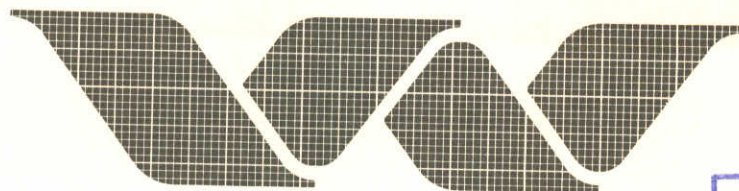


R 1230



2e EXEMPLAAR

waterloopkundig laboratorium
delft hydraulics laboratory

onderzoek naar de modellering van de
basisdrainage in DEMGEN

AFGEHANDELD

verslag van onderzoek

R1230

november 1985

R1230-F

18.MRT1987

BIBLIOTHEEK
Waterloopkundig Laboratorium
Postbus 177 - DELFT

2e EXEMPLAAR

onderzoek naar de modellering van de
basisdrainage in DEMGEN

verslag van onderzoek

R1230

november 1985

INHOUD

Lijst van symbolen

Lijst van tabellen

Lijst van figuren

	blz.
<u>1</u> <u>Inleiding</u>	1
<u>2</u> <u>Samenvatting</u>	4
2.1 Verricht onderzoek.....	4
2.2 Konklusies.....	5
2.3 Aanbevelingen.....	6
<u>3</u> <u>Probleemstelling</u>	8
3.1 Grondwaterstroming tussen plots.....	8
3.2 Aggregatieniveau basisdrainagefunctie.....	9
3.3 Bepalen van de basisdrainagefunctie.....	10
<u>4</u> <u>Grondwaterstroming tussen de plots</u>	11
4.1 Inleiding.....	11
4.2 Berekeningen met GROMULA.....	14
4.3 Berekeningen met DEMGEN.....	17
4.4 Interpretatie en konklusies.....	20
<u>5</u> <u>Aggregatieniveau basisdrainagefunctie</u>	34
5.1 De formule van Ernst voor drainage door een stelsel van evenwijdige ekwidistante open leidingen.....	34
5.2 Berekeningen voor de provincie Drenthe.....	35
5.2.1 Beschikbare gegevens.....	35
5.2.2 Ruimtelijke variabiliteit van de basisdrainagefunctie.....	35
5.2.3 Bepaling gebroken lineaire basisdrainagefunctie.....	36
5.2.4 Aggregatie van basisdrainagefuncties.....	38
5.3 Gevoeligheidsanalyse met DEMGEN.....	39
5.4 Konklusies.....	43

INHOUD (vervolg)

	blz.
6	Bepalen van de basisdrainagefunctie..... 52
6.1	Aan de hand van fysische karakteristieken..... 52
6.2	Door regressie van grondwaterstand en afvoer..... 52
6.3	Met behulp van lineaire reservoirtheorie..... 54
6.3.1	Algemeen..... 54
6.3.2	Halfmaandelijks gemeten grondwaterstand..... 55
6.3.3	Dagelijks gemeten grondwaterstand..... 56
6.3.4	Dagelijks gemeten afvoer..... 57
6.4	Konklusies..... 59

REFERENTIES

FIGUREN

TABELLEN

BIJLAGEN

I	Overzicht PAWN modellen
I.1	Elementen van de waterhuishouding van Nederland
I.2	Hiërarchie van de PAWN-modellen
I.3	Model DEMGEN
II	Model PLOTWAT
III	Voedingsweerstand per leidingklasse

Lijst van symbolen

a	vormfaktor voor drainageleiding	(-)
B	hydraulic head ratio	(-)
B_{wp}	natte omtrek van een drainageleiding	(mm)
b_i	breedte van de strook die door een waterloop van klasse i wordt gedraineerd	(m)
c_i	voedingsweerstand voor een waterloop van klasse i	(dag)
D	basisdrainage	(mm/dag)
D_r	dikte van laag met radiale stroming	(mm)
D_v	dikte van laag met verticale stroming	(mm/dag)
E_p	potentiële gewasverdamping	(mm/dag)
E_r	verdampingsreduktie	(mm/dag)
GHG	gemiddelde hoogste grondwaterstand	(cm)
GLG	gemiddelde laagste grondwaterstand	(cm)
GVG	gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand	(cm)
h_0	koëfficiënt gelijk aan $\gamma - \gamma_0$	(mm)
h_{b_i}	bodemhoogte van de drainageleiding van klasse i ten opzichte van het maaiveld	(mm)
h_i	hypotetisch open waterpeil in drainageleiding van klasse i	(mm)
K	doorlatendheid bij onverzadigde stroming	(mm/dag)
K_r	doorlatendheid van radiale stroming	(mm/dag)
K_v	vertikale doorlatendheid	(mm/dag)
L	drainafstand	(mm)
L	weerstand tegen verticale stroming van een slecht doorlatende laag	(dag)
L_i	lengte van een waterloop van klasse i binnen een kilometervak	(m)
P	neerslag	(mm/dag)
q	flux	(mm/dag)
R	drainage weerstand	(dag)
S	toevoer uit diep grondwater	(mm/dag)
S_x	schaalverdeling langs de x -as	
S_y	schaalverdeling langs de y -as	
T	periode	(dag)

Lijst van symbolen (vervolg)

T_w, T_x, T_y	doorlatendheid van een verzadigd pakket	(mm ² /dag)
t	tijd	(dag)
V	capillair transport van ondergrond naar wortelzone	(mm/dag)
X, Y	koördinaten in x-, resp. y-richting	(mm)
α	helling van de basisdrainagefunctie	(dag ⁻¹)
α_1	helling van de basisdrainagefunctie bij drainage	(dag ⁻¹)
α_2	helling van de basisdrainagefunctie bij infiltratie	(dag ⁻¹)
β	intercept	(mm/dag)
γ	diepte freatisch vlak onder onderkant wortelzone	(mm)
γ_0	grondwaterstandsdiepte waarbij drainage overgaat in infiltratie	(mm)
Δ	verzadigingsdeficiet van de ondergrond	(mm)
Δh	stijghoogteverlies	(mm)
δ	hellingshoek van het rechte deel van de uitputtingscurve	
ϵ	korrektiefactor	(-)
ϕ	stijghoogte in freatisch pakket	(mm)
ϕ_1	stijghoogte in semi spanningslaag	(mm)
ϕ_i	waterstand in een drainageleiding van klasse i ten opzichte van het maaiveld	(mm)
μ	effektieve porositeit	(-)
ψ	vochtspanning van het onverzadigd grondwater	(mm)
θ	vochtgehalte	(-)
θ^0	vochtgehalte aan het begin van een tijdstap	(-)
θ_e^1	vochtgehalte aan het eind van een tijdstap	(-)
θ_{vc}	vochtgehalte bij veldcapaciteit	(-)

Lijst van tabellen

- 4.1 Gemiddelde en standaardafwijking van de grondwaterstroming per vak van 4 km²
- 4.2 Combinaties van ploteigenschappen waarvoor de gevoeligheid voor grondwatertoevoer is onderzocht
- 4.3 Berekende opbrengstdepressie in %
- 4.4 Over het groeiseizoen gesommeerde capillaire opstijging
- 4.5 Berekende kumulatieve basisdrainage in mm
- 4.6 Berekende grondwaterdiepte in mm t.o.v. onderkant wortelzone, gemiddeld over het jaar
- 5.1 Berekening van het omslagpunt γ_0 aan de hand van de grondwatertrap
- 5.2 Koëfficiënten van de basisdrainagefuncties voor aggregatieniveau 1
- 5.3 Koëfficiënten van de basisdrainagefuncties voor aggregatieniveau 2
- 5.4 Koëfficiënten van de basisdrainagefuncties voor aggregatieniveau 3
- 5.5 Resultaten DEMGEN simulaties
- 6.1 Koëfficiënten van de basisdrainagefuncties voor het proefgebied Sleen berekend aan de hand van fysische karakteristieken
- 6.2 Koëfficiënten van de basisdrainagefunctie berekend door regressie van grondwaterstand en afvoer
- 6.3 Berekening van de koëfficiënten van de basisdrainagefunctie aan de hand van het uitputtingsverloop van halfmaandelijks gemeten grondwaterstanden ($\mu = 0,1$)
- 6.4 Berekening van de koëfficiënten van de basisdrainagefunctie aan de hand van het uitputtingsverloop van dagelijks gemeten grondwaterstanden te Noord Sleen ($\mu = 0,1$)
- 6.5 Berekende hellingshoek van de basisdrainagefunctie aan de hand van het uitputtingsverloop van dagelijks gemeten afvoeren ($\mu = 0,1$)
- 6.6 Overzicht van berekende koëfficiënten van de basisdrainagefuncties

Lijst van figuren

- 4-1 Invloed grondwaterstroming op opbrengstdepressie, distriktsafvoer en grondwaterstand, bodemtype 21/7
- 4-2 Invloed grondwaterstroming op opbrengstdepressie, distriktsafvoer en grondwaterstand, bodemtype 21/4
- 4-3 Berekende grondwaterstroming in mm/dag, voorjaar, zuidelijk deel
- 4-4 Berekende grondwaterstroming in mm/dag, najaar, zuidelijk deel
- 4-5 Berekende grondwaterstroming in mm/dag, voorjaar, noordelijk deel
- 4-6 Berekende grondwaterstroming in mm/dag, najaar, noordelijk deel
- 4-7 Grondwatertrappen zuidelijk deel
- 4-8 Grondwatertrappen noordelijk deel
- 5-1 Variatie in basisdrainage; berekende voedingsweerstand in 100 dagen
- 5-2 Voorbeeld van een niet-lineaire basisdrainagefunctie
- 5-3 Basisdrainagefuncties voor gebieden met HILO kode 1
- 5-4 Basisdrainagefuncties voor gebieden met HILO kode 2
- 6-1 Basisdrainagefuncties Sleen
- 6-2 Grondwater data Drenthe, 1976-1982, buizen 337 en 311
- 6-3 Grondwater data Drenthe, 1976-1982, buizen 370, 343 indiep en 346
- 6-4 Grondwater data Drenthe, 1976-1982, buizen 308 ondiep, 384 ondiep en 349
- 6-5 Grondwaterstand punt 370 op logschaal, 1976
- 6-6 Grondwaterstand punt 370 op logschaal, 1978
- 6-7 Grondwaterstand punt 370 op logschaal, 1979
- 6-8 Grondwaterstand punt 370 op logschaal, 1982
- 6-9 Grondwaterstand punt 349 op logschaal, 1976
- 6-10 Grondwaterstand punt 349 op logschaal, 1979
- 6-11 Grondwaterstand punt 349 op logschaal, 1981
- 6-12 Grondwater data Noord Sleen I, 1977
- 6-13 Grondwater data Noord Sleen I, 1978
- 6-14 Grondwater data Noord Sleen I, 1979
- 6-15 Grondwater data Noord Sleen I, 1980
- 6-16 Grondwater data Noord Sleen I, 1981
- 6-17 Grondwater data Noord Sleen I, 1982
- 6-18 Grondwater data Noord Sleen I, 1983
- 6-19 Grondwaterstand op logschaal, 1 april-28 juni 1978; Noord Sleen I
- 6-20 Grondwaterstand op logschaal, 15 juni-11 oktober 1979; Noord Sleen I

Lijst van figuren (vervolg)

- 6-21 Grondwaterstand op logschaal, 12 augustus-17 september 1980; Noord Sleen I
- 6-22 Grondwaterstand op logschaal, 1 juli-25 september 1981; Noord Sleen I
- 6-23 Grondwaterstand op logschaal, 15 april-10 oktober 1982; Noord Sleen I
- 6-24 Afvoer data Drenthe, 1976
- 6-25 Afvoer data Drenthe, 1977
- 6-26 Afvoer data Drenthe, 1978
- 6-27 Afvoer data Drenthe, 1979
- 6-28 Afvoer data Drenthe, 1980
- 6-29 Afvoer data Drenthe, 1981
- 6-30 Afvoer data Drenthe, 1982
- 6-31 Dagafvoer op logschaal, 20 maart-29 april 1976
- 6-32 Dagafvoer op logschaal, 5-24 augustus 1976; Schipborg
- 6-33 Dagafvoer op logschaal, 2-30 oktober 1977; Schipborg
- 6-34 Dagafvoer op logschaal, 1-29 april 1981; Schipborg
- 6-35 Dagafvoer op logschaal, 15 februari-25 maart 1976; Sleen O
- 6-36 Dagafvoer op logschaal, 15 februari-29 april 1976; Sleen W
- 6-37 Dagafvoer op logschaal, 15 februari-15 mei 1976; De Tille

ONDERZOEK NAAR DE MODELLERING VAN DE BASISDRAINAGE IN DEMGEN

1 Inleiding

In het kader van de PAWN-studie is ten behoeve van de landbouwmodellering het model DEMGEN ontwikkeld. Met dit model kan het waterbeheer op regionaal niveau worden gesimuleerd ten dienste van studies ter bepaling van:

- de waterbehoefte van een gebied onder een bepaald scenario ten aanzien van klimatologische omstandigheden en berekening; en
- de gevolgen voor de landbouw (kosten/baten) van onvoldoende beschikbaarheid van water (van goede kwaliteit) en maatregelen zoals uitbreiding van de berekening, vergroting pompcapaciteit, e.d.

De eisen die voor dit gebruik aan het rekenmodel gesteld worden betreffen een goede voorspelling van: de potentiële en actuele verdamping, het vochttekort in de wortelzone, en de infiltratie/drainage van/naar het open water; met andere woorden een korrekte weergave van de waterbalans. Met betrekking tot het verzadigde grondwater is in dit verband, binnen bepaalde grenzen, een juiste simulatie van het grondwaterstandsverloop en van de drainage van belang, immers:

- de grondwaterstand beïnvloedt de capillaire opstijging en daarmee indirect de verdamping en de gewasproductie; en
- de drainage bepaalt mede de beschikbaarheid van oppervlaktewater voor berekening in droge tijden.

Op grond van enige verifikatieberekeningen is in de PAWN-studie vastgesteld, dat met name de door het model voorspelde afvoeren in het gebied van de hoge gronden (met daarin de basisdrainage als belangrijkste component) niet bevredigend zijn;

- de jaarsom van het uitstromende grondwater wordt met enige tientallen mm's overschat [1], en
- de verdeling over de tijd is niet juist: in de droge tijd blijkt teveel water naar het oppervlaktewater te stromen.

In eerste aanleg is getracht hierin verbetering te brengen door het introduceren van steilere basisdrainagefuncties. Dit leidde weliswaar tot een beter afvoerverloop, maar de voorspelling van de grondwaterstand werd nadelig beïn-

vloed; er trad een afvlakking van het grondwaterstandsverloop op [2]. De verschillen tussen de metingen en de berekeningen kunnen voor een deel worden toegeschreven aan het in het model gehanteerde basisdrainage concept. In het model wordt de drainage berekend als een lineaire funktie van de grondwaterstand. Deze funkties zijn vastgesteld per grondwaterregio en per grondwaterstandsklasse (HILO-kode). Grondwaterstroming tussen de kleinste eenheden in het model (plots), wordt niet in rekening gebracht.

In een evaluerend onderzoek van het hydrologisch gedeelte van DEMGEN [3] is een aantal factoren onderzocht die (mede) oorzaak kunnen zijn van de gekonstaterde discrepanties. Hierbij is tevens gekeken naar de modellering van het verzadigd grondwater (basisdrainage). Gezien de complexe interacties in het model was het evenwel op basis van het in PAWN-I gebruikte aggregatieniveau niet mogelijk konkrete aanbevelingen te doen voor aanpassingen van het model. Voorgesteld werd het model toe te passen op een kleiner gebied waar voldoende betrouwbare waarnemingen voor handen zijn.

Als vervolg op de PAWN(-I) studie is medio 1982 de PAWN-II studie in uitvoering genomen. Het doel van PAWN II is het opleveren van een verbeterd en uitgebreid instrumentarium dat met vrucht bij de planvorming kan worden gebruikt. PAWN-II is daarbij met name gericht op het opstellen van het Rijkskwantiteitsplan. Gezien het belang van een goede voorspelling van het regionaal waterbeheer (DEMGEN) voor de nationale planvorming (PAWN) en mede gezien de niet volledig bevredigende resultaten van de afvoerbepaling van DEMGEN in PAWN-I, wordt in PAWN-II uitgebreid aandacht besteed aan nader onderzoek aan DEMGEN. In dit kader dient met name genoemd te worden het uitgebreide gevoeligheids-onderzoek dat door RWS uitgevoerd wordt. Daarnaast wordt het model door distrikt Zuidoost van directie Waterhuishouding en Waterbeweging toegepast op de hydrologische proefgebieden Hupsel en Sleen. Tevens wordt het model getoetst aan de hand van gegevens van de ICW proefgebieden. De ervaringen opgedaan met deze studies dienen te leiden tot konkrete aanbevelingen met betrekking tot verbetering van het modelconcept van DEMGEN.

Het onderhavige onderzoek valt tevens in dit kader. Het vormt een onderdeel van de werkzaamheden van de werkgroep landbouw van PAWN-II en heeft als doel bij te dragen tot de verbetering van het basisdrainage concept van DEMGEN. Het

onderzoek heeft een voorbereidend karakter en richt zich op een aantal aspecten van de basisdrainage. Hierbij wordt met name aandacht besteed aan:

- analyse van de grondwaterstroming tussen plots (hoofdstuk 4);
- de invloed van het aggregatieniveau (hoofdstuk 5);
- methoden voor de bepaling van de basisdrainagefuncties (hoofdstuk 6).

De diverse onderzoeken naar DEMGEN en de basisdrainage (zoals bovengenoemde gevoeligheidsanalyse, de toepassing van DEMGEN op Hupsel en Sleen, [2], [3] en onderhavig onderzoek) zullen in PAWN-II kader afgerond worden met een samenvattend onderzoek naar de berekeningsresultaten van DEMGEN in het gebied van de hoge gronden. Dit onderzoek zal specifiek gericht zijn op de op de eerste blz. genoemde tekortkomingen van het model met betrekking tot de berekening van de basisdrainage. Hiervoor zal DEMGEN toegepast worden op enkele stroomgebieden in Nederland. Op basis van de bevindingen uit bovengenoemde onderzoeken zal een aantal modelconcepten voor de basisdrainage uitgetest worden. Dit afsluitend onderzoek, dat in 1984-1985 uitgevoerd zal worden, dient te leiden tot concrete aanbevelingen met betrekking tot verbetering van het modelconcept van DEMGEN. In bijlage I is voor die lezers die niet vertrouwd zijn met de in PAWN kader ontwikkelde modellen een overzicht van deze modellen opgenomen waarbij tevens de gehanteerde terminologie wordt verklaard. Bijlage II geeft een beknopt overzicht van PLOTWAT, het programma-onderdeel dat de waterhuishouding in de kleinste modeleenheid, de plot, berekent.

Het onderzoek is uitgevoerd in de periode mei 1983/maart 1984 door ir. J.W. Wesseling van de afdeling Hydrodynamica en Morfologie van het Waterloopkundig Laboratorium. De begeleiding van de zijde van Rijkswaterstaat is verzorgd door ir H.J. Opdam en later door ir. W. van Vuuren, beiden van het distrikt Zuidoost van de direktie Waterhuishouding en Waterbeweging.

2 Samenvatting

2.1 Verricht onderzoek

Het onderzoek omvat een drietal onderdelen, elk verband houdend met de modellering van de basisdrainage in DEMGEN. Aan de hand van gegevens van de provincie Drenthe is onderzocht in hoeverre verbeteringen van het model mogelijk zijn indien over gedetailleerde gegevens beschikt kan worden, waardoor ofwel een betere schatting van verschillende parameters ofwel een fijnere schematisatie mogelijk is.

Om de invloed van grondwaterstroming tussen plots te onderzoeken is enerzijds nagegaan in hoeverre de voor de beheerder relevante uitkomsten van DEMGEN-simulaties gevoelig zijn voor toevoer uit het diepere grondwater; anderzijds is met behulp van een grondwatermodel voor het hoge deel van de provincie Drenthe de grootte van de toevoer uit het diepe grondwater voor een voorjaars- en een najaarssituatie berekend. Voorafgaand aan de DEMGEN simulatie is voor het hoge deel van de provincie Drenthe aan de hand van een indeling in vakken van 1 km² de opbrengstdepressie bij dalende grondwaterstand, de grondwatertrap en het overheersende gewastype in kaart gebracht. Combinatie van deze gegevens leidde tot selectie van een vijftal plots die het meest gevoelig voor grondwatertoevoer geacht mogen worden. Voor elk van deze vijf plots is voor een viertal jaren, die elk representatief geacht mogen worden voor een bepaalde droogteklasse, bij vijf verschillende waarden voor de grondwatertoevoer, een DEMGEN simulatie uitgevoerd. Bij de simulatieberekeningen is gewerkt met twee bodemtypes: het in de PAWN-studie voor Drenthe gekozen bodemtype 21/7 en een iets zandiger bodemtype 21/4. Voor de berekening van de grootte van de op de hoge gronden van Drenthe voorkomende grondwaterstromingen zijn twee modellen gemaakt; één voor het noordelijk en één voor het zuidelijk deel. Beide modellen hebben een regelmatig grid met vierkante elementen van 2 x 2 km. Getracht is om zo goed mogelijk gebruik te maken van alle beschikbare gegevens: stijghoogten in het freatisch pakket, weerstand van het eerste afdekkend pakket, doorlatendheid van het spanningswatervoerend pakket en stijghoogten in het spanningswatervoerend pakket. Uit een uitvoerige analyse van alle beschikbare gegevens bleek echter dat alleen de gegevens van het diepe pakket, stijghoogte en doorlatendheid, voldoende nauwkeurig zijn om bruikbare resultaten te leveren.

De invloed van het aggregatieniveau van de basisdrainagefunctie is onderzocht door een zeer gedetailleerde schematisatie gebaseerd op de fysische kenmerken van de drainageleidingen te maken. Voor het zuidelijk deel van de provincie Drenthe is de ruimtelijke variabiliteit zichtbaar gemaakt door per vak van 1 km² een drainageweerstand af te beelden. De invloed van het droogvallen van drainageleidingen bij dalende grondwaterstand op de lineariteit van de basisdrainagefunctie is onderzocht door voor vier gebieden een basisdrainagefunctie te berekenen, uit de fysische eigenschappen van het ontwateringsstelsel. De gevoeligheid van de uitkomsten van DEMGEN simulaties voor het aggregatieniveau van de basisdrainagefunctie is onderzocht door berekeningen met DEMGEN voor vier verschillende aggregatieniveaus uit te voeren voor distrikt 11.

Enkele alternatieve methoden voor het schatten van de basisdrainagefunctie zijn toegepast op gegevens van het proefgebied Sleen en een tweetal meetpunten van het secundair meetnet. Door toepassing van de lineaire reservoirtheorie is getracht de koëfficiënten van de basisdrainagefunctie te schatten uit het uitputtingsverloop van de grondwaterstand of de oppervlakkige afvoer.

2.2 Konklusies

De intensiteit van de grondwaterstroming tussen hooggelegen en laaggelegen plots in Drenthe varieert tussen ca. plus en min 0,5 mm/dag.

De invloed van de grondwaterstroming op de opbrengstdepressie is afhankelijk van het bodemtype, de HIL0-kode en het gewas. De fout in de berekende opbrengstdepressie door het verwaarlozen van de grondwaterstroming is klein, omdat het effect op de opbrengstdepressie slechts in één geval meer dan 15% bedraagt en binnen een distrikt zowel positieve als negatieve effecten optreden die elkaar compenseren. Grondwatertoevoer zal vrijwel altijd gevolgen hebben voor de distriktswaterbalans, bij gronden met diepe grondwaterstand hoofdzakelijk door verandering van het gedrag van de grondwaterberging; bij gronden met ondiepe grondwaterstand ook door toename van de aktuele verdamping in droge jaren. Toevoer van grondwater leidt verder altijd tot ondiepere grondwaterstanden.

De ruimtelijke variabiliteit van basisdrainagekarakteristieken kan binnen een distrikt op de hoge gronden aanzienlijk zijn. Het effect van de ruimtelijke

variabiliteit in drainagekarakteristieken op de betreffende basisdrainage wordt reeds bij het samenvoegen van enkele tientallen km² vakken betrekkelijk klein. Indien de basisdrainagefunctie aan de hand van fysische kenmerken wordt bepaald, wordt een vrijwel lineaire functie gevonden. De mogelijkheid om ten behoeve van berekeningen met DEMGEN te differentiëren naar goed en slecht gedraineerde gebieden aan de hand van de fysische kenmerken van het ontwateringsstelsel is beperkt. Indien een té laag aggregatieniveau wordt gehanteerd, wordt in de relatief slecht gedraineerde gebieden aan de hand van de fysische kenmerken van het ontwateringsstelsel een onrealistische drainagefunctie gevonden. Op de gronden met HILO kode 1 heeft het verhogen van het aggregatieniveau van de basisdrainagefunctie een systematisch effect op de opbrengstdepressie en de kumulatieve basisdrainage. Het effect is voor de beide onderzochte bodemtypes tegengesteld: voor bodemtype 21/7 nemen opbrengstdepressie en drainage toe bij verhoging van het aggregatieniveau; bij het bodemtype 21/4 nemen ze af. Waarschijnlijk wordt dit bepaald door toevallige omstandigheden. Het effect van het verhogen van het aggregatieniveau op de berekende opbrengstdepressie kan oplopen tot meer dan 10%, het effect op de waterbalans tot meer dan 20 mm.

Er zijn alternatieve methoden voor het schatten van de koëfficiënten van de basisdrainagefunctie. De nauwkeurigheid van de methoden is niet erg groot. Met uitzondering van de zeer bewerkelijke methode gebaseerd op de fysische kenmerken van het stelsel hebben de methoden als nadeel dat onderscheid tussen gronden met HILO kode 1 en 2 niet gemaakt kan worden. Voor een redelijk betrouwbare schatting dient elk van de gebruikte methoden zeer zorgvuldig te worden toegepast. De onderzochte schattingsmethoden gebaseerd op het uittappingsverloop van grondwaterstand of gebiedsafvoer kunnen worden verbeterd door correctie op neerslag- of verdampingoverschot en toevoer uit het diepe grondwater. De methoden worden daardoor veel bewerkelijker.

2.3 Aanbevelingen

Het doel van het onderhavige onderzoek is om te komen tot verbetering van het basisdrainageconcept van DEMGEN. Voor een aantal onderdelen is een vooronderzoek uitgevoerd om een indruk te krijgen van de mogelijke verbetering die bereikt kan worden. Op grond van de resultaten van dit vooronderzoek kunnen aanbevelingen geformuleerd worden.

- Nader onderzoek naar het effect van grondwaterstroming tussen plots op de berekende opbrengstdepressie heeft geen hoge prioriteit. Weliswaar kan een systematisch effect op de opbrengstdepressie worden verwacht omdat er ruwweg sprake is van grondwaterstroming van gebieden met een diepe grondwaterstand die weinig of niet gevoelig zijn, naar gebieden met ondiepe grondwaterstand die wel gevoelig zijn. Het maximaal effect, dat gevonden werd door vergelijkende berekeningen voor de meest gevoelige plots te maken is echter niet van een zodanige grootte dat op distriktsniveau nog effecten van meer dan enkele procenten te verwachten zijn.
- Om het inzicht in het effect van grondwaterstroming tussen plots op de distriktswaterbalans en de grondwaterstand te verdiepen, lijkt het zinvol de vergelijkende berekeningen voort te zetten. Daarbij moet dan aandacht geschonken worden aan de invloed van de beginschatting en de gebruikte basisdrainagefunctie.
- Het aggregatieniveau van de basisdrainagefunctie kan gevolgen hebben voor de berekende opbrengstdepressie en de distriktswaterbalans. Verbetering van de nauwkeurigheid door verlaging van het aggregatieniveau is wellicht mogelijk. De mogelijkheden om het aggregatieniveau te verlagen door voor kleine gebieden drainagefuncties te bepalen aan de hand van fysische kenmerken van het ontwateringsstelsel zijn echter beperkt. Verder onderzoek in deze richting, waarbij voor een goed bemeten stroomgebied op een laag aggregatieniveau de parameters van de basisdrainagefuncties bepaald worden, wordt aanbevolen.
- De schattingsmethode voor basisdrainagekarakteristieken aan de hand van het uitputtingsverloop van de grondwaterstand lijkt veelbelovend. Nader onderzoek naar de mogelijke verbetering van de betrouwbaarheid van de schatting door correctie op neerslag of verdamping verdient aanbeveling.

3 Probleemstelling

3.1 Grondwaterstroming tussen plots

Doordat binnen een distrikt verschillen in grondwaterstand voorkomen, treedt in het prototype grondwaterstroming op van gebieden met hoge grondwaterstand (t.o.v. NAP) naar gebieden met lage grondwaterstand. In het model betekent dit een stroming tussen de kleinste modeleenheden, de plots. De waterbeweging in een plot wordt in DEMGEN berekend door de module PLOTWAT (zie bijlage II).

Het verzadigde grondwater komt niet als apart element voor in PLOTWAT; voor de ondergrond wordt wel een balansvergelijking opgesteld waarin grondwatertoevoer een van de termen is. Berekening van de grondwaterstroming afhankelijk van de per plot berekende grondwaterstandsdiepte is in DEMGEN niet goed mogelijk omdat:

- de grondwaterstandsdiepte niet is gedefinieerd ten opzichte van een vast referentieniveau, en
- een plot een verzameling is van gebieden met bepaalde kenmerken, waardoor het meestal geen geografisch aaneengesloten gebied is.

Binnen het huidige concept van DEMGEN wordt het effect van grondwaterstroming geheel weergegeven door de empirisch bepaalde basisdrainagefunctie. Daarnaast kan slechts rekening gehouden worden met grondwaterstroming door deze als externe randvoorwaarde, middels de tijdsafhankelijke parameter SEEP-RATE, per subdistrikt op te geven. De term SEEP-RATE geeft het resulterend debiet aan dat uit het grondwater naar de onverzadigde ondergrond stroomt, en levert een bijdrage aan de waterbalans van de ondergrond van de plot. Door bij het vaststellen van de termen voor de verschillende subdistrakten binnen een distrikt voorwaarden te stellen aan de som van de subdistriktbijdragen, kan onderscheid gemaakt worden tussen grondwaterstroming binnen het distrikt (som is nul) of over de distriktsgrenzen. De nauwkeurigheid van de benadering is afhankelijk van de nauwkeurigheid waarmee de grondwaterstroming voorafgaand aan een DEMGEN simulatie bepaald kan worden. Daarnaast kunnen variaties in de intensiteit van de grondwaterstroming binnen een sub-distrikt afbreuk doen aan de juistheid van de benadering.

Vanuit landbouwkundig oogpunt is een goede maat voor de juistheid van de gehanteerde benadering enerzijds het effect op de berekende landbouwschade,

anderzijds het kloppen van de distriktswaterbalans. Voor andere doeleinden kan ook de invloed op de berekende grondwaterstand van belang zijn. Om het belang van de grondwaterstroming en de mogelijkheid van een voldoende nauwkeurige benadering verder te onderzoeken, worden in hoofdstuk 4 de volgende onderdelen behandeld:

- Aan de hand van enkele sterk geschematiseerde voorbeelden wordt de invloed van grondwaterstroming op de berekende gewasschade en distriktswaterbalans uitgewerkt; tevens wordt het effect op de grondwaterstand getoond.
- Aan de hand van gegevens van de provincie Drenthe wordt onderzocht hoe groot de invloed van grondwaterstroming in een reële situatie kan zijn.
- Nagegaan is in hoeverre de aanpassingen, die in het rekenschema van DEMGEN zijn aangebracht om ook bij niet-stationaire situaties redelijke resultaten te krijgen, van invloed zijn op de berekende effecten van grondwaterstroming.

3.2 Aggregatieniveau basisdrainagefunctie

De verificatieberekeningen, die zijn uitgevoerd in het kader van de PAWN-studie, hebben aan het licht gebracht dat de variatie in de basisdrainagekarakteristieken veel groter is dan de verdeling in grondwaterregio's doet vermoeden. Dit wordt bevestigd door de simulatieberekeningen voor Hupsel en Sleen.

Indien aan de hand van fysische kenmerken de relatie tussen grondwaterstand en basisdrainage gedetailleerd wordt vastgesteld, dan kan de grootte van de ruimtelijke variatie in basisdrainagekarakteristieken worden afgeschat. Een gangbare methode daarvoor is de methode van Ernst [4], met als belangrijke verdienste dat het effect van de stroming in de directe omgeving van de open leiding in rekening wordt gebracht. Een eerste benadering voor het vaststellen van de invloed van het aggregatieniveau op de basisdrainagefunctie is om de afvoer door het drainagestelsel als functie van de grondwaterstand te berekenen voor verschillende aggregatieniveaus. Een tweede benadering is om met behulp van het programma DEMGEN vergelijkende berekeningen uit te voeren, voor verschillende basisdrainagefuncties; waarbij de functies alleen onderling verschillen in het gekozen aggregatieniveau. In hoofdstuk 5 worden beide benaderingen toegepast.

3.3 Bepalen van de basisdrainagefunctie

De parameters van de basisdrainagefunctie kunnen volgens vier methoden bepaald worden. De eerste methode is gebaseerd op de fysische kenmerken van het drainagestelsel; bij de overige drie methoden wordt uitgegaan van gemeten grondwaterstand en afvoer. Bij de bepaling aan de hand van gemeten waarden kan onderscheid gemaakt worden tussen: regressie van gemeten gebiedsgemiddelde grondwaterstand op gemeten gebiedsafvoer en toepassing van een lineaire reservoirtheorie op de grondwaterstand of de afvoer. De laatste twee methoden zijn gebaseerd op het analyseren van het uitputtingsverloop van het grondwaterreservoir. De bruikbaarheid van de methoden kan worden onderzocht door ze alle vier toe te passen op hetzelfde gebied en de gevonden functies onderling te vergelijken. Dit onderdeel wordt in hoofdstuk 6 beschreven.

4 Grondwaterstroming tussen de plots

4.1 Inleiding

In Nederland wordt de grondwaterstroming in grote lijnen bepaald door het neerslagoverschot dat, voor een deel via het grondwater en voor een deel via het oppervlaktewater, naar zee wordt afgevoerd. Door de sterk gelaagde opbouw van de Nederlandse bodem kan veelal onderscheid gemaakt worden tussen een topsysteem, met een sterke interactie met het oppervlaktewater en een relatief sterk tijdsafhankelijk gedrag, en een systeem van diep grondwater met een hoofdzakelijk door regionale factoren bepaald stromingspatroon.

Op de hoge gronden zal gemiddeld over het jaar water uit het topsysteem naar het diepe grondwater infiltreren; de grootte van deze infiltratie wordt, behalve door het in de tijd variërende neerslag- of verdampingoverschot, bepaald door factoren als: hoogteligging van het maaiveld, voorkomen van goed en slecht doorlatende lagen, stijghoogte in het diepe grondwater, eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem en het peilbeheer van het oppervlaktewater.

In DEMGEN komt alleen het topsysteem van het verzadigde grondwater voor. De interactie met het oppervlaktewater wordt berekend met een drainagefunctie; de berging ten gevolge van verandering van de grondwaterstand wordt meegenomen in de balansvergelijking van de ondergrond. Eventueel kan de wateruitwisseling met het diepe grondwater worden ingekalkuleerd als grondwateraanvoer van buiten het beschouwde gebied. Tot nu toe is van deze mogelijkheid echter geen gebruik gemaakt.

De berekening van de verschillende balanstermen vindt plaats in het module PLOTWAT, steeds voor de kleinste eenheid van het model, de plot. Een plot kan worden opgevat als een kolom grond waarin onderscheid wordt gemaakt tussen een wortelzone en een ondergrond.

De wortelzone is dat deel van de bodem waarin de plantenwortels water onttrekken. De waterbeweging in de wortelzone is afhankelijk van: neerslag, verdamping, gewasonttrekking en van de wateruitwisseling met de ondergrond. Het vochtgehalte van de wortelzone speelt een belangrijke rol in de plantonttrekkingsfunctie, bij het berekenen van de wateruitwisseling met de ondergrond en voor het vaststellen van de berging van water in de wortelzone.

De ondergrond strekt zich uit van de onderkant van de wortelzone tot in de verzadigde zone van de plot. De waterbeweging in de ondergrond is afhankelijk van: de wateruitwisseling met de wortelzone, de wateruitwisseling met het oppervlaktewater, eventuele grondwateronttrekking of toevoer van grondwater van buiten het gebied. Het vochtgehalte in de ondergrond speelt een belangrijke rol bij de wateruitwisseling met de wortelzone, voor de drainage naar het oppervlaktewater en voor het vaststellen van de berging. De berging in de ondergrond wordt uitgedrukt als een verzadigingsdeficiet: het verschil tussen de aktueel aanwezige hoeveelheid vocht en de (maximaal) aanwezige hoeveelheid indien de gehele ondergrond verzadigd zou zijn.

Voor een gebied op de hoge gronden waar geen beregening of grondwateronttrekking plaatsvindt, luidt de waterbalans voor de ondergrond in PLOTWAT

$$\frac{d \Delta(t)}{dt} = V(t) + D(t) - S(t) \quad (4.1)$$

De toename van het verzadigingsdeficiet Δ per tijdseenheid is gelijk aan de som van het vochttransport naar de wortelzone V en de afvoer naar het oppervlaktewater D minus de toevoer van grondwater S . Onder de toevoer van grondwater wordt daarbij verstaan het resulterend transport van stroming door de freatische laag en kwel uit diepere lagen. Indien wordt aangenomen dat de stroming in de freatische laag overwegend horizontaal is en dat de freatische laag aan de onderzijde wordt begrensd door een relatief slecht doorlatende laag met weerstand c , dan kan voor de toevoer uit het grondwater worden geschreven

$$S(t) = \frac{\partial}{\partial x} \left(T_x \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(T_y \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) + \frac{\phi_1 - \phi}{c} \quad (4.2)$$

waarin T_x resp. T_y de doorlatendheid van de freatische laag in x - resp. y -richting voorstelt, ϕ de potentiaal in de freatische laag en ϕ_1 de potentiaal in de laag onder de slecht doorlatende laag.

Over een lange periode, b.v. een jaar, zal de bergingsverandering in de ondergrond klein zijn ten opzichte van de andere termen, zodat dan bij benadering geldt:

$$\int_0^T S(t)dt = \int_0^T \{V(t) + D(t)\}dt \quad (4.3)$$

Omdat over een lange periode de bergingsverandering in de wortelzone eveneens relatief klein is, kan (4.3) ook geschreven worden als:

$$\int_0^T S(t)dt = \int_0^T \{E_p(t) - E_r(t) - P(t) + D(t)\}dt \quad (4.4)$$

waarin E_p de potentiële gewasverdamping is, E_r de verdampingsreduktie en P de neerslag. In het rechterlid zijn de variabelen E_p en P volledig bepaald door atmosferische omstandigheden, zodat de toevoer van grondwater naar een plot zal leiden tot een toename van de drainage D en de afname van de verdampingsreduktie E_r . Ten opzichte van een situatie zonder grondwatertoevoer zal in de situatie met grondwatertoevoer in een natte periode de drainage wat groter zijn, de grondwaterstand hoger en er zal meer water in het profiel geborgen zijn. In een droge periode zal in de situatie met grondwatertoevoer meer vocht beschikbaar zijn en zal de capillaire opstijging groter zijn. Hierdoor zal de verdampingsreduktie en daarmee de berekende gewasschade later intreden en kleiner zijn dan in de situatie zonder grondwatertoevoer.

De invloed van grondwaterstroming tussen plots op de berekende gewasschade is dus afhankelijk van:

- de grootte van de grondwatertoevoer
- de vorm van de drainagefunctie
- de capillaire nalevering als functie van de grondwaterstand; bepaald door de $K(\psi)$ en $\theta(\psi)$ relaties.

Aan de hand van gegevens van de provincie Drenthe en een aantal berekeningen is de invloed van grondwaterstroming verder onderzocht. Met behulp van een model voor verzadigde grondwaterstroming, GROMULA [5], is nagegaan welke orde van grootte de grondwaterstromingen in de provincie Drenthe hebben en hoe deze verdeeld zijn in ruimte en tijd. Met behulp van DEMGEN is voor een aantal plots het effect van een bepaalde grondwatertoevoer op de berekende basisdrainage, grondwaterstand en landbouwschade aangegeven. Bij deze berekeningen wordt het effect van het gekozen aggregatieniveau buiten beschouwing gelaten.

4.2 Berekeningen met GROMULA

Het doel van de berekeningen met GROMULA is om een indruk te krijgen van de ruimtelijke verdeling van de grondwaterstroming in de provincie Drenthe en de variaties in de tijd. Het geohydrologische profiel in de provincie kan globaal geschematiseerd worden tot een freatisch pakket met één of twee watervoerende pakketten daaronder. Het freatisch pakket bestaat uit fijne dekzanden, met daarin lenzen kei- en beekleem. Op de overgang naar de grove fluviatiele zanden van het diepe watervoerend pakket worden fijne slibrijke zanden en klei aangetroffen. De scheiding is plaatselijk, door het voorkomen van klei-afzettingen (Cromer klei) zeer duidelijk; op andere plaatsen is een afscheidende laag nauwelijks aantoonbaar.

Omdat de doorlatendheid van het diepe watervoerend pakket relatief groot is ten opzichte van het freatisch pakket, wordt aangenomen dat de belangrijkste grondwaterinteractie tussen de plots plaatsvindt via het diepe watervoerend pakket. Bij een berekening met het programma GELGAM in het studiegebied Sleen [6] is ook door het RID van deze aanname uitgegaan. De plotinteractie kan dan berekend worden door het bepalen van de flux door de grenslaag tussen het freatisch pakket en het diepe watervoerend pakket (C_1 -laag).

De gegevens, beschikbaar voor de berekening zijn:

- kD waarden van het diepe watervoerend pakket
- C_1 waarden voor de eerste semipermeabele laag onder het freatisch pakket
- isohypsen van het freatisch grondwater
- isohypsen van het diepe grondwater.

De gegevens zijn in 1982 door de Provinciale Waterstaat van Drenthe verzameld in het kader van de voorbereiding van het grondwaterplan.

Er zijn nu drie mogelijkheden om aan de hand van de beschikbare gegevens de gezochte flux door de C_1 laag te berekenen:

- uit het quotiënt van stijghoogteverschil en C_1 -waarde:

$$q = \frac{\phi - \phi_1}{C_1} \quad (4.5)$$

waarin ϕ de stijghoogte in het freatisch pakket is en ϕ_1 de stijghoogte in het diepe watervoerend pakket

- uit de isohypsen van het diepe pakket

$$q = - kD \left(\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial y^2} \right) \quad (4.6)$$

- door een combinatie van gegevens van het freatisch- en het diepe watervoerend pakket; waarbij als continuïteitsvoorwaarde geldt:

$$\frac{\phi - \phi_1}{C_1} + kD \left(\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (4.7)$$

In principe verdient de laatste methode de voorkeur. Omdat een overmaat aan gegevens beschikbaar is, kan een kalibratie worden uitgevoerd, waarbij de meest onzekere parameters bijgesteld worden. Op grond van enkele kalibratieberekeringen, waarbij alleen op de randen van het model gemeten stijghoogten worden opgelegd, blijkt dat zeer ingrijpende aanpassingen van KD en C-waarden nodig zijn om de berekende stijghoogten in overeenstemming te brengen met de gemeten stijghoogten. Een mogelijke verklaring is dat de schatting van de C_1 -waarden erg onnauwkeurig is en dat de gehanteerde schematisatie wellicht te grof is om de sterk variërende stijghoogten in het freatisch pakket goed weer te geven. Een berekening met de eerste methode bevestigt dat de C_1 en ϕ_1 -waarden onbruikbare resultaten op leveren. De berekende debieten zijn op een aantal plaatsen onwaarschijnlijk hoog tot meer dan 10 mm/dag. De resultaten van de tweede methode blijken wel acceptabel te zijn. De berekende debieten komen qua orde van grootte overeen met de door het RID berekende waarden [7] en de gevonden kwelgebieden corresponderen met een door de Provinciale Waterstaat van Drenthe samengestelde kwelkaart.

