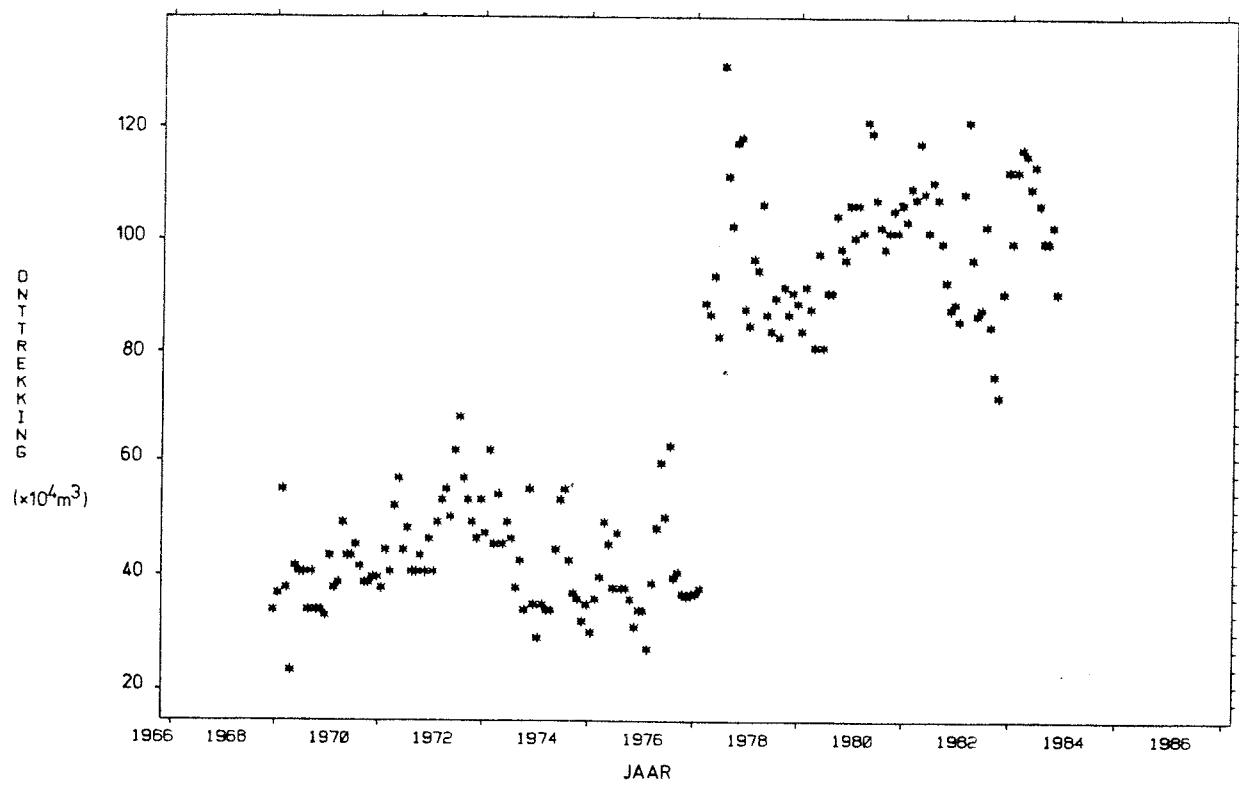


FIG. 2 : Maandelijke onttrekkingscijfers pompstation Herkenbosch

1.2 Het neerslagoverschot

Beschikbaar zijn maandelijks neerslaghoeveelheden gemeten op het waarnemingsstation Roermond. Met behulp van Penman verdampingscijfers (landelijk gemiddelde) en een reductiefactor van Penman van 0,6 (grasland) is het maandelijks neerslagoverschot (in mm) berekend. De werkelijke aanvulling van het grondwater door neerslag verschilt uiteraard met het op bovengenoemde wijze berekende neerslagoverschot. Beschouwen we echter een aantal extreme situaties (droge en natte seizoenen, diepe en ondiepe grondwaterstand) dan komt de gehanteerde relatief grove berekeningswijze vrijwel overeen met het gemiddelde van deze extreme situaties. Het uitvoeren van een complexere berekening van het neerslagoverschot gepaard gaande met nieuwe (niet te verifiëren) veronderstellingen, leek dan ook niet zinvol.

De gegevens zijn grafisch weergegeven in de figuren 3 en 4. In figuur 3 zijn per jaar de maandcijfers gemiddeld tot een jaargemiddelde, terwijl in figuur 4 cumulatieve frequentieverdelingen van de maandcijfers zijn weergegeven. Er zijn vier perioden onderscheiden, zodanig dat de variatie in onttrekkingshoeveelheden van de pompstations Herkenbosch en Nieder Krüchten zo groot mogelijk is.

- periode 1 1955-1959
- periode 2 1960-1967
- periode 3 1968-1976
- periode 4 1977-1982

Er blijken slechts kleine verschillen te bestaan tussen de frequentieverdelingen in de vier onderscheiden perioden. In periode 2 was het neerslagoverschot het hoogst en in periode 4 het laagst.

1.3 De grondwaterstandstijdreeksen

Voor het toepassen van analysetechnieken komen tijdreeksen in aanmerking met een waarnemingsfrequentie van minimaal éénmaal per maand. Bovendien moeten eventuele meetpunten vanaf 1960 en liefst nog eerder zijn waargenomen, aangezien voor deze datum eventuele onttrekkingen nog geen rol van betekenis spelen. Helaas voldoen slechts zeer weinig tijdreeksen aan deze voorwaarden. De ligging van de beschikbare meetlokaties met frequent waargenomen langjarige tijdreeksen is aangegeven op figuur 1.