De berekening is volgens de formulering (4.6) uitgevoerd met het eindige elementen programma GROMULA. Voor het hoge deel van de provincie zijn twee modellen gemaakt; één voor het noordelijke en één voor het zuidelijk deel. In beide modellen is gewerkt met vierzijdige elementen met zijden van 2 km lengte, waarbij voor de variabelen een lineair verloop langs de zijden wordt verondersteld. In de knooppunten van het netwerk wordt de stijghoogte in het diepe watervoerend pakket opgegeven en per element de bijbehorende KD-waarde. Omdat in het berekende debiet per knooppunt de invloed van grondwateronttrekking niet is begrepen, moet voor deze invloed achteraf worden gecorrigeerd. Bij de uitgewerkte correctie is de onttrekking in een knooppunt gekoncentreerd gedacht en omgerekend naar mm/dag. De berekening is uitgevoerd voor een voorjaarssituatie (28-4-1980) en een najaarssituatie (13-10-1978). Het isohypsen-

beeld op deze data komt redelijk overeen met het gemiddelde beeld op overeenkomstige data in de periode 1976 t/m 1981. De berekeningsresultaten worden gepresenteerd in figuur 4-2 tot en met 4-5, voor respectievelijk het zuidelijk en het noordelijk deel van de hoge gronden in Drenthe. De intensiteit van de grondwaterstroming varieert tussen ca. plus en min 0,5 mm/dag. In tabel 4.1 is het gemiddelde en de standaardafwijking gegeven per distrikt en voor de drie distrikten samen. Voor zowel de voorjaars- als de najaarssituatie zijn steeds twee waarden berekend: het gemiddelde van alle waarden en het gemiddelde van de berekende grondwaterstroming voor zover die niet groter dan 3 mm/dag is.

	Distrikt 8			Distrikt 11			Distrikt 12			Totaal		
	n	\bar{x}	S	n	\bar{x}	S	n	\bar{x}	S	n	\bar{x}	S
voorjaar	115	0,15	0,72	116	0,04	0,68	199	0,03	0,53	430	0,06	0,63
voorjaar < 3	114	0,13	0,66	115	0,07	0,58	197	0,06	0,41	427	0,07	0,55
najaar	115	0,12	0,72	116	0,03	0,68	199	0,04	1,34	430	0,06	1,05
najaar < 3	115	0,12	0,72	115	0,07	0,57	190	0,04	0,39	428	0,11	0,62

Tabel 4.1 Gemiddelde en standaardafwijking van de grondwaterstroming per vak van 4 km^2 \bar{x} in mm/d, positief betekent wegzijging

In de figuren is de grens tussen kwel- en infiltratiegebieden aangegeven. Gebieden met overwegend kwel in de voorjaarssituatie vertonen eveneens overwegend kwel in de najaarssituatie.

Om te onderzoeken of de kwelgebieden samenvallen met de gebieden met ondiepe grondwaterstand is in de figuren 4-6 en 4-7 de grondwatertrappenkaart voor het zuidelijk en noordelijk deel van de provincie Drenthe opgenomen. De kaart is samengesteld aan de hand van de gegevens die verzameld zijn in het kader van de voorbereiding van het grondwaterplan.

Indien de figuren 4-2 tot en met 4-5 vergeleken worden met de figuren 4-6 en 4-7 dan valt het op dat het patroon van hoge ruggen en beekdalen steeds ruwweg teruggevonden wordt; hoewel de km^2 vakken met kwel niet altijd overeen komen met de relatief natte gebieden met HIL0 kode 1. De indeling in grondwatertrap-

pen is kennelijk slechts beperkt bruikbaar voor het klassificeren van kwel/wegzijgingsgebieden en gebieden met HILO1/HILO2.

4.3 Berekeningen met DEMGEN

Het doel van de berekeningen met DEMGEN is om een indruk te krijgen van het maximaal effect van grondwaterstroming op de berekende landbouwschade. Tevens wordt het effect op de basisdrainage en de berekende grondwaterstand gevonden. Om de invloed van het aggregatieniveau uit te sluiten, wordt steeds een aantal vergelijkende berekeningen voor één enkele plot uitgevoerd. De selectie van plots is gebaseerd op, door de provincie Drenthe berekende opbrengstdepressie bij grondwaterstandsverlaging. Er is vanuit gegaan dat de gevoeligste plots gevonden worden in gebieden waar de opbrengstdepressie het grootst is bij een dalende grondwaterstand. Grote opbrengstdepressies van ca. 2500 kg droge stof per ha. bij 0,5 m grondwaterstandsverlaging, worden gevonden ten zuiden van Emmen in distrikt 11 in gebieden waar fabrieksaardappelen het belangrijkste gewas is. De berekende opbrengstdepressie van 2500 kg droge stof/ha voor fabrieksaardappelen komt overeen met een opbrengstdepressie van ca 5%, als een gemiddelde opbrengst van 50.000 kg/ha wordt aangehouden. Voor het grasland in distrikt 11 werden opbrengstdepressies van 500-700 kg droge stof/ha gevonden, wat overeenkomt met 5 à 7%; als de gemiddelde opbrengst voor grasland wordt gesteld op 10.000 kg/ha. Soortgelijke opbrengstdepressies voor grasland worden gevonden in de distrikten 8 en 12.

Distrikten 8 en 12 bevatten alleen hoge gronden met een diepe grondwaterstand, HILO kode 2. In distrikt 11 komen zowel hoge gronden met een diepe als ook met een ondiepe grondwaterstand voor. De gebieden met hoge opbrengstdepressies worden echter aangetroffen in gebieden met een grondwatertrap kleiner dan GT(V); dus HILO kode 1. Aldus worden vier combinaties van ploteigenschappen gevonden die het gevoeligst zijn voor grondwatertoevoer. Omdat in de PAWN schematisatie de fabrieksaardappelen in distrikt 11 uitsluitend voorkomen in het sub-distrikt met HILO kode 2 is deze combinatie als vijfde mogelijkheid toegevoegd. Tabel 4.2 geeft een overzicht van de gekozen combinaties van ploteigenschappen. Om een indruk te krijgen van de gevoeligheid voor de bodemkarakteristieken, zijn de berekeningen behalve voor het in de PAWN schematisatie van geheel Drenthe gebruikte bodemtype 21/7 tevens uitgevoerd voor een beter capillair geleidend bodemtype: 21/4. In totaal zijn dus tien plots onderzocht.

distrikt	11	11	11	8	12
HILO kode	1	1	2	2	2
gewas	g	a	a	g	g

g = grasland

a = fabrieksaardappelen

Tabel 4.2 Combinaties van ploteigenschappen waarvoor de gevoeligheid voor grondwatertoevoer is onderzocht

Omdat het al of niet optreden van droogteschade verder afhankelijk is van meteorologische omstandigheden is een aantal historische jaren geselecteerd waarin aan neerslag en verdamping een bepaalde droogteklasse kan worden toegekend. De selectie heeft plaatsgevonden aan de hand van de verdeling van het kumulatief verdampingsoverschot van stations in het zuiden van Drenthe zoals gehanteerd in de studie "Water naar Drenthe" [8] en de beschikbare gegevens in de PAWN data base (1930-1976). Gekozen zijn: 1976 als een 5% droog jaar 1947 als een 10% droog jaar, 1938 als een 20% jaar en 1963 als een 50% droog jaar. Deze indeling is betrekkelijk; indien uitsluitend gegevens van het station Dedemsvaart worden genomen, worden andere percentages voor de overschrijdingskans gevonden.

Voor de tien geselecteerde plots en de vier jaren zijn berekeningen uitgevoerd voor vijf verschillende waarden van de grondwatertoevoer:

- een kwel van 2 mm/dag, $S = 2$
- een kwel van 1 mm/dag, $S = 1$
- geen grondwatertoevoer, $S = 0$
- een wegzijging van 1 mm/dag, $S = -1$
- een wegzijging van 2 mm/dag, $S = -2$.

De resultaten van de berekeningen zijn vermeld in de tabellen 4.3 tot en met 4.6.

In de figuren 4-1 en 4-2 is de berekende opbrengstdepressie, de capillaire opstijging over het groeiseizoen en de basisdrainage, gekorrigeerd voor de grondwatertoevoer, uitgezet. Vergelijking van de curves voor opbrengstdepressie en capillaire opstijging illustreert de sterke relatie tussen beide. De

opbrengstdepressie op de gronden met ondiepe grondwaterstand (HILO = 1) blijkt duidelijk gevoelig te zijn voor grondwatertoevoer, het sterkst in het droge jaar 1976. Fabrieksaardappelen blijken bij een relatief klein vochttekort minder gevoelig te zijn dan gras; bij grote vochttekorten vertonen fabrieksaardappelen juist een hogere opbrengstdepressie. De opbrengstdepressie bij het beter geleidend bodemtype 21/4 is steeds kleiner dan bij het bodemtype 21/7; de gevoeligheid voor grondwatertoevoer is het sterkst bij het bodemtype 21/4 door de sterke afname van capillair transport bij dalende grondwaterstand. Op de gronden met diepe grondwaterstand (HILO = 2) blijkt de opbrengstdepressie duidelijk minder gevoelig voor grondwatertoevoer. Bij de plots met bodemtype 21/7 is het effect van grondwatertoevoer op de opbrengstdepressie zelfs nauwelijks waarneembaar. Het meest gevoelig is de plot aardappelen, HILO kode 1, bodemtype 21/7, waar de opbrengstdepressie in 1976 van 20% tot 45% toeneemt als in plaats van een grondwatertoevoer van 0,5 mm/dag een grondwateronttrekking van 0,5 mm/dag wordt aangenomen. Bij de overige onderzochte plots bedraagt het effect van afname van de grondwatertoevoer van +0,5 mm/dag naar -0,5 mm/dag nergens meer dan 15% extra opbrengstdepressie.

De curves "gesommeerde basisdrainage minus grondwatertoevoer" geven een indruk van het effect op de distriktswaterbalans. Indien de grondwatertoevoer volledig door een gewijzigde basisdrainage wordt gekompenseerd, dan ontstaat een horizontale lijn. Dit is min of meer het geval voor de plot fabrieksaardappelen bij ondiepe grondwaterstand in 1963 en 1938. In de overige gevallen zijn steeds aanzienlijke afwijkingen van de horizontale lijn waarneembaar, deels veroorzaakt door variaties in de aktuele verdamping, deels door variaties in de bergingsverandering. De in tabel 4.4 gepresenteerde waarden voor de over het groeiseizoen gesommeerde capillaire opstijging geven een indruk van het effect van grondwatertoevoer op de aktuele verdamping. Duidelijk blijkt dat het effect zeer groot is bij de twee plots met HILO kode 1 in de droge jaren 1976 en 1947. In het droge jaar 1976 bedraagt de afname van de bodemvochtvoorraad voor de onderzochte plots, in het geval van geen grondwatertoevoer, tussen 0 mm voor de plots met HILO kode 1 tot maximaal 160 mm voor een plot met HILO kode 2. Bij een wegzijging van 2 mm/dag kan de bergingsverandering tot ongeveer het dubbele toenemen.

Opgemerkt moet worden dat bij de berekeningen de beginschatting van de grondwaterstand niet is aangepast aan het al of niet optreden van grondwatertoevoer. Met andere woorden; er is steeds gerekend met een beginschatting die hoort bij een grondwatertoevoer gelijk aan 0. Met name op de plots met een diepe grondwaterstand, waar de bergingsverandering over een jaar het grootst is kan dit van invloed zijn op de berekende bergingsverandering. De invloed op de opbrengstdepressie is waarschijnlijk gering, omdat het effect van de beginschatting in de eerste, doorgaans natte weken van het seizoen snel afneemt. De over het jaar gemiddelde grondwaterstandsdiepte neemt in alle gevallen af indien er sprake is van grondwatertoevoer. Omdat er steeds is gerekend met een lineaire drainagefunctie zonder begrenzing bij diepe grondwaterstand, is deze afname van grondwaterstandsdiepte geheel te verklaren uit de toename van de basisdrainage. Indien de beginschatting zou worden aangepast aan het al of niet voorkomen van grondwatertoevoer, door meerdere jaren achter elkaar door te rekenen, zou het effect nog versterkt worden.

4.4 Interpretatie en konklusies

Grondwaterstroming van hooggelegen naar laaggelegen plots komt voor op de hoge gronden. De grootte van de stroming varieert in Drenthe, bij schematisatie in vakken van 4 km^2 tussen plus en min $0,5 \text{ mm/dag}$. Sterkere stromingen zijn wel berekend, maar zijn steeds lokaal en mogelijk het gevolg van de gevolgde berekeningsmethode.

Er is verschil tussen grondwaterstroming in de najaars- en voorjaarssituatie. Het verschil betreft vooral de grootte van de berekende debieten; gebieden met overwegend kwel of wegzijging komen in beide situaties redelijk overeen.

De invloed van grondwatertoevoer op de opbrengstdepressie is afhankelijk van het bodemtype. Voor het bodemtype 21/7 is ze alleen van belang op de gronden met een ondiepe grondwaterstand; het sterkst voor aardappelen. De gronden met bodemtype 21/4 geven een geringere opbrengstdepressie maar zijn wat gevoeliger voor grondwatertoevoer. De extra opbrengstdepressie bij een grondwatertoevoer van $-0,5 \text{ mm/dag}$ in plaats van $+0,5 \text{ mm/dag}$ bedraagt in één geval 25%, maar is in de overige gevallen steeds kleiner dan 15%. De fout die wordt gemaakt indien de grondwaterstroming tussen de plots wordt verwaarloosd is nog veel kleiner, omdat positieve en negatieve effecten elkaar compenseren.

Dat de opbrengstdepressie op de gronden met bodemtype 21/7 bij diepe grondwaterstand nauwelijks gevoelig is voor grondwatertoevoer, hangt mogelijk samen met de in DEMGEN toegepaste begrenzing van de veldkapaciteit. Door de begrenzing treedt capillaire wegzijging alleen op indien de vochtspanning in de wortelzone groter is dan pF_2 . De capillaire opstijging is bij diepe grondwaterstand vrijwel te verwaarlozen. De vochtvoorraad in de wortelzone wordt dan vooral bepaald door de opeenvolging van perioden met neerslagoverschot en verdampingoverschot. Bij het bodemtype 21/4 is het capillaire geleidingsvermogen aanmerkelijk groter waardoor het effect van de grondwatertoevoer nog wel merkbaar is (zie ook tabel 4.4).

Grondwatertoevoer zal vrijwel altijd gevolgen hebben voor de distrikts-waterbalans; in die zin dat de hoeveelheid toegevoerd of onttrokken grondwater niet volledig wordt teruggevonden in de basisdrainage. Het verschil wordt voor het grootste deel, vooral bij de gronden met diepe grondwaterstand, teruggevonden in de vorm van berging. Bij de berekeningsvoorbeelden is het effect van bergingsverandering overtrokken doordat steeds met dezelfde beginschatting is gerekend. Bij de gronden met ondiepe grondwaterstand heeft grondwatertoevoer in droge jaren een duidelijke verhoging van de aktuele verdamping tot gevolg. Grondwatertoevoer zal bij gelijkblijvende basisdrainagefunkties een duidelijke verlaging van de grondwaterstandsdiepte tot gevolg hebben. In de berekeningsresultaten wordt dit effect afgezwakt doordat steeds met dezelfde beginschatting is gerekend.

plot	jaar	bodemtype 21/7 grondwatertoevoer in mm/dag					bodemtype 21/4 grondwatertoevoer in mm/dag				
		-2	-1	0	+1	+2	-2	-1	0	+1	+2
1	1976	42,4	38,8	31,0	14,5	0,7	26,4	10,1	0,6	0,0	0,0
	1947	28,1	24,4	17,3	7,2	0,0	13,8	4,4	0,4	0,0	0,0
	1938	15,0	12,0	6,5	0,0	0,0	3,9	0,0	0,0	0,0	0,0
	1963	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	1976	62,1	53,5	29,8	10,9	0,1	31,2	7,1	0,0	0,0	0,0
	1947	38,0	33,2	20,6	4,5	0,0	14,3	1,9	0,0	0,0	0,0
	1938	11,2	8,8	1,5	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0
	1963	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	1976	65,5	65,1	64,2	62,5	58,9	60,3	56,7	47,8	31,9	14,6
	1947	41,0	40,6	40,0	38,5	35,6	35,8	32,7	28,0	18,4	6,1
	1938	11,9	11,8	11,7	11,2	9,9	10,8	10,1	8,5	4,3	0,0
	1963	0,4	0,4	0,3	0,1	0,0	0,3	10,2	0,0	0,0	0,0
4	1976	50,6	50,2	49,4	47,9	45,0	45,0	42,3	37,3	30,1	15,8
	1947	30,4	30,0	28,8	26,6	22,1	24,5	21,4	17,3	10,9	4,0
	1938	17,6	17,4	17,1	16,2	14,5	15,7	14,3	11,8	5,7	0,6
	1963	4,7	4,6	4,5	4,2	3,0	4,1	3,7	2,8	0,4	0,0
5	1976	44,4	44,2	43,7	42,9	40,8	39,5	37,7	34,3	28,4	18,0
	1947	30,4	30,1	29,5	28,6	26,7	25,9	24,2	21,0	15,6	8,2
	1938	16,9	16,7	16,3	15,3	13,5	13,7	13,0	11,2	7,0	1,0
	1963	1,0	1,0	0,9	0,8	0,5	0,8	0,7	0,5	0,0	0,0

- Plot 1: Distrikt 11, HILO kode 1, gras
 2: Distrikt 11, HILO kode 1, aardappelen
 3: Distrikt 11, HILO kode 2, aardappelen
 4: Distrikt 8, HILO kode 2, gras
 5: Distrikt 12, HILO kode 2, gras

Tabel 4.3 Berekende opbrengstdepressie in %

plot	jaar	bodemtype 21/7 grondwatertoevoer in mm/dag					bodemtype 21/4 grondwatertoevoer in mm/dag				
		-2	-1	0	+1	+2	-2	-1	0	+1	+2
1	1976	11,9	26,6	69,8	169,9	271,2	99,4	175,7	265,0	275,0	276,6
	1947	-6,4	13,7	77,0	143,3	255,9	97,5	168,4	239,6	256,6	262,5
	1938	10,1	21,9			131,1	77,7	119,8	125,7	130,9	131,0
	1963	-66,6	-68,5	-61,6	-61,5	-61,5	-61,5	-66,8	-61,6	-61,4	-61,5
2	1976	10,5	27,2	75,0	152,5	201,8	78,3	159,8	192,5	201,6	202,1
	1947	-20,3	-10,6	37,9	113,8	179,9	65,6	127,2	170,2	173,9	179,8
	1938	-1,0	11,1			63,7	43,6	60,5	59,6	63,8	63,7
	1963	-119,5	-128,8	-119,5	-119,6	-119,6	-119,7	-127,1	-119,5	-119,5	-119,6
3	1976	2,1	3,2	5,7	9,9	17,6	15,6	23,7	40,3	74,4	143,3
	1947	-26,5	-25,0	-23,0	-18,6	-10,6	-11,2	-2,2	13,6	53,0	111,5
	1938	-5,2	-4,4			6,0	2,4	5,6	14,7	36,7	63,9
	1963	-120,5	-120,4	-120,1	-119,8	-119,5	-120,2	-120,1	-119,7	-119,6	-119,7
4	1976	3,5	5,0	8,3	14,1	25,5	26,5	37,0	62,2	107,6	184,1
	1947	-12,0	-7,0	-7,3	-0,4	16,2	10,0	22,4	47,5	101,9	175,8
	1938	2,8	4,5			23,1	20,5	29,5	48,7	87,8	142,4
	1963	-70,1	-70,1	-69,3	-67,2	-58,8	-66,6	-63,7	-57,0	-40,0	-37,5
5	1976	3,1	4,6	6,8	11,1	19,1	23,8	32,6	49,2	86,3	147,3
	1947	-18,6	-17,2	-14,4	-9,3	2,8	5,0	13,4	34,2	78,7	140,4
	1938	2,4	3,4			16,8	17,4	21,3	35,7	65,2	111,6
	1963	-68,3	-67,9	-67,4	-67,0	-65,1	-66,5	-66,0	-64,5	-61,5	-61,6

- Plot 1: Distrikt 11, HILO kode 1, gras
 2: Distrikt 11, HILO kode 1, aardappelen
 3: Distrikt 11, HILO kode 2, aardappelen
 4: Distrikt 8, HILO kode 2, gras
 5: Distrikt 12, HILO kode 2, gras

Tabel 4.4 Over het groeiseizoen gesommeerde capillaire opstijging

plot	jaar	bodemtype 21/7 grondwatertoevoer in mm/dag					bodemtype 21/4 grondwatertoevoer in mm dag				
		-2	-1	0	+1	+2	-2	-1	0	+1	+2
1	1976	-440	-147	157	430	698	-454	-245	-29	313	679
	1947	-449	-150	169	461	740	-475	-270	1	361	726
	1938	-415	-106	210	522	887	-428	-185	143	508	873
	1963	-395	-61	276	631	996	-375	-74	262	617	982
2	1976	-449	-157	144	454	786	-437	-222	44	410	776
	1947	-444	-131	188	499	839	-448	-227	99	464	829
	1938	-411	-88	246	606	971	-389	-120	232	597	962
	1963	-329	6	345	703	1068	-319	-3	335	694	1059
3	1976	-414	-99	231	551	875	-331	-46	237	507	765
	1947	-387	-73	237	553	885	-289	-42	234	498	753
	1938	-366	-50	272	605	945	-301	-14	276	565	862
	1963	-295	25	351	691	1036	-248	45	344	650	975
4	1976	-339	-34	279	597	935	-256	-9	320	506	738
	1947	-380	-76	231	541	867	-226	-49	210	451	683
	1938	-357	-48	265	588	919	-257	-19	249	504	764
	1963	-363	-49	271	601	944	-301	-19	266	550	861
5	1976	-375	-67	246	564	888	-285	-37	301	499	744
	1947	-378	-71	238	551	875	-228	-42	218	472	716
	1938	-356	-43	275	597	926	-276	-19	260	531	793
	1963	-353	-35	289	624	967	-303	-12	284	583	898

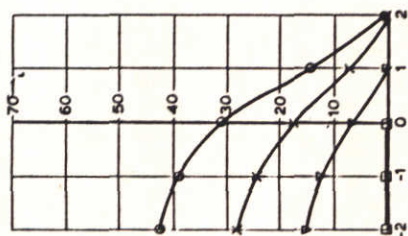
- Plot 1: Distrikt 11, HILO kode 1, gras
 2: Distrikt 11, HILO kode 1, aardappelen
 3: Distrikt 11, HILO kode 2, aardappelen
 4: Distrikt 8, HILO kode 2, gras
 5: Distrikt 12, HILO kode 2, gras

Tabel 4.5 Berekende kumulatieve basisdrainage in mm

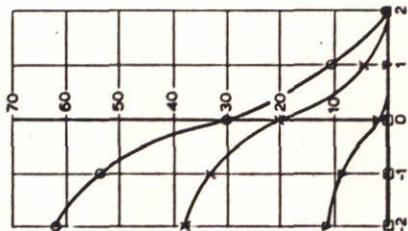
plot	jaar	bodemtype 21/7 grondwatertoevoer in mm/dag					bodemtype 21/4 grondwatertoevoer in mm/dag				
		-2	-1	0	+1	+2	-2	-1	0	+1	+2
1	1976	1423	926	518	251	137	1428	1080	750	360	140
	1947	1374	885	488	266	138	1425	1059	707	372	151
	1938	1329	834	427	199	42	1344	944	506	205	47
	1963	1295	793	348	60	17	1252	776	348	83	19
2	1976	1347	860	449	173	89	1313	958	558	212	98
	1947	1269	772	397	194	87	1281	890	509	225	102
	1938	1230	727	319	93	31	1180	744	328	105	37
	1963	1108	591	217	44	17	1054	588	222	50	20
3	1976	2492	2136	1767	1405	1037	2405	2084	1764	1458	1164
	1947	2462	2107	1752	1390	1018	2361	2075	1760	1459	1165
	1938	2435	2077	1712	1338	957	2366	2040	1712	1384	1046
	1963	2361	2000	1633	1266	900	2308	1976	1639	1293	944
4	1976	2451	2075	1690	1297	906	2358	2049	1657	1414	1125
	1947	2501	2126	1746	1360	971	2332	2098	1777	1478	1185
	1938	2473	2093	1706	1311	910	2361	2060	1729	1414	1090
	1963	2481	2096	1703	1299	916	2407	2059	1709	1360	977
5	1976	2552	2203	1849	1488	1122	2460	2173	1800	1565	1287
	1947	2551	2202	1850	1491	1125	2400	2176	1877	1587	1307
	1938	2525	2171	1810	1445	1075	2444	2147	1830	1522	1223
	1963	2524	2165	1801	1426	1076	2469	2139	1805	1466	1112

- Plot 1: Distrikt 11, HILO kode 1, gras
 2: Distrikt 11, HILO kode 1, aardappelen
 3: Distrikt 11, HILO kode 2, aardappelen
 4: Distrikt 8, HILO kode 2, gras
 5: Distrikt 12, HILO kode 2, gras

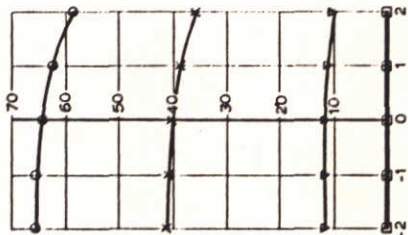
Tabel 4.6 Berekende grondwaterdiepte in mm ten opzichte van onderkant wortelzone, gemiddelde over het jaar



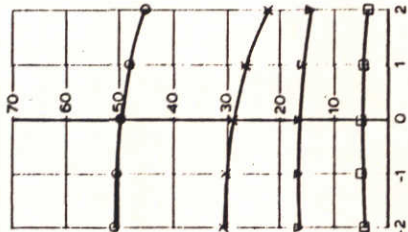
gras, HILO = 1



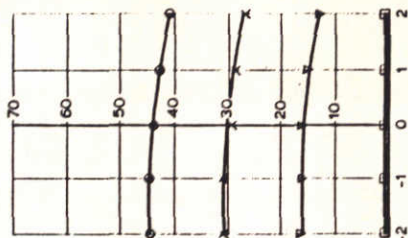
aardappel, HILO = 1



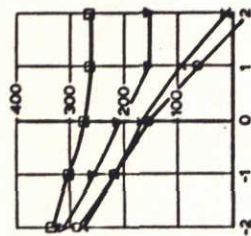
aardappel, HILO = 2



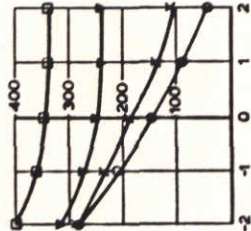
district 8, gras
HILO = 2



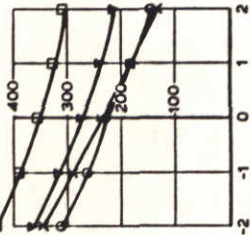
district 12, gras
HILO = 2



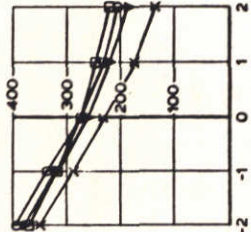
gras, HILO = 1



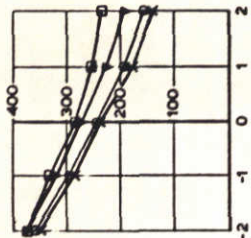
aardappel, HILO = 1



aardappel, HILO = 2

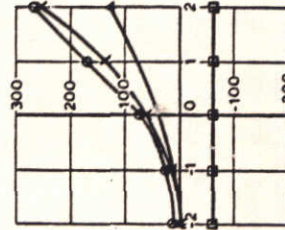


district 8, gras
HILO = 2

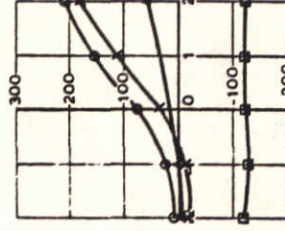


district 12, gras
HILO = 2

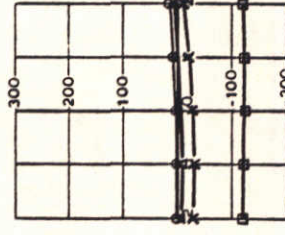
gesommeerde basisdrainage minus grondwater toevoer in mm



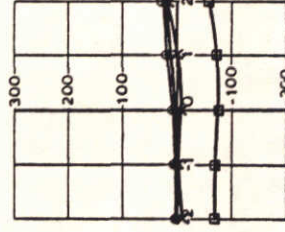
gras, HILO = 1



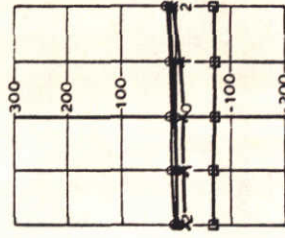
aardappel, HILO = 1



aardappel, HILO = 2



district 8, gras
HILO = 2



district 12, gras
HILO = 2

gesommeerde capitaire opstijging (over het groeiseizoen) in mm

- o 1976
- x 1947
- v 1938
- d 1963

INVLOED GRONDWATERSTROMING OP OPBRENGSTDER-
VING DISTRICTSAFVOER EN GRONDWATERSTAND

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

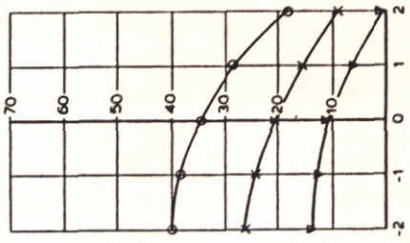
DISTRICT II

BODEMTYPE 21/7

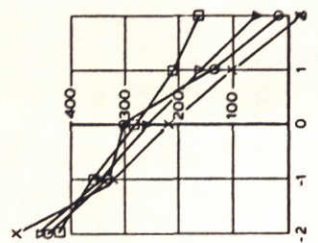
A4

R 1230

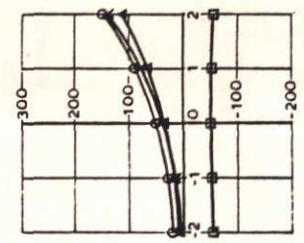
FIG.4-1



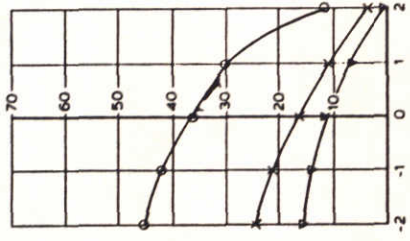
district 12, gras
HILO = 2



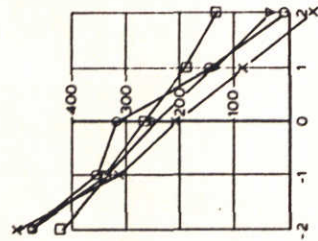
district 12, gras
HILO = 2



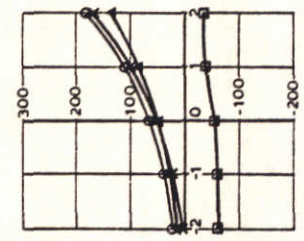
district 12, gras
HILO = 2



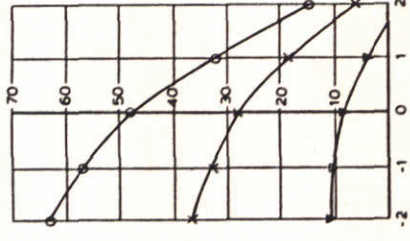
district B, gras
HILO = 2



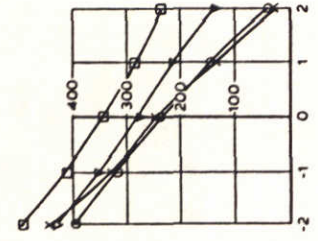
district B, gras
HILO = 2



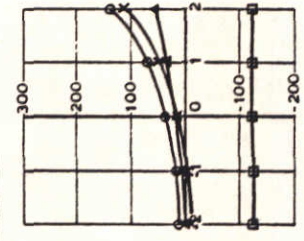
district B, gras
HILO = 2



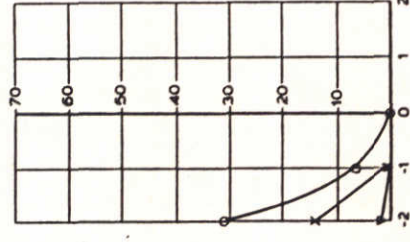
aardappel, HILO = 2



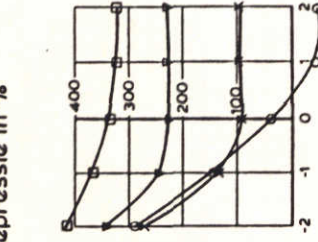
aardappel, HILO = 2



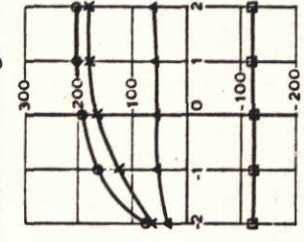
aardappel, HILO = 2



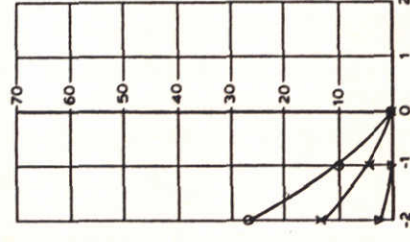
aardappel, HILO = 1



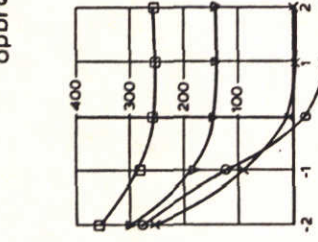
aardappel, HILO = 1



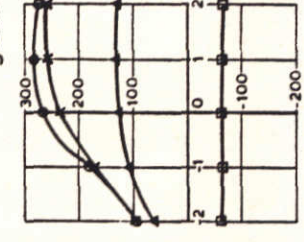
aardappel, HILO = 1



gras, HILO = 1



gras, HILO = 1



gras, HILO = 1

opbrengst depressie in %

gesommeerde basisdrainage minus grondwater toevoer in mm

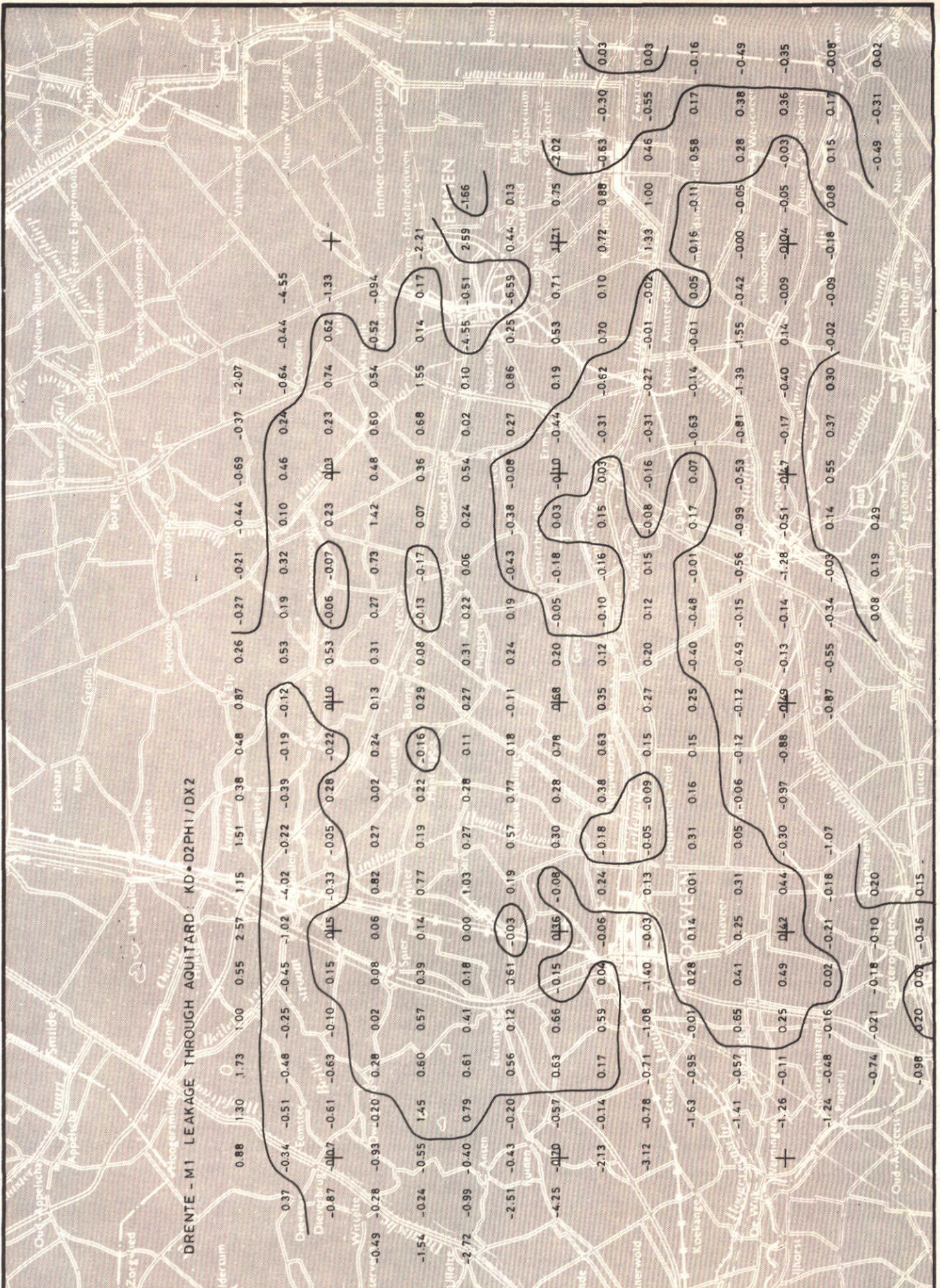
gesommeerde capilaire opstijging (over het groeiseizoen) in mm

- o 1976
- x 1947
- v 1938
- 1963

INVLOED GRONDWATERSTROMING OP OPBRENGSTDER-
VING DISTRICTSAFVOER EN GRONDWATERSTAND

DISTRICT II		
BODEMTYPE 21/4		A4
R1230	FIG.4-2	

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM



BEREKENDE GRONDWATERSTROMING VOORJAAR
ZUIDELIJK DEEL (mm /d)



DRENTE - MI LEAKAGE THROUGH AQUITARD: $KD \cdot D2PHI / DX2$ (FALL)

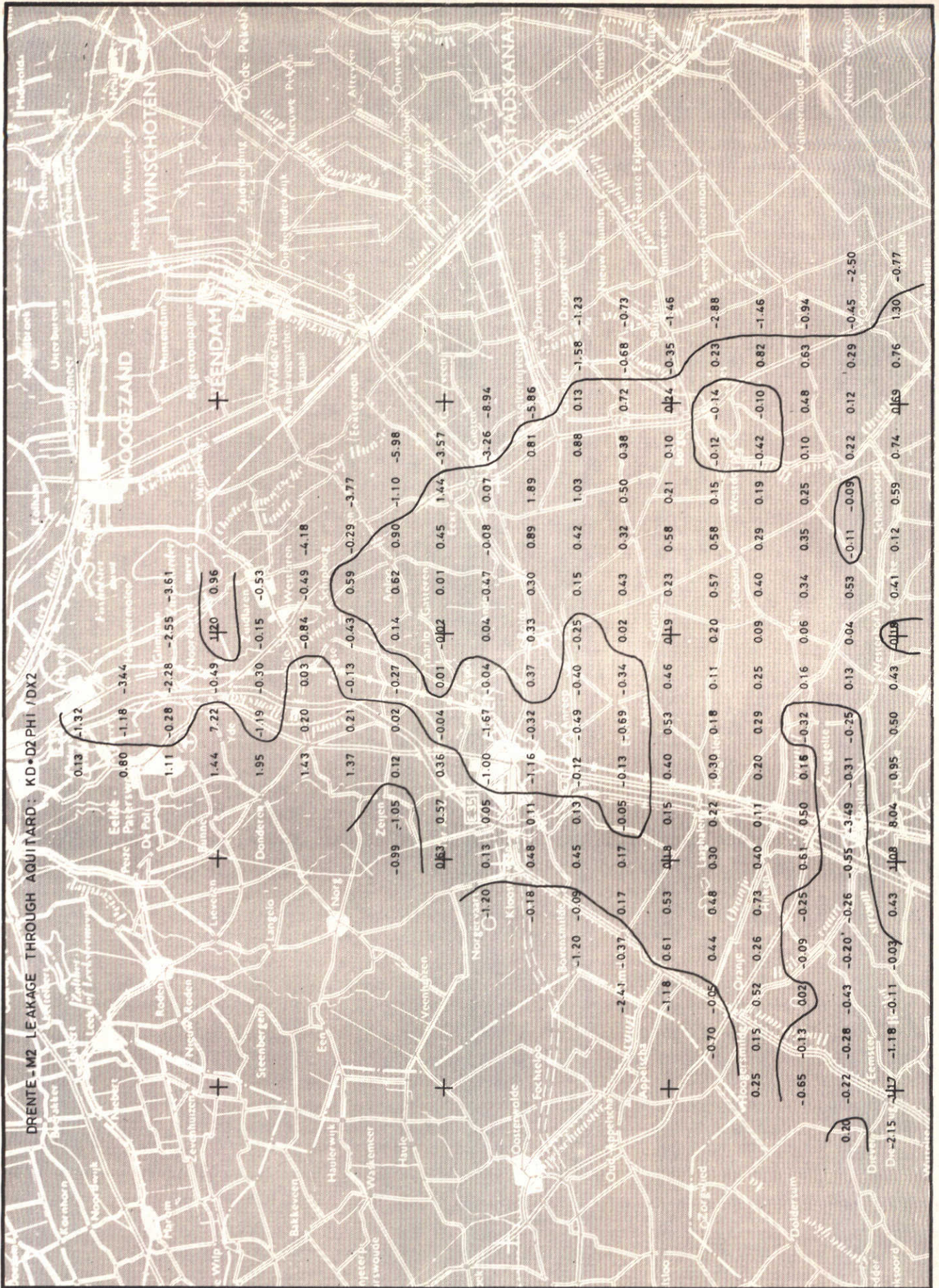
BEREKENDE GRONDWATERSTROMING NAJAAR
ZUIDELIJK DEEL (mm/d)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