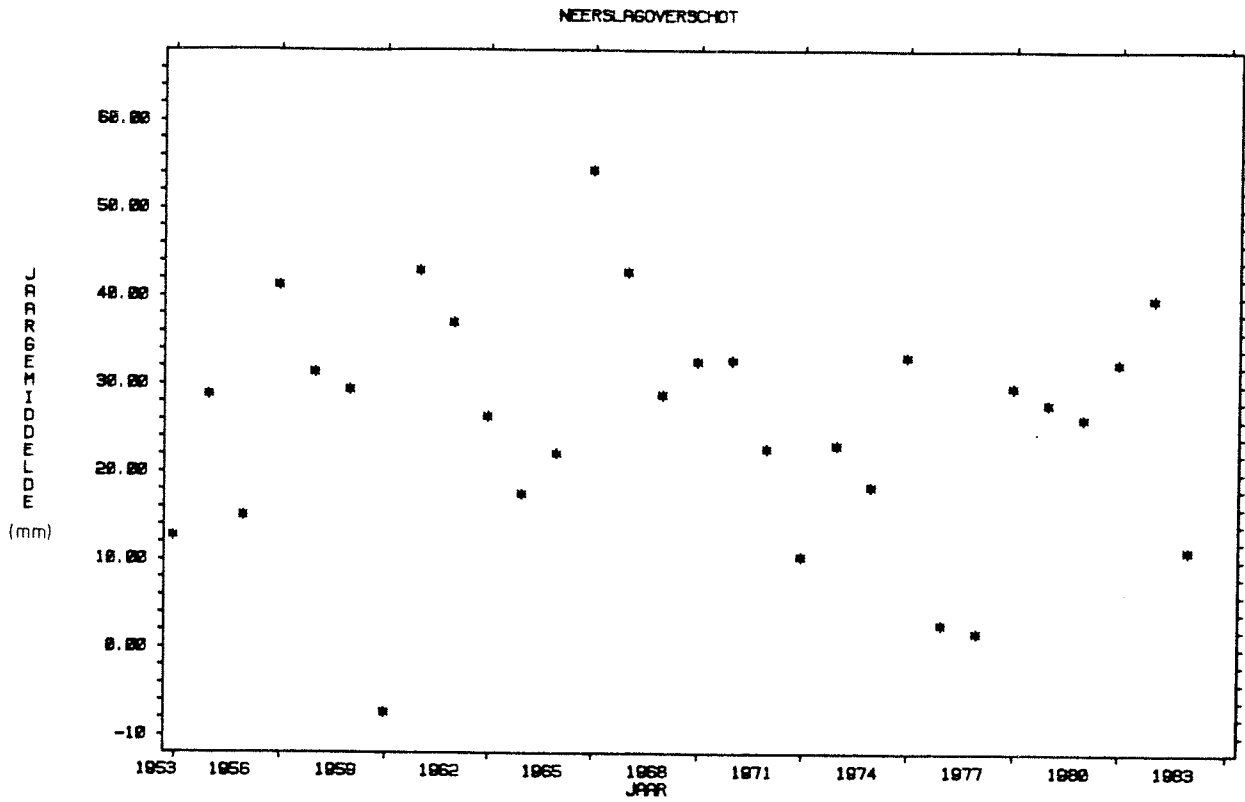


FIG.3: Neerslagoverschot

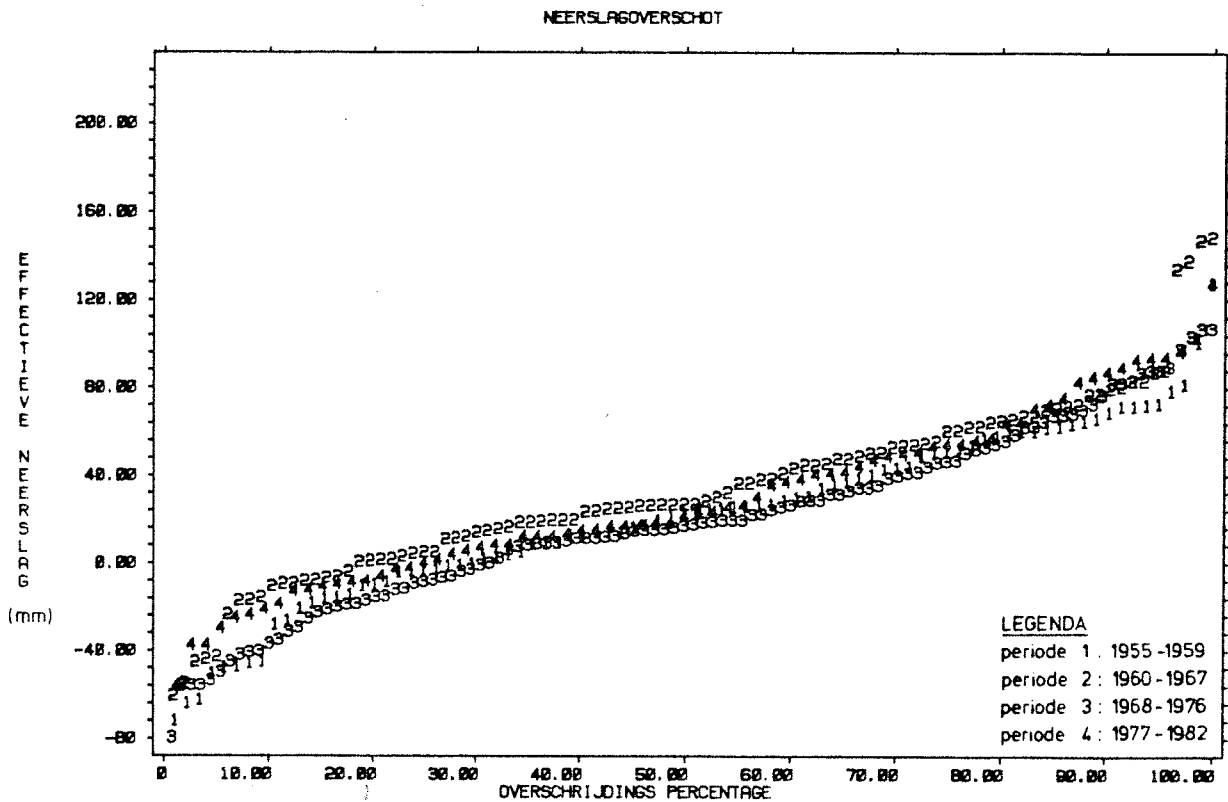


FIG.4: Cumulatieve frequentieverdeling neerslag

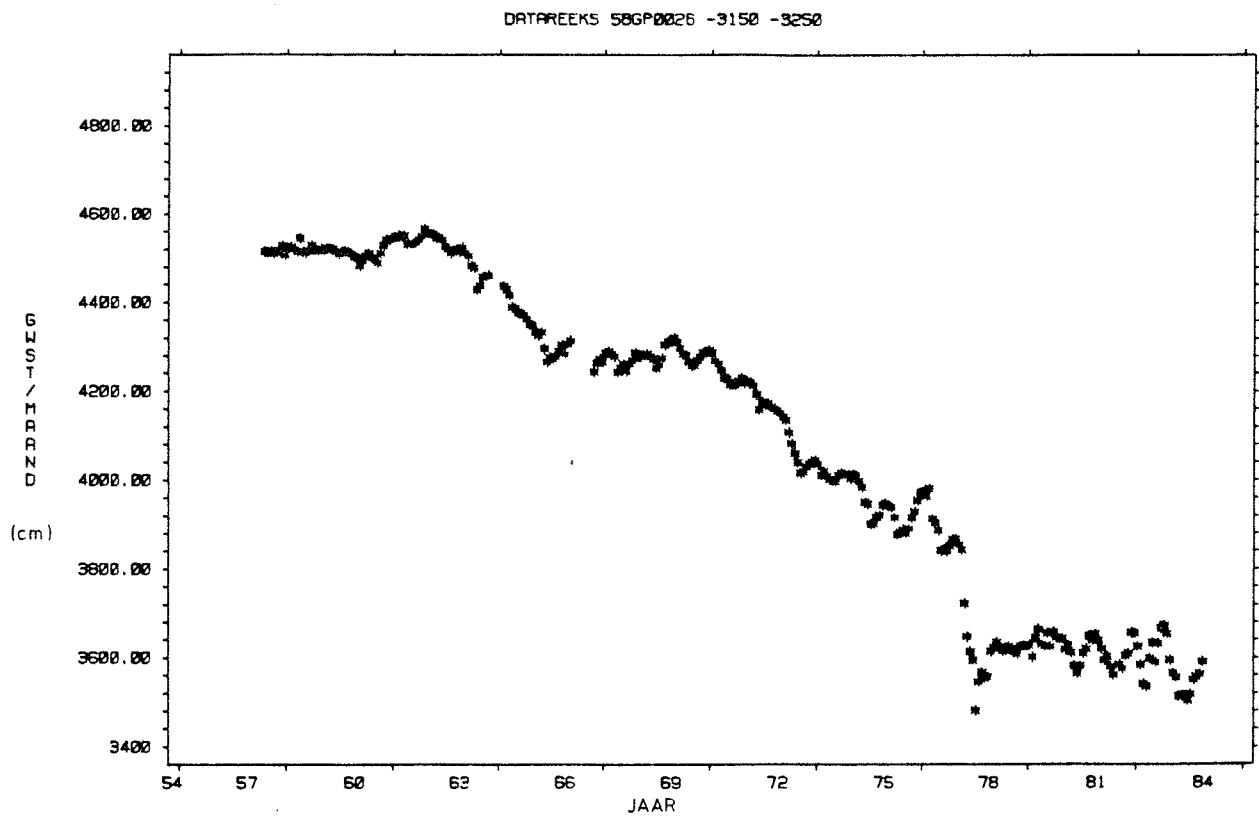


FIG.9 : Tijdstijghoogtelijn 58 G P-26

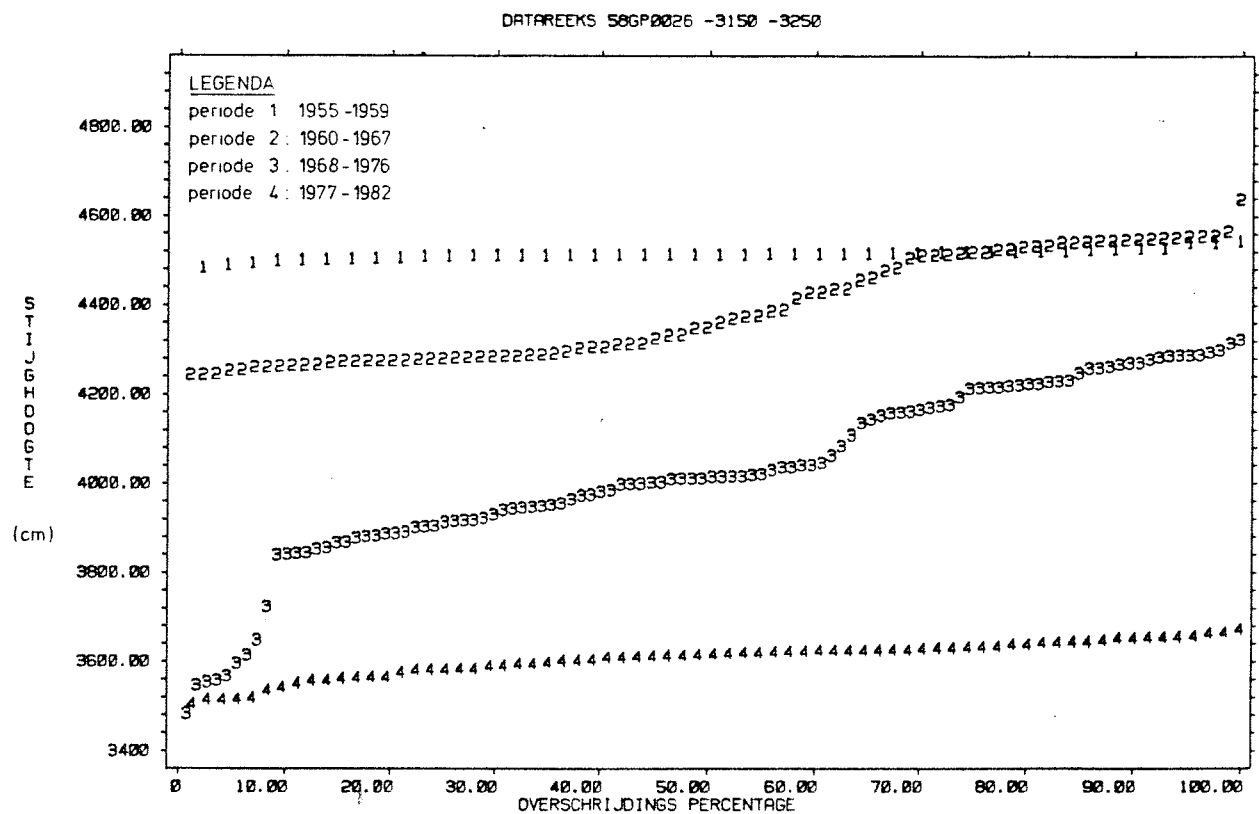


FIG.10 : Cumulatieve frequentieverdeling 58 G P-26

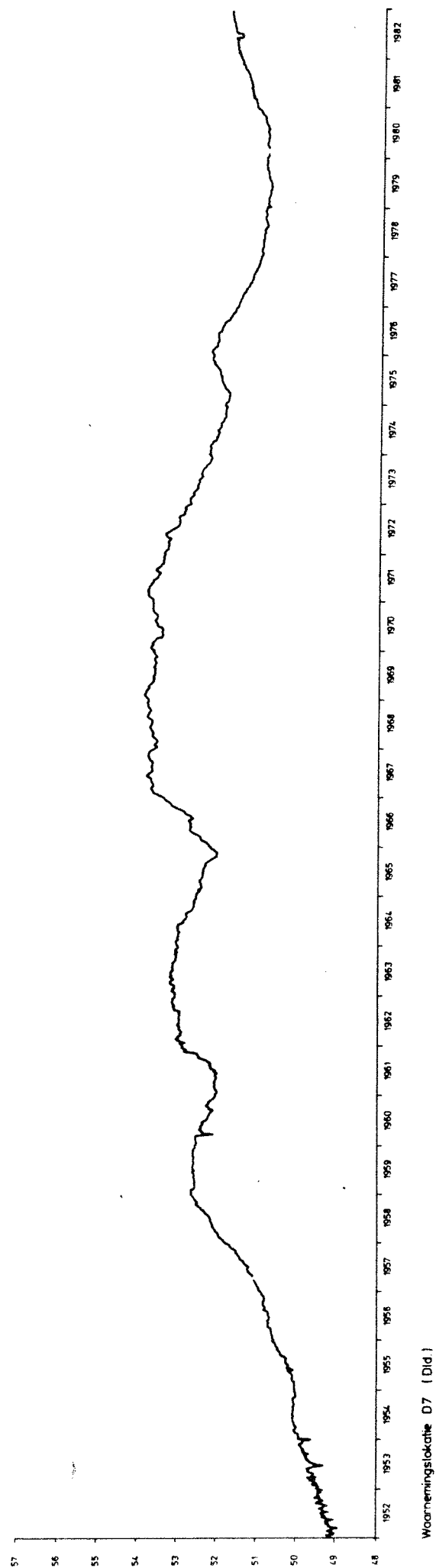


FIG.11 : Tijdstijghoogtelijn D7

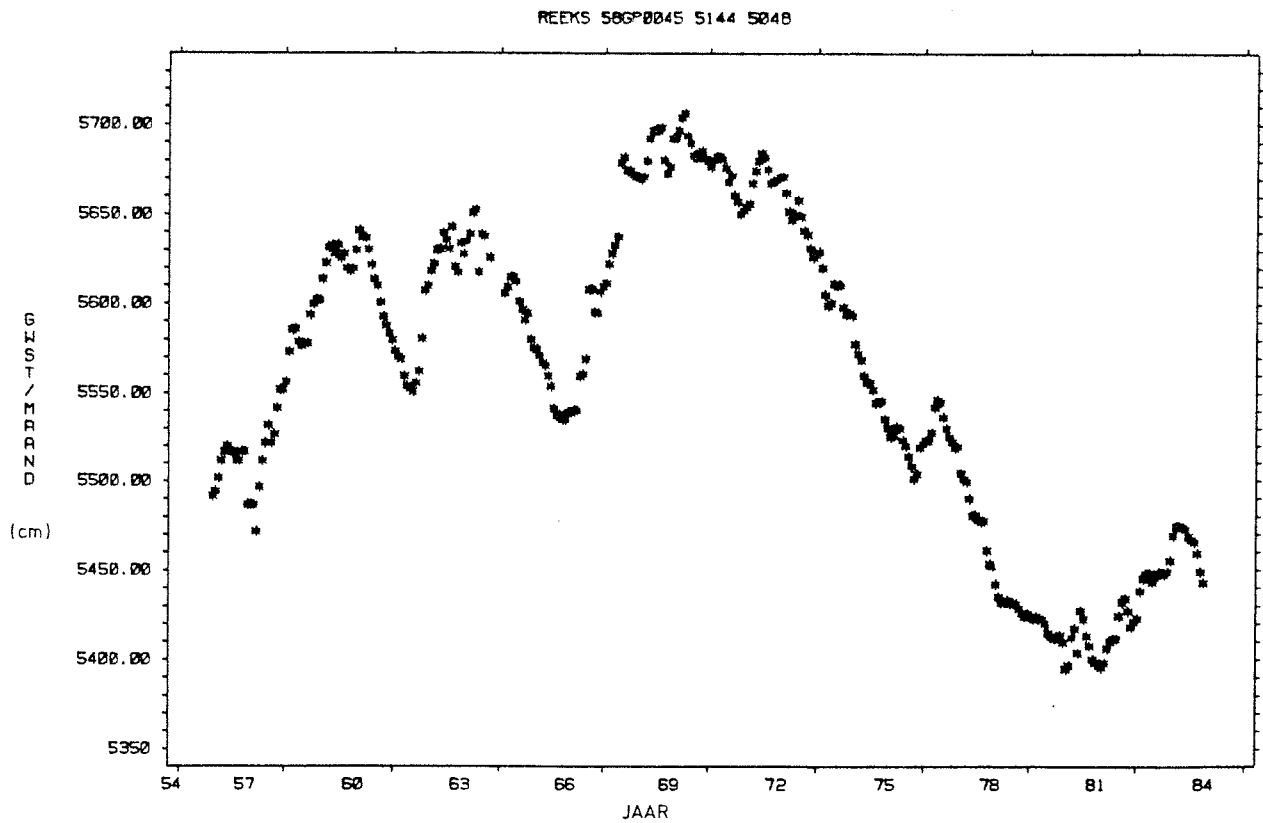


FIG. 12 : Tijdstijghoogtelijn 58 G P-45

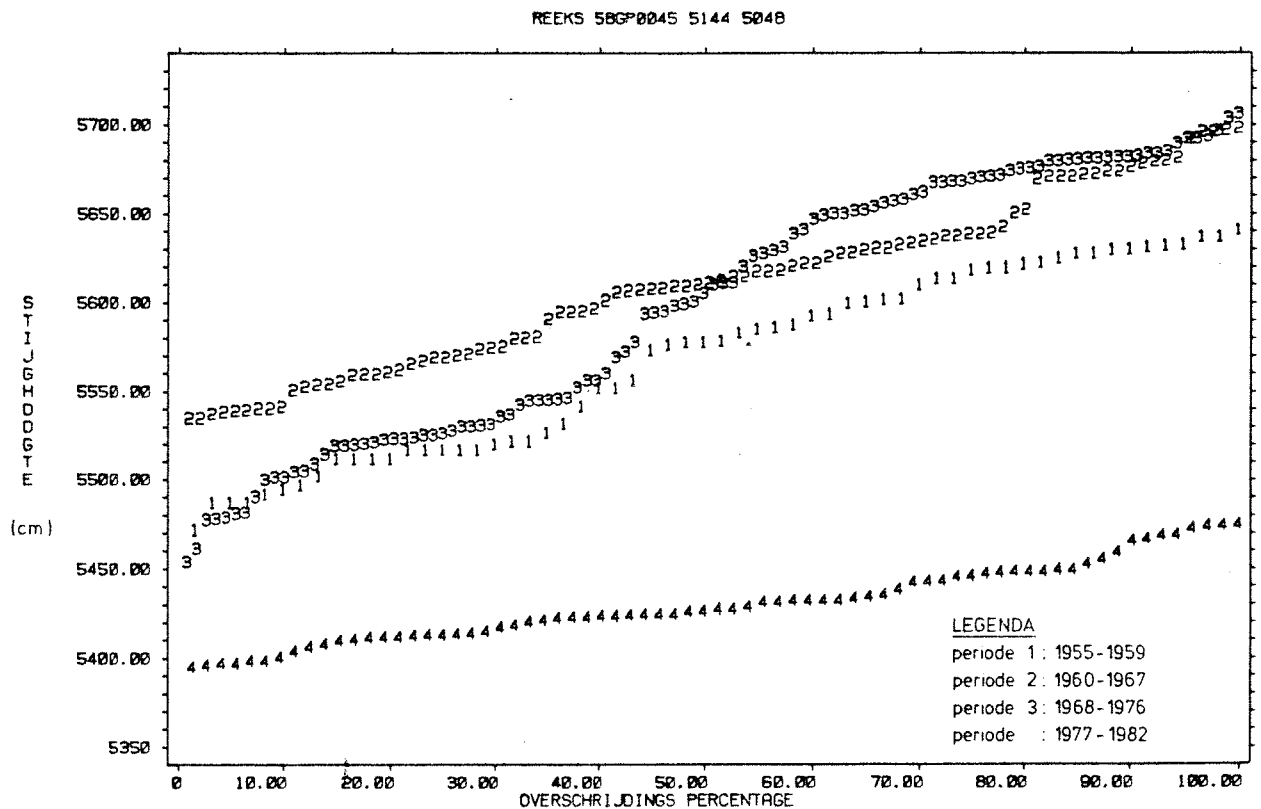


FIG.13: Cumulatieve frequentieverdeling 58 G P-45

2. STATISTISCHE ANALYSE GRONDWATERSTANDSREEKS 58GP-45

2.1 Keuze analysetechniek

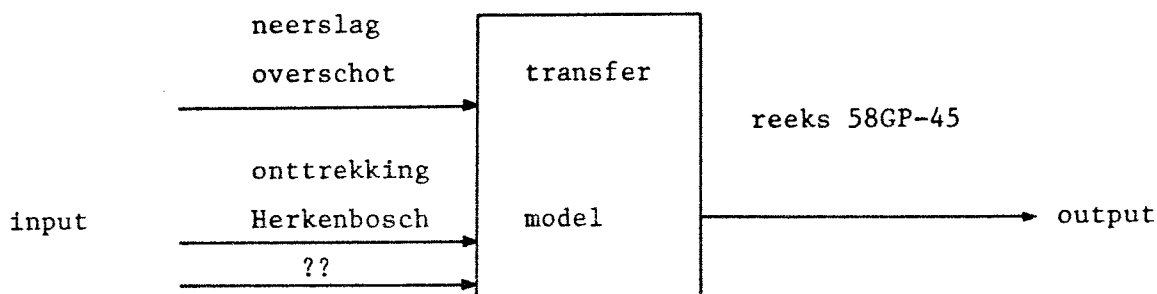
Een in beginsel bij uitstek geschikte methode voor het analyseren van de relatie grondwaterstand (output), neerslagoverschot en onttrekkingen (input) staat bekend onder de verzamelnaam "transfer modelling". Vertragingen kunnen in een transfermodel worden opgenomen en bovendien kan rekening worden gehouden met het feit dat opeenvolgende waarnemingen in een tijdreeks veelal gecorreleerd zijn. Slaagt men erin de relatie tussen input(s) en output met behulp van een transfermodel afdoende te beschrijven dan, kunnen significantie uitspraken worden gedaan over bepaalde parameters en kunnen voorspellingen worden gedaan met bijbehorende betrouwbaarheidsbanden.