A4

FIG.4-4



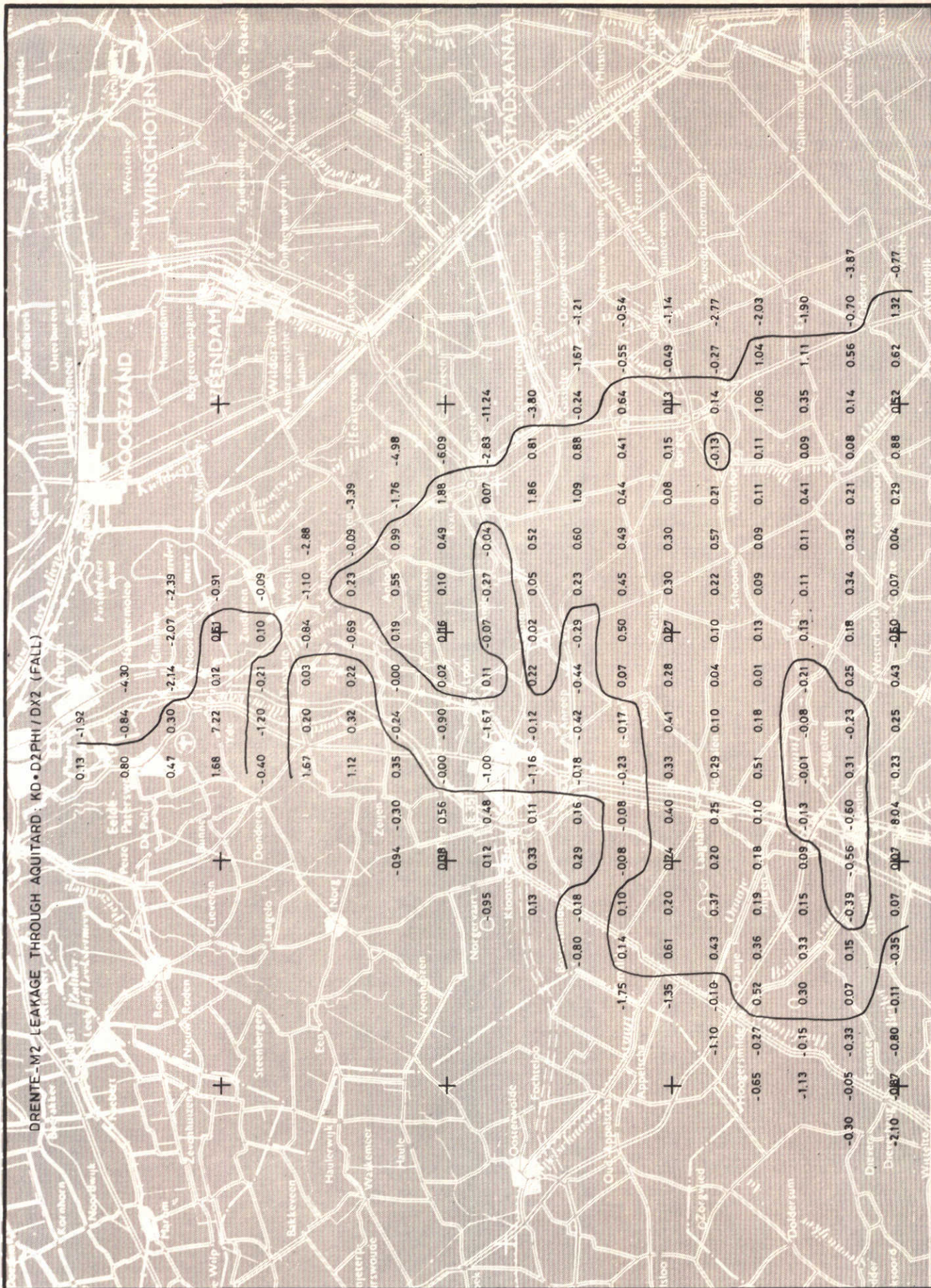
BEREKENDE GRONDWATERSTROMING VOORJAAR
 NOORDELIJK DEEL (mm/d)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

A4

FIG.4-5



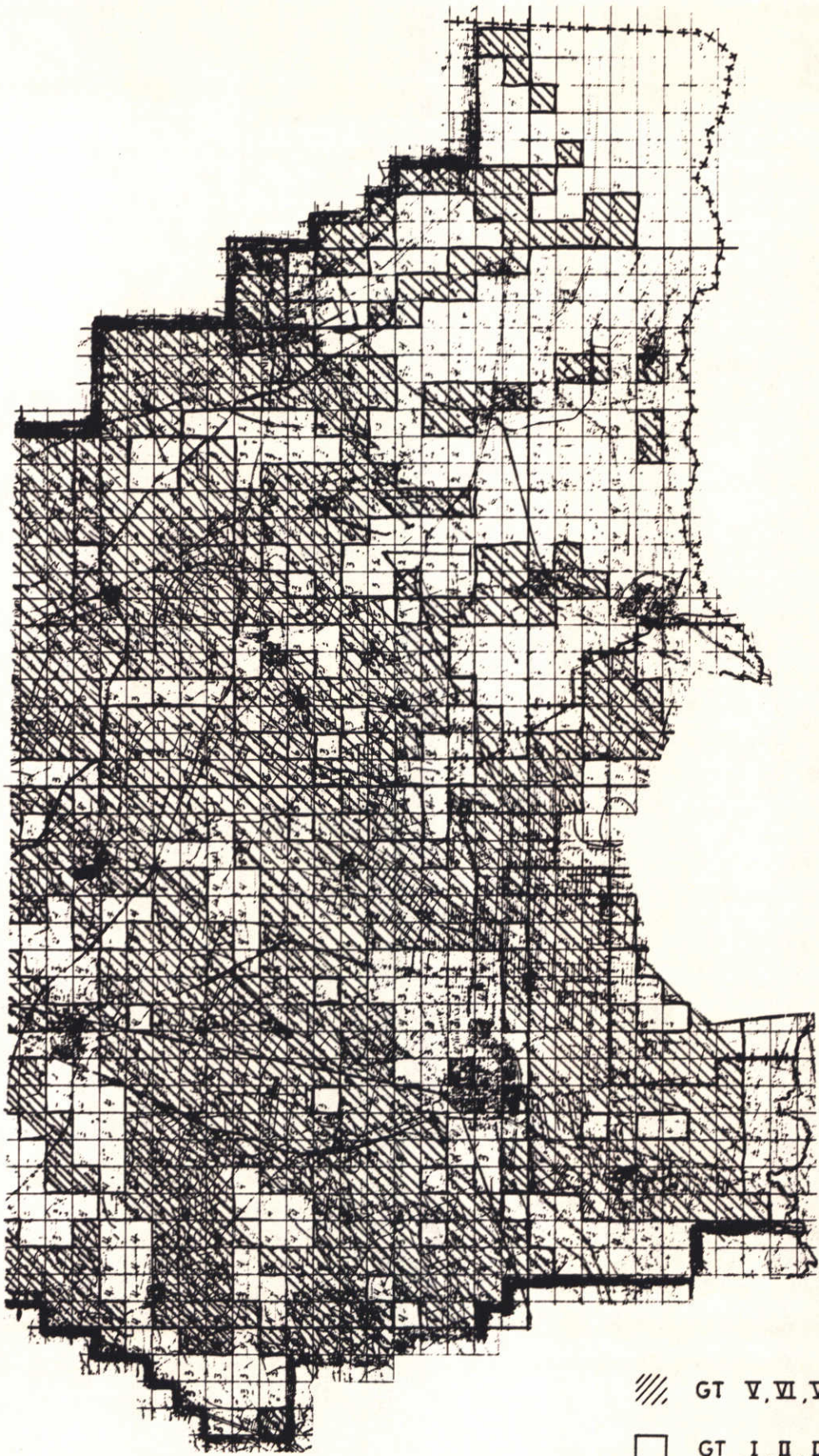
BEREKENDE GRONDWATERSTROMING NAJAAR
 NOORDELIJK DEEL (mm/d)

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.4-6

A4



/// GT V, VI, VII

□ GT I, II, III

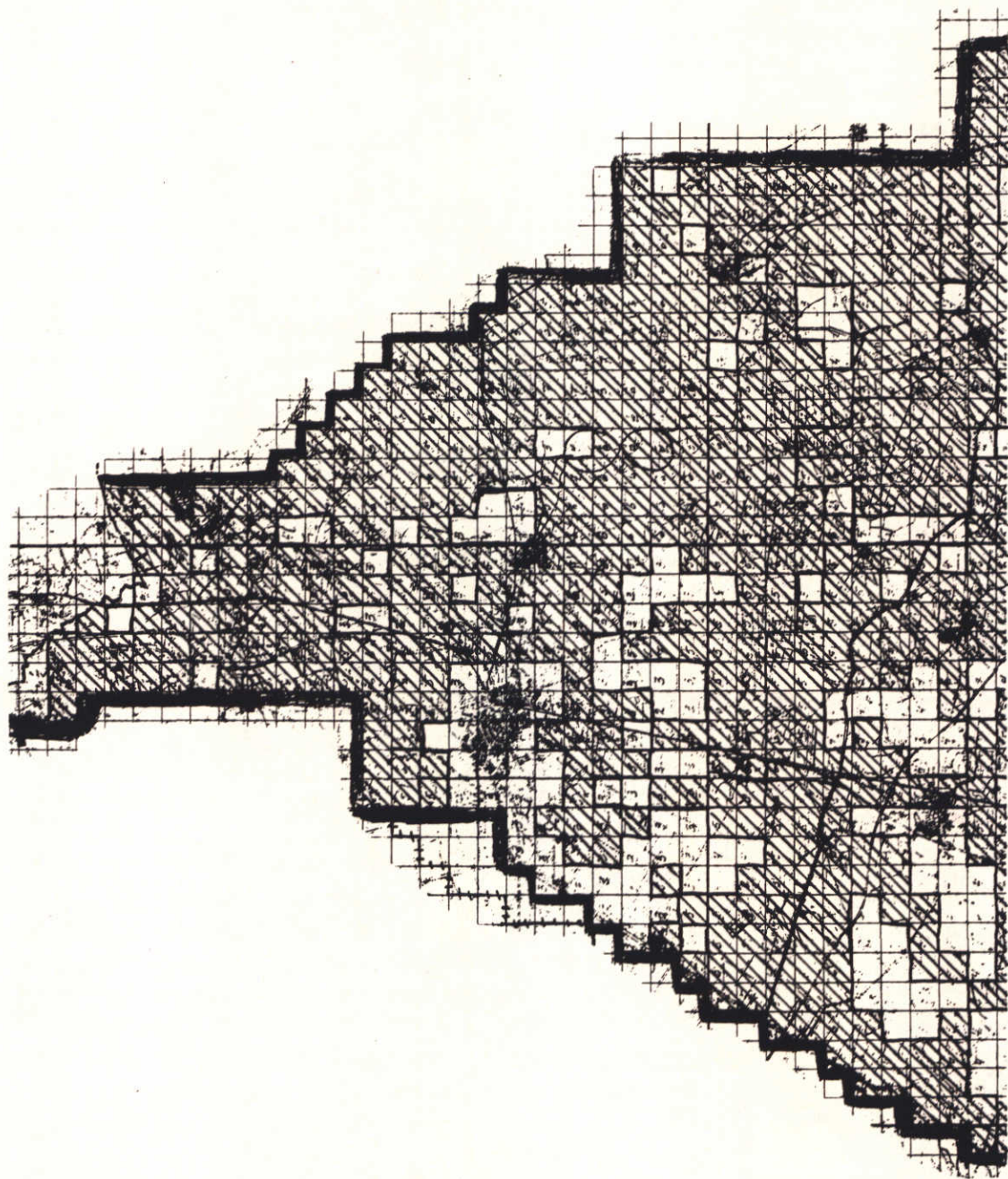
GRONDWATERTRAPPEN ZUIDEL'JK DEEL

DRENTE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG. 4-7



/// GT V, VI, VII

□ GT I, II, III, IV

GRONDWATERTRAPPEN NOORDELJK DEEL

DRENTE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG. 4-8

5 Aggregatieniveau basisdrainagefunctie

5.1 De formule van Ernst voor drainage door een stelsel van evenwijdige ekwidistante open leidingen

De formule van Ernst is, evenals de meeste drainageformules, gebaseerd op superpositie van stroming zie [4]. In analogie met de wet van Ohm kan het stijghoogteverlies Δh bij stroming van grondwater naar een open leiding, uitgedrukt worden als het produkt van de flux q en een weerstand R :

$$\Delta h = q \cdot R \text{ of } q = \frac{\Delta h}{R} \quad (5.1)$$

Indien de leidingen in een gebied geschematiseerd kunnen worden in n klassen van evenwijdige equidistante leidingen, elk gekenmerkt door één representatief profiel, dan geldt:

$$q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta h_i}{R_i} \quad (5.2)$$

Wordt verder de stroming onderverdeeld in een horizontale, een verticale en een radiale komponent, dan geldt

$$\Delta h_i = \Delta h_{ih} + \Delta h_{iv} + \Delta h_{ir} = q_i R_{ih} + q_i R_{iv} + q_i R_{ir} \quad (5.3)$$

waarbij R_{ih} , R_{iv} , R_{ir} respectievelijk de weerstand bij horizontale, verticale en radiale stroming voorstellen. Met weglating van de index i voor de klasse van de waterloop kan vervolgens de formule van Ernst geschreven worden als:

$$\Delta h = q \frac{D_v}{K_v} + q \frac{L^2}{8 \sum T_h} + q \frac{L}{\pi K_r} \ln \frac{a D_r}{B_{wp}} \quad (5.4)$$

waarin L de afstand tussen de waterlopen is, D_v , D_r , K_v en K_r respectievelijk de dikte en doorlatendheid van de laag waar verticale of radiale stroming wordt aangenomen en $\sum T_h$ de doorlatendheid van de lagen met horizontale stroming. Verder is B_{wp} de natte leidingomtrek en a een vormfaktor die afhankelijk is van de stromingstoestand.

Voor het bepalen van de waarden van D_v , D_r , ΣT_h en a gelden een aantal criteria waardoor rekening gehouden wordt met het bodemprofiel, en de ligging van de leidingen ten opzichte van de verschillende lagen van het profiel.

In de praktijk wordt de formule vooral toegepast voor profielen met twee lagen, waarbij de bovenlaag een relatief hoge weerstand heeft.

5.2 Berekeningen voor de provincie Drenthe

5.2.1 Beschikbare gegevens

In het kader van de voorbereiding voor het grondwaterplan is door de Provinciale Watersaat van Drenthe een onderzoek uitgevoerd naar de grondwaterstandsverlaging door grondwaterwinning op verschillende lokaties. Omdat aanvulling uit het oppervlaktewater daarbij een belangrijke rol speelt, is veel zorg besteed aan de modellering van het open leidingsysteem. Ten behoeve van het onderzoek is over de provincie een raster met vakken van 1 km^2 aangebracht en per kilometervak is een voedingsweerstand bepaald. Deze voedingsweerstand, de afgeleide van de relatie tussen infiltratie en grondwaterstand, is bepaald op basis van de fysische kenmerken van het open leidingstelsel. De waterlopen zijn onderverdeeld in een zestal klassen, afhankelijk van het leidingprofiel. Voor elk kilometervak is de totale lengte van leidingen in elke klasse bepaald. Voor elke klasse is een weerstandswaarde berekend waarbij onderscheid is gemaakt in een vijftal voedingstypen, afhankelijk van de ligging van de leidingbodem ten opzichte van weerstandbiedende lagen. Voor de waterlopen die het gehele jaar water voeren is behalve een weerstandswaarde ook een maximum waarde voor de infiltratie berekend, onder andere gebaseerd op de totale hoeveelheid water die in een natte periode voor infiltratie beschikbaar is. Voor een uitgebreidere beschrijving van de in Drenthe gevolgde procedure wordt verwezen naar [9], opgemerkt kan nog worden dat de procedure analoog is aan de methode van Ernst, zij het dat tijdsafhankelijke variaties in de weerstand ten gevolge van variaties in het peil van de open leidingen of het grondwater buiten beschouwing blijven.

5.2.2 Ruimtelijke variabiliteit van de basisdrainagefunctie

Bij het bepalen van de voedingsweerstand volgens [9] is zorgvuldig aandacht besteed aan geografische factoren als leidingdichtheid, intreeweerstand en

ligging ten opzichte van kei- en beekleem. Voor het peil van de open leiding of het grondwater is steeds een gemiddelde waarde aangenomen. De berekende voedingsweerstanden per km-vak geven daardoor een redelijk inzicht in de ruimtelijke variabiliteit van de helling van de basisdrainagekarakteristieken.

In figuur 5-1 zijn voor het zuidelijk deel van de provincie de waarden van de per km-vak berekende voedingsweerstand afgebeeld, uitgedrukt in eenheden van 100 dagen. De variatie blijkt zeer aanzienlijk te zijn.

5.2.3 Bepaling gebroken lineaire basisdrainagefunctie

De voedingsweerstand kan gebruikt worden om de relatie tussen basisdrainage en grondwaterstand, de basisdrainagefunctie te bepalen. Bij het bepalen van de voedingsweerstand is onderscheid gemaakt tussen leidingen met verschillende ontwateringsdiepte en werd per klasse een weerstandswaarde bepaald.

Indien de variatie in weerstand ten gevolge van variatie in waterstanden klein is ten opzichte van het effect van het uitvallen van een klasse waterlopen, bij infiltratie als de waterloop droogvalt en bij drainage als de grondwaterstand daalt tot beneden de leidingbodem, dan is de berekende weerstand per klasse een geschikte basis voor het vaststellen van gebroken lineaire basisdrainagefuncties. De algemene formule voor het berekenen van afvoer aan de hand van de drainageweerstand van de verschillende klassen luidt:

$$q = \sum_{i=1}^n \frac{\gamma - \phi_i}{c_i} \cdot \frac{L_i b_i}{10^6} \quad (5.5)$$

met ϕ_i	waterstand in de waterloop t.o.v. maaiveld	[mm]
γ	grondwaterstandsdiepte t.o.v. maaiveld	[mm]
c_i	voedingsweerstand van klasse i	[dag]
L_i	lengte van de waterloop binnen het kilometervak	[m]
b_i	breedte van de strook die door de waterloop wordt gedraineerd	[m]
q	flux	[mm/dag]
n	aantal klassen aanwezig in het vak	

De faktor 10^6 is de oppervlakte van het kilometervak in m^2 .

Afgezien van de vooralsnog onbekende waterstand ϕ_i , is in formule (5.5) de gezochte basisdrainagefunctie gegeven.

De waterstand ϕ_i is zowel van belang voor het bepalen van de overgang van drainage naar infiltratie, als ook voor de grootte van het debiet. In werkelijkheid is ϕ_i het resultaat van peilbeheer en bij een afwaterende leiding van het natuurlijk verhang.

Omdat in DEMGEN voor de hoge gronden de open water potentiaal ϕ_i niet wordt berekend is, evenals in de huidige PAWN schematisatie, uitgegaan van een vaste potentiaal γ_0 , waarbij de overgang van drainage naar infiltratie optreedt. De open water potentiaal ϕ_i in (5.5) is dan gelijk aan γ_0 voor die leidingen met een bodem dieper dan γ_0 ; in de overige gevallen wordt de leidingbodem als open water potentiaal aangehouden. In een studie naar de drainage van zandgronden met hoge grondwaterstanden werd door Ernst een zogenaamde "hydraulic head ratio" B, ingevoerd (zie [10]) waarmee voor alle drainageleidingen een open water potentiaal wordt gedefinieerd tussen de leidingbodem en de grondwaterstand:

$$\phi_i = B \cdot \gamma + (1-B) h_{bi} \quad (5.6)$$

waarin h_{bi} = leidingbodem t.o.v. maaiveld [m]

Met deze methode kan het effect op de open water potentiaal van opstuwung in de drainageleiding enigszins in rekening worden gebracht.

Voor de leidingen met een bodem dieper dan γ_0 moet in (5.6) h_{bi} worden vervangen door γ_0 . Substitutie in (5.5) levert dan:

$$q = (1-B) \sum_{i=1}^n \frac{\gamma - h_i}{c_i} \frac{L_i b_i}{10^6} \quad (5.7)$$

$$\begin{array}{ll} \text{met } h_i = h_{bi} & \text{voor } h_{bi} < \gamma_0 \\ h_i = \gamma_0 & \text{voor } h_{bi} \geq \gamma_0 \end{array}$$

Hoewel het begrip "hydraulic head ratio" door Ernst werd geïntroduceerd voor een drainerende leiding, is aangenomen dat in geval van infiltratie met dezelfde koëfficiënt B kan worden gerekend.

Een voorbeeld van een aldus berekende basisdrainagefunctie voor een gebied met leidingen uit 3 verschillende klassen, is getekend in figuur 5-2.

5.2.4. Aggregatie van basisdrainagefuncties

Met behulp van de in de voorgaande paragraaf genoemde methode kan, aan de hand van de voor Drenthe beschikbare voedingsweerstand, voor elk kilometervak een relatie bepaald worden tussen basisdrainage en grondwaterstand. Aggregatie van de aldus gevonden basisdrainagefunctie kan eenvoudig plaatsvinden door voor het gewenste gebied de berekende basisdrainage bij verschillende grondwaterstanden bij elkaar op te tellen en vervolgens te delen door het aantal vakken in het betreffende gebied. Bij het aggregeren is steeds voor het gehele gebied een zelfde grondwaterstand aangenomen.

Omdat het verwerken van de grote hoeveelheid basisgegevens voor het bepalen van de niet-lineaire basisdrainagefuncties zeer arbeidsintensief is, is de exercitie voorlopig beperkt tot distrikt 11. De basisdrainagefuncties zijn afzonderlijk bepaald voor hoge gronden met een diepe grondwaterstand (HILO kode 2) en met een ondiepe grondwaterstand (HILO kode 1). Het onderscheid is gemaakt op basis van de voor elk km-vak vastgestelde grondwatertrap. De waterstand in de open leidingen γ_0 , waarbij overgang van drainage naar infiltratie optreedt, is ontleend aan de in de PAWN-schematisatie gehanteerde basisdrainagefunctie voor drainageregio 3. Voor de gebieden met HILO kode 1 is γ_0 vastgesteld op 1,46 m en voor de gebieden met HILO kode 2 op 2,83 m beneden maaiveld. Basisdrainagefuncties zijn aldus berekend voor het gehele distrikt 11, voor het proefgebied Sleen en de twee afzonderlijke vakken Sleen-West en Sleen-Oost. Voor de hydraulische head ratio B is de waarde aangehouden die door Ernst werd bepaald voor zandgronden in de Achterhoek: $B = 0,5$. De resultaten zijn weergegeven in figuur 5-3 voor de gebieden met HILO kode 1 en in figuur 5-4 voor de gebieden met HILO kode 2. In bijlage III zijn de voedingsweerstand van de afzonderlijke leidingklassen opgenomen. Voor het lage deel van de hoge gronden in distrikt 11 worden basisdrainagefuncties gevonden die duidelijk afwijken van de in de PAWN schematisatie gehanteerde functie voor drainageregio 3. De berekende functies voor Sleen-Oost, Sleen en het gehele distrikt verschillen onderling slechts weinig, waaruit geconcludeerd mag worden dat het effect van de ruimtelijke variatie in drainagekarakteristieken reeds op een

laag aggregatieniveau gering wordt. Met uitzondering van het zeer kleine gebiedje Sleen-West wordt steeds een aanzienlijke hogere drainage gevonden dan met de in PAWN gebruikte funktie. Voor het deel van de hoge gronden met HILO kode 2 wordt steeds een lagere drainage gevonden dan met de in PAWN gebruikte funktie, het sterkst bij de berekende funktie voor het gehele distrikt 11. Opvallend is verder dat voor Sleen-West en Oost vrijwel gelijke funkties worden gevonden.

Bij vergelijking van de basisdrainagefunkties afgebeeld in figuur 5-3 en 5-4 valt het op dat steeds vrijwel lineaire relaties worden gevonden die onderling aanzienlijk verschillen. Het verschil met de in PAWN gebruikte drainagefunctie is in beide gevallen ook op het hoogste aggregatieniveau nog dermate groot, dat nauwelijks verwacht mag worden dat, indien de gevolgde methode op de gehele drainageregio 3 zou worden toegepast, een drainagefunctie gevonden wordt die wel overeenkomt met de in PAWN gehanteerde funktie.

Een van de redenen daarvoor is, dat de term basisdrainage in het DEMGEN koncept fungeert als een sluitpost voor de waterbalans van de ondergrond en meer omvat dan uitsluitend de afvoer naar het ontwateringsstelsel. Daarbij kan bijvoorbeeld gedacht worden aan de grondwaterstroming van gebieden met HILO kode 2 naar gebieden met HILO kode 1, waardoor de PAWN drainagefunctie voor HILO = 1 gebieden een relatief lage drainage levert en voor de HILO = 2 gebieden een relatief hoge drainage. De gevonden afwijking in figuur 5-3 en 5-4 is hiermee in overeenstemming.

5.3 Gevoeligheidsanalyse met DEMGEN

De invloed van het aggregatieniveau van de basisdrainagefunctie op de berekende landbouwschade en de distriktswaterbalans kan worden onderzocht door de uitkomsten van overeenkomstige berekeningen te vergelijken waarbij alleen het aggregatieniveau van de basisdrainagefunctie varieert. Om de benodigde inspanning te beperken, is de exercitie uitgevoerd voor een beperkt aantal km^2 vakken in distrikt 11. Van de in totaal 415 km^2 vakken is steeds het 4e vak geselecteerd waardoor het aantal werd teruggebracht tot 104 vakken. Vervolgens zijn alleen die vakken waarin het belangrijkste gewas gras of fabrieksaardappelen is meegenomen, zodat uiteindelijk 80 vakjes overblijven.

Voor elk vakje is aan de hand van de grondwatertrap het omslagpunt van drainage naar infiltratie bepaald. De methode is gebaseerd op de berekening van de gemiddelde voorjaars-grondwaterstand (GVG) uit de bij een grondwatertrap behorende gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG). De formulering is ontleend aan [11] en luidt:

$$GVG = 0,2 (GLG - GHG) + (GHG + 12)$$

Vervolgens is aangenomen dat het gezochte omslagpunt ongeveer samenvalt met de over het groeiseizoen gemiddelde grondwaterstand. Voor deze laatste is een schatting gemaakt aan de hand van de GVG en de GLG. Tabel 5.1 geeft de gebruikte waarden.

g.w.t.	GHG	GLG	GVG	γ_0
I*)	<20	<50	<56	500
II	<40	50-80	72	720
III	<40	80-120	100	1000
IV	>40	80-120	100	1000
V	<40	>120	116	1200
VI	40-80	>120	120	1500
VII	>80	>160	>156	2000

*) komt niet voor op de hoge gronden

N.B. GHG, GLG, GVG in cm en γ_0 in mm

Tabel 5.1 Berekening van het omslagpunt γ_0 aan de hand van de grondwatertrap

Met behulp van het aldus gevonden omslagpunt en de in de vorige paragrafen behandelde methode is voor elk van de 80 plots een basisdrainagefunctie bepaald, die vervolgens is geschematiseerd tot een gebroken lineair verband met een coëfficiënt α_1 voor positieve drainage en α_2 voor negatieve drainage of infiltratie. De coëfficiënt α_1 is zodanig bepaald dat het oppervlak onder de drainagefunctie gelijk blijft, in formulevorm:

$$\int_0^H \alpha_1 \gamma d\gamma = \int_0^H q(\gamma) d\gamma$$

waarin $q(\gamma)$ de basisdrainagefunctie is zoals berekend uit de fysische kenmerken van de drainageleidingen en H de grondwaterdiepte waarbij $q = 0$.

De koëfficiënt α_2 is gelijk genomen aan de helling van de berekende basisdrainagefunctie voor $q = 0$.

Op het laagste aggregatieniveau heeft elk kilometervak een eigen basisdrainagefunctie, gekenmerkt door de drie parameters α_1 , α_2 en γ_0 . In PAWN-termen komt dit neer op 80 subdistrikten met in elk subdistrikt slechts één plot.

Op het hoogst denkbare aggregatieniveau wordt voor het hele gebied met dezelfde basisdrainagefunctie gerekend; waarbij slechts onderscheid wordt gemaakt tussen de gronden met HILO kode 1 en 2. Er resteren dan twee subdistrikten met elk twee plots. Een tussenliggend aggregatieniveau is gekozen door op grond van de waarden voor γ_0 en α_1 km² vakken te groeperen tot een beperkt aantal (8) gebieden; twee voor elke HILO-gewaskombinatie.

De basisdrainagefuncties voor het laagste aggregatieniveau zijn zoals hiervoor werd beschreven direkt ontleend aan de fysische eigenschappen van het stelsel; voor de twee overige aggregatieniveaus zijn de parameters van de basisdrainagefunctie bepaald als volgt. Indien op het laagste aggregatieniveau met DEMGEN wordt gerekend, wordt voor elke dekade en voor ieder km² vak een grondwaterstand $h(t)$ en een drainage $Q(t)$ gevonden. Voor een hoger aggregatieniveau kan de grondwaterstand van een plot berekend worden door middeling over de km² vakken waaruit de plot is samengesteld en de drainage door sommatie van de drainagedebieten van de betreffende km² vakken. Aldus wordt voor elke dekade een punt van de drainagefunctie gevonden waaruit door lineaire regressie de parameters α_1 , α_2 en γ_0 kunnen worden bepaald.

Bij de gronden met HILO kode 2 kan de methode niet goed toegepast worden doordat in een groot aantal km² vakken het drainagestelsel vrijwel ontbreekt. Het gevolg is dat in deze vakken een zeer kleine waarde voor de koëfficiënt α_1 van de drainagefunctie wordt gevonden, waardoor zelfs bij relatief grote variaties in grondwaterstand slechts kleine afvoeren naar het oppervlaktewater worden berekend. In dergelijke gebieden levert de afvoer via het open leidingstelsel slechts een geringe bijdrage aan de basisdrainage en derhalve zijn de fysische

karakteristieken van het open leidingstelsel geen goede basis voor het bepalen van de drainagefunctie. De schatting van de grondwaterstand aan het begin van het jaar is ontleend aan de isohypsenkaart voor de situatie op 28-04-1980. In die km^2 vakken waar de grondwaterstand aan het begin van het jaar, γ_{initieel} , lager is dan het omslagpunt γ_0 , werd de waarde van γ_0 gelijkgesteld aan γ_{initieel} .

De parameters van de basisdrainagefuncties voor de berekening op aggregatieniveau 1 zijn vermeld in tabel 5.2. Voor de gronden met HILO kode 1 is de methode van aggregeren toegepast voor de jaren 1976, 1947 en 1938.

De DEMGEN berekening is uitgevoerd voor de bodemtypes 21/7 en 21/4; zodat voor aggregatieniveaus 2 en 3 verschillende parameterwaarden worden gevonden afhankelijk van het bodemtype. De door regressie berekende parameterwaarden zijn gegeven in tabellen 5.3 en 5.4. Vergelijking van overeenkomstige waarden op de verschillende aggregatieniveaus toont dat de gehanteerde methode van aggregeren parameterwaarden oplevert die duidelijk afwijken van het rekenkundig gemiddelde van de parameters van de km^2 vakken die bij aggregatie worden samengenomen.

In tabel 5.5 zijn de resultaten van de DEMGEN berekeningen samengevat. De invloed van het aggregatieniveau op de over het jaar gesommeerde basisdrainage en de over het jaar gemiddelde grondwaterstand is niet erg groot; het effect op de berekende opbrengstdepressie daarentegen bedraagt meer dan 10%. Bij de opbrengstdepressie is het opvallend dat bij bodemtype 21/7 de schadepercentages toenemen bij een verhoogd aggregatieniveau; terwijl ze bij het bodemtype 21/4 eerder afnemen. De over het jaar gesommeerde basisdrainage varieert op dezelfde manier met het aggregatieniveau; als een hogere opbrengstdepressie optreedt, dan wordt ook steeds meer water als basisdrainage aan de plot onttrokken. Indien de basisdrainage alleen over het groeiseizoen wordt gesommeerd, blijkt het effect van het aggregatieniveau groter te zijn, soms meer dan 20 mm. Bij het bodemtype 21/7 leidt verhoging van het aggregatieniveau steeds tot toename van de basisdrainage; bij het bodemtype 21/4 is het effect omgekeerd. De over het jaar gemiddelde grondwaterstand toont een afwijkend beeld, de variatie in gemiddelde grondwaterstand is niet evenredig met de variatie in basisdrainage. Dit is alleen te verklaren uit het niet-lineaire karakter van de gebruikte basisdrainagefuncties.

5.4 Konklusies

De ruimtelijke variabiliteit van basisdrainagekarakteristieken hangt nauw samen met het voorkomen van slecht doorlatende lagen in de ondergrond en kan binnen een distrikt op de hoge gronden aanzienlijk zijn.

Indien, aan de hand van de bodemligging van de afzonderlijke drainageleidingen, het effect van het droogvallen van leidingen bij dalende grondwaterstand bij het bepalen van de basisdrainagefunctie in rekening wordt gebracht, ontstaat desondanks een vrijwel lineair verband.

Het effect van de ruimtelijke variabiliteit van basisdrainagekarakteristieken op de berekende basisdrainage wordt reeds op een laag aggregatieniveau betrekkelijk klein.

Ook op het hoogste aggregatieniveau dat werd onderzocht blijft er een aanzienlijk verschil bestaan tussen de basisdrainagefunctie bepaald aan de hand van de fysische kenmerken van het drainagestelsel en de in de PAWN schematisatie gehanteerde drainagefuncties. De reden is waarschijnlijk dat het begrip basisdrainage in DEMGEN meer omvat dan de interactie met het ontwateringsstelsel alleen.

Voor de gronden met HILO kode 2 bleek het niet goed mogelijk een simulatie met DEMGEN op het laagst denkbare aggregatieniveau (plots van 1 km²) uit te voeren, omdat met name in die km² vakken waar een ontwateringsstelsel vrijwel ontbreekt de drainagefunctie nog slechts zeer ten dele door de fysische kenmerken van het ontwateringsstelsel wordt bepaald.

Op de gronden met HILO kode 1 heeft het verhogen van het aggregatieniveau van de basisdrainagefunctie een systematisch effect op de opbrengstdepressie en de kumulatieve basisdrainage. Het effect is voor de beide onderzochte bodemtypes tegengesteld: voor bodemtype 21/7 nemen opbrengstdepressie en drainage toe bij verhoging van het aggregatieniveau; bij het bodemtype 21/4 nemen ze af. Waarschijnlijk wordt dit bepaald door toevallige omstandigheden. Het effect van het verhogen van het aggregatieniveau op de berekende opbrengstdepressie kan oplopen tot meer dan 10%, het effect op de waterbalans tot meer dan 20 mm.

HILO = 1, aardappelen				HILO = 1, gras				HILO = 1, gras			
α_1	α_2	γ_0	γ_{init}	α_1	α_2	γ_0	γ_{init}	α_1	α_2	γ_0	γ_{init}
4,37	3,97	1,00	0,95	1,37	0,42	1,70	1,70	6,53	5,94	1,00	0,60
4,53	2,21	1,50	1,50	1,98	0,95	1,50	1,50	6,66	4,44	1,80	1,80
5,87	5,14	1,05	1,05	2,34	2,12	1,00	0,70	7,04	6,40	1,00	1,00
7,20	0,00	4,00	4,00	2,82	0,94	1,30	1,30	7,14	6,49	1,00	0,70
7,87	7,16	1,00	0,80	2,96	2,69	1,00	1,00	7,80	7,09	1,00	1,00
8,86	6,33	1,50	1,50	3,16	1,87	1,40	1,40	9,45	8,59	1,00	0,70
9,24	4,54	1,40	1,40	3,83	2,38	2,30	2,30	10,04	9,13	1,00	0,70
9,83	7,86	1,20	1,20	4,10	3,47	1,10	1,10	10,58	9,62	1,00	0,70
9,89	7,01	1,50	1,50	4,21	2,88	1,50	1,50	10,91	9,92	1,00	1,00
11,15	10,13	1,00	0,80	4,58	2,50	2,25	2,25	10,97	9,98	1,00	1,00
11,93	8,21	1,50	1,50	5,19	4,16	1,20	1,20	12,09	10,99	1,00	0,70
11,97	10,88	1,00	0,75	5,29	4,81	1,00	0,55	13,20	12,00	1,00	0,60
12,80	8,63	1,50	1,50	5,46	3,90	1,50	1,50	14,00	12,72	1,00	0,70
16,42	14,93	1,00	0,50	5,66	4,00	1,30	1,30	41,58	37,80	1,00	1,00
				5,74	5,21	1,00	0,70	42,93	36,80	0,72	0,60
				6,18	5,30	0,72	0,40	64,93	45,92	1,40	1,40
				6,28	5,71	1,00	0,80	65,30	55,98	0,72	0,60
				6,38	3,05	1,30	1,30				

Tabel 5.2 Koëfficiënten van de basisdrainagefuncties voor aggregatieniveau 1

HILO = 2, aardappelen				HILO = 2, gras			
α_1	α_2	γ_0	γ_{init}	α_1	α_2	γ_0	γ_{init}
0,00	0,00	2,50	2,50	0,01	0,00	2,00	2,00
0,00	0,00	2,50	2,50	0,19	0,14	1,70	1,70
0,00	0,00	2,20	2,20	0,20	0,15	1,60	1,60
0,00	0,00	3,60	3,60	0,39	0,00	1,50	1,50
0,01	0,00	2,00	2,00	0,41	0,38	1,20	1,20
0,10	0,00	2,95	2,95	0,46	0,00	1,50	1,00
0,41	0,23	4,75	4,75	0,47	0,44	1,20	1,20
0,72	0,63	1,50	1,00	0,62	0,58	1,50	1,40
1,06	0,86	2,50	2,50	1,10	0,78	2,35	2,35
1,12	0,52	2,00	2,00	1,36	0,00	1,40	1,40
1,57	0,94	1,50	1,50	1,74	1,43	1,40	1,40
1,88	1,07	4,50	4,50	5,19	3,09	2,00	2,00
1,96	1,84	1,50	0,80				
3,79	3,56	1,50	1,20				
4,39	0,00	2,80	2,80				
10,31	9,51	1,20	1,00				
10,89	6,67	3,00	3,00				
15,24	11,70	1,95	1,95				
20,69	13,90	2,15	2,15				

Tabel 5.2 (vervolg)

gewas	grondsoort	α_1	α_2	γ_0
aardappelen	21 /4	6,35	4,77	1,640
gras	21 /4	10,34	8,38	1,245
aardappelen	21 /4	4,02	3,05	1,340
gras	21 /4	9,77	9,05	1,040
aardappelen	21 /7	6,27	5,23	1,635
gras	21 /7	9,37	7,41	1,245
aardappelen	21 /7	3,96	3,28	1,335
gras	21 /7	8,88	7,15	1,040

Tabel 5.3 Koëfficiënten van de basisdrainagefuncties voor aggregatieniveau 2
(HILO = 1)

gewas	grondsoort	α_1	α_2	γ_0
aardappelen	21 /4	6,57	6,57	1,383
gras	21 /4	6,57	6,57	1,283
aardappelen	21 /7	6,00	6,00	1,373
gras	21 /7	6,00	6,00	1,273

Tabel 5.4 Koëfficiënten van de basisdrainagefuncties voor aggregatieniveau 3
(HILO = 1)

Opbrengstdepressie in %

gebied	21/7 gras			21/7 aardappelen			21/4 gras			21/4 aardappelen		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1976	33,7	36,0	37,9	47,7	54,7	54,3	5,4	3,1	2,8	8,1	8,2	2,7
1947	20,8	22,9	24,8	30,2	34,2	33,5	2,8	1,6	1,0	3,9	4,5	0,6
1938	9,4	10,5	11,8	6,9	8,9	9,0	0,8	0	0	0,8	0	0

Over het jaar gesommeerde basisdrainage in mm

gebied	21/7 gras			21/7 aardappelen			21/4 gras			21/4 aardappelen		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1976	182	186	196	189	190	194	8	-18	-29	76	71	42
1947	183	188	194	203	202	200	17,1	-12	-26	94	80	62
1938	228	229	243	260	262	263	156	135	136	232	221	220

Over het groeiseizoen gesommeerde basisdrainage in mm

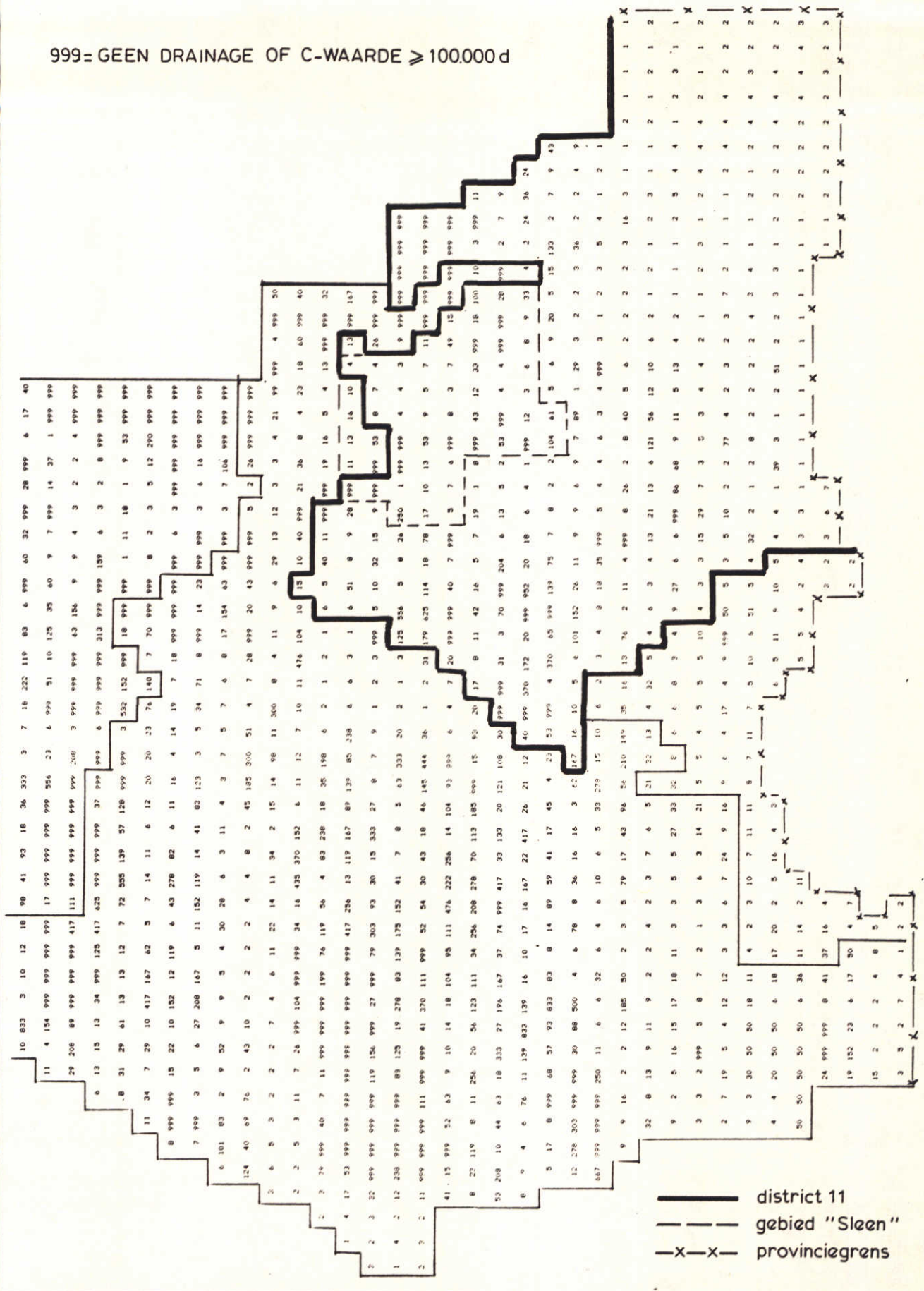
gebied	21/7 gras			21/7 aardappelen			21/4 gras			21/4 aardappelen		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1976	-28	-9,8	-6,3	-9,35	-6,4	-1,4	-151,7	-156,3	-183,1	-103,4	-96,2	-123,2
1947	22,4	32,9	46,1	41,8	49,3	58,2	-105,6	-107,4	-124,8	-58,9	-30,3	-62,8
1938	-19,4	-11,2	-3,2	4,23	14,7	8,7	-64,6	-79,5	-75,7	-8,51	-17,9	-14,9

Over het jaar gemiddelde grondwaterstand in mm

gebied	21/7 gras			21/7 aardappelen			21/4 gras			21/4 aardappelen		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1976	809	798	882	987	973	899	905	914	995	1030	1025	964
1947	801	786	873	970	959	879	901	908	984	1020	1017	948
1938	774	765	858	947	946	863	827	829	913	960	966	884