Het construeren van een transfermodel verloopt via een iteratieve procedure, waarin een 3-tal stadia is te onderscheiden:

1. Identificatie
2. Schatten van parameters
3. Diagnose van het gekozen model.

Deze procedure is nader uitgewerkt in Box-Jenkins, (1976).

De probleemstelling Herkenbosch kan als volgt worden geschematiseerd



Aanwijzingen omtrent de invloed van de met vraagtekens gemerkte peil kunnen worden verkregen door na te gaan in hoeverre reeks 58GP-45 kan worden beschreven met behulp van de beschikbare neerslag- en onttrekkingcijfers. Dit inzicht wordt verkregen door voorspellingen te vergelijken met waargenomen grondwaterstanden. De resultaten van een dergelijke analyse zullen voornamelijk grafisch worden gepresenteerd.

2.2 Relatie neerslagoverschot/reeks 58GP-45

2.2.1 Inleiding

De stijghoogte (y) op tijdstip t wordt beïnvloed door het neerslagoverschot (x_1) op de tijdstippen $t-k$, $t-k-1$,..... Hierbij is de k de vertraging in maanden. Aangezien de x_1 -reeks een veel grilliger verloop vertoont dan de y -reeks, is een voortschrijdend gemiddelde over 13 maanden van de x_1 -reeks genomen, teneinde beide reeksen een overeenstemmende gladheid te bezorgen.

Teneinde de tijdreeksen van het neerslagoverschot en de stijghoogte in één figuur te kunnen plotten zijn beide reeksen gestandaardiseerd (standaardafwijking voor beide reeksen = 1, gemiddelde y -reeks = 0, gemiddelde x_1 -reeks = 2). Figuur 14 geeft de gestandaardiseerde reeksen voor de periode 1955-1982.

Dat er sprake is van beïnvloeding van y_t door x_{1t} blijkt overduidelijk uit deze figuur. Tevens is het duidelijk dat bij het modelleren van dit verband een vertraging in het model dient te worden ingebouwd. Nadere bestudering van figuur 14 leidt tot de volgende constatering:

- het stijgend verloop van de y_t -reeks in de periode 1955-1959 is niet terug te vinden in het neerslagoverschot.
- het globale verloop van beide reeksen gedurende de periode 1960-1975 vertoont, rekening houdend met een vertraging, een zekere mate van overeenstemming.
- na 1975 vertonen beide reeksen nauwelijks meer overeenstemming. Incidentele pieken en dalen ten gevolge van seizoenseffecten komen volgens ongeveer hetzelfde patroon voor in beide reeksen.

Een aanzienlijk deel van het DGV-onderzoek heeft bestaan uit het modelleren van het verband tussen y_t en x_{1t} met behulp van transfermodellen. In principe kan elk transfermodel worden opgevat als een model waarbij de output op tijdstip t te schrijven is als een lineaire functie van de input op de tijdstippen t , $t-1$, $t-2$ enz. Door een handige parametrisering kan het aantal te schatten parameters in het model echter aanzienlijk worden beperkt. Zoals bleek uit de statistische berekeningen en ook uit figuur 14 is de periode waarover men modelleert cruciaal voor de kans van slagen op het verkrijgen van een "goed"

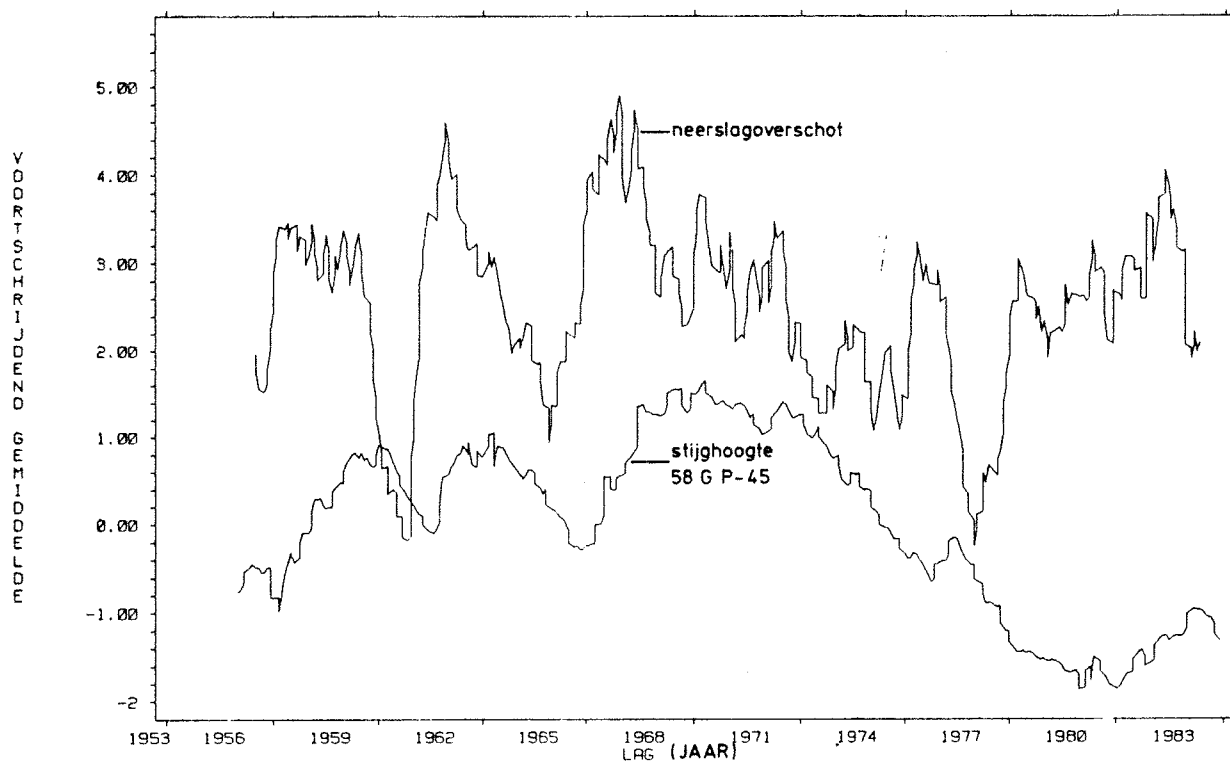


FIG. 14: Tijdreeks 58 G P-45 en voortschrijdend gemiddelde neerslagoverschot

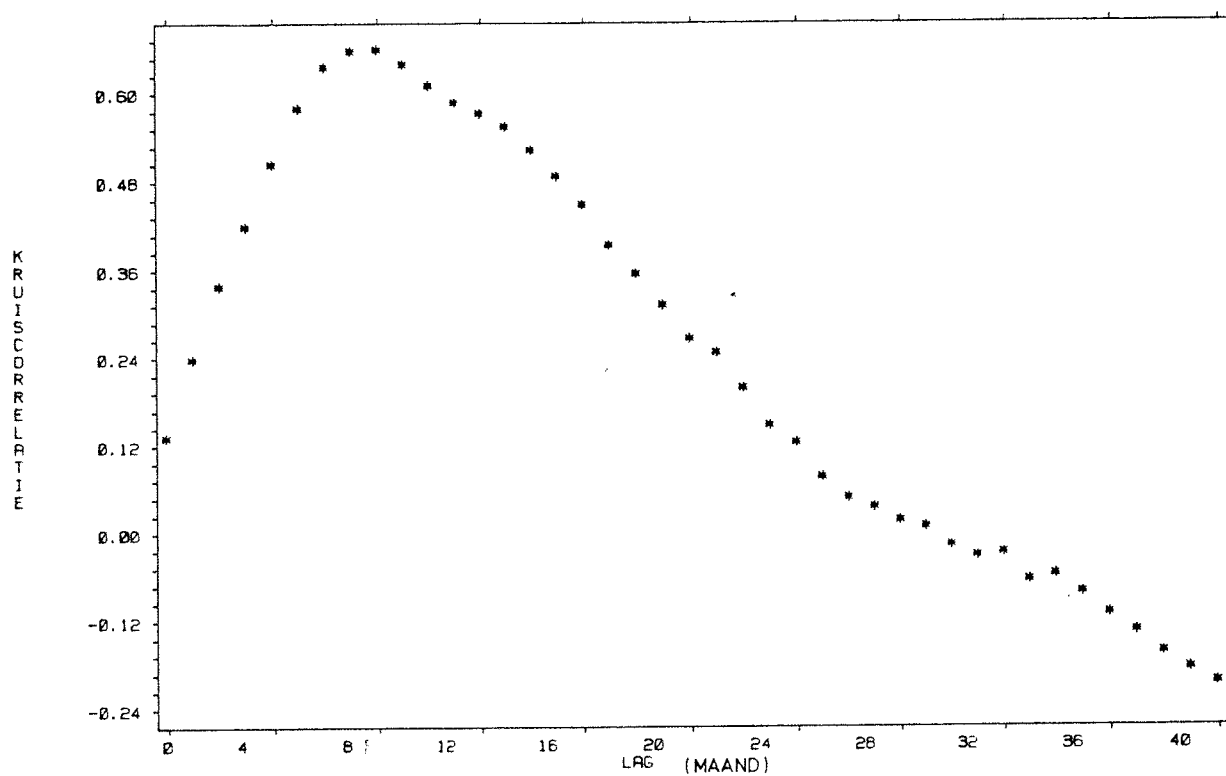


FIG. 15 : Kruiskorrelatiefunctie

model. Het bleek dan ook niet mogelijk, ondanks een krachtige inspanning daartoe, een transfermodel te construeren dat over een lange periode (10-20 jaar) een bevredigend verband tussen input en output legt.

Aangezien de klasse der transfermodellen zeer ruim is, achten wij de kans van slagen op een succesvolle modellering over een lange periode met behulp van andere modellen uiterst gering. Daartoe wijkt het verloop van de x_1 -reeks teveel af van de y -reeks. Ook van een andere keuze voor de berekeningswijze van het neerslagoverschot, die wij overigens niet voor ogen hebben, mogen geen significante verbeteringen worden verwacht.

Het zou de leesbaarheid van dit rapport niet bevorderen indien alle resultaten van de uitgevoerde berekeningen zouden worden vermeld. In 2.2.2 worden de meest succesvolle modelleringen gepresenteerd. Deze laten zich als volgt samenvatten:

- een redelijk passend model voor de relatie neerslagoverschot/grondwaterstand voor de periode 1960-1965.
- grote discrepanties tussen voorspellingen met behulp van dit model en de realisaties vanaf 1966 (incidentele dalen en pieken stemmen wel overeen).
- met behulp van neerslagoverschot en onttrekkingscijfers bleek het na 1968 wel mogelijk om een redelijk passend model te construeren.

2.2.2 Resultaten

Het verband tussen y_t en x_{1t} komt het sterkst tot uitdrukking in de periode 1960-1965: y_t heeft hetzelfde verloop als x_{1t} met een vertraging van 8 à 10 maanden. Deze vertraging kan ook zichtbaar worden gemaakt door middel van de kruiskorrelatiefunctie (figuur 15). In deze figuur is de korrelatie tussen x_{1t} en y_{t+k} uitgezet tegen k voor $k=0,1,2..$ De functie vertoont een piek bij $k=8$. Dit suggereert een transfermodel van de volgende vorm.

$$y_t = \frac{\omega(B)}{\delta(B)} x_{1t-8}$$

waarbij $\omega(B)$ en $\delta(B)$ polynomen zijn in B , d.i. de zogenaamde "backshift-operator" ($Bx_t = x_{t-1}$). Voor een verdere toelichting op de gebruikte notatie wordt verwezen naar Box en Jenkins (1976) en Jenkins (1979).

Kiezen we voor $\delta(B)$ en $\omega(B)$ respectievelijk een 1e graads en 2e graads polynoom dan ontstaat het volgende model.

$$y_t = \frac{\omega_0 - \omega_1 B}{1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2} x_{1t-8}$$

Uiteraard zal dit model niet exact de relatie tussen y_t en x_{1t} beschrijven en moet het model worden uitgebreid met een ruisterm n_t :

$$y_t = \frac{\omega_0 - \omega_1 B}{1 - \delta_1 B - \delta_2 B^2} x_{1t-8} + n_t \quad (1)$$

Verder blijkt met behulp van een identificatiemethode beschreven in Box en Jenkins (1976), de meest zinnige keuze voor n_t een eerste orde autoregressief proces te zijn.

De parameters van dit model zijn voor de periode 1960-1965 geschat met behulp van het programmapakket GENSTAT via de maximum likelihood methode. Het resultaat is als volgt:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= 0.40 \ (0.28) & \omega_1 &= 0.34 \ (0.46) \\ \delta_1 &= 1.65 \ (0.52) & \delta_2 &= 0.69 \ (0.36) \\ \rho &= 0.89 \ (0.06) & & \text{(autoregressieve parameter van de ruis)} \\ C &= 5558 \ (17) & & \text{(constante)} \end{aligned}$$

Tussen haakjes is steeds de standaardafwijking vermeld.

Deze parameterwaarden worden gebruikt als startwaarden voor het transfermodel waarin òn neerslagoverschot òn onttrekkingscijfers zijn verwerkt.

Een mogelijkheid om dit model te ijken is de volgende. Gebruik de inputreeks om de outputreeks te voorspellen over dezelfde periode, waarin de parameters zijn geschat. Bepaal daarbij ook 90%-betrouwbaarheidsgrenzen van deze voorspellingen. De resultaten zijn geplott in figuur 16. Hierin zijn de voorspellingen gecodeerd met *, de onder- en bovengrens met respectievelijk L en U en de realisaties van de output (dit is de waargenomen reeks) met .

Resultaat 1 (uit figuur 16)

De realisaties liggen niet allemaal binnen het betrouwbaarheidsgebied.