Tabel 5.5 Resultaten DEMGEN simulaties

999= GEEN DRAINAGE OF C-WAARDE ≥ 100.000 d



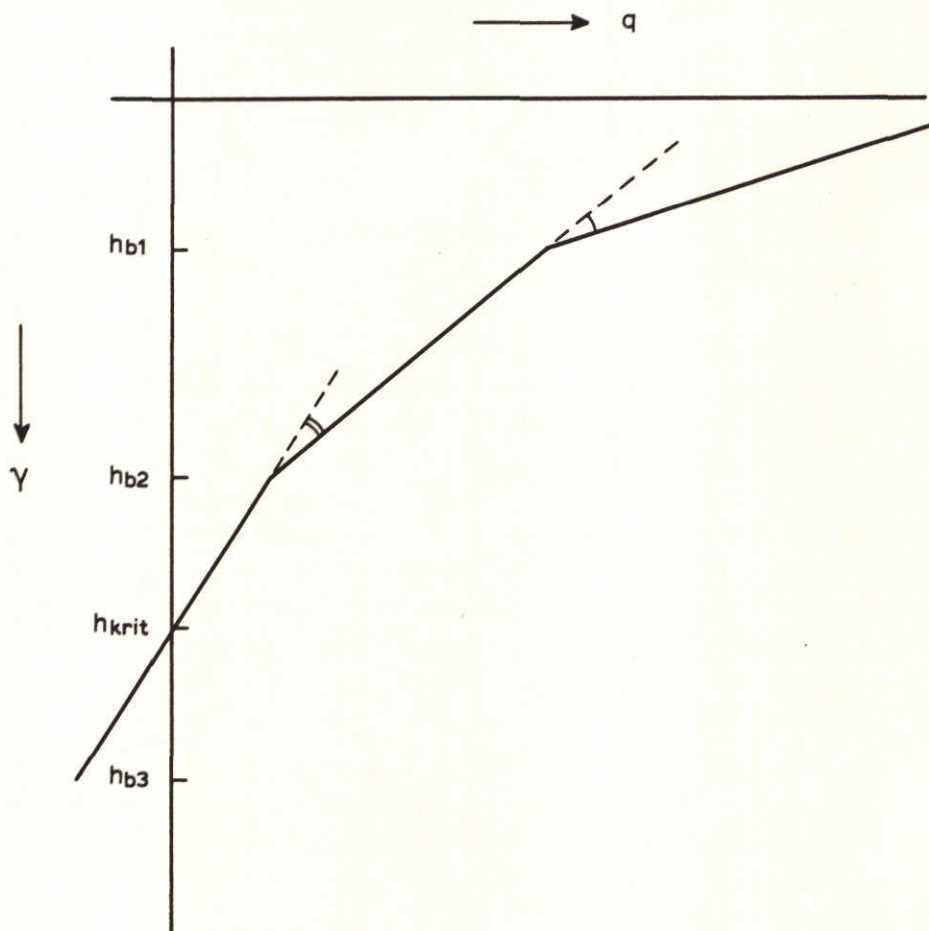
BEREKENDE VARIATIE IN BASISDRAINAGE
VOEDINGSWEERSTAND IN 100 DAGEN

DRENTE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG. 5-1

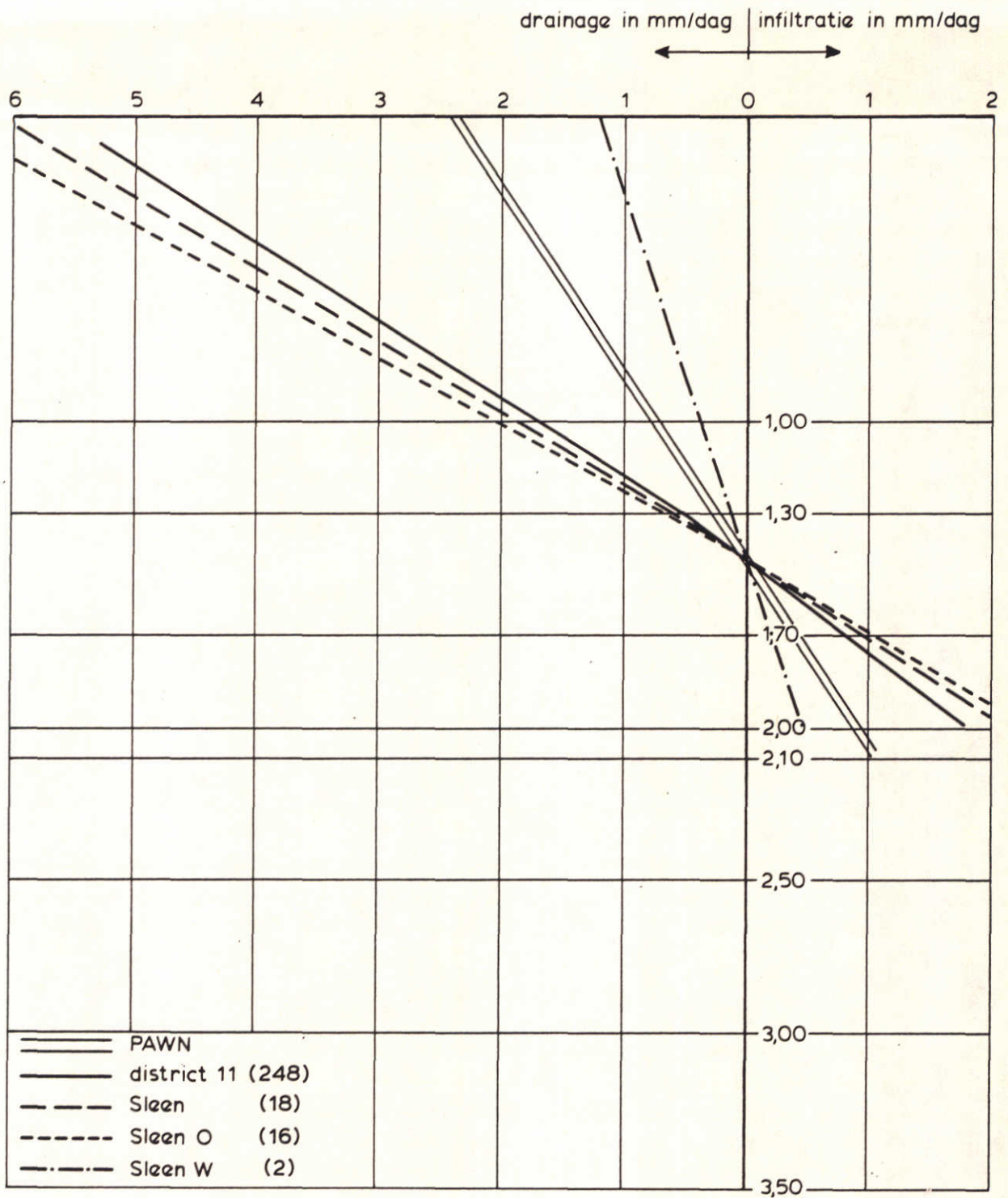


basisdrainagefunctie voor een vak met leidingen van klasse 1, 2 en 3 berekend als :

$$q = (1-B) \sum_{i=1}^3 \frac{\gamma - h_i}{C_i} \frac{b_i L_i}{10^6}$$

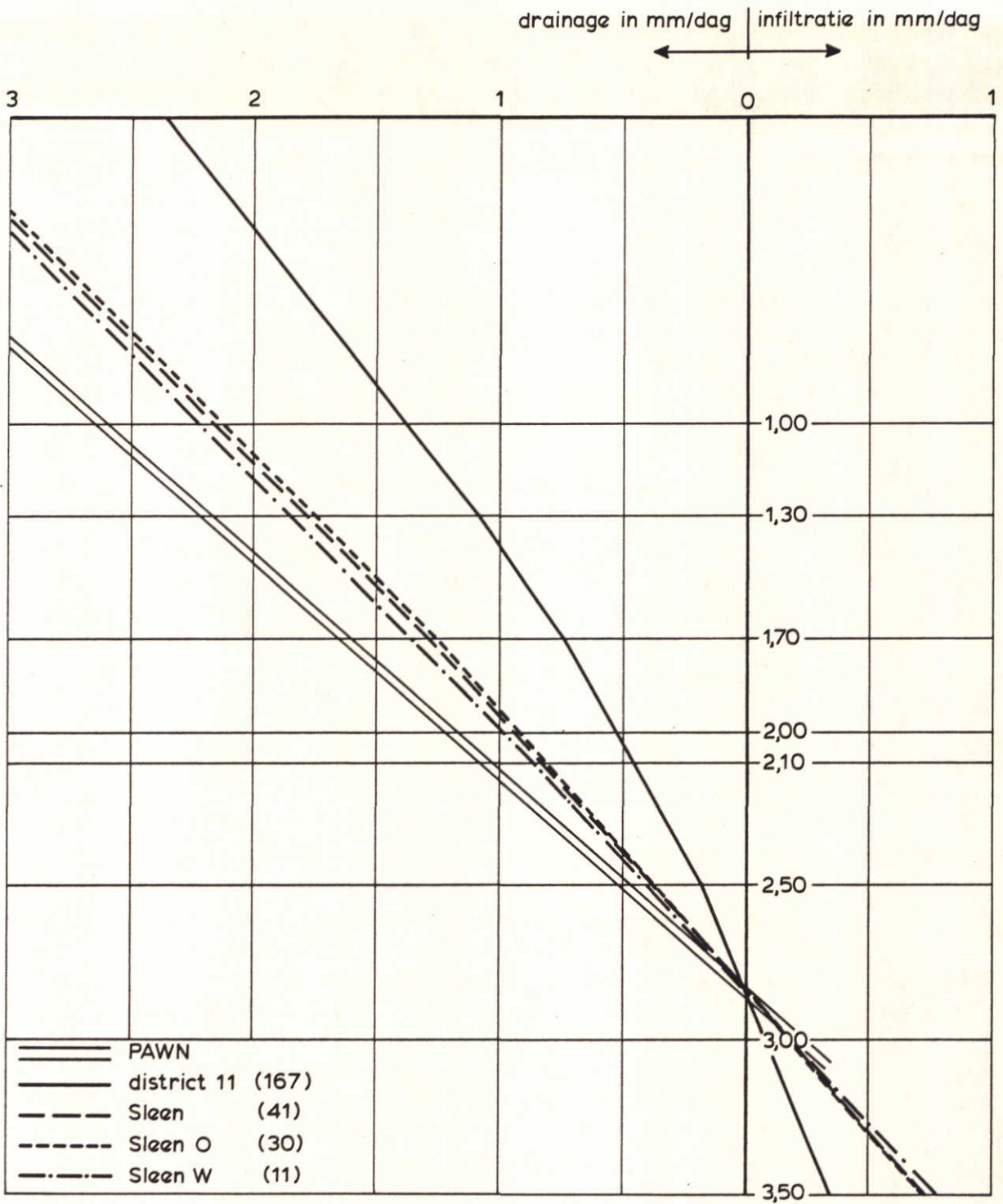
met: $h_i = h_{bi}$ voor $h_{bi} < h_{krit}$
 $h_i = h_{krit}$ voor $h_{bi} \geq h_{krit}$
 $q_i = 0$ als $h_{bi} < \gamma < h_{krit}$
of $h_{bi} < h_{krit} < \gamma$

VOORBEELD VAN EEN NIET-LINEAIRE BASISDRAINAGE-FUNCTIE



(n) is aantal km² vakkens in gebied
 gebruikte functie PAWN regio 3: $q = 2,35 - 1,61 * \gamma$
 met γ = grondwaterdiepte in "m"

BASISDRAINAGEFUNCTIES VOOR "LOW HIGHLANDS"



(n) is aantal km² vakken in gebied
 gebruikte functie PAWN regio 3: $q = 4,28 - 1,51 * \gamma$
 met γ = grondwaterdiepte in "m"

BASISDRAINAGEFUNCTIES VOOR "HIGH HIGHLANDS"

6 Bepalen van de basisdrainagefunctie

6.1 Aan de hand van fysische karakteristieken

In paragraaf 5.2.3 is een methode behandeld om aan de hand van de in Drenthe verzamelde gegevens een basisdrainagefunctie te berekenen. De methode is toegepast voor distrikt 11 en het proefgebied Sleen. De berekende basisdrainagefuncties zijn weergegeven in de figuren 5-2 en 5-3. Omdat voor een onderlinge vergelijking van de resultaten van verschillende schattingsmethoden gegevens van het proefgebied Sleen worden gebruikt, waarbij onderscheid tussen gebieden met diepe en ondiepe grondwaterstand niet goed mogelijk is, zijn de basisdrainagefuncties samengevoegd. De gebruikte methode is analoog aan de gehanteerde methode bij het aggregeren: voor elke grondwaterstand is een totaaldebiet berekend door de afvoeren van de verschillende kilometervakken te sommeren en vervolgens door het oppervlak te delen.

De aldus berekende basisdrainagefuncties zijn afgebeeld in figuur 6-1; de coëfficiënten voor de relatie $q = \alpha \cdot Y + \beta$ zijn weergegeven in tabel 6.1.

	$\alpha \times 10^3$	β
Sleen	-2,0	4,1
Sleen-O	-2,3	4,4
Sleen-W	-2,1	3,0

Tabel 6.1 Coëfficiënten van de basisdrainagefuncties voor het proefgebied Sleen berekend aan de hand van fysische karakteristieken

6.2 Door regressie van grondwaterstand en afvoer

Door Boot [12] zijn de basisdrainagekarakteristieken vastgesteld voor het proefgebied Sleen uit regressie van gemeten afvoeren en gemeten grondwaterstanden. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen de deelgebieden Sleen-West en Sleen-Oost. Voor een aantal perioden van 14 dagen met verwaarloosbare neerslag in 1976-1978 is een lineaire relatie bepaald tussen de over het gebied gemiddelde grondwaterstand en de over de periode gemiddelde gebiedsafvoer. De

gebiedsgemiddelde grondwaterstand is berekend als het gewogen gemiddelde van de beschikbare, twee maal per maand waargenomen grondwaterstanden. De over de periode gemiddelde gebiedsafvoer is het rekenkundig gemiddelde van de gemeten dagafvoer uit het beschouwde gebied, waarbij is gecorrigeerd voor waterinlaat. Voor 1978 is de exercitie herhaald voor perioden van 1 dag, waarbij gebruik gemaakt is van de continue gemeten grondwaterstandsbuis in Noord-Sleen. De dagelijkse gebiedsgemiddelde grondwaterstanden voor Sleen-West en Sleen-Oost zijn hieruit berekend met behulp van de regressievergelijking voor de halfmaandelijke waarnemingen.

De koëfficiënten van de aldus berekende basisdrainagefunctie, $q = \alpha \cdot Y + \beta$, en het aantal gegevensparen n gebruikt voor de regressie worden gegeven in tabel 6.2.

			$\alpha \times 10^3$	β	n
Sleen West	1976	half maandelijks	-4,89	10,8	8
	1977	half maandelijks	-3,28	7,6	16
	1978	half maandelijks	-3,15	7,05	13
	1978	dagwaarnemingen	-2,8	6,77	155
Sleen-Oost	1976	half maandelijks	-2,00	4,41	6
	1977	half maandelijks	-1,98	4,53	7
	1978	half maandelijks	-2,13	4,53	10
	1978	dagwaarnemingen	-3,2	4,6	146

Tabel 6.2 Koëfficiënten van de basisdrainagefunctie berekend door regressie van grondwaterstand en afvoer.

6.3 Met behulp van lineaire reservoirtheorie

6.3.1 Algemeen

Voor een zeer eenvoudige beschrijving van de drainage van grondwater naar een open leidingsstelsel wordt wel het concept van een lineair reservoir gehanteerd, gekenmerkt door een lineaire relatie tussen reservoirinhoud en afvoer. Wordt de reservoirinhoud gekenmerkt door de grondwaterdiepte γ , dan geldt, geheel analoog aan de in DEMGEN gehanteerde relaties,

$$q = A \cdot \gamma + B \quad [\text{mm/dag}] \quad (6.1)$$

waarin A en B konstanten zijn. Als μ de effectieve porositeit van de grond in het beschouwde gebied is, dan luidt de continuïteitsvergelijking:

$$q = \mu \frac{d\gamma}{dt} \quad (6.2)$$

De differentiaalvergelijking voor drainage van een lineair reservoir wordt gevonden door een combinatie van (6.1) en (6.2):

$$\mu \frac{d\gamma}{dt} - A \gamma - B = 0 \quad (6.3)$$

Na substitutie van $h = \gamma + \frac{B}{A}$ wordt als algemene oplossing gevonden

$$h(t) = h(0) e^{-\frac{A}{\mu} t} \quad (6.4)$$

Vergelijking (6.3) kan ook in q worden geschreven en luidt dan:

$$q - \frac{\mu}{A} \frac{dq}{dt} = 0 \quad (6.5)$$

met als oplossing:

$$q(t) = q(0) e^{-\frac{A}{\mu} t} \quad (6.6)$$

De uitdrukkingen (6.4) en (6.6) maken het mogelijk om aan de hand van een gemeten uitputtingsverloop van de grondwaterstand resp. de afvoer een schatting van de basisdrainagefunctie te maken. Behalve dat voor het uitputtingsverloop

een periode met verwaarloosbare neerslag wordt verondersteld, wordt aangenomen dat de afvoer naar de onverzadigde zone en de stroming van grondwater, anders dan naar de drainageleidingen, eveneens verwaarloosd kan worden. De koëfficiënt A, gelijk aan de helling α van de basisdrainagefunctie, kan in beide gevallen worden bepaald uit de helling van de relatie tussen $\log h$ resp. $\log q$ en de tijd. De koëfficiënt B, gelijk aan het intercept β , kan alleen worden gevonden door het kiezen van een geschikte transformatie voor de grondwaterdiepte Y . De transformatie is geschikt als op semi logaritmisch papier een lineair verband tussen h en t wordt gevonden. In de volgende paragrafen wordt de methode toegepast op half maandelijks en dagelijks gemeten grondwaterstanden in het proefgebied Sleen en op een viertal reeksen dagafvoeren.

6.3.2 Halfmaandelijks gemeten grondwaterstand

Over de periode 1976-1982 zijn halfmaandelijks gemeten grondwaterstanden beschikbaar in een achttal punten in het proefgebied Sleen. In de figuren 6-2 tot en met 6-4 zijn de gegevens geplot. De reeksen 370 en 349 zijn geselecteerd voor verdere analyse omdat ze stukken bevatten waarin een uitputtingsverloop is te herkennen. Voor reeks 370 is in de figuren 6-5 tot en met 6-8 de logarithme van de getransformeerde grondwaterstand uitgezet voor de jaren 1976, 1978, 1979 en 1982. Voor reeks 349 zijn overeenkomstige waarden geplot in de figuren 6-9 tot en met 6-11 voor de jaren 1976, 1979 en 1981. De berekening van de koëfficiënten α en β heeft plaatsgevonden als volgt:

$$\alpha = \frac{\varepsilon \delta}{S_x \cdot S_y} \cdot \mu$$

$$\beta = -h_0 \cdot \alpha$$

waarin:

δ is hellingshoek van het rechte deel van de curve

S_x is aantal dagen per cm langs x-as

S_y is aantal cm per eenheid op de logschaal

ε is een korrektiefactor, gelijk aan $\ln 10$ omdat voor de schaal langs de y-as een tien logarithme is gebruikt

h_0 is de koëfficiënt om van de gemeten grondwaterdiepte ten opzichte van maaiveld te transformeren naar een hoogte boven het vlak waar de afvoer nul wordt

Voor de effectieve porositeit μ die gelijk is aan de bergingsverandering per eenheid is steeds de waarde 0,1 aangehouden. In werkelijkheid is μ afhankelijk van de grondsoort en de onverzadigde stromingstoestand. De waarde van h_0 (in mm) is voor alle jaren gelijk verondersteld. h_0 wordt bepaald door die curve te zoeken waarbij zo goed mogelijk een rechte lijn wordt benaderd. De resultaten van de berekening zijn weergegeven in tabel 6.3.

meetpunt	jaar	h_0	δ	S_x	S_y	$\alpha \times 10^3$	β
370	1976	6100	-1,21	24	20	-0,6	3,54
	1978	6100	-1,00	24	30	-0,3	1,95
	1979	6100	-1,63	24	40	-0,4	2,39
	1982	6100	-1,38	24	30	-0,4	2,68
349	1976	2150	-1,26	24	10	-1,2	2,55
	1979	2150	-2,28	24	30	-0,7	1,57
	1981	2150	-3,39	24	40	-0,8	1,74

Tabel 6.3 Berekening van de coëfficiënten van de basisdrainagefunctie aan de hand van het uitputtingsverloop van halfmaandelijks gemeten grondwaterstanden ($\mu = 0,1$)

6.3.3 Dagelijks gemeten grondwaterstand

In het proefgebied Sleen zijn op enkele plaatsen zelfregistrerende grondwaterstandsbuizen geplaatst. Van het meetpunt 22226 op het meteoveld in Noord Sleen, zijn gegevens geanalyseerd van de jaren 1977 tot en met 1983. De gegevens zijn geplot in figuren 6-12 tot en met 6-18. In 1977 en 1983 ontbreken veel waarnemingen; zodat alleen voor de tussenliggende jaren perioden zijn geselecteerd waarin een uitputtingsverloop is te herkennen. De getransformeerde waarnemingen zijn logaritmisch uitgezet in de figuren 6-19 tot en met 6-23. De berekening van de coëfficiënten α en β verloopt op de in 6.3.2 beschreven wijze. Omdat de grondwaterstand hier gegeven is ten opzichte van NAP,

wordt de coëfficiënt h'_0 , nodig voor de berekening van β gevonden uit $h_0 = MV - h'_0$; waarbij h'_0 de coëfficiënt uit de in de figuren 6-19 tot en met 6-23 toegepaste transformatie is. Voor MV, de ligging van het maaiveld is 18.200 + NAP aangehouden.

De berekende coëfficiënten zijn vermeld in tabel 6.4.

jaar	h_0	δ	S_x	S_y	$\alpha \times 10^3$	β
1978	3200	-0,81	6	30	-1,0	3,20
1979	3200	-0,67	8	15	-1,3	4,16
1980	3200	-0,83	2,67	30	-2,4	7,68
1981	3200	-0,76	6	20	-1,5	4,80
1982	3200	-0,81	12	15	-1,0	3,20

Tabel 6.4 Berekening van de coëfficiënten van de basisdrainagefunctie aan de hand van het uitputtingsverloop van dagelijks gemeten grondwaterstanden te Noord Sleen ($\mu = 0,1$)

6.3.4 Dagelijks gemeten afvoer

Over de periode 1976-1982 zijn vier reeksen van dagelijks gemeten afvoeren geanalyseerd; aangeduid als "Schipborg", "de Tille", "Sleen-West" en "Sleen-Oost". De reeksen "Schipborg" en "de Tille" bevatten de per dag gesommeerde afvoer van resp. de Drentsche Aa en de Wold Aa, waargenomen in de overeenkomstige meetpunten van het secundair meetnet. De reeksen "Sleen-West" en "Sleen-Oost" zijn samengesteld uit de gemeten afvoer in de meetpunten "de Broeken" en "Jongbloedvaart" resp. "Boerdijk en Wilhelmsoord". Voor de inlaat in het meetpunt "Odoornerweide", waarvan wel gegevens beschikbaar waren, heeft geen correctie plaatsgevonden omdat de hoeveelheid ingelaten water relatief klein is en de verdeling in de tijd onregelmatig en niet duidelijk gekorreleerd met de gebiedsafvoer.

De gegevens zijn geplot in figuren 6-24 tot en met 6-30. Vrij duidelijk is een uitputtingsverloop waar te nemen in de gegevens van het meetpunt Schipborg in

de maanden april en augustus 1976, in oktober 1977 en in april 1981. In de figuren 6-31 tot en met 6-34 is de te Schipborg gemeten afvoer en het voortschrijdend gemiddelde over 7 dagen voor de betreffende periodes op log schaal uitgezet. Bij de andere 3 reeksen is veel minder duidelijk een uitputtingsverloop te herkennen. Voor elk van deze 3 reeksen is voor een periode in 1976 de gemeten afvoer en het 7-daags voortschrijdend gemiddelde uitgezet op log schaal in de figuren 6-35 tot en met 6-37. De berekening van de koëfficiënt α van de basisdrainagefunctie verloopt analoog aan de in 6.3.2 gegeven berekening. De resultaten zijn weergegeven in tabel 6.5.

De konstante β in de basisdrainagefunctie kan niet uit het uitputtingsverloop worden bepaald, omdat er indien wordt uitgegaan van gemeten afvoer geen h_0 gevonden wordt.

meetpunt	jaar	periode	δ	S_x	S_y	$\alpha \times 10^3$
Schipborg	1976	20/3-29/4	-1,24	2,67	50	-2,1
		5/8-24/8	-1,0	1,33	20	-8,6
	1977	2/10-30/10	-0,4	2,67	30	-1,2
	1981	1/4-29/4	-2,5	2,00	50	-5,8
De Tille	1976	15/2-15/5	-1,15	6	20	-2,2
Sleen W	1976	15/2-29/4	-0,62	5	15	-1,9
Sleen O	1976	15/2-24/3	-0,22	2,67	5	-3,7

Tabel 6.5 Berekende hellingshoek van de basisdrainagefunctie aan de hand van het uitputtingsverloop van dagelijks gemeten afvoeren ($\mu = 0,1$)

6.4 Konklusies

Met elk van de onderzochte methoden is het mogelijk de koëfficiënten van de basisdrainagefunctie te bepalen. Indien de bepaling plaatsvindt aan de hand van het uitputtingsverloop van de gebiedsafvoer, moet de konstante in de relatie langs andere weg bepaald worden. Tabel 6.6 geeft een samenvatting van de gevonden resultaten; waaruit blijkt dat met de verschillende methoden, ook indien ze op hetzelfde gebied worden toegepast, uiteenlopende resultaten worden gevonden.

Alleen bij de eerste schattingsmethode is het mogelijk onderscheid te maken tussen gronden met HILO kode 1 en 2. Deze methode, schatting aan de hand van fysische karakteristieken, is echter het meest bewerkelijk en in veel gevallen zullen de benodigde gegevens niet beschikbaar zijn.

De methode gebaseerd op regressie van grondwaterstanden en afvoer levert alleen betrouwbare resultaten op indien de te gebruiken gegevens zorgvuldig geselecteerd worden. De methode wordt bij voorkeur toegepast op daggegevens. Met behulp van de lineaire reservoirtheorie wordt uit het uitputtingsverloop van de grondwaterstand een relatief lage basisdrainage berekend. De methode kan zowel toegepast worden op halfmaandelijks gemeten grondwaterstanden als op daggegevens. De gevonden lage basisdrainage wordt mogelijk veroorzaakt doordat de veronderstelling van geen wateruitwisseling met de onverzadigde zone niet geldt. Het is waarschijnlijk dat er in de geselecteerde periodes een aanzienlijk verdampingoverschot is geweest. Correctie voor een dergelijke toevoer maakt de methode bewerkelijker en daardoor minder aantrekkelijk.

Aan de hand van gemeten afvoer kan met de lineaire reservoirtheorie alleen de helling van de basisdrainagefunctie bepaald worden. De methode kan alleen worden toegepast op niet te kleine, vrij afvoerende stroomgebieden.

gebiedsaanduiding	Sleen	Sleen-Oost			Sleen-West			370	349	Noord Sleen
methode*)	1	1	2	5	1	2	5	3	3	4
α	-2,0	-2,3	-2,3	-3,7	-2,1	-3,5	-1,9	-0,4	-0,9	-1,4
β	4,1	4,4	4,5		3,0	8,1		2,6	2,0	4,6

*) de nummers verwijzen naar resp. tabel 6.1 enz. Waar in de oorspronkelijke tabel meer waarden voorkomen, is hier het gemiddelde gegeven

- 1 fysische karakteristieken
- 2 lineaire regressie
- 3 uitputtingsverloop grondwaterstand halfmaandelijks
- 4 uitputtingsverloop grondwaterstand dagelijks
- 5 uitputtingsverloop afvoer dagelijks

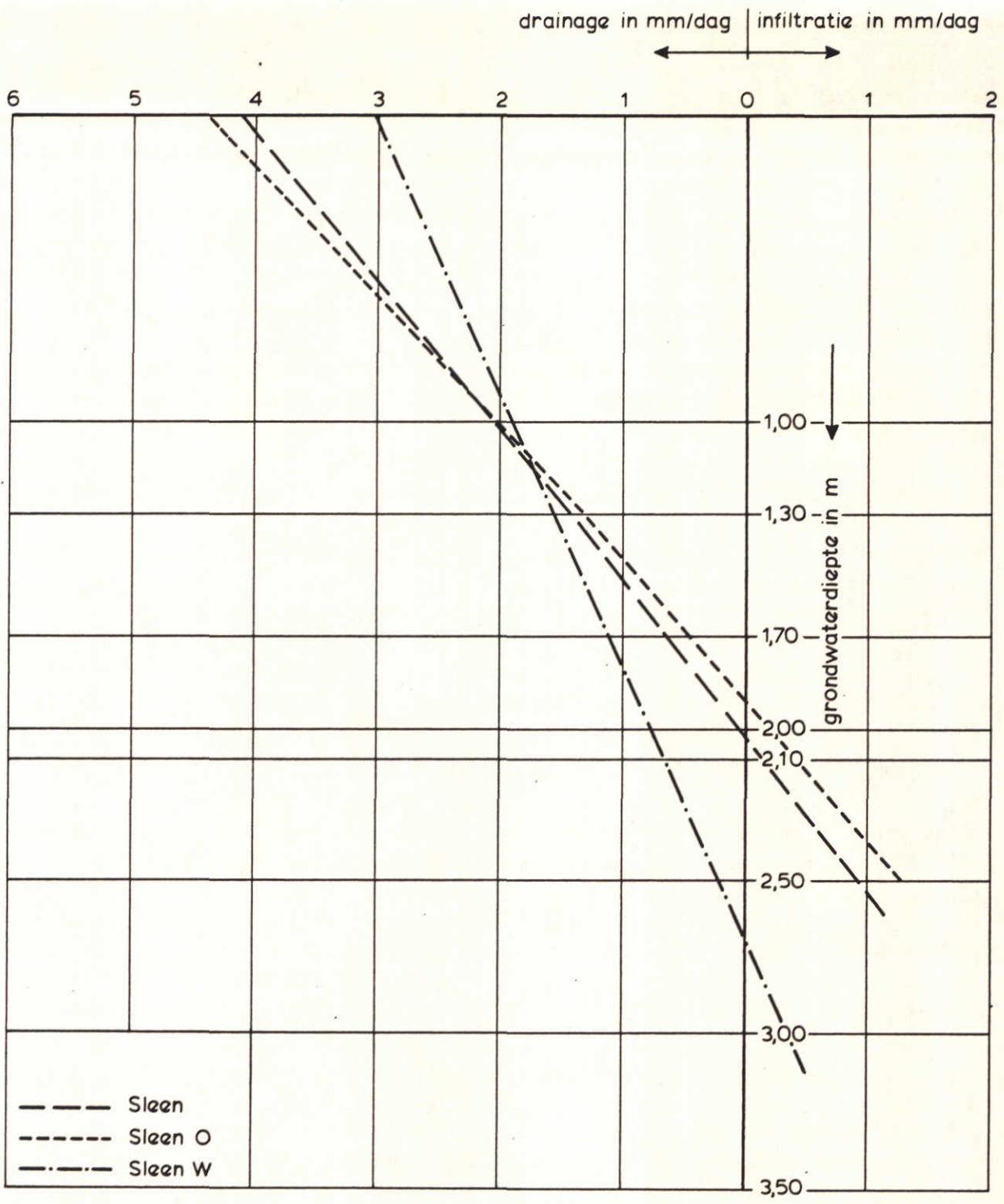
Tabel 6.6 Overzicht van berekende coëfficiënten van de basisdrainagefunctie

REFERENTIES

- 1 Waterloopkundig Laboratorium; Evaluatie van het hydrologisch gedeelte van het programma DEMGEN in het gebied van de hoge gronden, R 1230-R82/001, januari 1982
- 2 Waterloopkundig Laboratorium; Inventarisatie basis-drainage problematiek, R 1230-D 80/001, september 1980
- 3 Waterloopkundig Laboratorium; Evaluatie van het hydrologisch gedeelte van het programma DEMGEN in het gebied van de hoge gronden. R 1230-D82/001, januari 1982
- 4 "Grondwaterstromingen in de verzadigde zône en hun berekening bij aanwezigheid van horizontale evenwijdige open leidingen", L.F. Ernst, Versl. Landbouwk. Onderz. 67-15, 1962
- 5 Waterloopkundig Laboratorium; GROMULA, computerprogram for modelling groundwaterflow in a multi-layered system of aquifers. Manual, 1983
- 6 Van Lanen, H.A.J. en Van Drecht, G.; "Aanvullend onderzoek met het model GELGAM in het studiegebied Sleen (Drenthe)", deel I t/m V, RID-rapport hy.h 83-10, 12, 13, 16 en 26, 1983
- 7 "Regionaal Geohydrologisch onderzoek in de provincie Drenthe, uitgevoerd ten behoeve van de planning van grondwateronttrekking 1969-1975", RID, mei 1978
- 8 "Water naar Drenthe", Rapport van de Werkgroep Watervoorziening Drenthe, Assen, april 1979
- 9 "Definitieve notitie omtrent het verwerken van het oppervlaktewater voor de modelberekening van het RID", J.H. Thye, P.W.S. van Drenthe, interne nota 81.13, nov. 1981

REFERENTIES (vervolg)

- 10 "Drainage of undulating sandy soils with high groundwater tables, I. A drainage formula based on a constant hydraulic head ratio", L.F. Ernst, Journal of Hydrology, Vol. 39, 1978, pp. 1-30
- 11 "De vochtleverantie van een grond aan het gewas", H.C. van Heesen en P. van der Sluis, STIBOKA, interne mededeling no. 29, 1973
- 12 "Drainagekarakteristieken van het proefgebied Sleen voor de jaren 1976, 1977 en 1978", K. Boot, RWS, WWZO, notitie 1982-F, maart 1982.