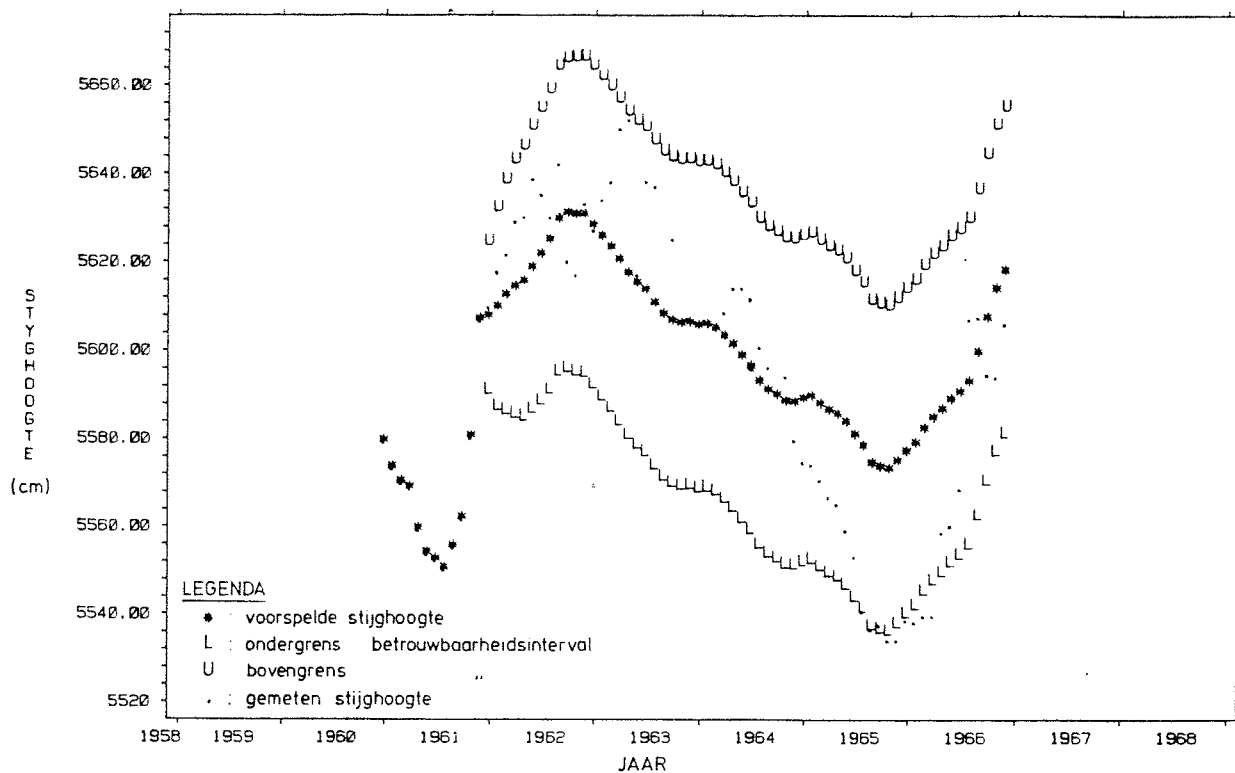


FIG. 16: Voorspelling uit neerslagoverschot 1960 - 1965

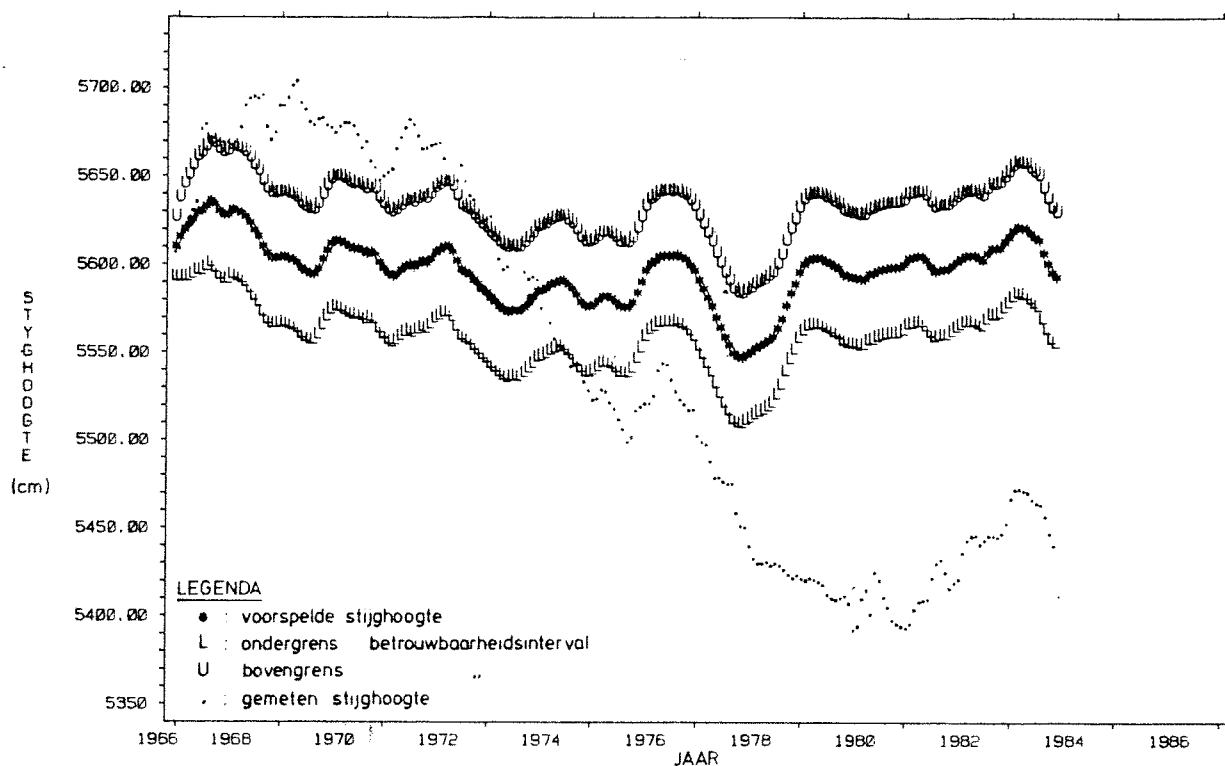


FIG. 17: Voorspelling uit neerslagoverschot 1966 - 1982

De langjarige trend klopt redelijk.

Relatie neerslagoverschot/stijghoogten

Voorspellingen met behulp van model (1) (met dezelfde parameterwaarden) over de periode na 1965, resulteert in figuur 17. De waargenomen reeks bevindt zich nu grotendeels buiten het betrouwbaarheidsgebied van de voorspelde tijdreeks. De pieken en dalen van beide reeksen stemmen echter wel redelijk overeen.

Resultaat 2 (uit figuur 17)

Het gedrag van reeks 58GP-45 kan maar zeer beperkt worden beschreven met behulp van neerslaggegevens.

2.3 Invloed onttrekking pompstation Herkenbosch

Verwacht kan worden dat een eventuele invloed van de onttrekking gepaard zal gaan met een vertraging. Verschuiving van de figuren 2 en 12 ten opzichte van elkaar op een lichtbak suggereert een vertraging van 3 maanden. Dit komt tevens naar voren uit de statistische bewerkingen. hier verder onvermeld blijven, duiden op dezelfde vertraging.

Met behulp van onderstaand model bleek het goed mogelijk om de relatie tussen grondwaterstand enerzijds en neerslagoverschot en onttrekking anderzijds te beschrijven:

$$y_t = \frac{0.40 - 0.34B}{1 - 1.03B + 0.07B^2} x_{1t-8} + \frac{0.96}{1 + 0.07B} x_{2t-3} + \frac{1}{1 - 0.97B} u_t$$

In deze formule is x_{1t} het neerslagoverschot, x_{2t} de onttrekking (in eenheden van 100 m³) en u_t een witte ruisterm met variantie 37.

Technische opmerking

De minimalisering van de log-likelihood verliep niet zonder problemen. De oplossing bleek namelijk af te hangen van de startwaarden van de parameters. Om deze reden worden geen standaardafwijkingen vermeld.

Dat het gepresenteerde model niettemin redelijk voldoet blijkt uit

figuur 18, waar dezelfde methode is toegepast als bij figuur 16. De waargenomen reeks blijkt grotendeels binnen het 90% - betrouwbaarheidsgebied te liggen.

Resultaat 3 (uit figuur 18)

Het gedrag van reeks 58GP-45 in de periode 1968-1983 kan redelijk worden voorspeld met behulp van gegevens over neerslagoverschot en onttrekkingscijfers van pompstation Herkenbosch.

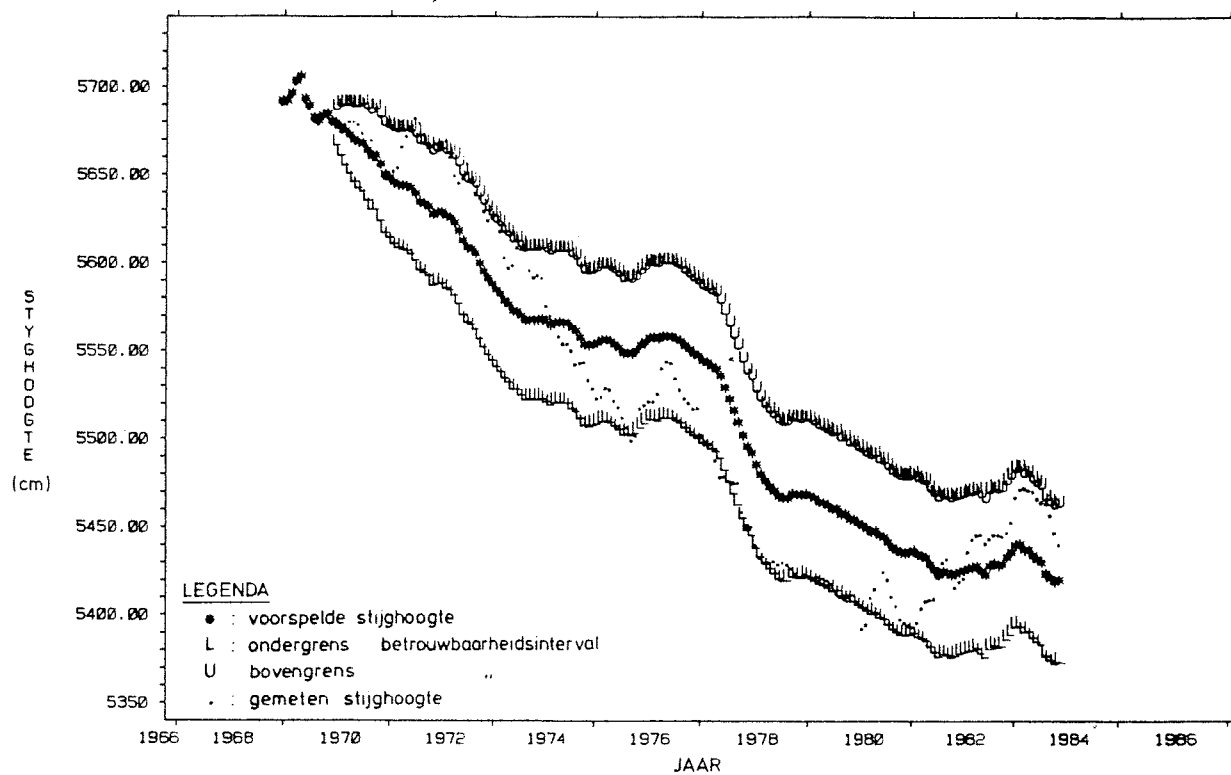


FIG.18 : Voorspelling uit neerslagoverschot en onttrekkingscijfers pompstation Herkenbosch 1968-1983

3. CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

3.1 Conclusies

Na toepassing van een transfermodel blijkt dat de daling van de grondwaterstand na 1976 niet is te verklaren uit het neerslagoverschot. Wanneer een voorspelling wordt gedaan met behulp van neerslaggegevens ligt het verschil in 1982 tussen voorspelde en werkelijke grondwaterstand in de orde van 150 cm. Dit verschil kan onder andere zijn veroorzaakt door de grondwaterwinning van pompstation Herkenbosch. Figuur 18 toont een voorspelling met behulp van neerslag- en onttrekkingscijfers. Het verschil tussen voorspelde en waargenomen grondwaterstand is nu geringer (maximaal 60 cm).

De statistische aangetoonde relatie is echter fysisch (nog) niet aantoonbaar.

Een globale analytische berekening toont aan dat ook bij extreme waarden voor KD en berging, een verlaging van 150 cm niet kan worden verklaard uit de huidige onttrekkingshoeveelheden van pompstation Herkenbosch. Wanneer echter sprake is van een beperkte gebiedsgrootte (effect breuken?) en/of inhomogene opbouw van de ondergrond (grind banen?) kan het effect van de winning in pompstation Herkenbosch groter zijn. Hiervoor is echter verdere studie noodzakelijk.

De uitgevoerde analyse toont echter met redelijke zekerheid aan dat het geconstateerde verloop van de grondwaterstand na 1976 slechts voor een klein deel toe te schrijven is aan de vermindering van het neerslagoverschot (zoals berekend in 1.2). Alhoewel niet modelmatig geanalyseerd lijkt ook voor de periode 1955-1959 nauwelijks sprake te zijn van een relatie neerslagoverschot - grondwaterstand.

3.2 Aanbevelingen

Het volledig analyseren en kwantificeren van de grondwaterstands daling in het Meijweggebied is alleen mogelijk in combinatie met een hydrologische modelstudie, waarbij alle van belang zijnde factoren ingebracht kunnen worden. Op deze wijze zou een betere relatie kunnen worden gelegd met de fysische geohydrologische situatie. Het geniet echter voorkeur vooraf aanvullende informatie te verzamelen zoals:

- geologische en geohydrologische gegevens (ligging en verbreiding scheidende lagen)
- instromende en uitstromende debieten van in het gebied liggende beken
- bodemparameters (KD, c waarden enz.)
- grondwaterstandsgegevens uit diverse diepe en ondiepe meetlokaties
- informatie bruinkoolwinning
- gedetailleerde onttrekkingscijfers pompstation Nieder Krüchten.

REFERENTIES

- Box, G.E.P. and G.M. Jenkins (1976). Time series analysis: forecasting and control. Holdenday.
- Houtman H. (1983). Verdroging Nationaal Landschap.
Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Jenkins, G.M. (1979). Practical experience with modelling and forecasting time Series.
AGJP Publication