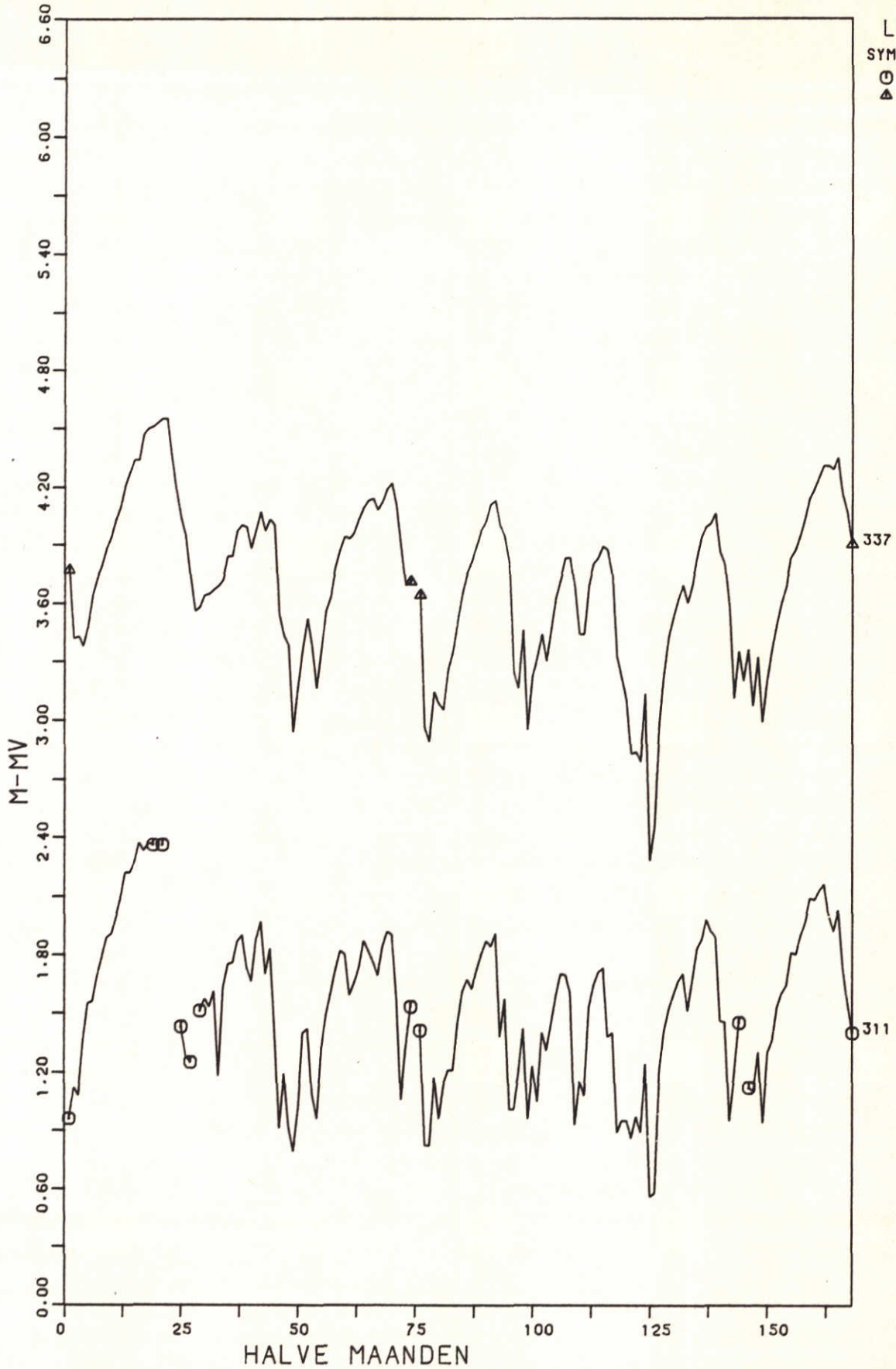


BASISDRAINAGEFUNCTIES SLEEN

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG. 6-1

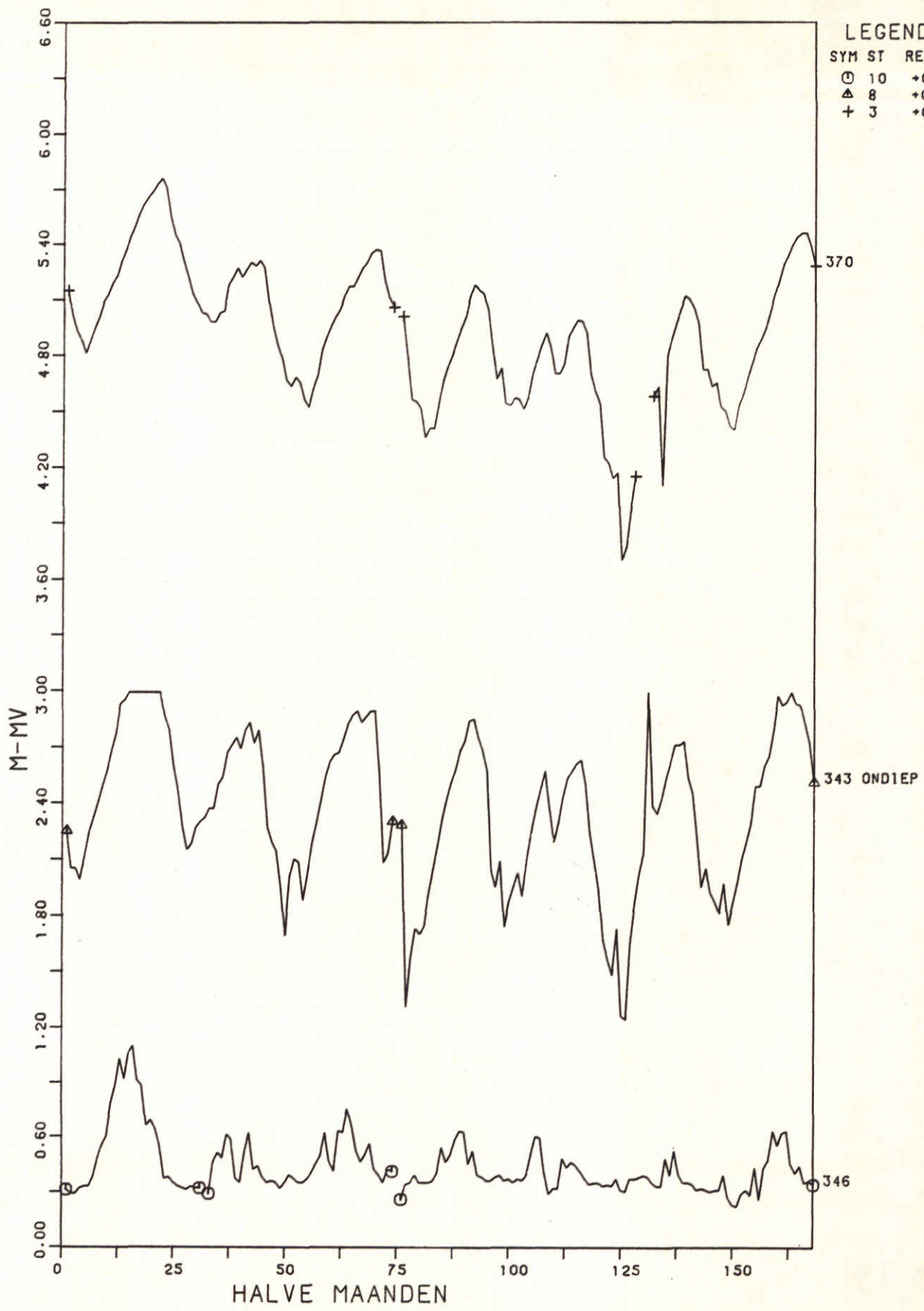


GRONDWATER DATA DRENTE
 1976-1982

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG. 6-2

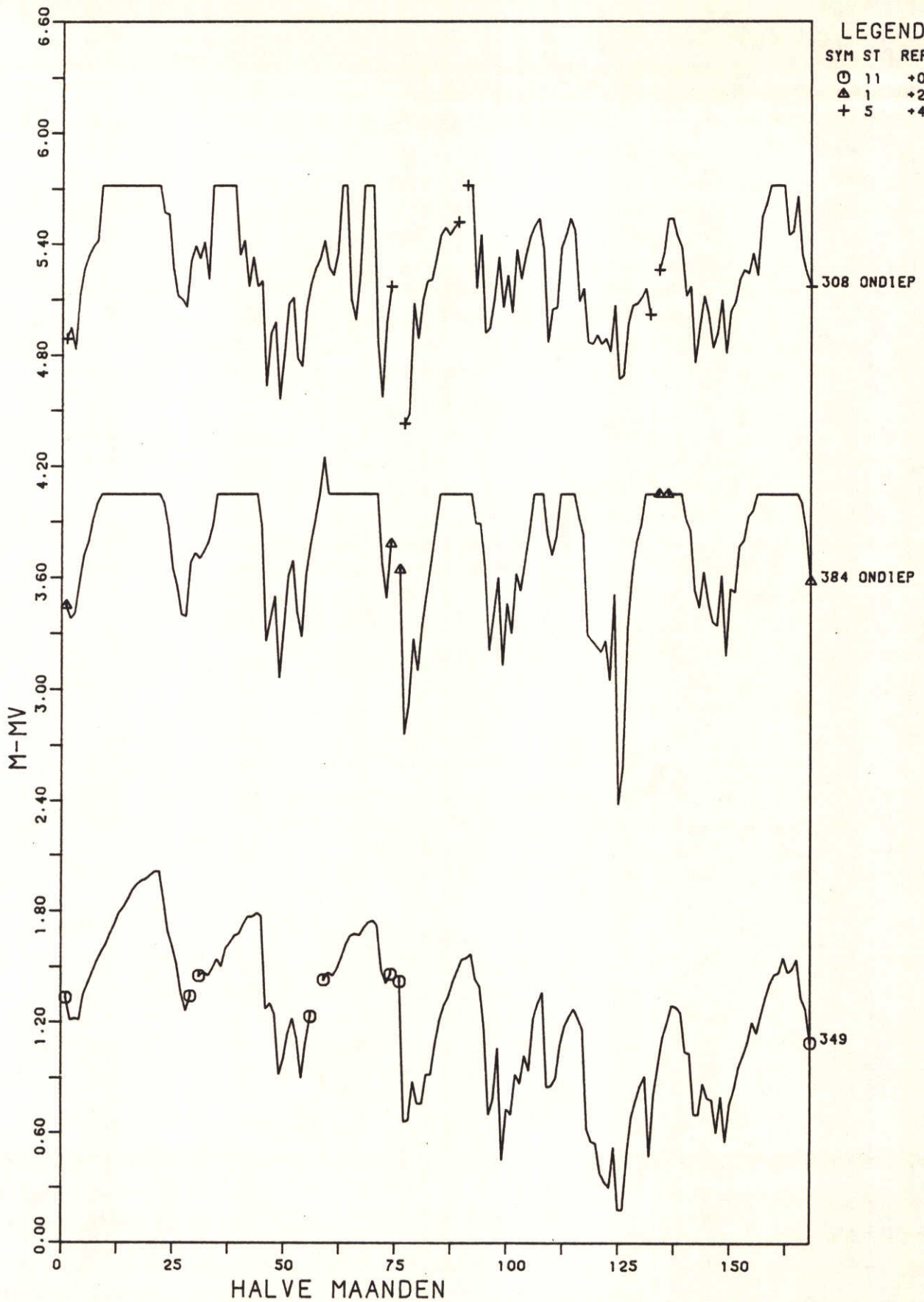


**GRONDWATER DATA DRENTE
1976-1982**

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG.6-3

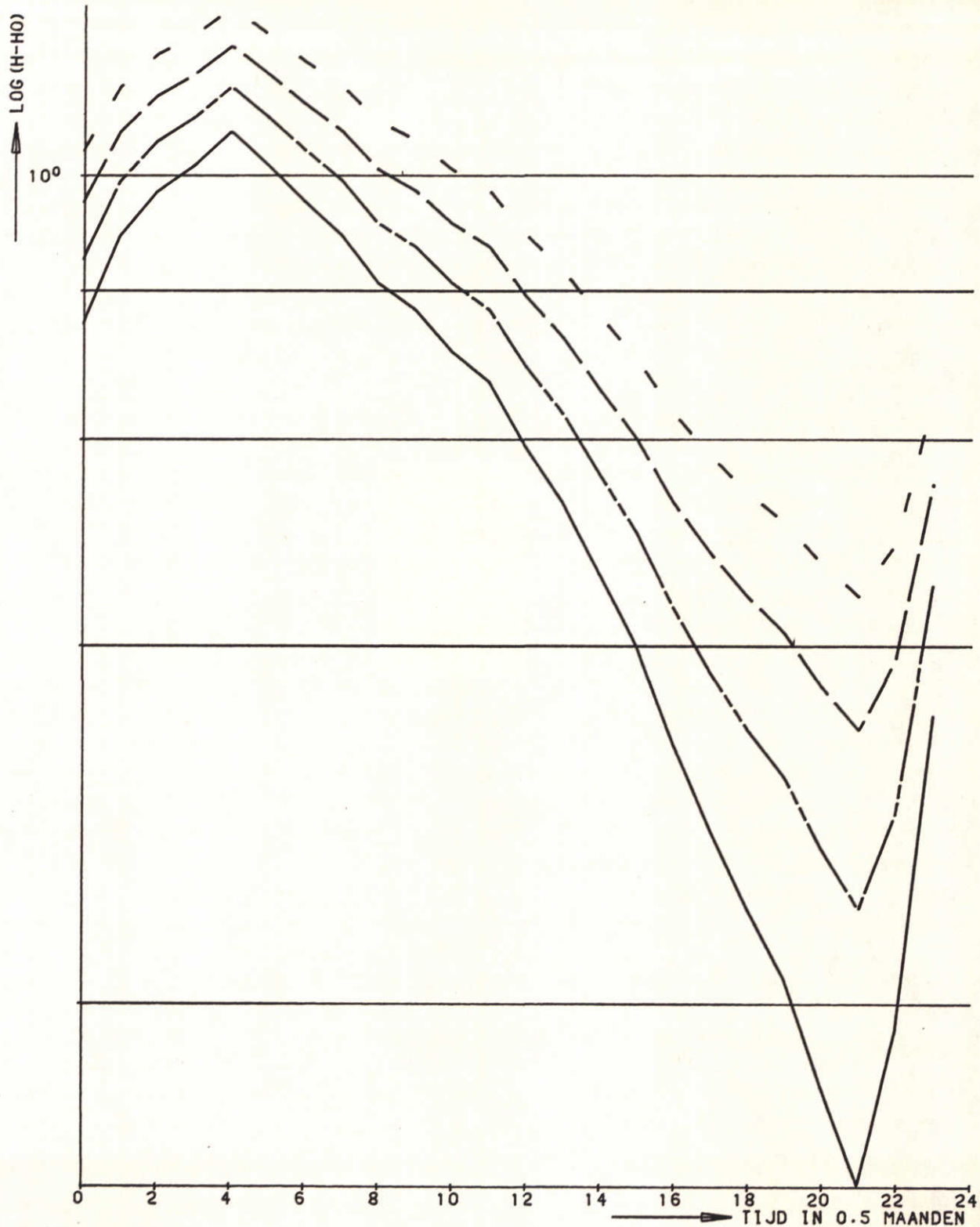


GRONDWATER DATA DRENTE
1976-1982

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG. 6-4



————— H-5.90
 - - - - - H-6.00
 - · - · - H-6.10
 - - - - - H-6.20

GRONDWATERSTAND PUNT 370
OP LOG-SCHAAL

1976

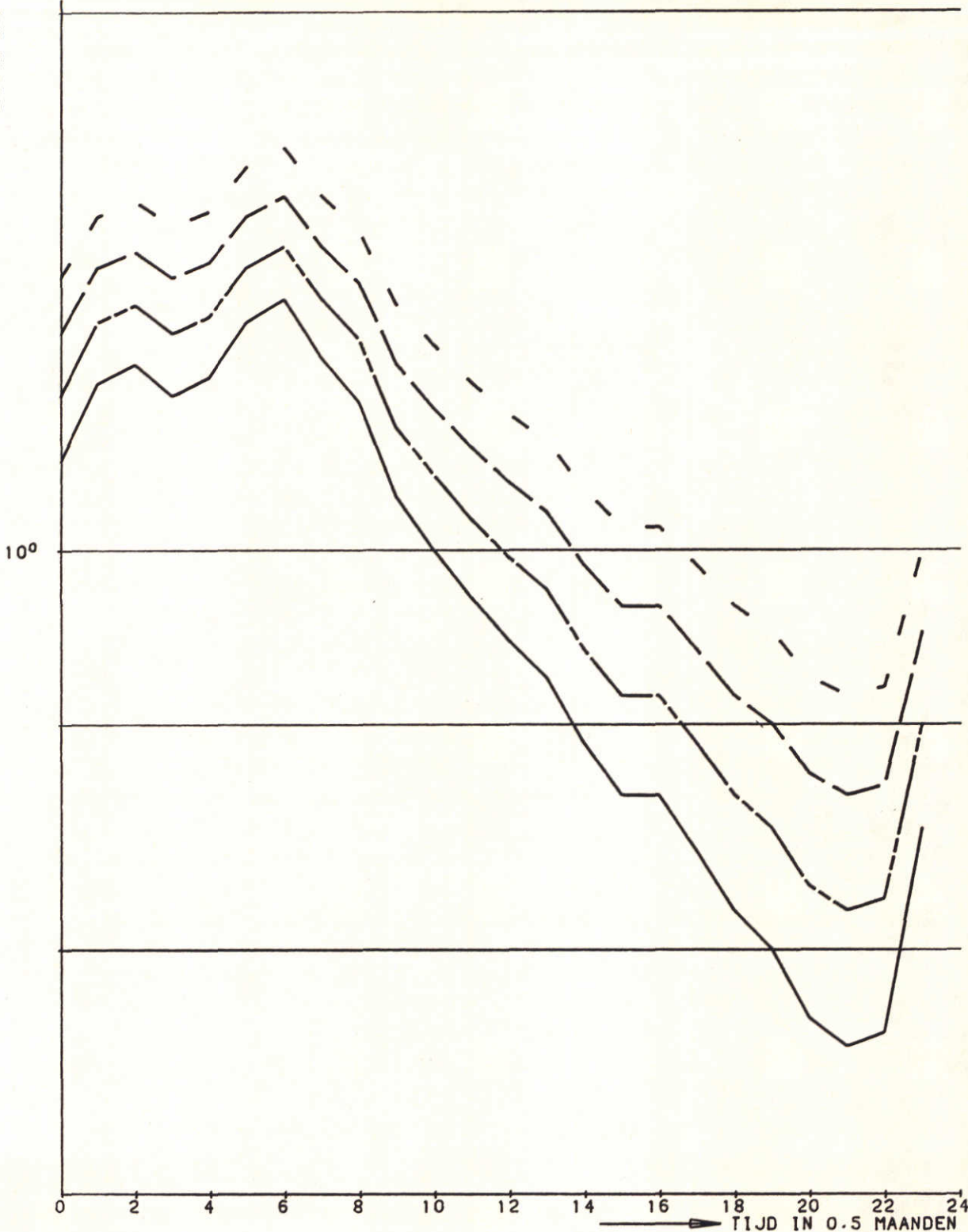
MET CORRECTIE H0-H

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG. 6-5

LOG (H-H₀)



- H-5.90
- - - H-6.00
- · - H-6.10
- - - H-6.20

**GRONDWATERSTAND PUNT 370
OP LOG-SCHAAL**

1978

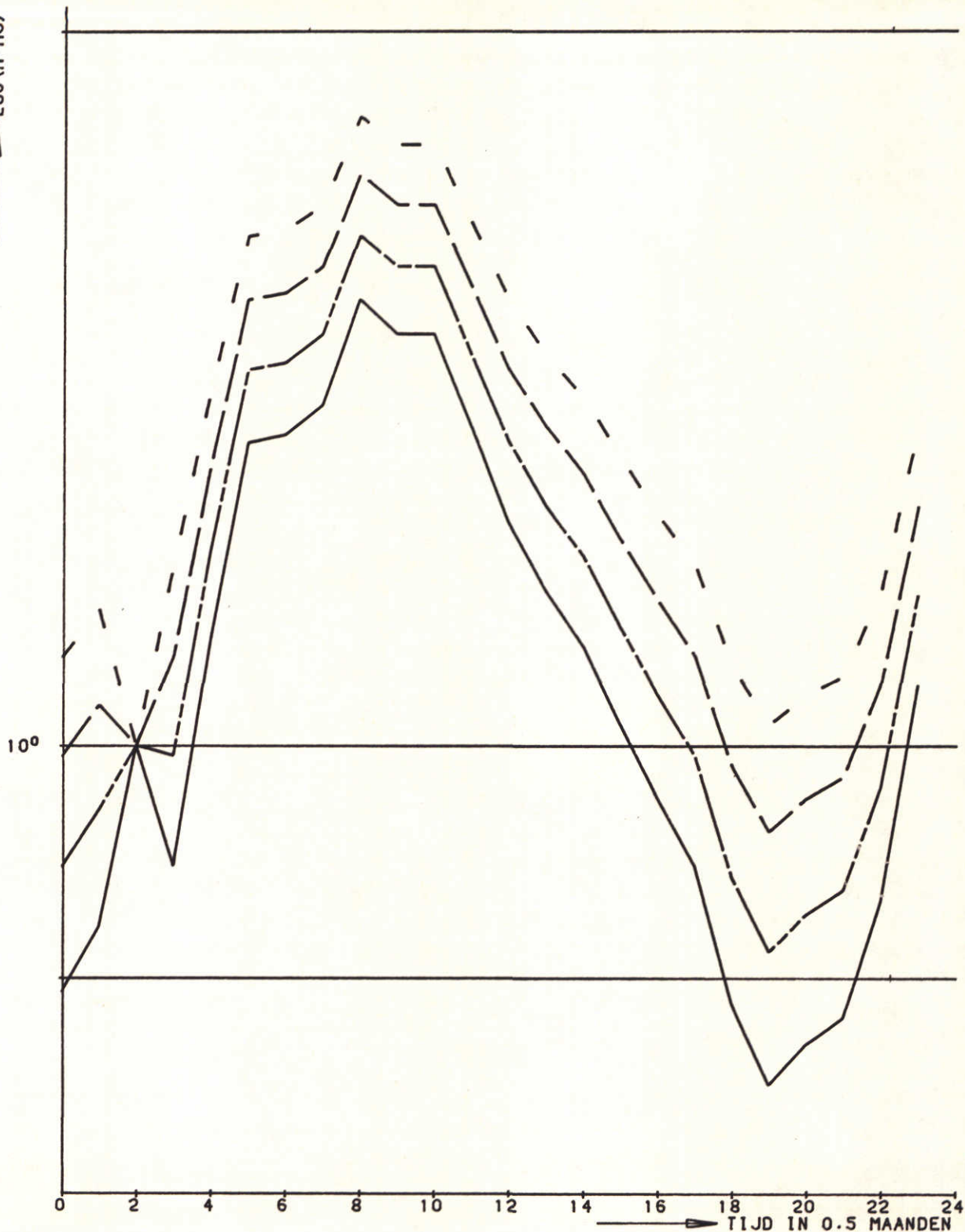
MET CORRECTIE H₀-H

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG. 6-6

↑ LOG (H-H₀)



— H-5.90
— H-6.00
— H-6.10
- - H-6.20

GRONDWATERSTAND PUNT 370
OP LOG-SCHAAL

1979

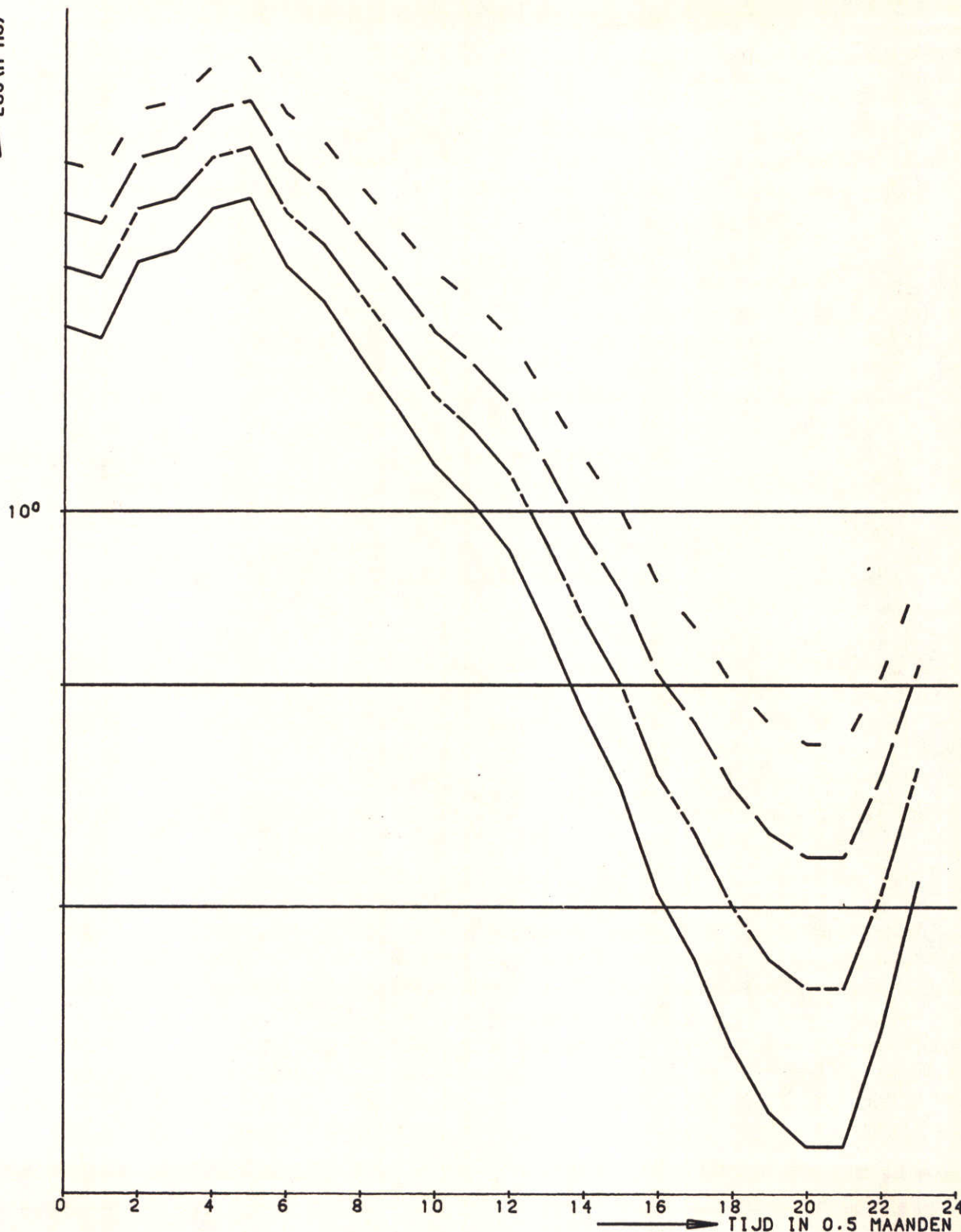
MET CORRECTIE H₀-H

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG. 6-7

LOG (H-H₀)



— H-5.90
- - - H-6.00
- - - H-6.10
- · - H-6.20

GRONDWATERSTAND PUNT 370
OP LOG-SCHAAL

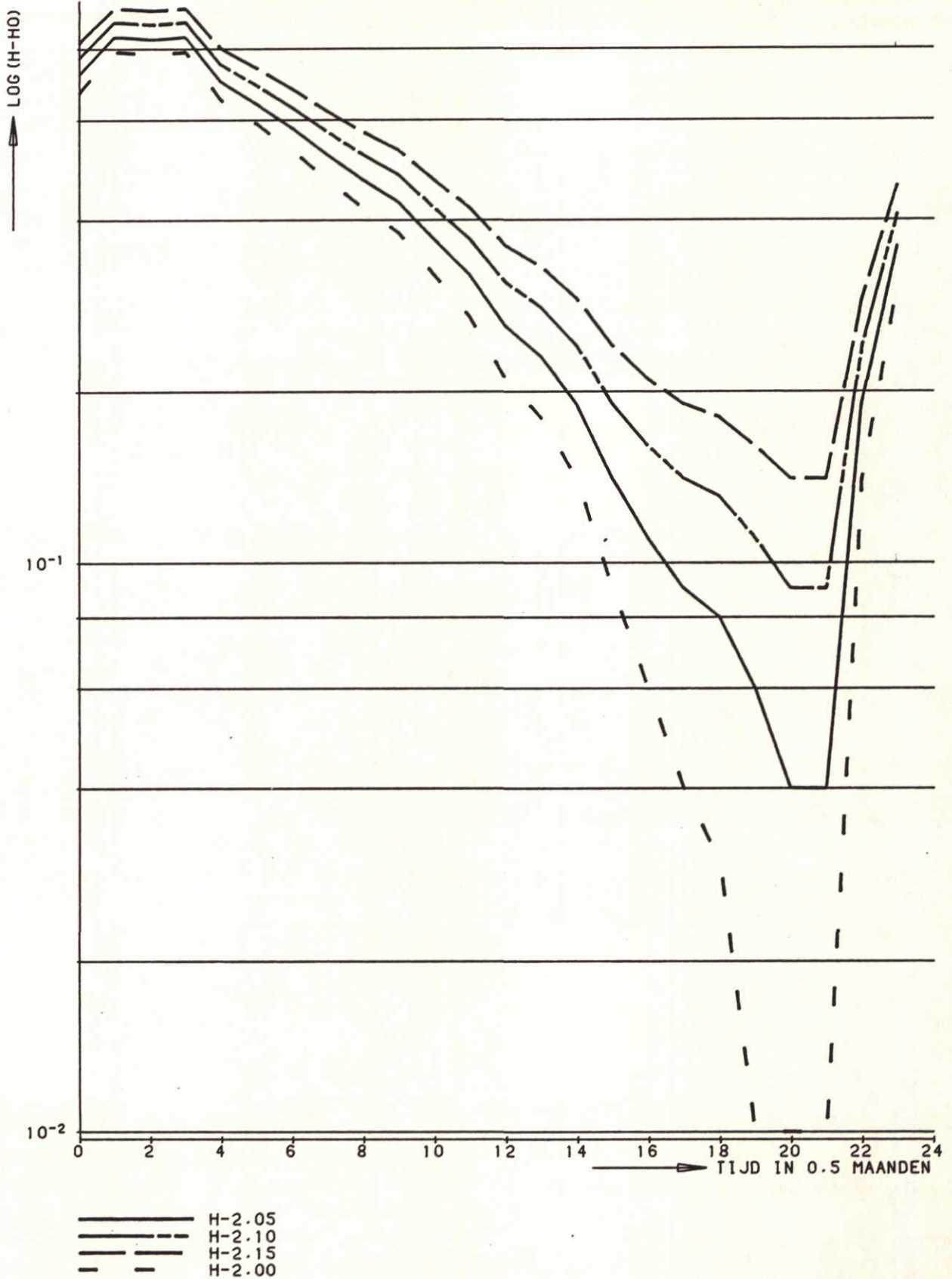
1982

MET CORRECTIE H₀-H

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-8



GRONDWATERSTAND PUNT 349
OP LOG-SCHAAL

1976

MET CORRECTIE H₀-H

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

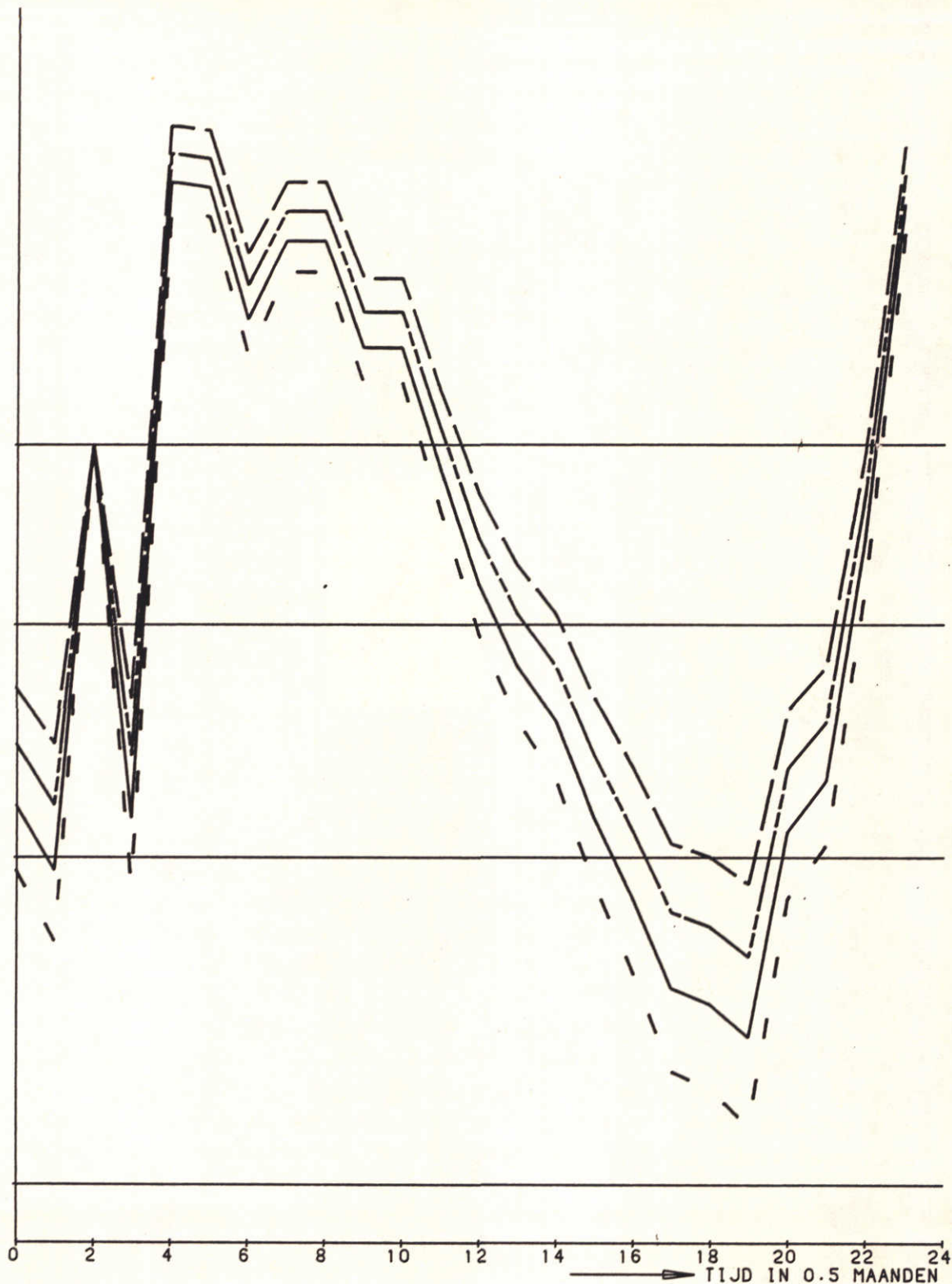
R1230

FIG. 6-9

LOG (H-H₀)



10⁰



— H-2.05
- - H-2.10
- · - H-2.15
- - - H-2.00

GRONDWATERSTAND PUNT 349
OP LOG-SCHAAL
1979

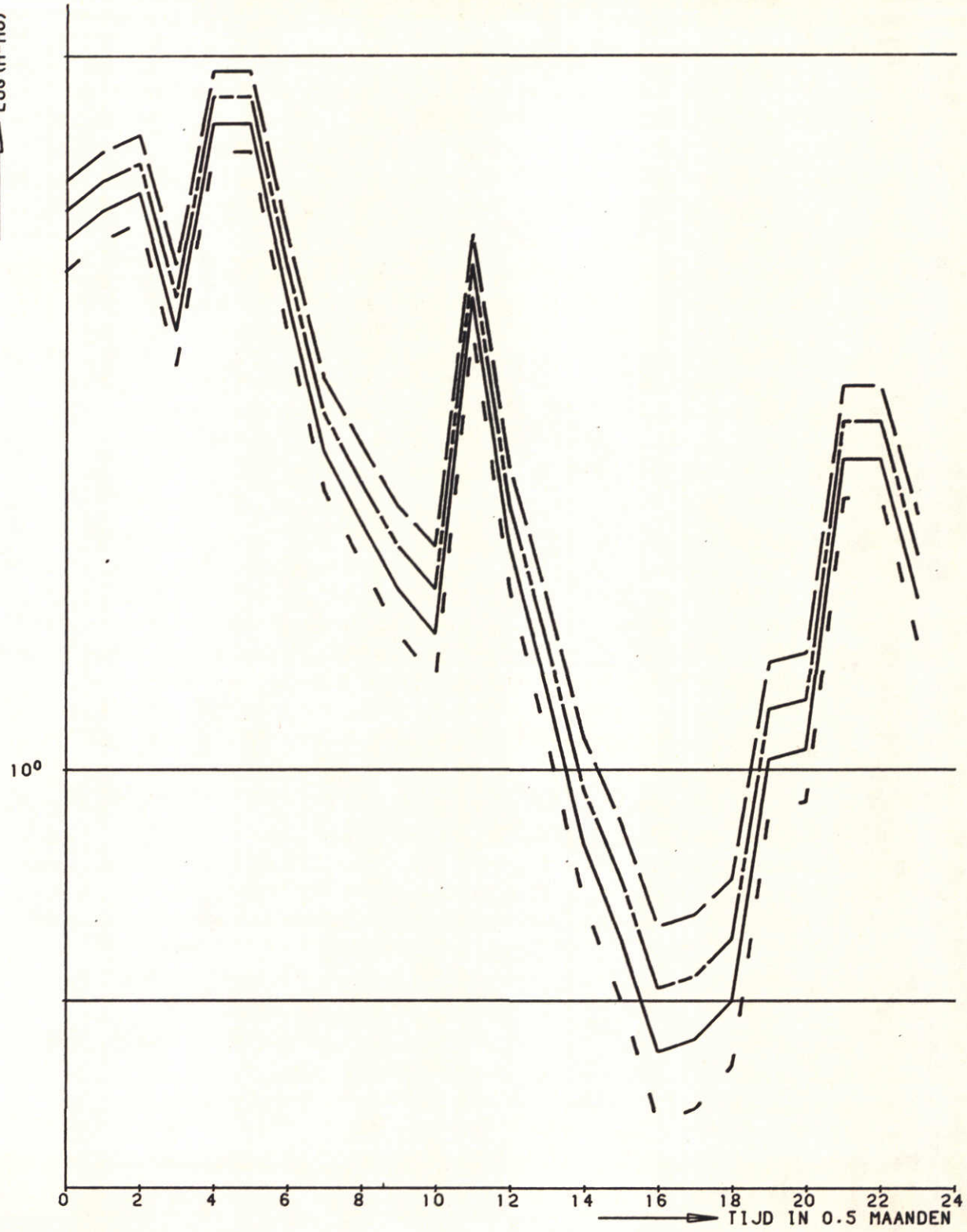
MET CORRECTIE H₀-H

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG. 6-10

LOG (H-H₀)



- H-2.05
- - - H-2.10
- · - H-2.15
- - - H-2.00

GRONDWATERSTAND PUNT 349
OP LOG-SCHAAL

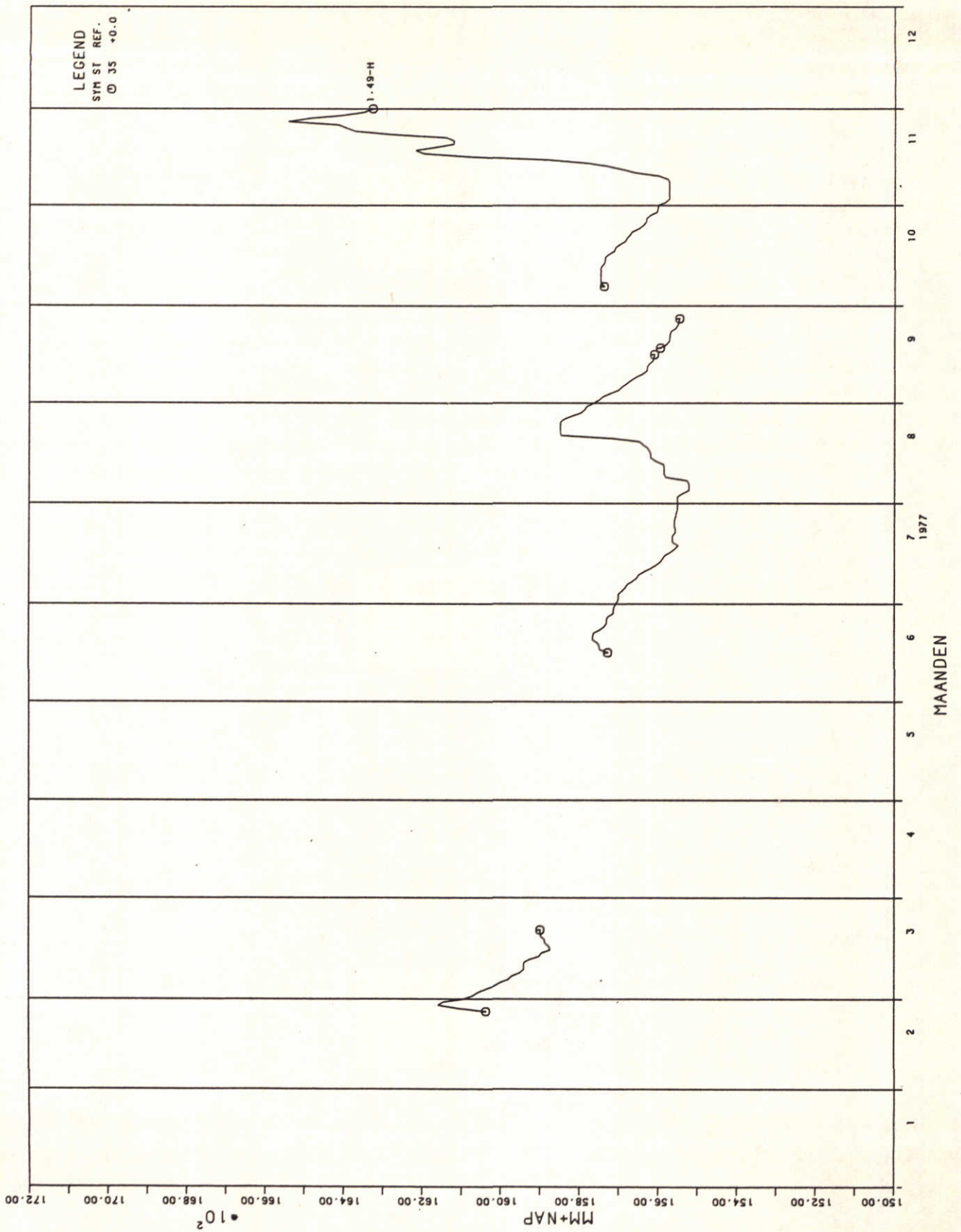
1981

MET CORRECTIE H₀-H

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG. 6-11



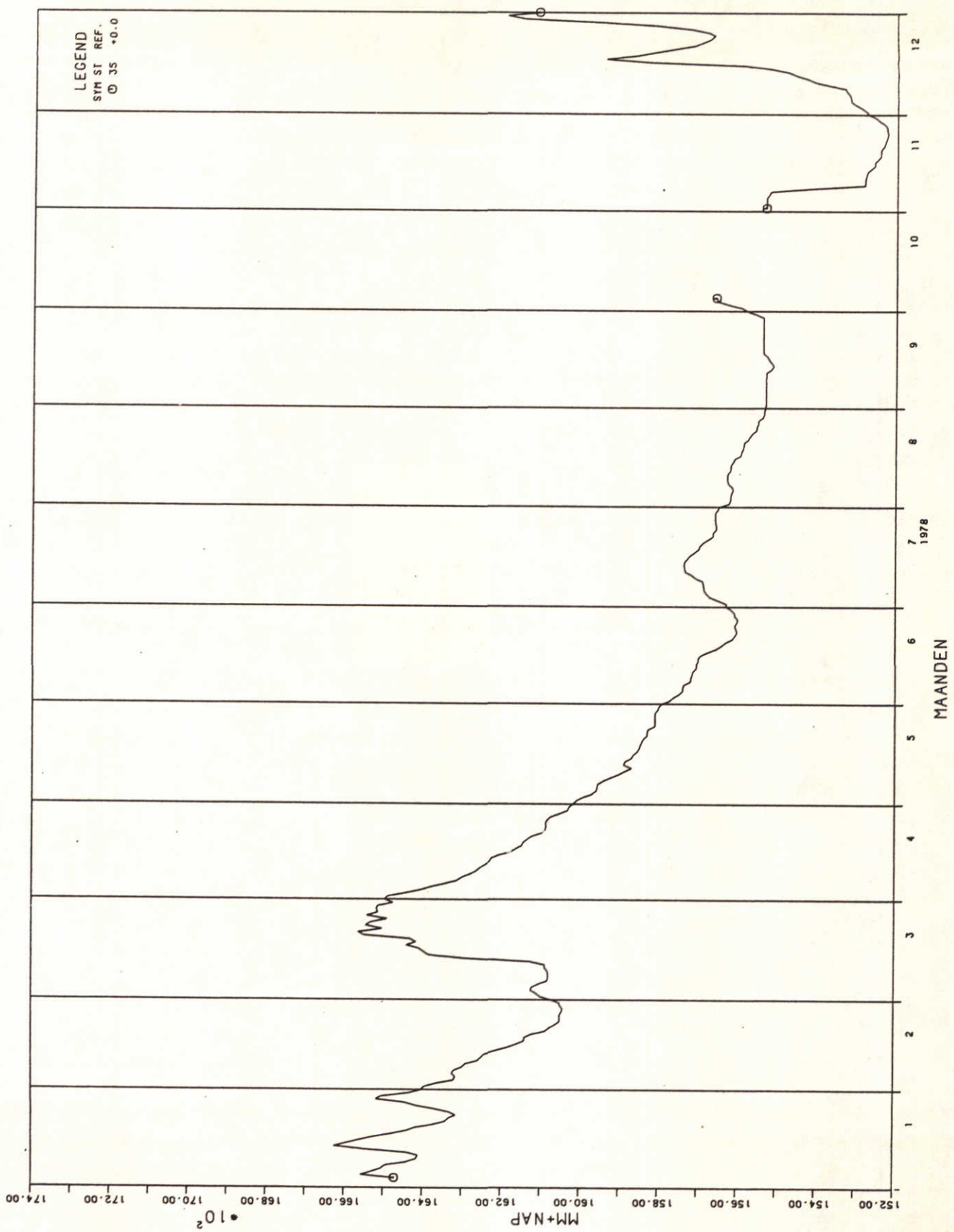
GRONDWATER DATA NOORD SLEEN 1

1977

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG. 6-12



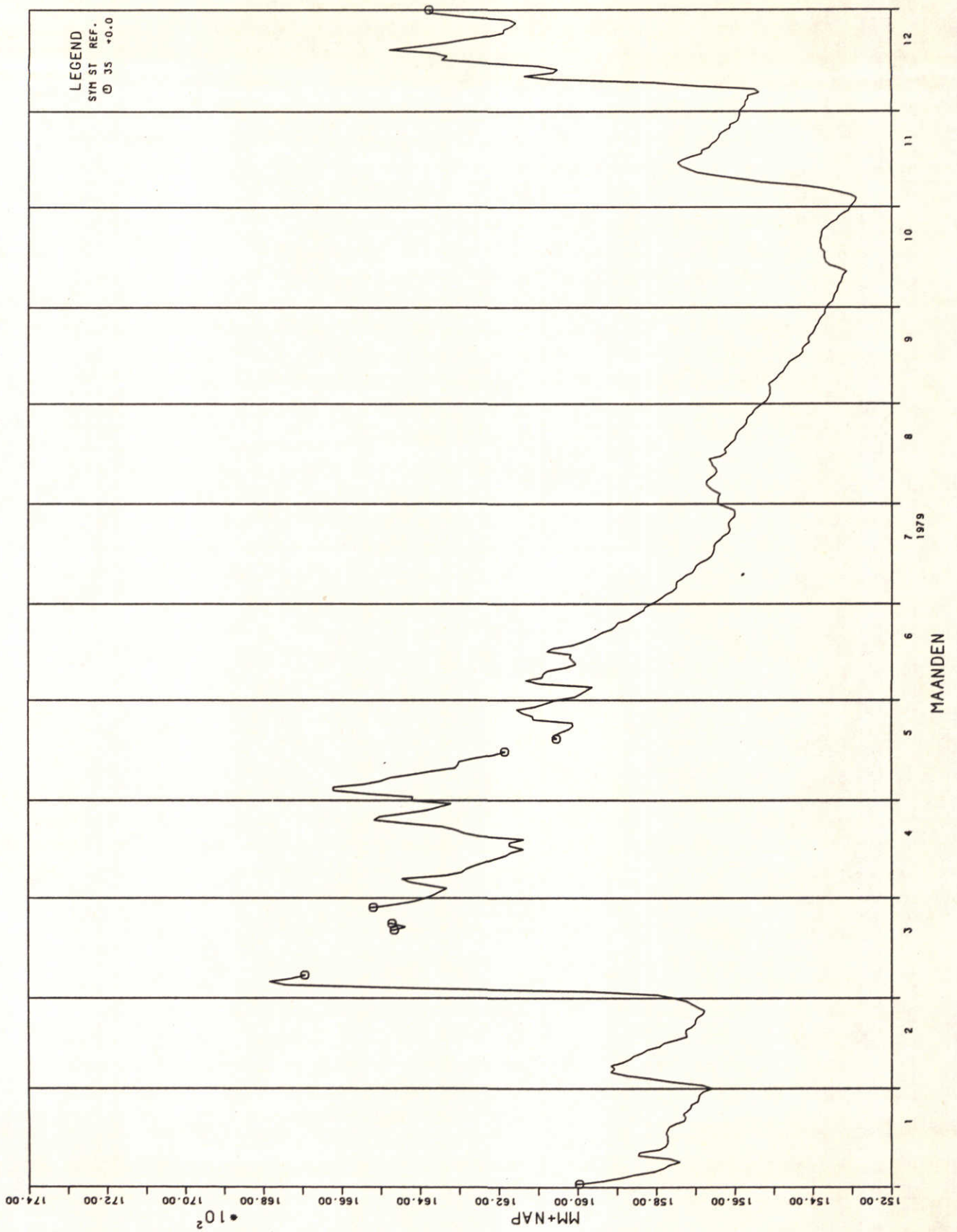
GRONDWATER DATA NOORD SLEEN I

1978

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-13



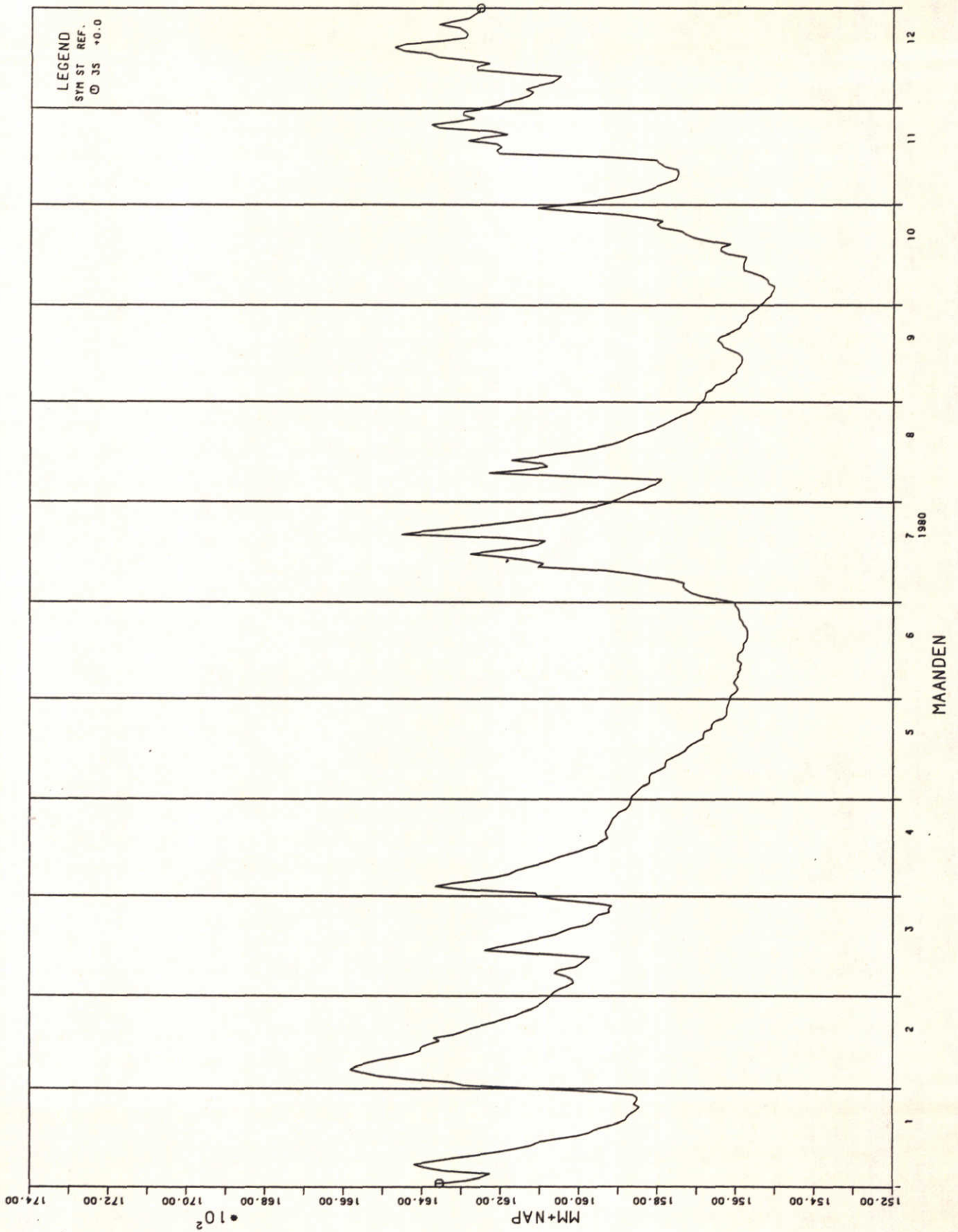
GRONDWATER DATA NOORD SLEEN I

1979

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-14



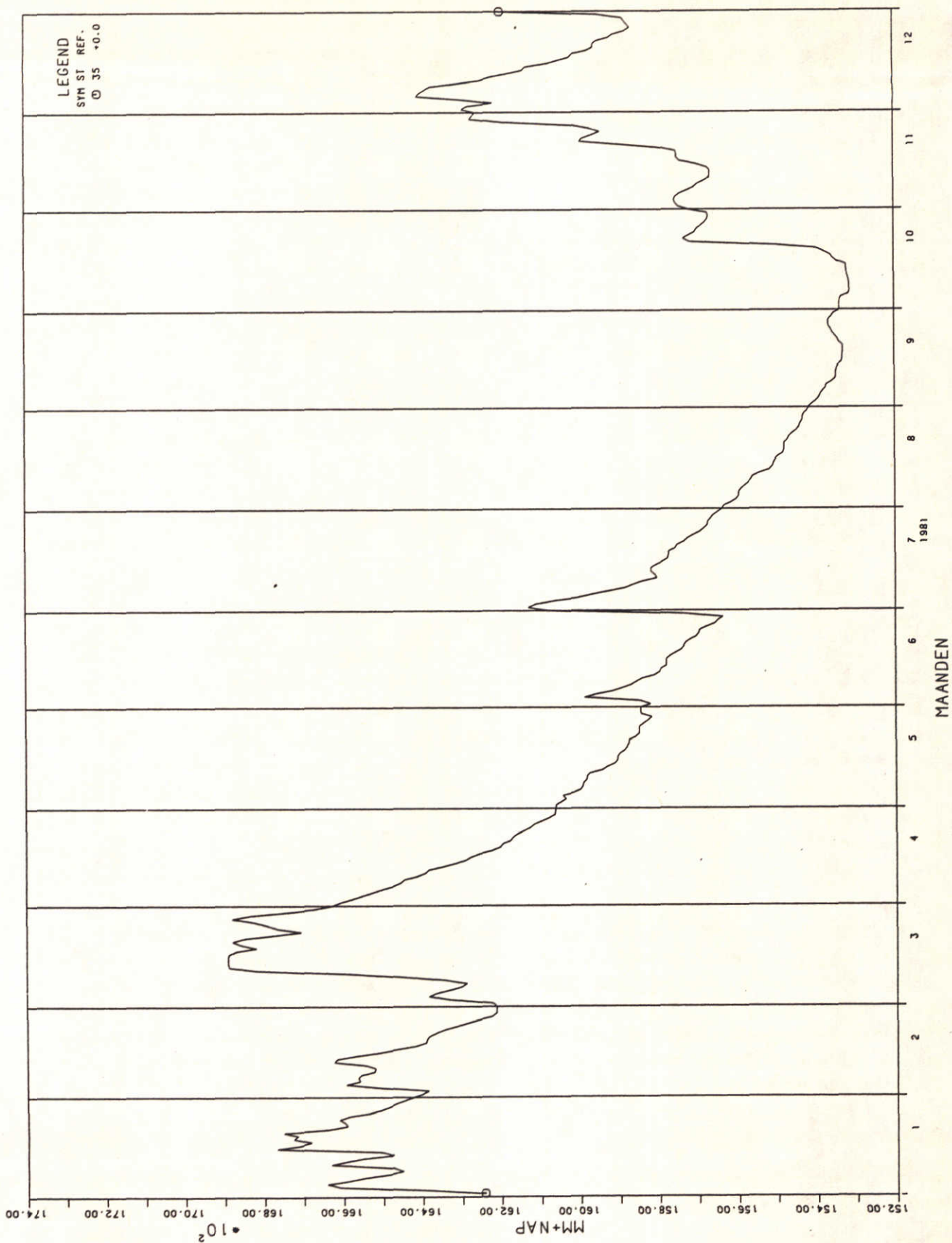
GRONDWATER DATA NOORD SLEEN I

1980

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-15



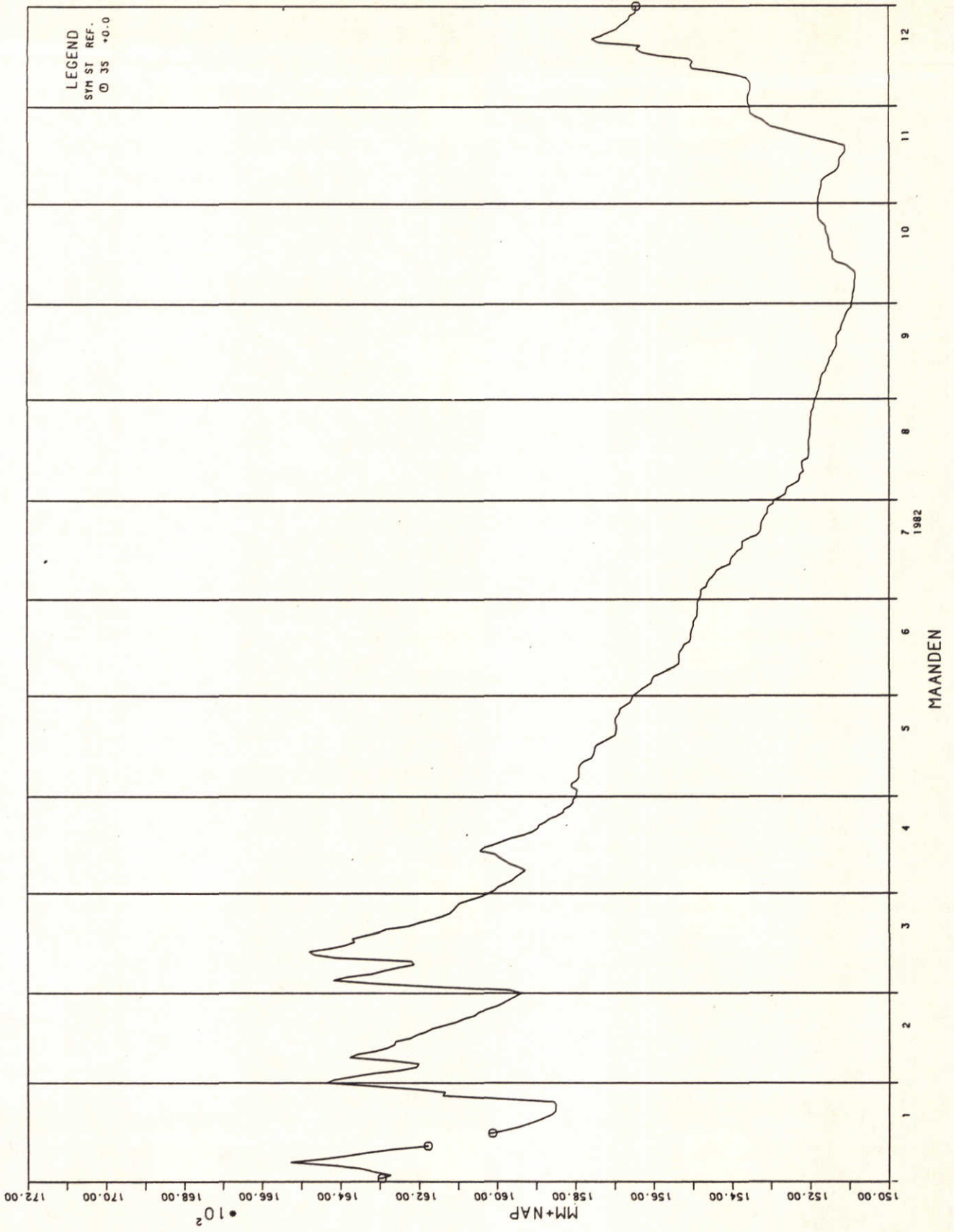
GRONDWATER DATA NOORD SLEEN I

1981

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-16



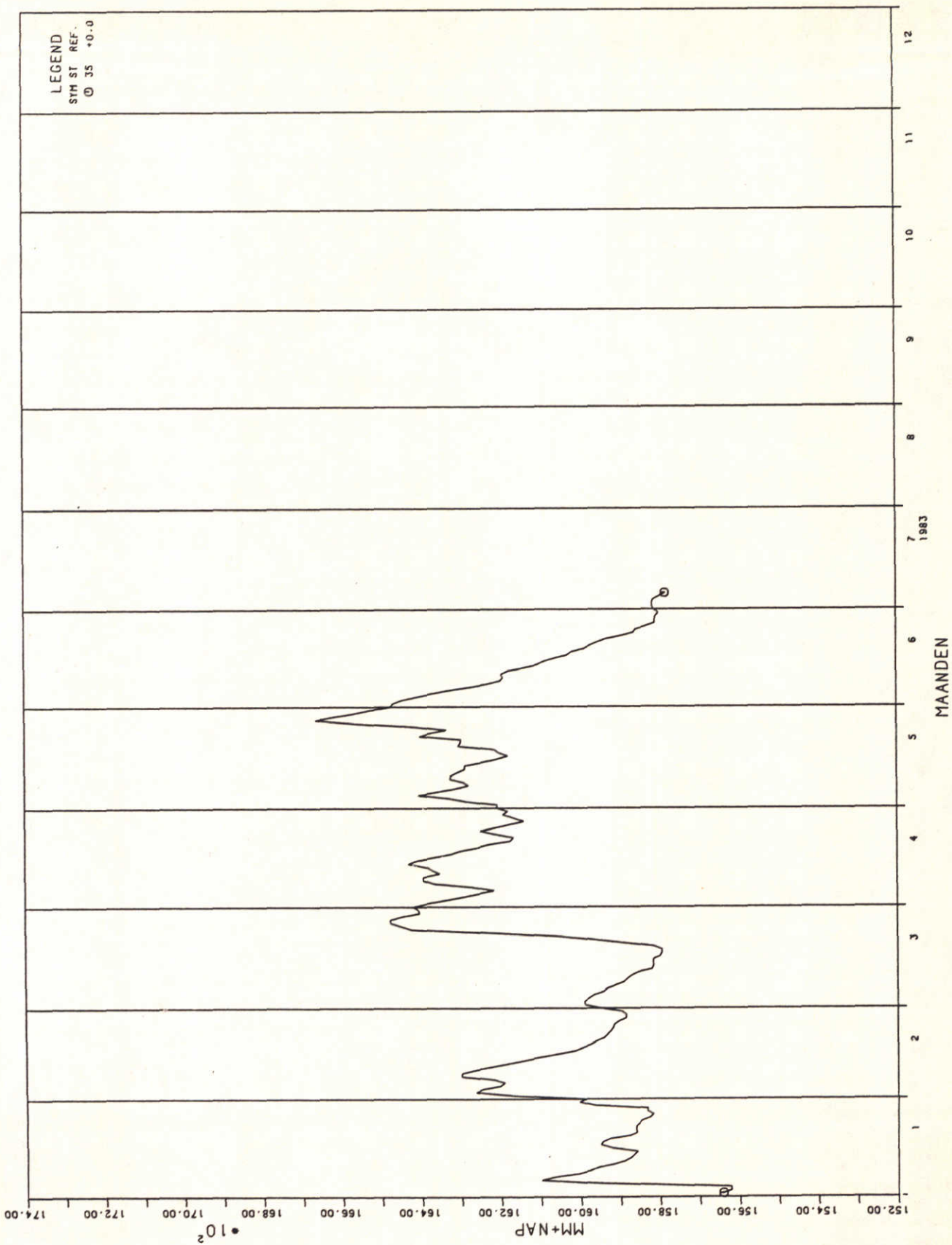
GRONDWATER DATA NOORD SLEEN I

1982

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6 -17



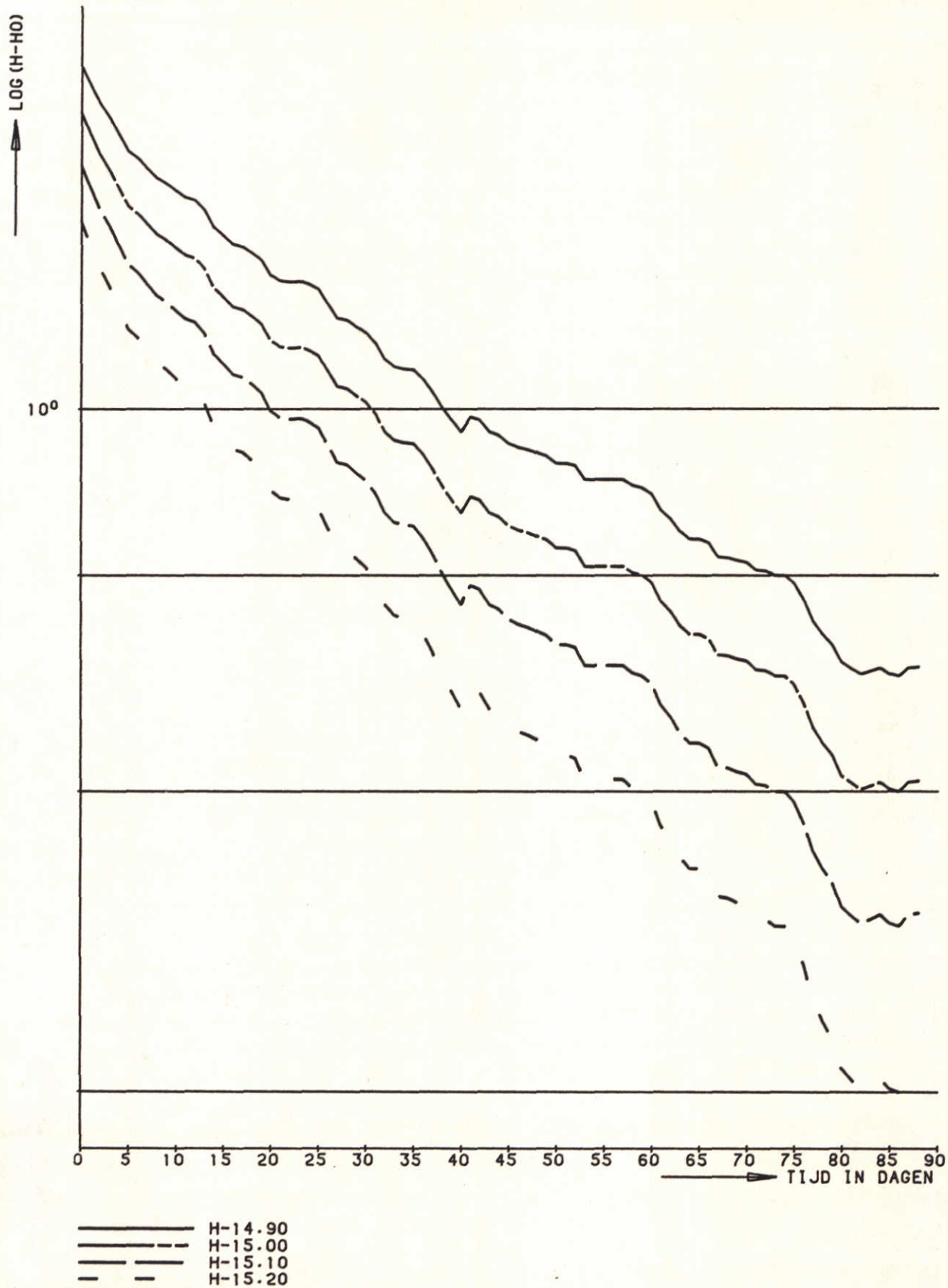
GRONDWATER DATA NOORD SLEEN I

1983

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6 -18



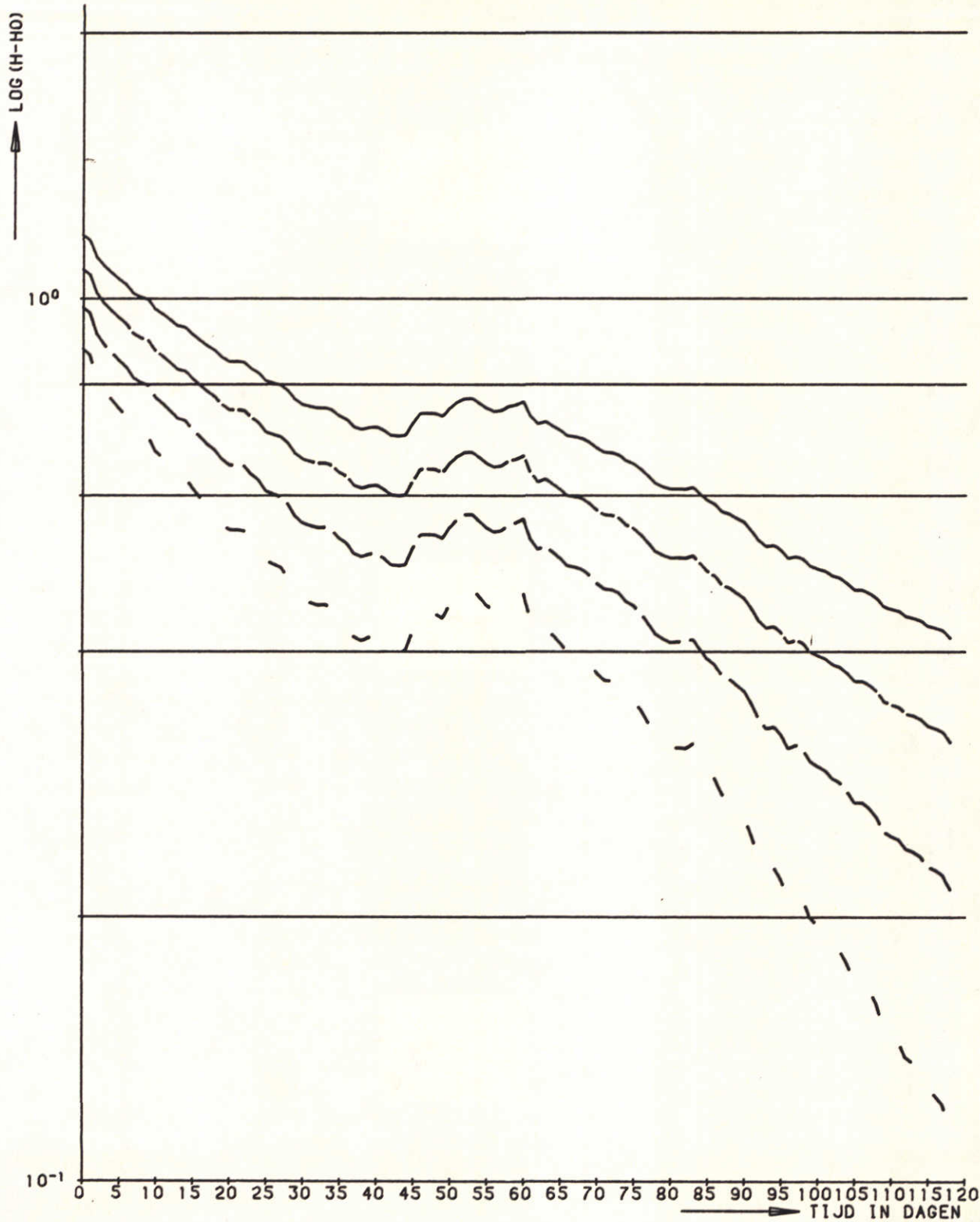
GRONDWATERSTAND OP LOGSCHAAL
 1 APRIL-28 JUNI 1978

NOORD SLEEN 1

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-19



——— H-14.90
 - - - H-15.00
 — — — H-15.10
 - - - H-15.20

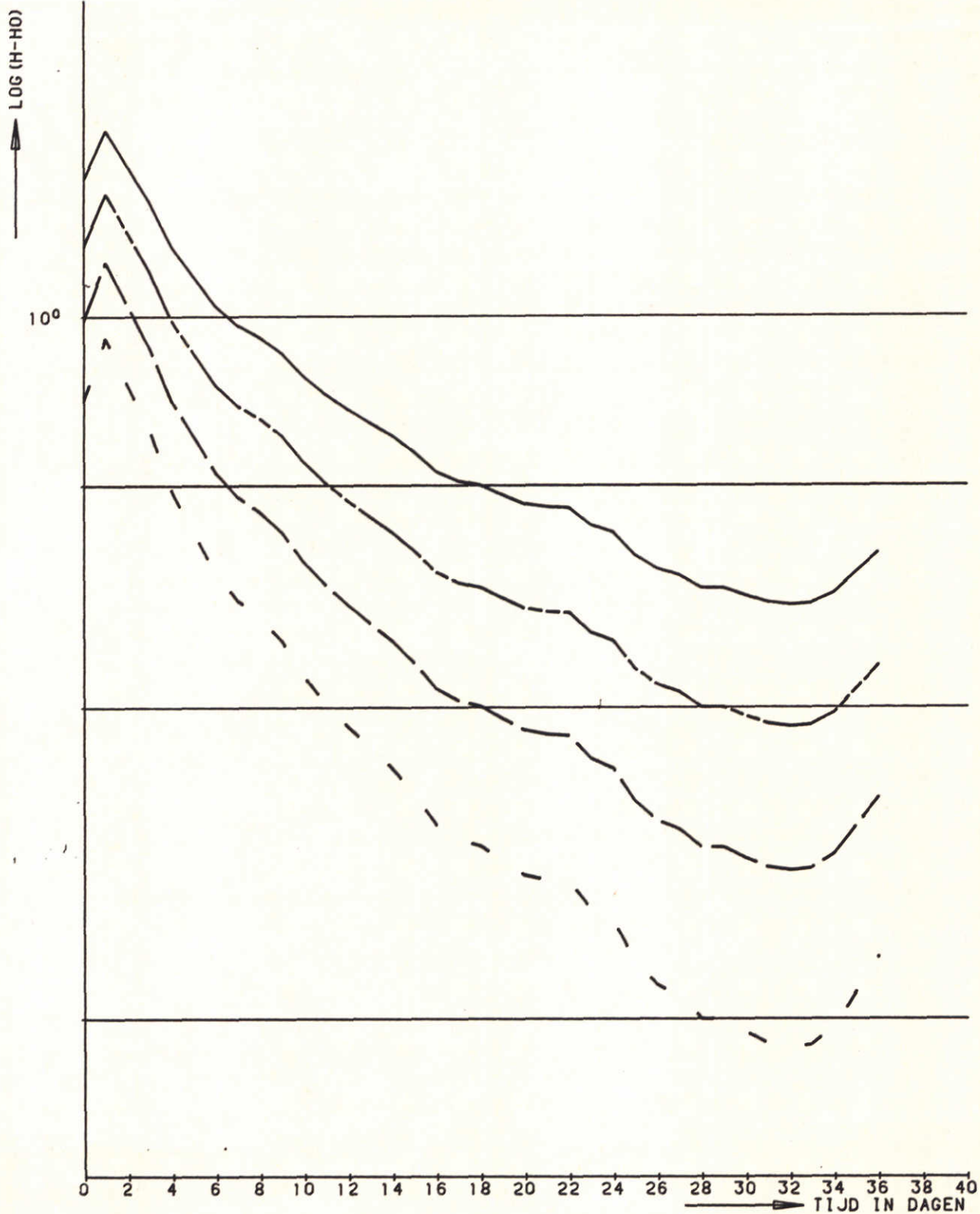
GRONDWATERSTAND OP LOGSCHAAL
15 JUNI-11 OKTOBER 1979

NOORD SLEEN I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-20



——— H-14.90
 - - - H-15.00
 - - - H-15.10
 - · - H-15.20

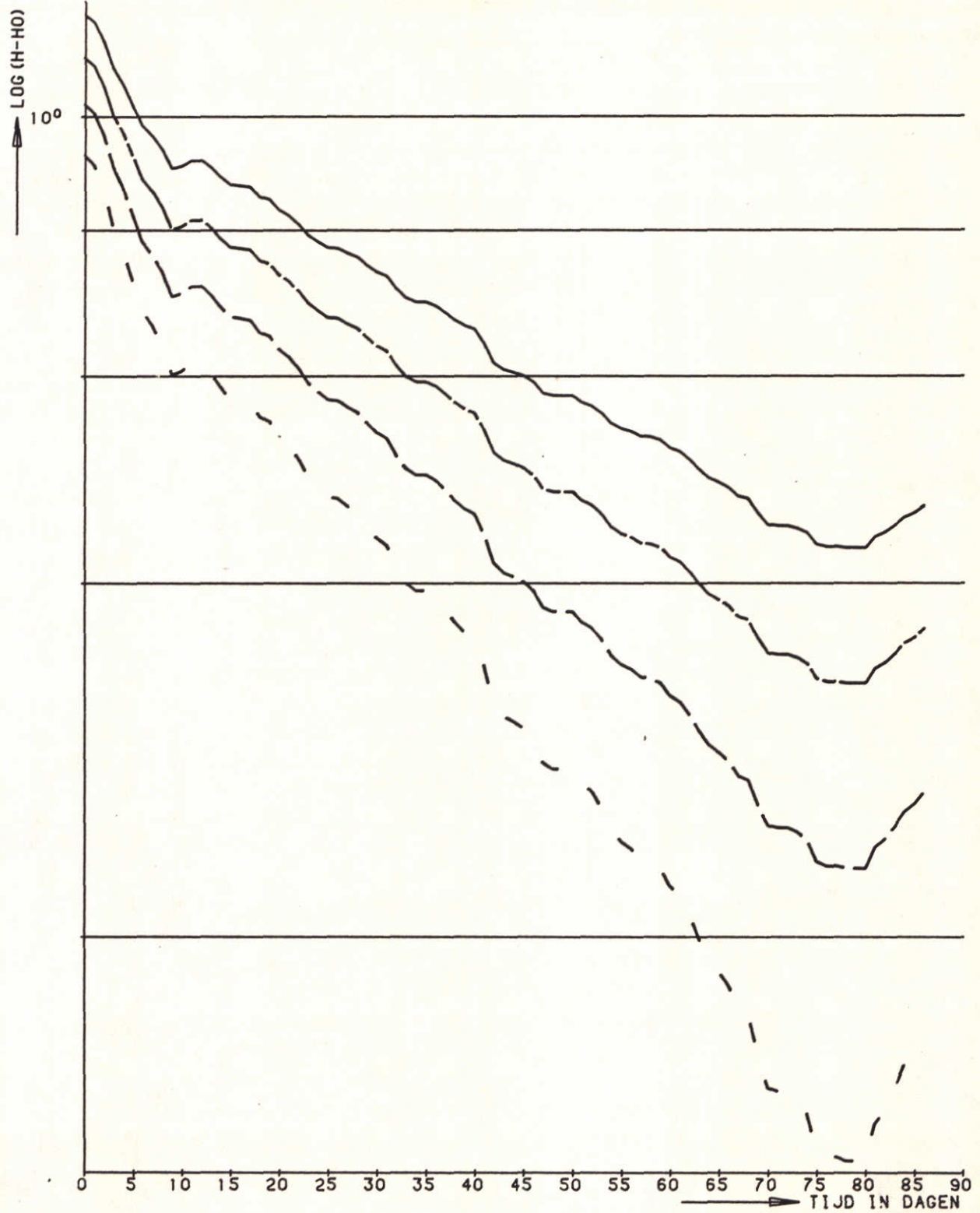
GRONDWATERSTAND OP LOGSCHAAL
12 AUGUSTUS-17 SEPTEMBER 1980

NOORD SLEEN I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-21



——— H-14.90
 - - - H-15.00
 - · - H-15.10
 - - - H-15.20

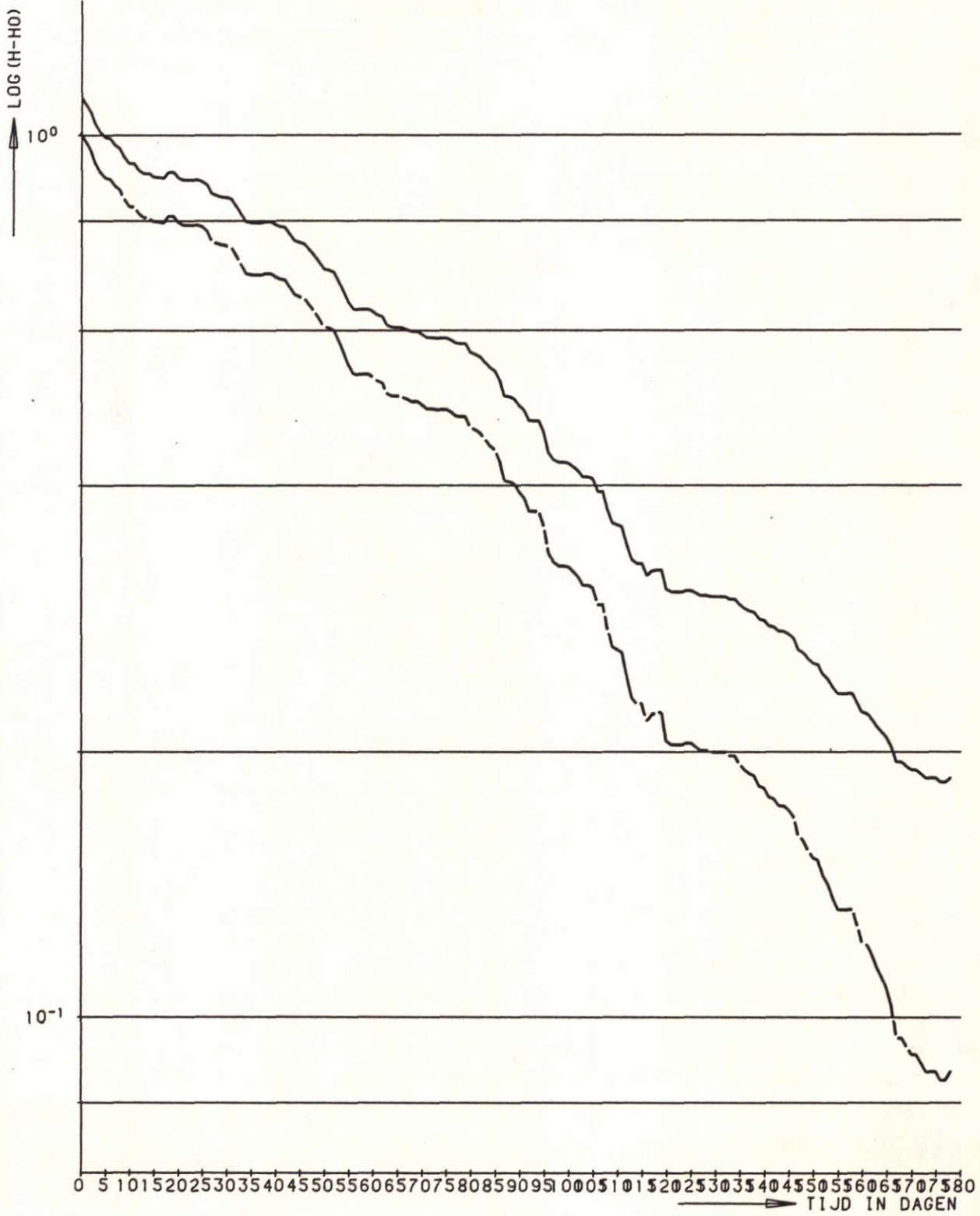
GRONDWATERSTAND OP LOGSCHAAL
1 JULI-25 SEPTEMBER 1981

NOORD SLEEN I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-22



——— H-14.90
 - - - H-15.00

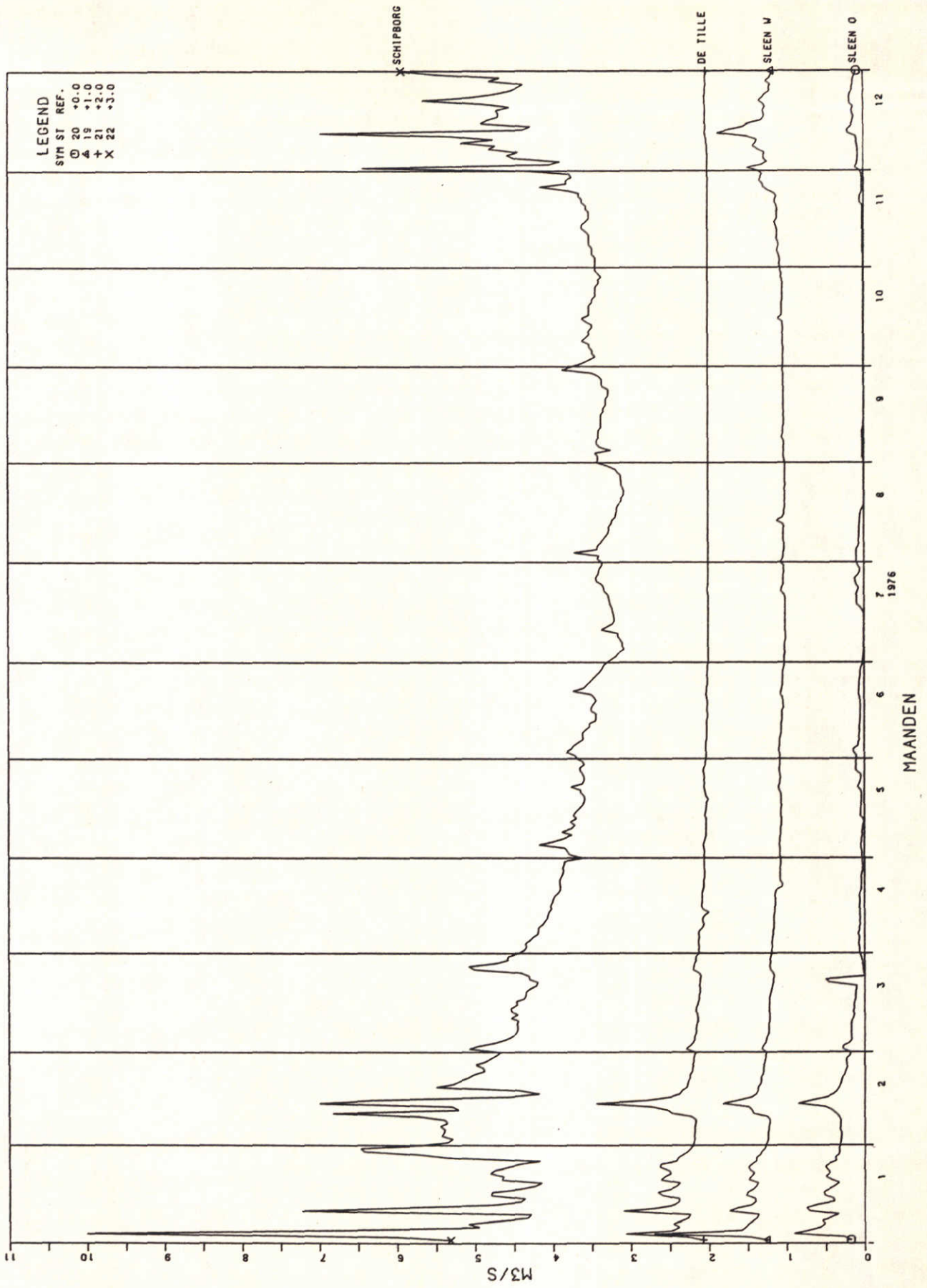
GRONDWATERSTAND OP LOGSCHAAL
 15 APRIL - 10 OKTOBER 1982

NOORD SLEEN I

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG. 6-23

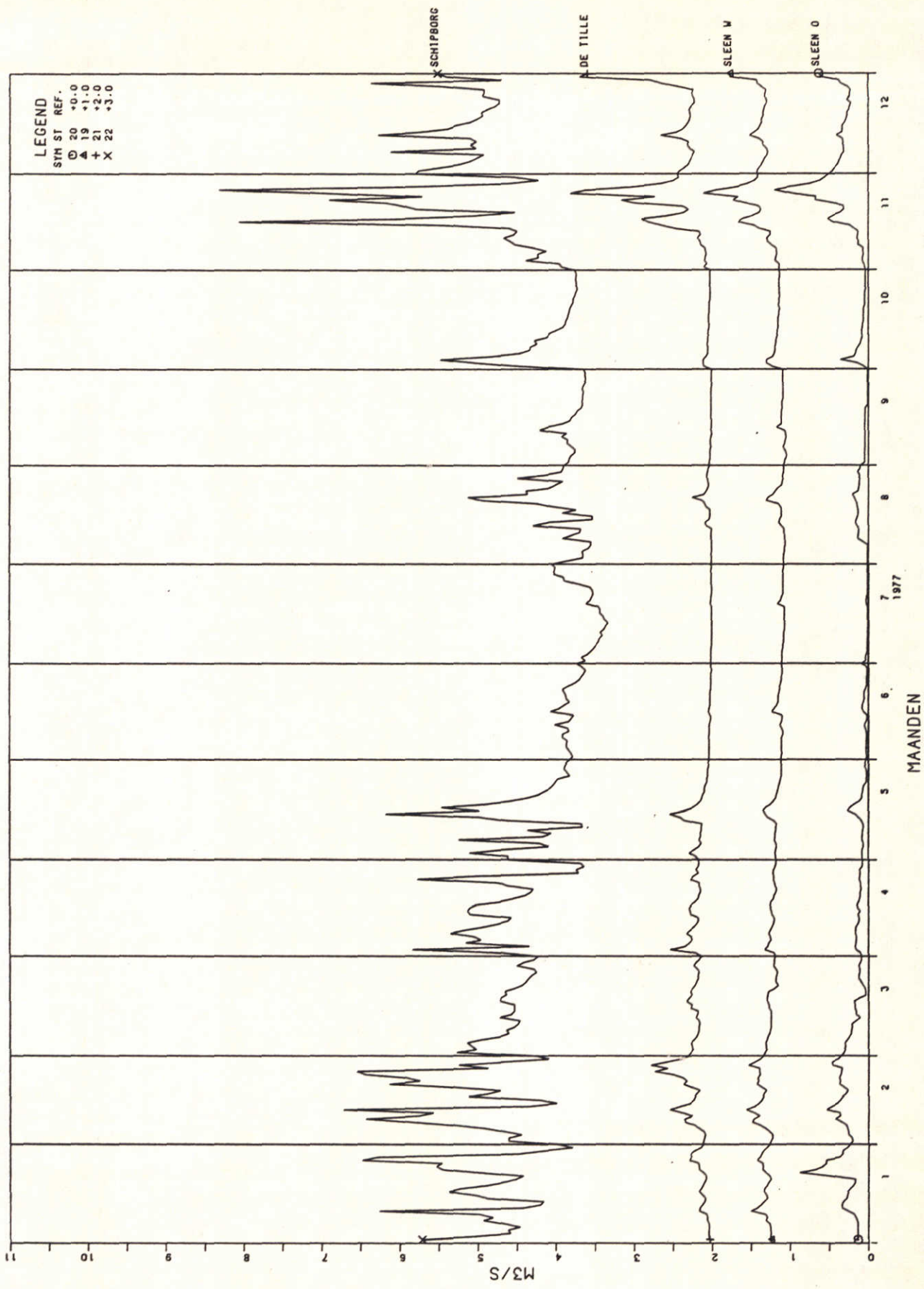


AFVOER DATA DRENTE
1976

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG. 6-24

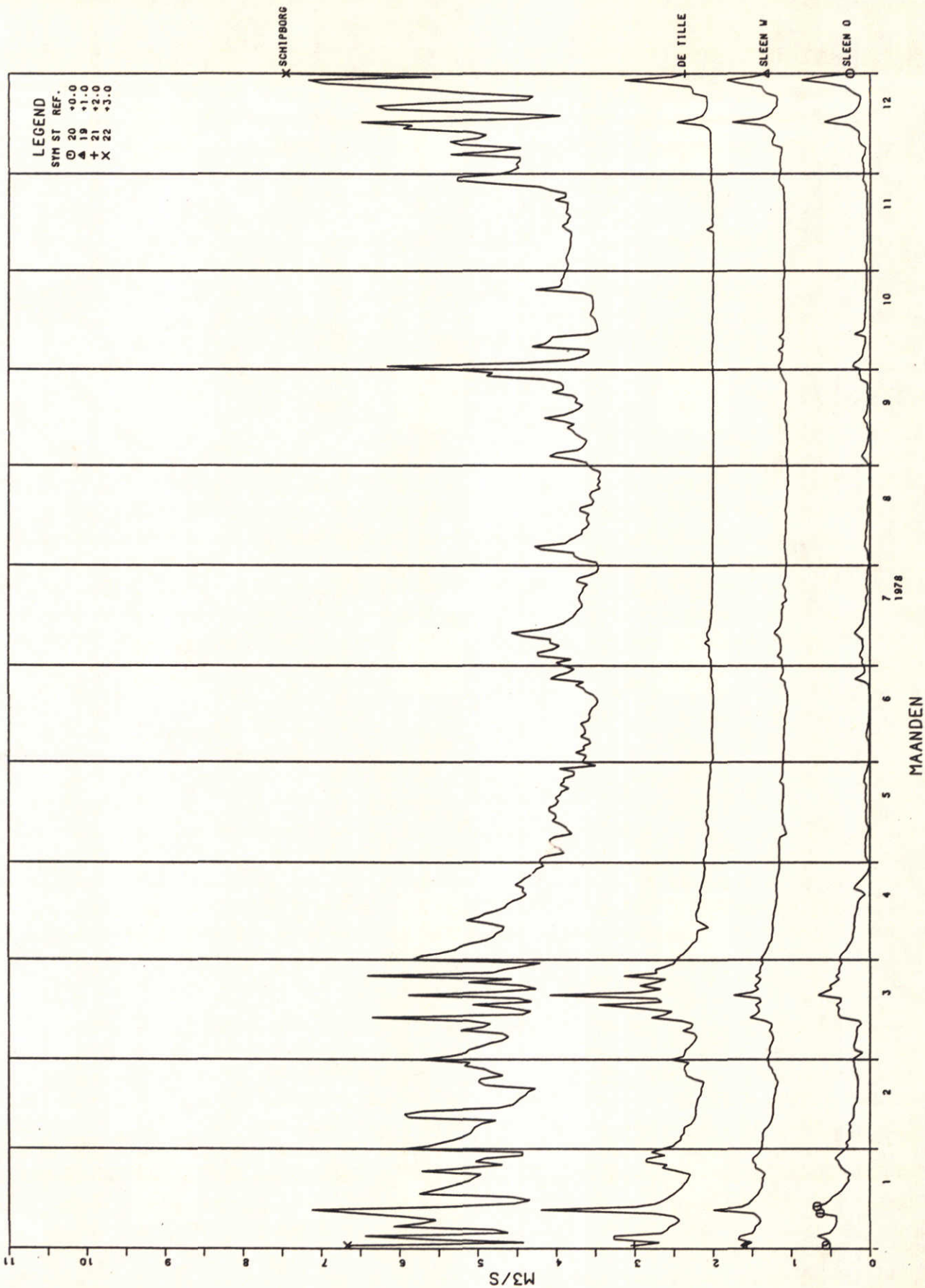


AFVOER DATA DRENTE
 1977

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG. 6-25

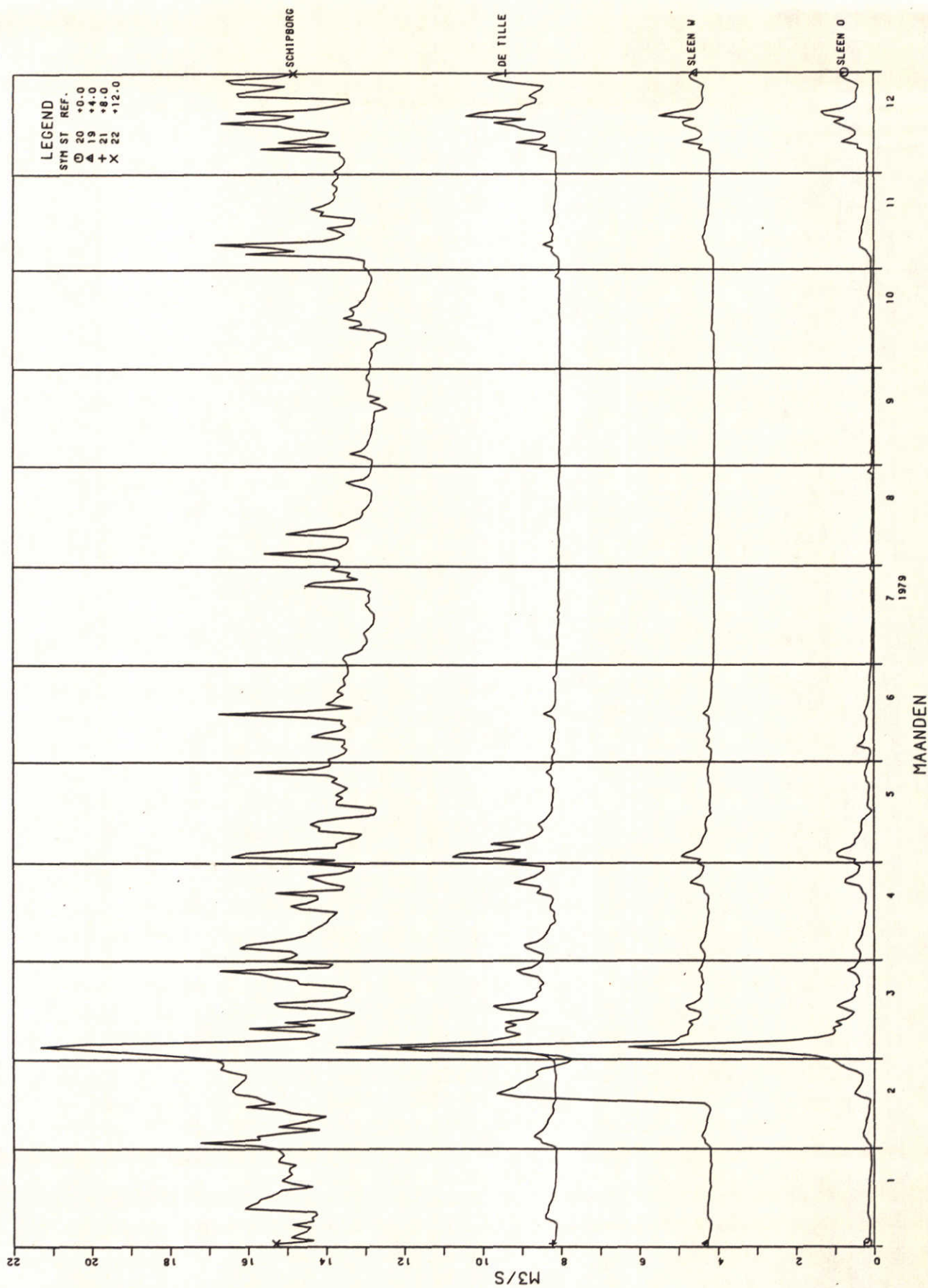


AFVOER DATA DRENTE
 1978

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG.6-26

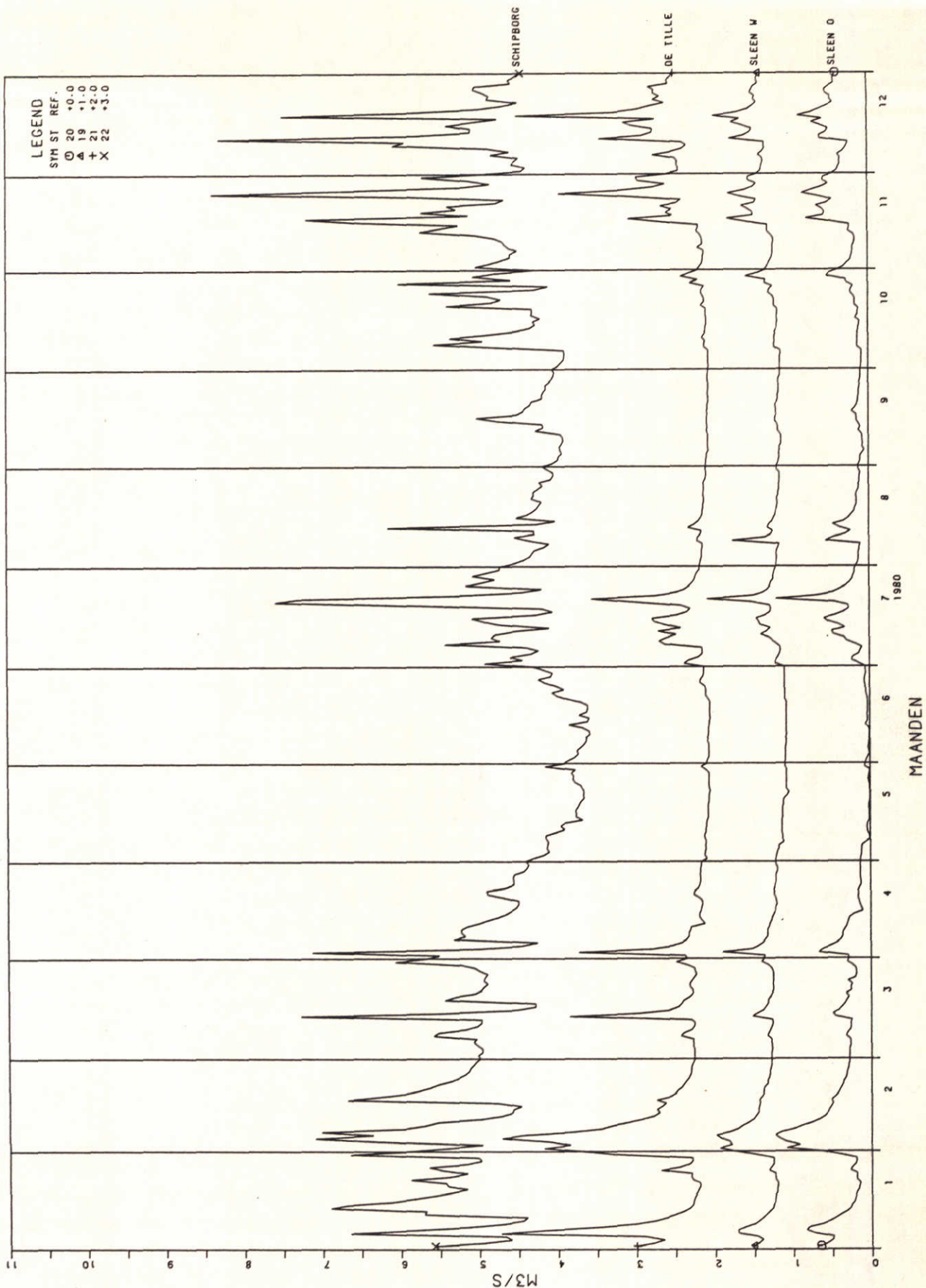


AFVOER DATA DRENTE
1979

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG.6-27

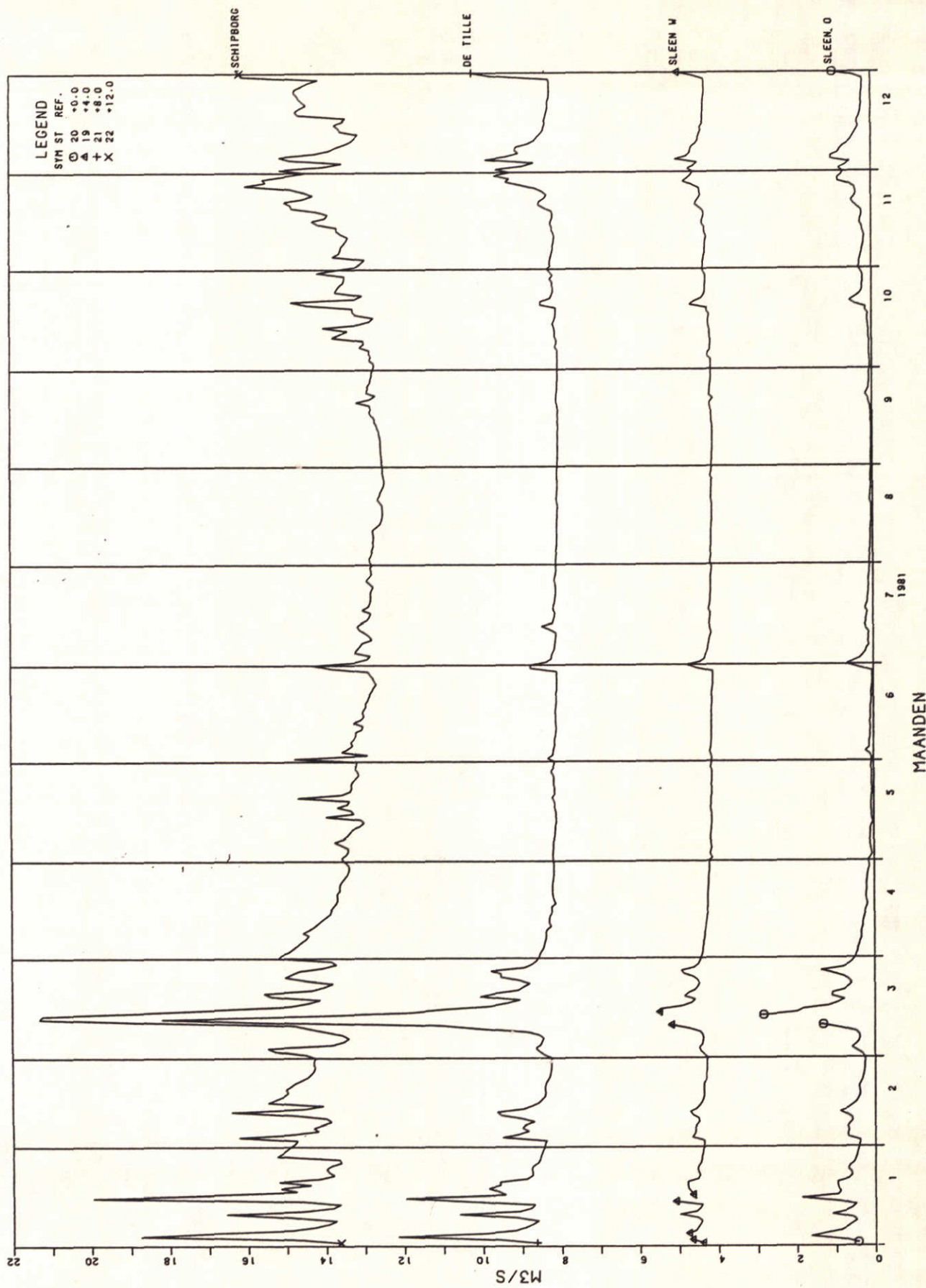


AFVOER DATA DRENTE
1980

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG. 6-28

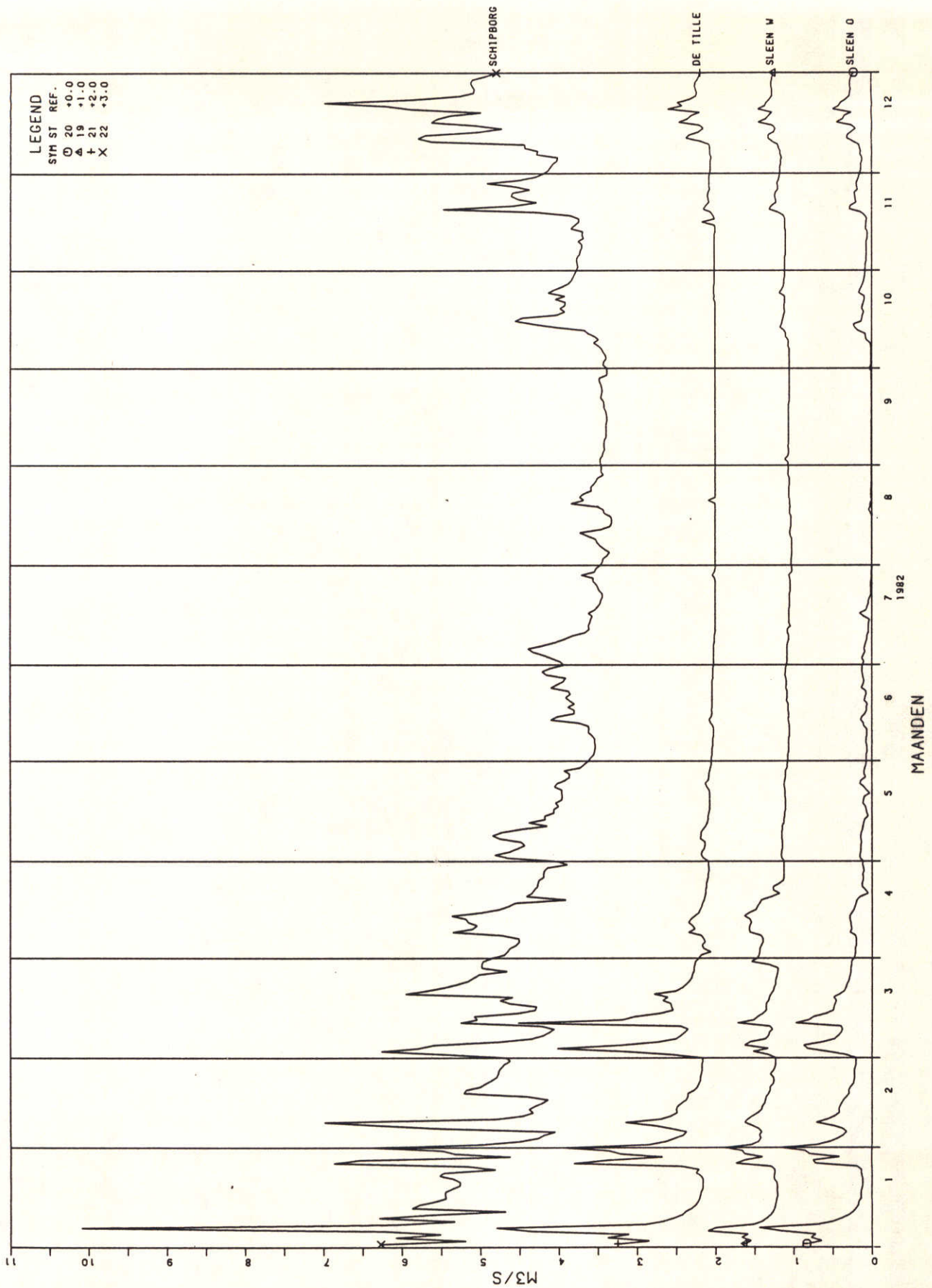


AFVOER DATA DRENTE
 1981

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1230

FIG. 6-29

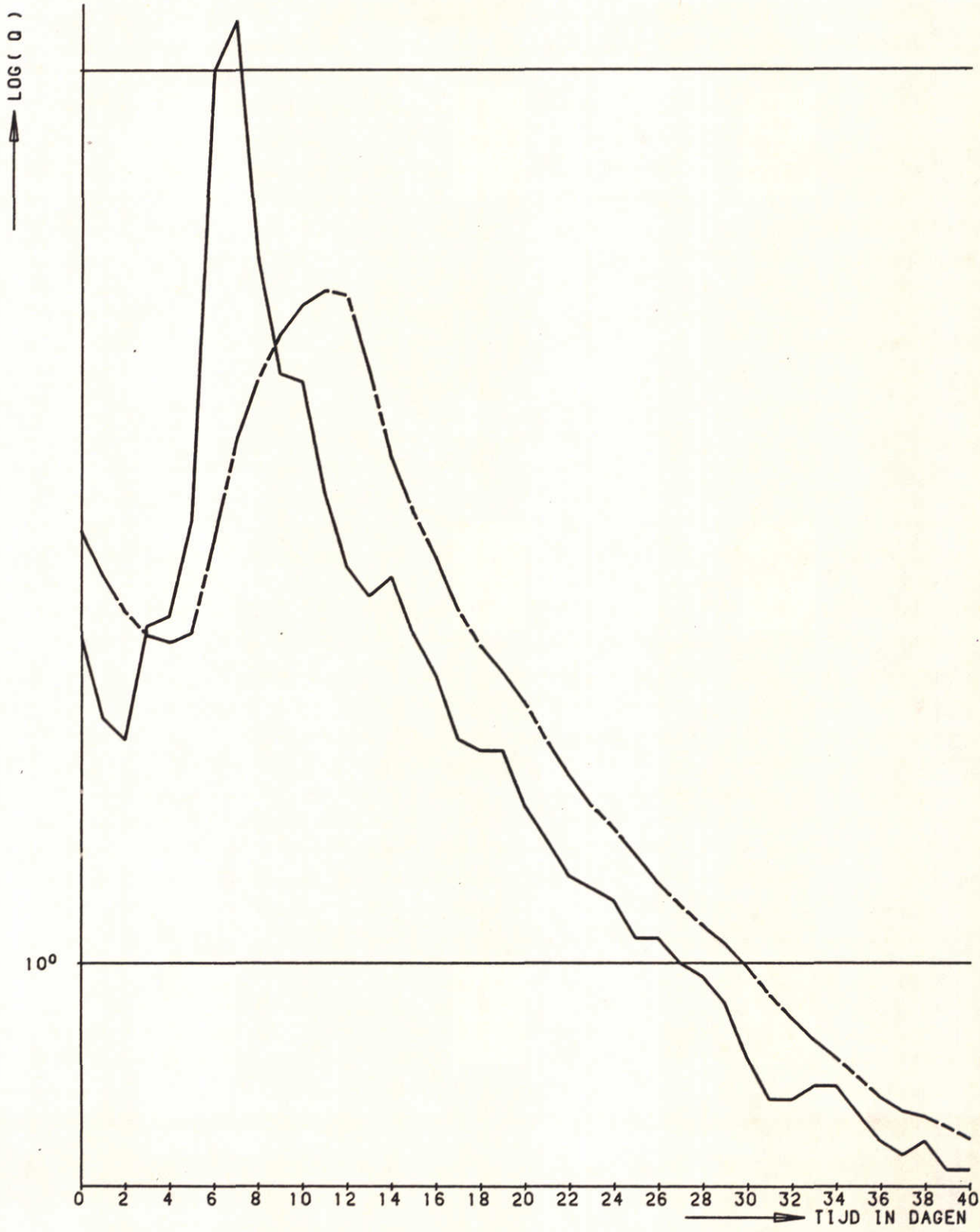


AFVOER DATA DRENTE
 1982

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-30



——— Q-GEM.
 - - - - - VOORTSCHR. GEM.

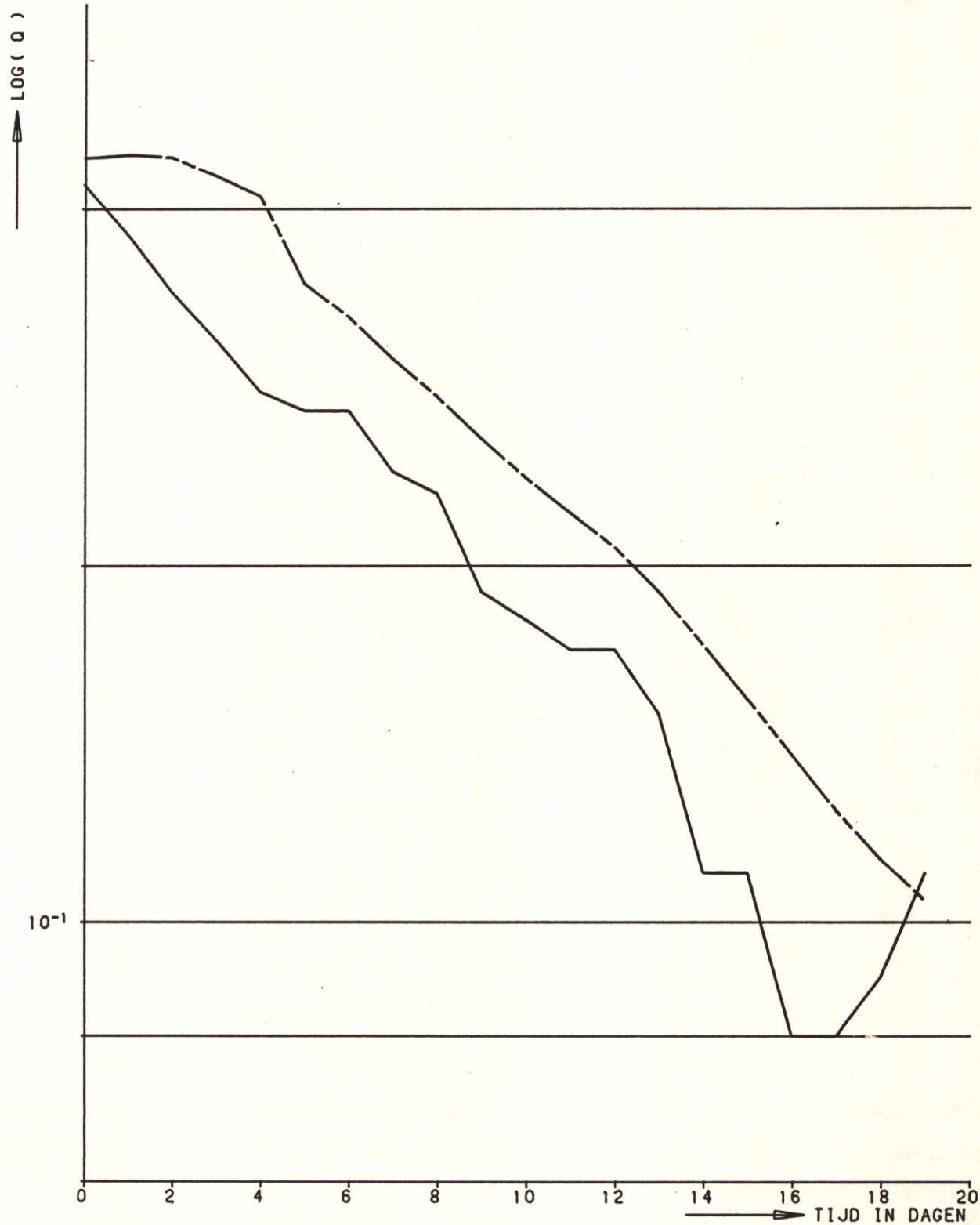
DAGAFVOER OP LOGSCHAAL
 20 MAART - 29 APRIL 1976
 1976

SCHIPBORG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-31



—— Q-GEM.
 - - - VOORTSCHR. GEM.

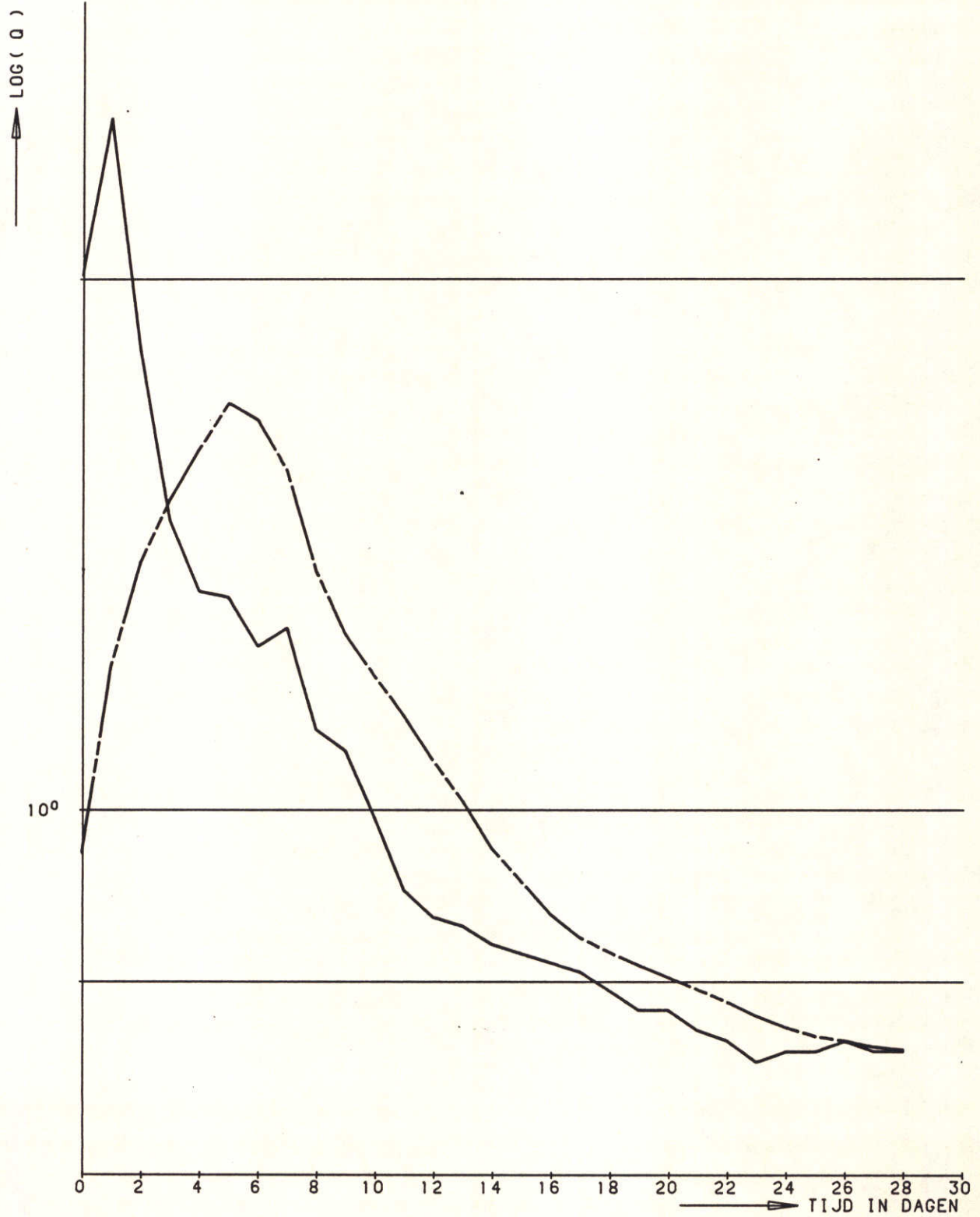
DAGAFVOER OP LOGSCHAAL
 5 - 24 AUGUSTUS 1976

SCHIPBORG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-32



—— Q-GEM.
 - - - - VOORTSCHR. GEM.

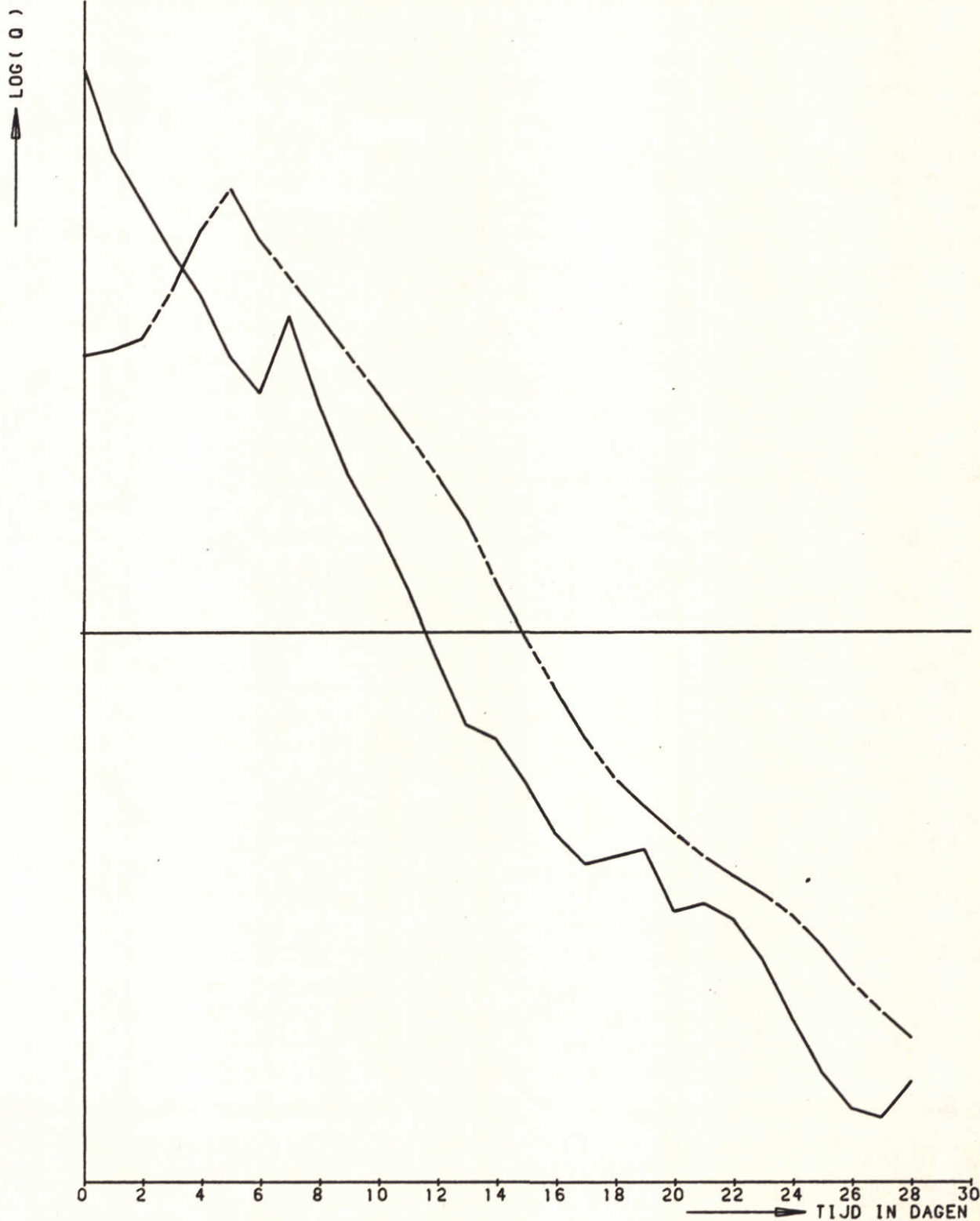
DAGAFVOER OP LOGSCHAAL
 2 - 30 OKTOBER 1977

SCHIPBORG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-33



——— Q-GEM.
 - - - VOORTSCHR.-GEM.

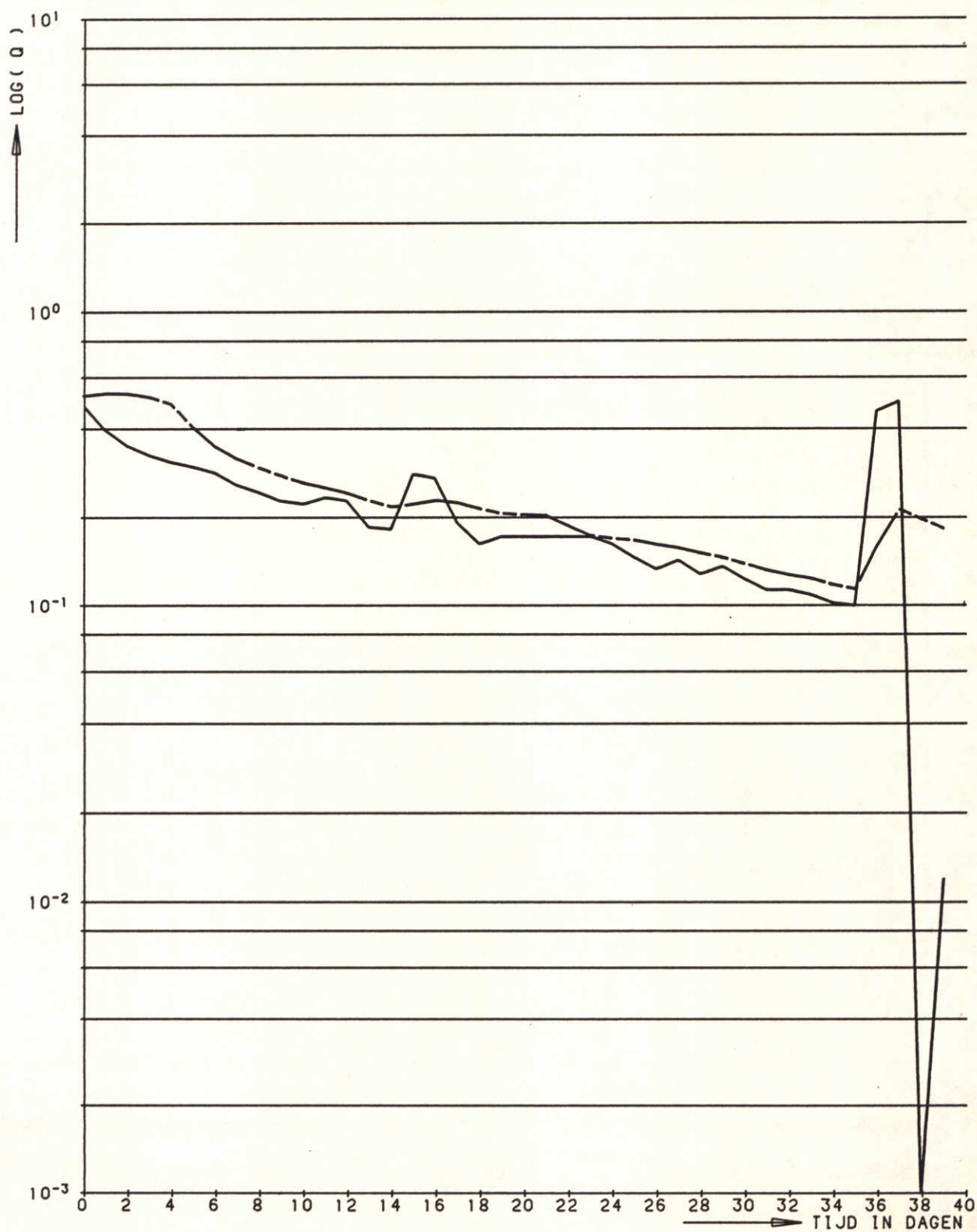
DAGAFVOER OP LOGSCHAAL
 1 - 29 APRIL 1981

SCHIPBORG

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-34



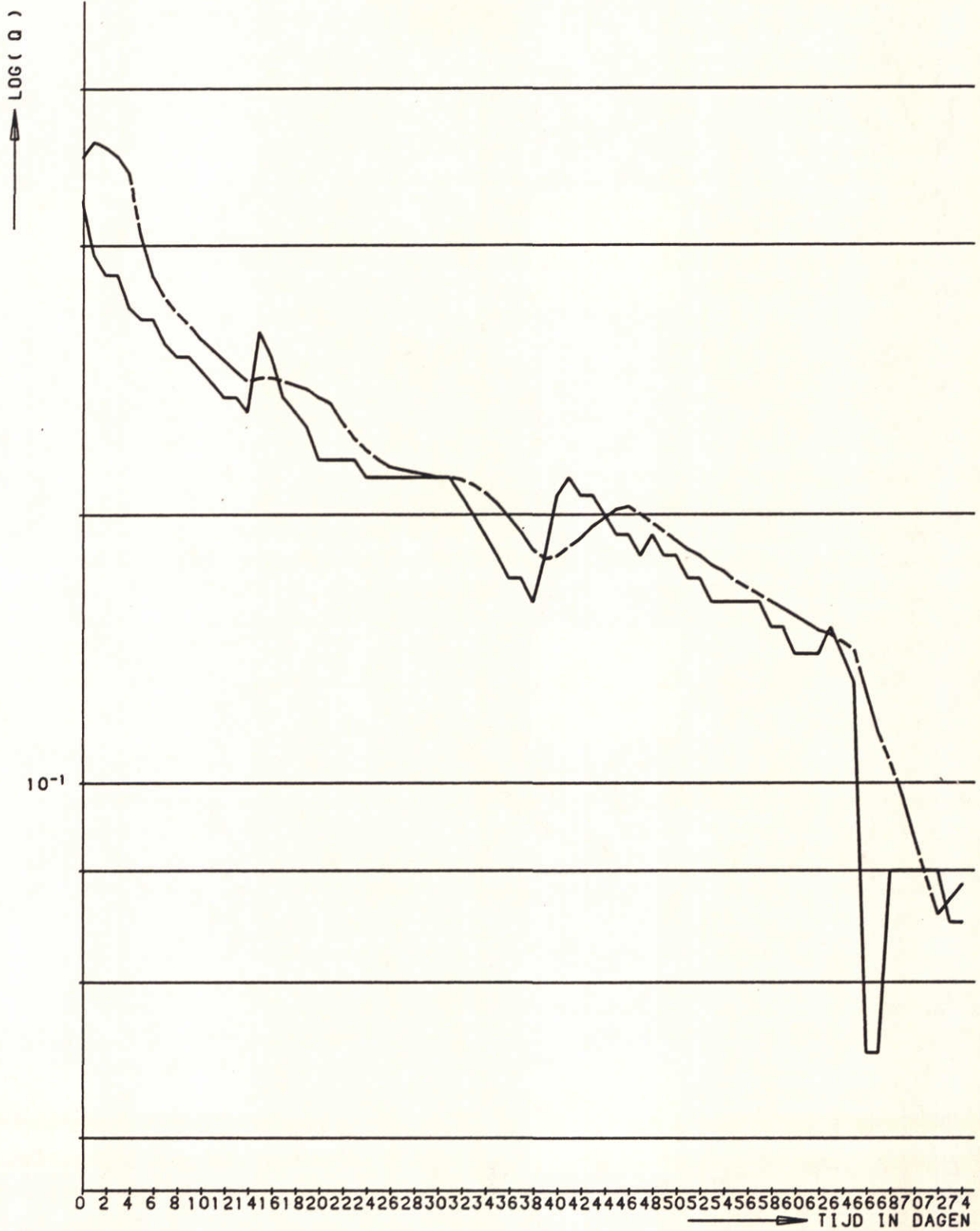
DAGAFVOER OP LOGSCHAAL
15 FEBRUARI - 25 MAART 1976

SLEEN 0

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-35



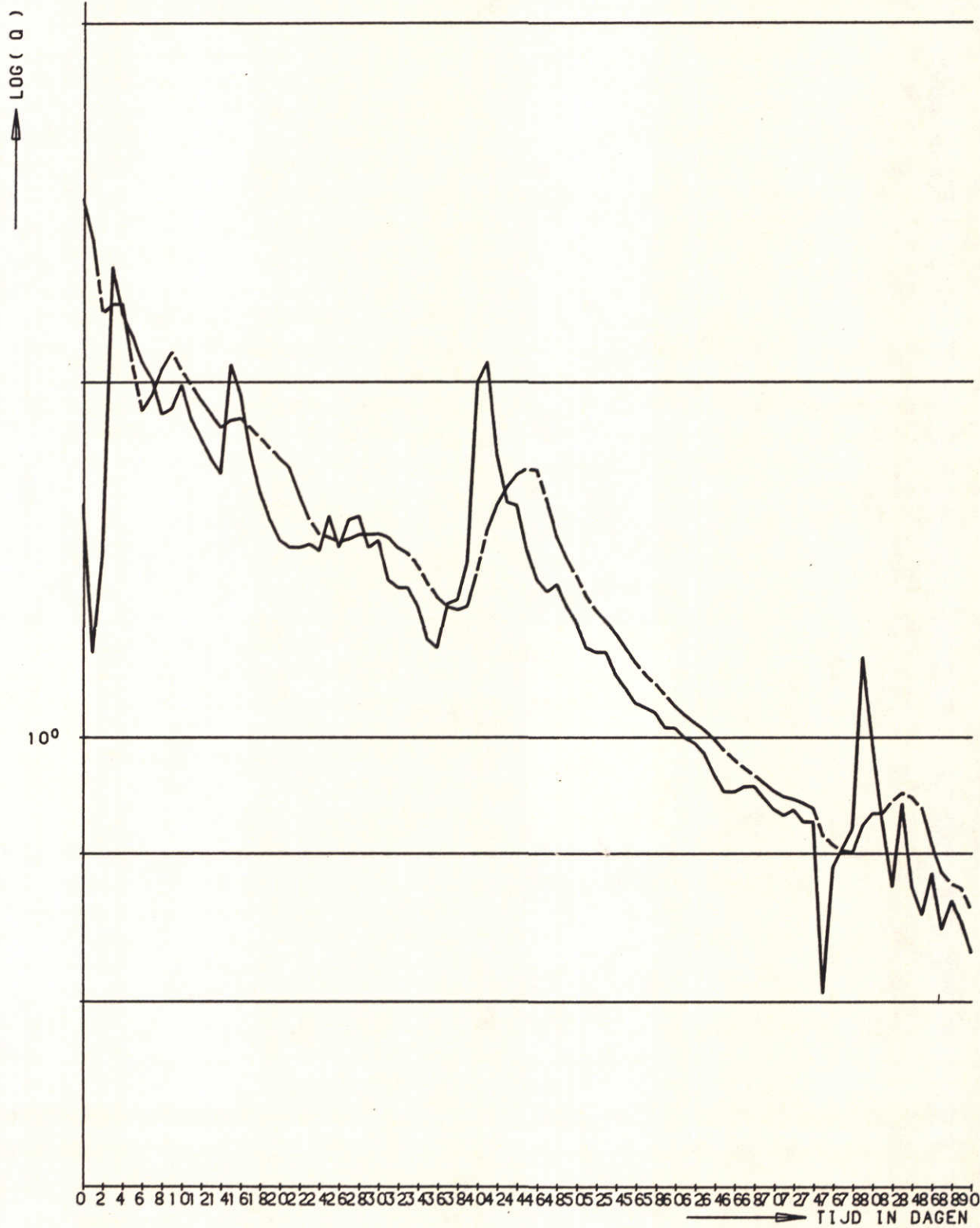
DAGAFVOER OP LOGSCHAAL
15 FEBRUARI - 29 APRIL 1976

SLEEN W

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-36



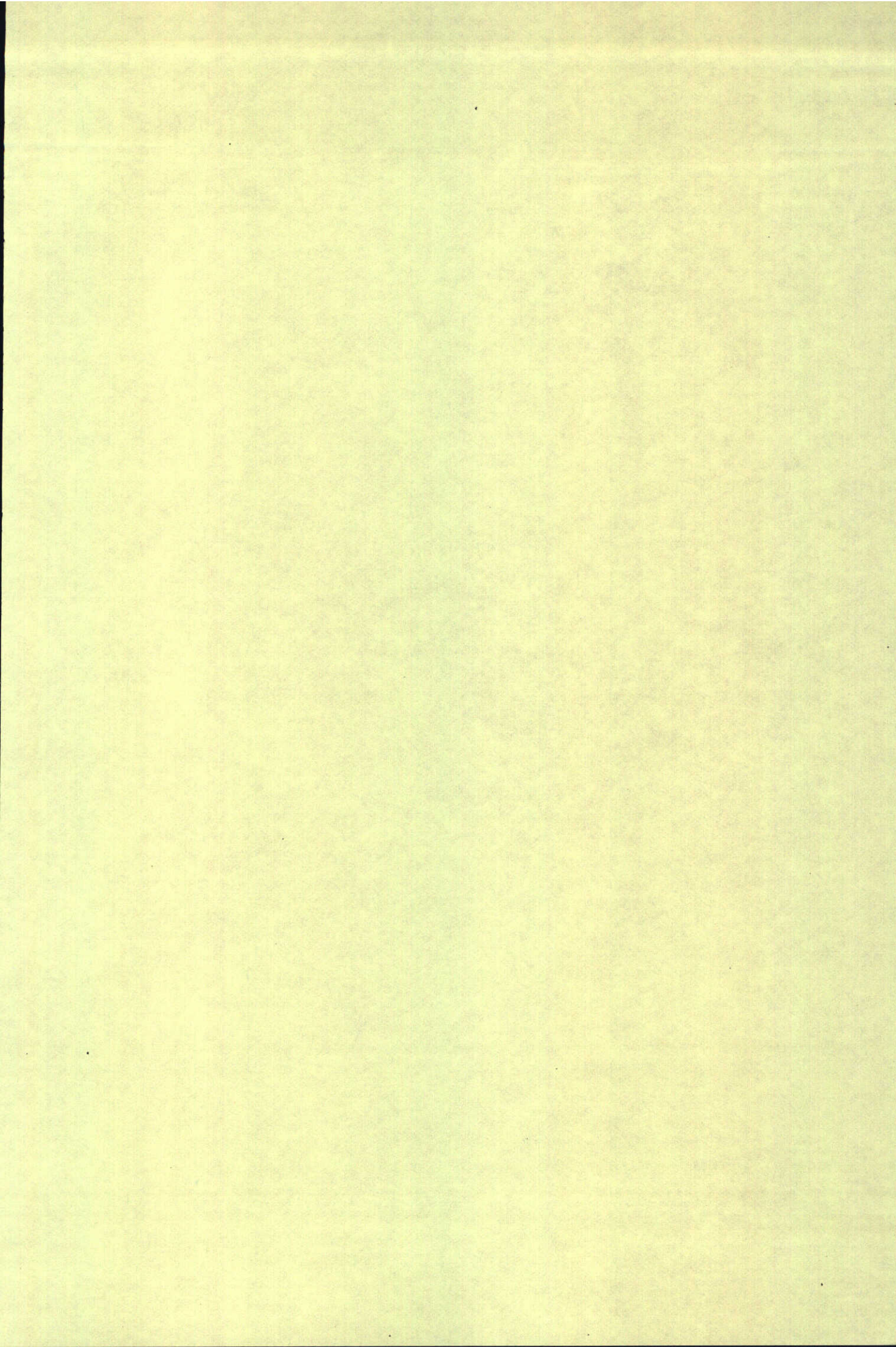
DAGAFVOER OP LOGSCHAAL
15 FEBRUARI - 15 MEI 1976

DE TILLE

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R1230

FIG.6-37



BIJLAGE I - Overzicht PAWN-modellen

I.1 Elementen van de waterhuishouding van Nederland

Voor de simulatie van de waterhuishouding van Nederland is in het kader van de PAWN-studie een aantal modellen ontwikkeld. De simulatieberekeningen hebben tot doel de effecten na te gaan (kosten/baten analyse) van ingrepen in de waterhuishouding voortvloeiend uit een bepaald beleid bij gegeven hydrologische randvoorwaarden. Als compromis tussen gewenst detail en hanteerbaarheid van de berekeningen is Nederland verdeeld in 77 distrikten, die water afvoeren of c.q. onttrekken aan het distributiesysteem, dat de belangrijkste rivieren, kanalen en oppervlaktewaterreservoirs omvat.

Distrikt

Een distrikt is een hydrologische eenheid van zodanige afmetingen dat de details van de waterbeweging in het stelsel van open waterleidingen niet belangrijk zijn voor het waterbeheer. Het wordt gekenmerkt door de volgende eigenschappen:

1. het oppervlaktewatersysteem binnen een distrikt is onderling verbonden en wordt verondersteld één konstante waterspiegel te bezitten
2. de neerslag en open waterverdamping wordt verondersteld binnen een distrikt ruimtelijk homogeen te zijn
3. alle delen lozen of onttrekken op dezelfde wijze op c.q. aan het externe oppervlaktewatersysteem, en
4. geen zoutconcentratiegradiënten in het oppervlaktewater, d.w.z. er treedt volledige menging op.

Binnen een distrikt wordt onderscheid gemaakt tussen:

1. het oppervlaktewatersysteem, dat is het systeem van open waterreservoirs en open waterlopen (zoals sloten, beken en kanalen die niet in het bovengenoemde distributiesysteem zijn opgenomen) dat op één plaats water onttrekt aan en op één plaats water loost op het distributiesysteem, waarbij de plaatsen van lozing en onttrekking niet noodzakelijkerwijs dezelfde zijn
2. het verhard oppervlak, dat zijn de gebieden met een ondoorlatend oppervlak zoals wegen, gebouwen enz. waarvan het regenwater minus een geringe verdampingscorrectie direkt afwatert naar het oppervlaktewatersysteem

3. het begroeid oppervlak, dat de landbouw- en natuurgebieden omvat, onder te verdelen in subdistrikten, die op hun beurt weer verdeeld worden in één of meerdere plots. In verticale richting wordt de bodem van het begroeide oppervlak geschematiseerd in wortelzone en ondergrond, die de onverzadigde en verzadigde grondwaterzone omvat.

Begroeid oppervlak

De onderverdeling van het begroeid oppervlak in horizontale richting wordt bepaald door de volgende factoren:

1. grondsoort van wortelzone en van ondergrond; totaal zijn 16 wortelzone/ondergrond grondsoortkombinaties onderscheiden
2. landvorm; onderscheid wordt gemaakt tussen:
 - a. lage gronden, dit zijn gronden met een maaiveldhoogte $< 2 \text{ m}^+$ NAP met een absolute peilbeheersing in de drainagemiddelen; deze gronden worden aangeduid met kode HILO = 0,
 - b. hoge gronden, met een maaiveldhoogte $> 2 \text{ m}^+$ NAP, waarbij geen absolute peilbeheersing in de sloten plaatsvindt. Hoge gronden worden verdeeld in:
 - gronden met ondiep grondwater, gemiddeld $\leq 1 \text{ m}^-$ maaiveld, kode HILO = 1, en
 - gronden met diep grondwater, gemiddeld $> 1 \text{ m}^-$ maaiveld, kode HILO = 2
3. gewassoort; onderscheid wordt gemaakt tussen 13 verschillende landbouwgewassen (cash crop) en natuurlijke vegetatie (nature). Bij de landbouwgewassen wordt voorts onderscheid gemaakt tussen veldgewassen en kasgewassen
4. vorm van berekening onderscheiden in
 - geen berekening
 - berekening vanuit het grondwater
 - berekening vanuit het oppervlaktewater.

Subdistrikt

Een subdistrikt is gedefinieerd als een deel van een distrikt met een bepaalde karakterisering ten aanzien van de grondsoort en landvorm, te weten:

1. één bepaalde combinatie van grondsoort voor de wortelzone en de ondergrond
2. één waarde voor de landvorm parameter HILO.

Totaal zijn 143 subdistrikten onderscheiden.

Plot

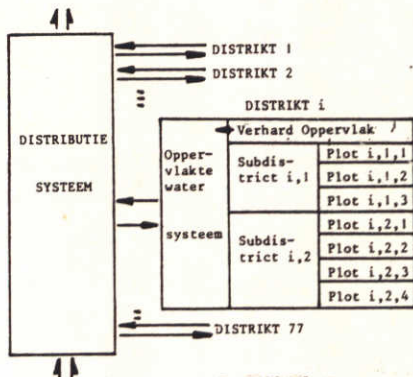
Een plot is een gedeelte van een subdistrikt, gekenmerkt door een zeker type gewas en een bepaald type beregening.

Binnen een distrikt wordt een plot dus gekarakteriseerd door

- één grondsoortcombinatie voor wortelzone/ondergrond
- één HILO kode
- één gewassoort, en
- één vorm van beregening.

De plot is de kleinste eenheid die in de modellering van de waterhuishouding van Nederland wordt beschouwd. In totaal zijn 1259 plots onderscheiden in de PAWN-studie.

Interaktie tussen de elementen



Figuur I-1 geeft schematisch de interactie tussen de onderscheiden elementen van de waterhuishouding van Nederland weer. De waterbeweging binnen een distrikt wordt in hoofdstuk 3 meer in detail behandeld.

Figuur I-1

I.2 Hiërarchie van de PAWN-modellen

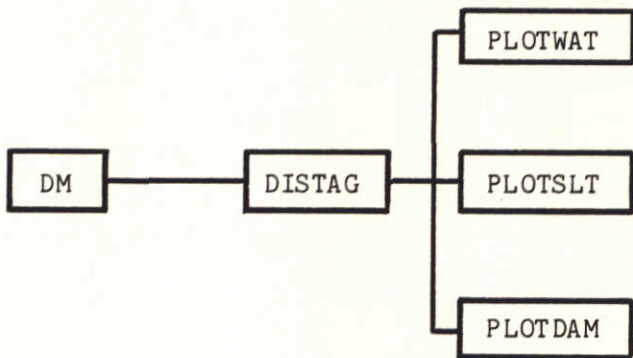
In de PAWN-studie zijn voor de simulatie van de waterhuishouding de volgende modellen ontwikkeld:

1. het Distribution Model (DM), dat het distributiesysteem simuleert. DM berekent:
 - de waterbeweging in het distributiesysteem.
 - de concentratie van zout en andere verontreinigingen in het distributiesysteem
 - effecten voor diverse groepen van watergebruikers, zoals landbouw, scheepvaart, elektriciteitscentrales, enz.
2. het DISTRICT hydrologic and AGRiculture model (DISTAG), dat de waterhuishouding van een distrikt simuleert. DISTAG berekent bij gegeven distrikt-eigenschappen, initiële vochtvoorraad en waterkwaliteit en hydrologische randvoorwaarden de volgende grootheden per tijdstap:
 - vochtvoorraad en waterkwaliteit in het distrikt aan het eind van de tijdstap
 - lozing en onttrekking van water op c.q. aan het distributiesysteem en de hoeveelheid water benodigd voor beregening.
 - zoutconcentratie van het water geloosd op het distributiesysteem
 - kosten en baten voor de landbouw, zoals:
 - . kosten van beregening
 - . schade aan gewassen ten gevolge van droogte
 - . schade aan gewassen ten gevolge van zout.

DISTAG maakt gebruik van een drietal submodellen om de meer specifieke landbouwkundige aspecten van de waterhuishouding in een distrikt te beschrijven op plotniveau, te weten:

1. het PLOT WATER model (PLOTWAT), dat de waterbeweging in een plot beschrijft en de waterbehoefte voor de landbouw vaststelt
2. het PLOT SaLT model (PLOTSLT), dat de zoutconcentraties in de wortelzone en de ondergrond berekent, en
3. het PLOT DAMAge model (PLOTDAM) voor de berekening van de landbouwschade.

Uit het voorgaande volgt de volgende hiërarchie van de genoemde modellen:



Figuur I-2 HIPO van PAWN-modellen

Bij de uitvoering van de berekeningen wordt onderscheid gemaakt tussen de zgn. request mode en de delivery mode. Dit houdt in dat per tijdstap (= decade) eerst de waterbehoefte van alle distrikten wordt vastgesteld waarna op basis van beschikbaarheid van water in het distributiesysteem water aan de distrikten wordt toegekend, als volgt:

- stap 1: via PLOTWAT bepaalt DISTAG de waterbehoefte voor de landbouw per plot
- stap 2: DISTAG bepaalt de waterbehoefte per distrikt door sommatie van de waterbehoefte van de landbouw per plot en de waterbehoefte van andere gebruikers
- stap 3: DM weegt de waterbehoeftes van de distrikten en van de verschillende gebruikers op nationaal niveau en kent water toe aan de distrikten overeenkomstig een gekozen beleidsstrategie
- stap 4: DISTAG verdeelt de aan een distrikt toegekende hoeveelheid water onder de diverse gebruikers en berekent het effect hiervan voor de landbouw.

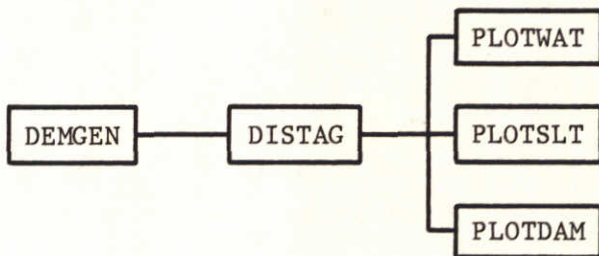
I.3 Model DEMGEN

Het model DEMand GENERator (DEMGEN) is een computerprogramma ook ontwikkeld in het kader van de PAWN-studie, waarmee het waterbeheer op regionaal niveau kan worden gesimuleerd in plaats van op nationaal niveau zoals met het Distribution Model. In het schema gepresenteerd in figuur I-2 komt DEMGEN in de plaats van het Distribution Model DM voor regionale waterbeheersstudies waarbij de interactie met het national systeem niet nodig is. Deze studies kunnen inhouden:

- het bepalen van de waterbehoefte van distrikten voor een bepaald scenario ten aanzien van klimatologische omstandigheden en berekening

- het vaststellen van de gevolgen voor de landbouw van bepaalde lokale maatregelen als gelijkmatige grondwateronttrekkingen, uitbreiding van het landbouwareaal dat wordt beregend en het verruimen van de voorzieningsmogelijkheden.

In computertechnische zin fungeert het model DEMGEN als sturingsprogramma voor het model DISTAG, waarin de feitelijke berekeningen worden uitgevoerd. Hieruit volgt de volgende structuur van DEMGEN:



Figuur I-3 HIPO van model DEMGEN

Bij de toepassing van DEMGEN wordt geen afweging gemaakt met andere regio's met betrekking tot watertoelevering, zodat in afwijking met het gestelde in paragraaf 2.2 hier geen sprake is van een request- of delivery mode. Eventuele beperkingen in de waterleverantie worden voorgeschreven en zijn in DEMGEN een invoergrootheid.

Bijlage II Het Plot-watermodel (PLOTWAT)

Het Plot-watermodel berekent de waterbeweging in de kleinste hydrologische eenheid, de plot. In PLOTWAT is een plot geschematiseerd tot een verticale kolom grond, aan de bovenzijde begrensd door het maaiveld, aan de onderzijde door een hypothetisch vlak beneden de grondwaterspiegel. In een plot wordt onderscheid gemaakt tussen de wortelzone en de ondergrond, die zowel een onverzadigde als een verzadigde zone omvat.

De waterbalans van de wortelzone wordt bepaald door neerslag (R), verdamping ($A + A_b$), irrigatie (I), capillaire nalevering (v), oppervlakteafvoer (q_o) en bergingsverandering door variatie in het vochtgehalte (θ).

De waterbalans van de ondergrond wordt bepaald door infiltratie uit het peil-beheerst voorzieningssysteem (Inf), basisdrainage (D), toevoer vanuit het diepe grondwater (S), onttrekking van grondwater (G), irrigatie uit het grondwater (I_g), capillair transport naar de wortelzone (v) en verandering in het verzadigingsdeficiet (Δ).

Figuur II-1 toont een definitieschets. De balanstermen A , A_b , q_o , v , θ , Δ en D worden door PLOTWAT berekend; de overige termen worden als onafhankelijke variabelen door de gebruiker opgegeven. Naast deze 7 balanstermen worden in PLOTWAT nog 5 toestandsvariabelen berekend: de grondwaterdiepte γ , de gemiddelde zuigspanning en vochtgehalte in de wortelzone ψ en θ , de zuigspanning op het grensvlak tussen wortelzone en ondergrond ψ_i en een schadefunctie sf die de fraktie van het oppervlak aan geeft dat door het gewas wordt bedekt.

Tabel II.1 geeft een overzicht van de modelvergelijkingen, tabel II.2 geeft de betekenis van de gebruikte symbolen. Daar de meeste modelvergelijkingen in hoge mate niet-lineair zijn wordt het stelsel numeriek opgelost waarbij voor de variabelen v , γ , ψ_i en A een iteratieve procedure wordt gevolgd. Figuur II-2 toont een globaal stroomdiagram van PLOTWAT.

Ten aanzien van de oppervlakteafvoer q_o kan worden opgemerkt dat zij in de huidige versie van PLOTWAT niet voorkomt. In die gevallen waarbij oppervlakteafvoer zou plaatsvinden, wordt het debiet q_o toegekend aan de verzadigde ondergrond en komt uiteindelijk in de basisdrainage D terecht.

Tabel II.1 Modelvergelijkingen

Voor de bepaling van de 12 onbekende variabelen: $\theta(t)$, $A(t)$, $v(t)$, $\psi(t)$, $D(t)$, $\Delta(t)$, $\gamma(t)$, $q_o(t)$, $P(t)$, $A_b(t)$, s.f.(t), $\psi_i(t)$ zijn 12 vergelijkingen op te stellen:

Balansvergelijkingen

1. Wortelzone: $\rho \frac{d\theta(t)}{dt} = 0$ voor $\theta(t) = \omega$ verzadiging
 $A(t) - R(t) - v(t) - I(t) + A_b(t) \leq 0$
- en $\theta(t) = \nu$ verwelking
 $A(t) - R(t) - v(t) - I(t) + A_b(t) \geq 0$
- $\rho \frac{d\theta(t)}{dt} = A(t) - R(t) - v(t) - I(t) + A_b(t)$ elders
2. Ondergrond: $\frac{d\Delta(t)}{dt} = 0$ voor $\Delta(t) = 0$
 $v(t) + D(t) + Ig(t) + G(t) + S(t) \leq 0 + Inf(t)$
- $\frac{d\Delta(t)}{dt} = v(t) + D(t) + Ig(t) + G(t) + S(t) + Inf(t)$ elders

Basisfuncties

3. Oppervl. afvoer: $q_o(t) = \rho \frac{d\theta(t)}{dt} + A_b(t) - A(t) + R(t) + v(t) + I(t)$
4. Capillaire opstijgingsfunctie $v(t) = v(\psi_i, \gamma)$
5. Grondwaterdieptefunctie $\gamma(t) = \gamma(\Delta, v)$
6. Basisdrainagefunctie $D(t) = D(\gamma)$
7. Aktuele evapotransp. functie $A(t) = A(\psi_i)$
8. pF-functie $\psi(t) = \psi(\theta)$
9. Korrektie hydrostatisch verloop
 wortelzone $\psi_i(t) = \psi(t) - \frac{1}{2}\rho$
10. Potentiële verdamping $P(t) = P_o(t) * c.f.(t) * s.f.(t)$
11. Aktuele verdamping onbegroeid opp. $A_b(t) = P_o(t) * c.f_b(t) * (1-s.f.(t))$
12. Droogteschadefunctie $s.f.(t) = f[A(t), P(t)]$

ρ	dikte van de wortelzone	(mm)
ω	verzadigingsvochtgehalte wortelzone	(-)
ν	verwelkingsvochtgehalte wortelzone	(-)

$\theta(t)$	gemiddeld vochtgehalte van de wortelzone	(-)
$\psi_i(t)$	vochtspanning op het grensvlak wortelzone/ondergrond	(mm)
$\Delta(t)$	vochtdeficiet ondergrond	(mm)
$\gamma(t)$	diepte freatisch vlak onder onderkant wortelzone	(mm)
$v(t)$	cap. opstijging $v > 0$ wortelzoneverlies $v < 0$	(mm/dag)
$D(t)$	basisdrainage $D > 0$ drainage $D < 0$ infiltratie	(mm/dag)
$A(t)$	aktuele evapotranspiratie	(mm/dag)
$q_o(t)$	oppervlakteafvoer	(mm/dag)
$P_o(t)$	open waterverdamping	(mm/dag)
$R(t)$	neerslag	(mm/dag)
$P(t)$	potentiële evapotransp.	(mm/dag)
$S(t)$	kwel ($S > 0$); wegzijging $S < 0$	(mm/dag)
$I_g(t)$	irrigatie uit grondwater	(mm/dag)
$G(t)$	onttrekkingen uit grondwater	(mm/dag)
$I(t)$	totale irrigatiegift	(mm/dag)
$Inf(t)$	infiltratie uit tertiaire wateren	(mm/dag)
$c.f.(t)$	gewasfaktor begroeid opp.	(-)
$c.f_b(t)$	gewasfaktor onbegroeid opp.	(-)
$s.f.$	overlevingsfraktie (oppervlak)	(-)
$A_b(t)$	aktuele verdamping onbegroeid oppervlak	(-)

Tabel II.2 Betekenis van de symbolen

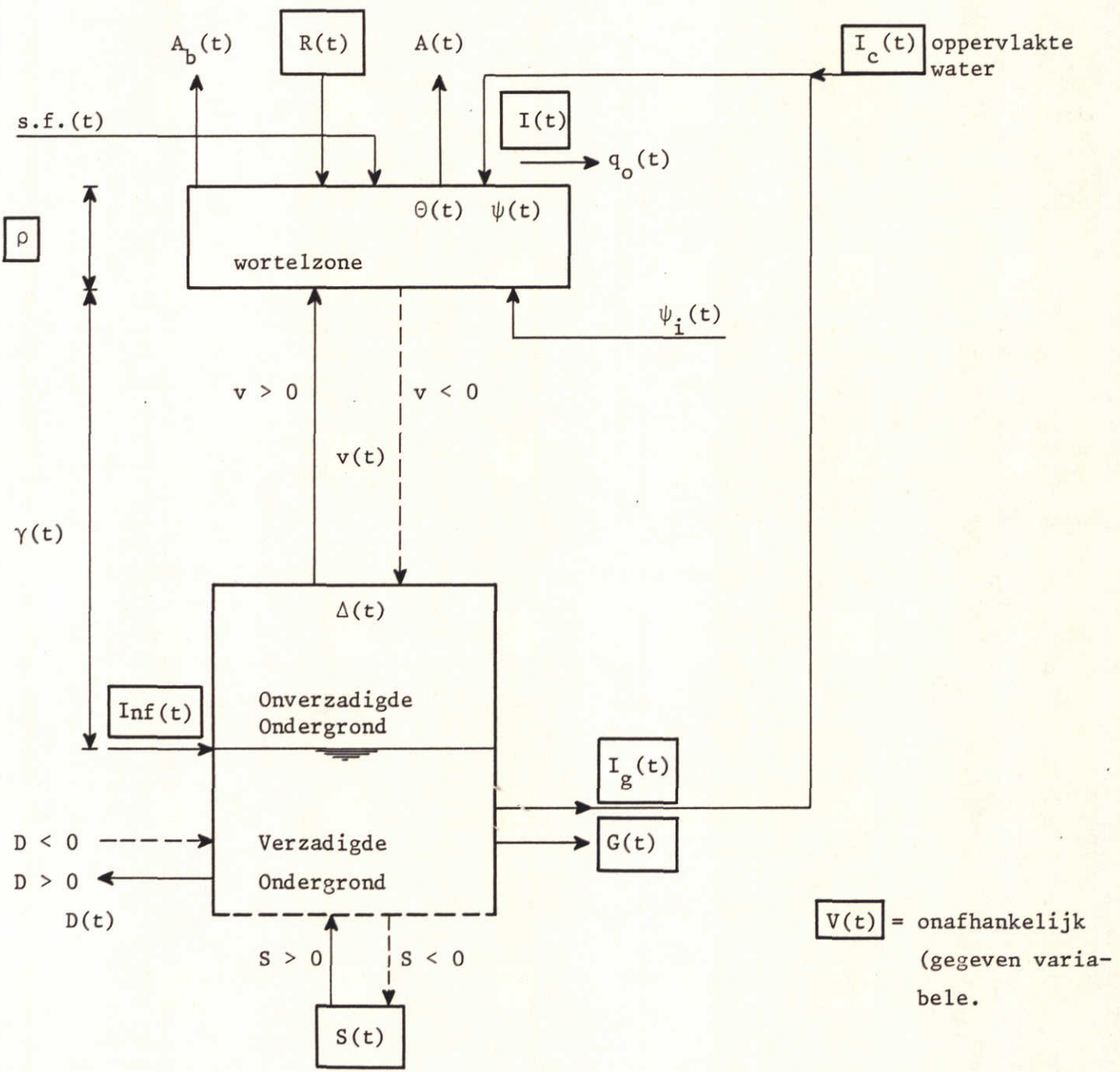


Fig. II.1 Definitieschets

Opm.: Alles wat onder de wortelzone zit is gedefinieerd als ondergrond.

Start

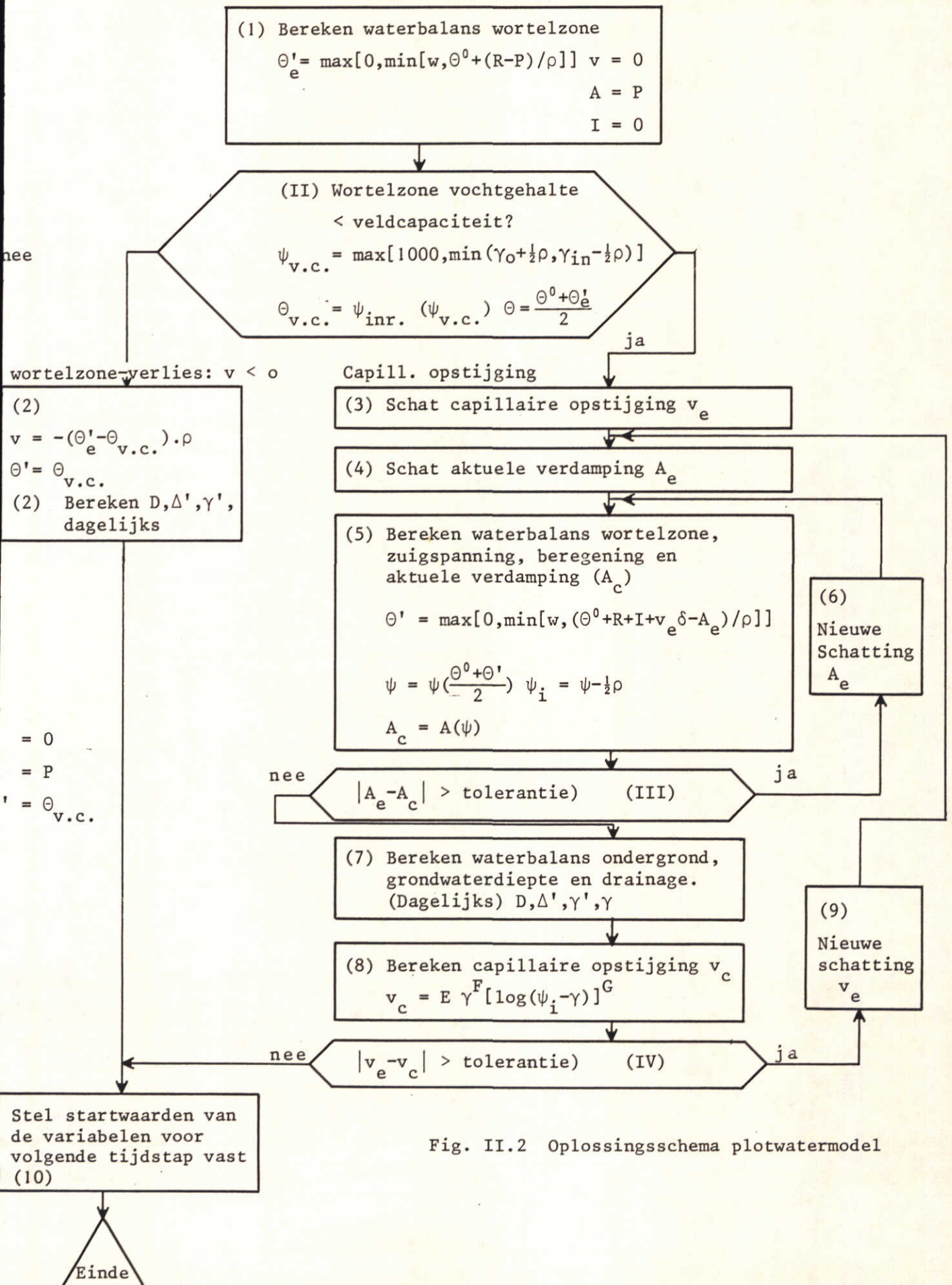


Fig. II.2 Oplossingsschema plotwatermodel

BIJLAGE III - De voedingsweerstand per leidingklasse

In de volgende tabellen is voor elk van de in totaal 415 km² vakken van distrikt 11 de voedingsweerstand per leidingklasse opgenomen.

Voor elk vak worden 7 waarden gegeven: de voedingsweerstand van elk van de zes leidingklassen en de maximale waarde van de infiltratie uit de permanent watervoerende leidingen.

De indeling in leidingklassen is gebaseerd op de natte omtrek van de leiding; voor de klassen 1 t/m 6 bedraagt de natte omtrek resp. 2, 4, 6,5, 10, 16 en 22 m.

De in de tabel vermelde waarden voor de voedingsweerstand zijn berekend als:

$$\text{voedingsweerstand} = \frac{L_i \cdot b_i}{c_i \cdot 10^6}$$

In figuur III-1 is de vaknummering van distrikt 11 aangegeven die correspondeert met de volgorde in de tabellen.

III - 1

VOLGNR	C-WAARDE PER LEIDINGORDE (DAGEN)						MAX. INFILTR. (MM/DAG)
	1	2	3	4	5	6	
1	15800	1600	0	0	0	0	0.00
2	632	1600	0	0	0	0	0.00
3	702	1371	0	0	0	0	0.00
4	0	5233	0	0	0	0	0.00
5	0	0	0	0	0	0	0.94
6	0	0	0	0	0	0	0.00
7	2257	480	0	0	0	0	0.00
8	0	5217	0	0	0	0	0.00
9	790	0	0	0	0	0	0.00
10	929	0	0	0	0	0	0.00
11	0	0	0	0	0	0	0.36
12	0	0	0	0	0	0	0.00
13	465	2400	0	0	0	0	45.50
14	2633	2400	0	0	0	0	0.00
15	1580	1067	2267	0	0	0	0.00
16	12040	3138	7467	0	0	0	0.00
17	1771	0	0	0	0	0	0.00
18	929	4800	0	0	0	0	0.00
19	0	0	0	0	0	0	1.08
20	0	0	0	0	0	0	0.00
21	2633	1067	0	0	0	0	0.00
22	2107	1200	0	0	2333	0	0.00
23	486	873	0	0	269	0	3.23
24	0	0	0	0	0	0	0.08
25	56467	0	0	0	0	0	0.00
26	1317	0	567	0	0	0	0.00
27	5267	1746	1046	0	0	0	0.00
28	8240	1744	0	0	0	0	0.00
29	0	0	0	0	0	0	0.04
30	0	0	0	0	0	0	11.80
31	0	0	0	0	0	0	0.00
32	0	0	0	0	0	0	0.00
33	958	739	3400	0	0	0	0.00
34	585	1600	0	0	0	0	0.00
35	376	960	0	0	0	0	0.00
36	0	0	0	0	0	0	0.00
37	0	0	0	0	0	0	0.00
38	0	0	0	0	0	0	0.00
39	0	0	0	0	0	0	0.00
40	0	0	0	0	0	0	0.06
41	61800	0	0	0	0	0	0.00
42	0	0	11300	0	0	0	0.00
43	2633	9600	1236	714	0	0	0.00
44	7725	0	0	0	0	0	0.00
45	0	0	0	0	0	0	0.58
46	0	0	0	0	0	0	1.04
47	0	0	0	0	0	0	0.76
48	5267	0	0	0	0	0	0.00
49	2289	0	0	0	0	0	0.00
50	1053	3200	591	0	0	0	2.42

III - 2

VOLGNR	C-WAARDE PER LEIDINGORDE (DAGEN)						MAX. INFILTR. (MM/DAG)
	1	2	3	4	5	6	
51	510	1746	0	0	0	0	2.42
52	3950	0	0	0	350	0	0.00
53	0	0	0	0	0	0	0.00
54	0	0	0	0	0	0	0.00
55	0	0	0	0	0	0	0.00
56	0	0	0	0	0	0	0.50
57	0	0	0	0	0	0	0.00
58	0	0	0	0	0	0	0.00
59	0	0	0	0	0	0	0.25
60	5618	20867	1920	1360	0	0	0.00
61	0	0	0	0	0	0	0.00
62	0	0	0	0	0	0	2.21
63	0	0	0	0	0	0	1.44
64	0	0	0	0	0	0	0.16
65	0	0	0	0	0	0	0.00
66	858	10467	0	0	0	0	3.13
67	752	1920	567	714	0	0	3.23
68	988	1920	0	0	0	0	11.40
69	0	0	0	0	1167	0	0.00
70	0	0	0	0	350	0	0.00
71	0	0	0	0	0	0	0.00
72	0	0	0	0	0	0	0.00
73	0	0	0	0	0	0	0.57
74	0	0	0	0	0	0	1.33
75	0	0	0	0	0	0	0.90
76	0	0	0	0	0	0	0.24
77	1317	2400	0	0	0	0	0.00
78	585	1600	971	0	0	0	0.00
79	792	15700	2360	5067	0	0	0.00
80	0	0	0	0	0	0	0.52
81	0	0	0	0	0	0	13.90
82	0	0	0	0	0	0	1.22
83	0	0	0	0	0	0	0.00
84	0	0	0	0	0	0	0.23
85	632	0	0	0	0	0	3.23
86	1756	0	0	0	0	0	0.00
87	0	0	0	0	0	0	0.00
88	0	0	0	0	438	0	0.00
89	0	0	0	0	10050	0	0.00
90	0	0	0	0	0	300	0.00
91	0	0	0	0	0	0	0.01
92	0	0	0	0	0	0	0.88
93	0	0	0	0	0	0	0.00
94	0	0	0	0	0	0	0.00
95	0	0	0	0	0	0	0.32
96	0	0	0	0	0	0	3.46
97	0	0	0	0	0	0	0.14
98	0	0	0	0	0	0	0.00
99	20600	0	0	0	0	0	0.00
100	1975	3840	0	500	0	0	0.00

III - 3

VOLGNR	C-WAARDE PER LEIDINGORDE (DAGEN)						MAX. INFILTR. (MM/DAG)
	1	2	3	4	5	6	
101	544	1920	1943	2500	0	0	1.61
102	376	1129	4533	0	0	0	3.23
103	0	0	0	0	0	0	4.78
104	0	0	0	0	0	0	0.19
105	0	0	0	0	0	0	0.00
106	790	0	6800	833	0	0	0.00
107	1580	0	0	625	0	0	0.00
108	0	0	0	0	0	0	0.00
109	0	0	0	0	0	0	0.00
110	0	0	0	0	292	0	0.00
111	0	0	0	2000	0	0	0.00
112	0	0	0	0	0	0	1.51
113	0	0	0	0	0	0	1.07
114	0	0	0	0	0	0	0.25
115	0	0	0	0	0	0	0.00
116	0	0	0	0	0	0	0.03
117	0	0	0	0	0	0	0.06
118	0	0	0	0	0	0	0.49
119	0	0	0	0	0	0	0.00
120	0	0	0	0	0	0	0.01
121	2060	0	0	0	0	0	0.00
122	988	0	0	0	0	0	0.00
123	545	1200	2267	455	0	0	6.25
124	494	1477	756	0	0	0	6.25
125	0	0	0	0	0	0	3.47
126	0	0	0	0	0	0	18.80
127	0	0	0	0	0	0	0.00
128	1975	1371	0	0	0	0	2.41
129	0	0	0	0	0	0	37.80
130	0	0	0	0	0	0	1.65
131	0	0	0	0	0	0	1.20
132	1215	0	0	0	700	0	0.00
133	7743	0	0	2571	3171	4357	0.00
134	10533	1200	0	222	0	450	0.00
135	3010	13850	0	3400	0	0	0.00
136	0	0	0	0	0	0	0.00
137	0	0	0	0	0	0	0.19
138	0	0	0	0	0	0	0.01
139	1471	0	4720	950	0	0	0.00
140	37644	0	0	0	0	0	0.00
141	0	0	0	0	0	0	0.15
142	0	0	0	0	0	0	0.00
143	14117	0	0	0	0	0	0.00
144	8470	75467	0	0	0	0	0.00
145	753	0	0	0	13700	0	5.00
146	2633	0	0	500	350	0	0.00
147	479	3200	618	833	875	0	51.00
148	752	1371	971	455	0	0	39.40
149	15050	0	0	0	0	0	9.70
150	2107	0	0	0	0	0	0.00

III - 4

VOLGNR	C-WAARDE PER LEIDINGORDE (DAGEN)						MAX. INFILTR. (MM/DAG)
	1	2	3	4	5	6	
151	1215	873	0	0	0	0	36.00
152	439	0	0	0	0	0	6.38
153	687	0	0	0	0	0	2.70
154	0	0	0	0	0	0	0.50
155	0	0	0	0	0	0	2.14
156	4300	0	0	2267	0	0	0.00
157	0	0	0	13200	0	0	0.00
158	2257	2743	0	164	0	300	0.00
159	0	5036	0	949	0	4740	0.00
160	2007	5540	0	2400	0	0	0.00
161	0	0	0	0	0	0	0.23
162	0	0	16900	0	0	0	0.00
163	1215	0	0	0	0	0	0.00
164	2431	960	0	0	0	0	0.00
165	632	914	4533	417	0	0	0.00
166	2431	1920	1511	0	0	0	0.00
167	10033	0	0	0	0	0	0.00
168	15050	0	0	0	0	0	0.00
169	6022	0	0	0	4689	0	0.00
170	8916	20582	0	0	476	0	0.00
171	4169	0	0	0	4965	0	0.00
172	494	0	0	0	0	0	2.70
173	479	0	1943	1111	500	0	6.50
174	2315	0	11000	6800	2567	0	4.68
175	7900	0	971	0	875	0	0.00
176	575	1067	2720	0	0	0	2.55
177	0	0	0	0	0	0	36.80
178	0	0	0	0	0	0	0.35
179	3160	0	0	313	0	0	0.00
180	585	0	1133	500	0	0	0.00
181	0	0	2267	213	0	0	0.00
182	1436	0	0	400	0	0	0.00
183	0	0	0	3688	0	0	0.00
184	0	0	0	175	0	0	0.00
185	2633	4800	0	233	0	270	0.00
186	0	0	0	1275	0	5925	0.00
187	0	0	0	0	0	0	1.10
188	1818	0	1200	0	500	0	0.00
189	1771	0	2000	0	2200	0	0.00
190	2007	0	7333	0	2800	0	0.00
191	2377	0	0	0	2500	0	0.00
192	3433	0	0	0	0	0	0.00
193	0	0	0	0	0	0	0.00
194	687	1920	0	0	0	0	2.47
195	545	960	2267	0	0	0	7.00
196	929	1067	1511	1429	0	0	6.90
197	0	1600	1943	0	389	0	0.00
198	0	0	0	0	0	0	3.53
199	0	0	0	0	0	0	2.31
200	0	0	0	0	0	0	0.00

III - 5

VOLGNR	C-WAARDE PER LEIDINGORDE (DAGEN)						MAX. INFILTR. (MM/DAG)
	1	2	3	4	5	6	
201	0	6400	0	294	0	0	0.00
202	2633	0	0	141	0	0	0.00
203	0	0	850	222	0	0	0.00
204	3160	1600	0	185	0	0	0.00
205	0	0	0	544	0	0	0.00
206	0	0	0	437	0	0	0.00
207	0	0	0	149	0	0	0.00
208	30100	7914	0	1632	0	1693	0.00
209	3010	866	0	1855	2800	0	0.00
210	4033	0	0	0	667	0	0.00
211	7525	0	0	0	0	0	0.00
212	359	0	567	0	0	0	38.60
213	3090	5690	2400	0	0	0	3.41
214	624	2617	0	0	0	0	5.48
215	0	0	0	0	0	0	0.00
216	0	0	0	0	0	0	1.23
217	2633	0	0	0	0	0	11.70
218	527	1920	0	500	0	0	50.00
219	5017	4564	3446	0	0	0	3.10
220	2257	0	0	0	1167	0	0.00
221	351	0	0	0	350	0	0.00
222	2575	0	0	0	833	389	0.00
223	15800	1920	0	385	0	208	0.00
224	7900	1600	1133	149	0	246	0.00
225	15800	3200	3400	370	0	270	0.00
226	0	0	0	127	0	270	0.00
227	15050	2510	0	943	0	0	0.00
228	0	0	0	1632	0	0	0.00
229	20600	1047	2146	1267	0	583	0.00
230	0	0	0	400	0	300	7.94
231	0	0	0	0	0	0	7.70
232	3010	866	0	1855	0	0	0.00
233	832	300	0	179	0	0	0.00
234	790	300	0	238	0	0	0.00
235	687	300	0	200	0	0	0.00
236	1580	300	0	238	0	0	0.00
237	824	7000	1256	0	0	0	0.00
238	304	0	0	0	0	0	6.25
239	527	1200	1046	1000	0	0	6.27
240	527	1920	0	0	0	0	13.80
241	0	0	0	0	0	0	0.78
242	0	0	0	0	0	0	0.48
243	790	4800	0	0	0	0	2.40
244	718	1280	0	500	0	0	4.80
245	1309	0	0	0	0	0	2.50
246	2633	0	0	0	0	0	0.00
247	439	0	2720	0	0	0	0.00
248	941	0	4480	0	0	0	0.00
249	7525	4262	0	10200	0	2370	0.00
250	1436	243	0	179	0	270	0.00

III - 6

VOLGNR	C-WAARDE PER LEIDINGORDE (DAGEN)						MAX. INFILTR. (MM/DAG)
	1	2	3	4	5	6	
251	1580	300	0	200	0	0	0.00
252	988	267	1133	370	0	386	0.00
253	1975	325	0	278	0	270	0.00
254	8240	1304	0	349	0	350	0.00
255	1873	523	0	362	0	500	0.00
256	0	0	0	0	0	0	7.30
257	0	0	0	0	0	0	6.67
258	3010	866	0	1855	0	0	0.00
259	1215	290	0	238	0	0	0.00
260	0	0	0	0	0	0	6.00
261	735	300	4533	217	0	0	0.00
262	1580	300	0	238	0	0	0.00
263	896	1400	2825	0	0	0	0.00
264	585	3840	6800	5000	0	0	2.00
265	3950	0	680	2500	0	0	0.00
266	0	0	0	0	0	0	1.55
267	0	0	0	0	0	0	0.00
268	718	1920	0	0	0	0	0.92
269	465	800	0	2000	0	0	2.59
270	790	549	3400	556	0	0	4.94
271	896	0	0	0	0	0	0.00
272	282	4800	1133	1667	0	0	3.65
273	790	1600	1700	1000	0	0	0.00
274	1873	0	1883	1943	0	269	0.00
275	1580	274	0	238	350	193	0.00
276	1580	291	0	208	350	0	0.00
277	158	282	0	238	1167	0	0.00
278	1580	213	850	417	0	0	0.00
279	1585	364	0	618	0	0	0.00
280	3010	866	0	1855	0	0	0.00
281	1580	300	0	189	0	0	0.00
282	3010	866	0	971	0	0	0.00
283	2060	438	0	324	0	0	0.00
284	3344	815	5500	785	0	0	0.00
285	0	192	0	1667	0	0	0.00
286	15800	196	0	500	0	0	0.00
287	10533	198	0	435	0	0	0.00
288	936	1556	0	0	455	0	0.00
289	1084	1273	1413	0	667	0	6.00
290	1317	1746	1360	714	0	0	0.00
291	0	0	0	0	0	0	0.67
292	0	0	0	0	0	0	0.34
293	0	0	0	0	0	0	1.43
294	0	960	0	1250	0	0	49.00
295	545	0	0	0	0	0	47.30
296	438	2546	0	0	0	0	22.70
297	395	739	680	0	0	0	4.62
298	405	0	0	0	0	0	0.00
299	1144	549	2825	378	0	389	0.00
300	1373	438	3767	378	0	0	0.00

III - 7

VOLG NR	C-WAARDE PER LEIDINGORDE (DAGEN)						MAX. INFILTR. (MM/DAG)
	1	2	3	4	5	6	
301	658	291	0	455	0	0	0.00
302	687	240	0	370	350	0	0.00
303	854	282	1360	238	318	0	0.00
304	1580	300	850	455	0	0	0.00
305	2060	438	0	618	0	0	0.00
306	1580	300	0	250	0	0	0.00
307	1580	249	1046	357	0	0	0.00
308	1881	866	2200	1855	0	0	0.00
309	1144	400	1130	756	0	0	0.00
310	0	246	1256	4533	0	0	0.00
311	0	192	0	500	0	0	0.00
312	0	192	0	833	0	0	0.00
313	6320	1477	0	455	0	0	0.00
314	606	0	11300	3400	0	0	0.00
315	1717	2333	0	0	0	0	0.00
316	608	2133	0	400	0	0	38.70
317	752	549	756	1250	0	0	50.70
318	988	1600	486	500	0	0	1.77
319	589	4667	0	0	0	0	13.90
320	367	1477	0	500	0	0	16.70
321	385	2133	800	0	0	208	0.00
322	371	903	807	907	0	0	0.00
323	627	1629	1833	1511	0	0	0.00
324	1129	1950	12971	2667	0	0	0.00
325	494	447	0	278	0	0	0.00
326	0	0	0	0	0	0	6.70
327	0	0	0	0	0	0	8.20
328	2060	438	1413	618	455	0	0.00
329	2060	438	0	618	1667	0	0.00
330	1580	3072	680	455	0	0	0.00
331	3010	866	1375	1855	0	0	0.00
332	0	0	0	0	0	0	2.43
333	0	0	0	0	0	0	4.34
334	0	0	0	0	0	0	5.21
335	0	0	0	0	0	0	5.21
336	608	0	0	2500	318	0	0.00
337	8240	7000	0	0	0	0	0.00
338	1053	1746	0	370	0	600	27.40
339	395	565	544	5000	0	270	0.00
340	310	960	850	0	0	270	0.00
341	229	356	0	909	0	225	0.00
342	227	369	0	0	0	246	0.00
343	268	686	0	5000	0	270	0.00
344	203	960	0	0	0	0	0.00
345	299	1400	869	0	0	0	0.00
346	470	2770	0	0	0	0	0.00
347	2144	5391	18525	0	0	0	0.00
348	2420	7075	0	0	0	0	0.00
349	395	505	567	1250	0	0	0.00
350	1053	320	756	500	0	0	0.00

III - 8

VOLGNR	C-WAARDE PER LEIDINGORDE (DAGEN)						MAX. INFILTR. (MM/DAG)
	1	2	3	4	5	6	
351	1580	300	0	455	0	0	0.00
352	2060	438	0	618	625	0	0.00
353	329	768	4533	0	259	0	0.00
354	627	1679	11000	5829	10267	0	0.00
355	0	0	0	0	0	0	2.60
356	0	0	0	0	0	0	3.52
357	0	0	0	0	0	0	4.78
358	0	0	0	0	0	0	4.78
359	0	0	0	1133	5000	233	0.00
360	1212	7000	1130	0	0	350	0.00
361	176	300	1700	0	0	0	0.00
362	172	282	1700	0	0	0	0.00
363	198	270	0	0	0	0	0.00
364	165	163	0	0	0	0	0.00
365	0	0	0	0	0	0	6.37
366	178	480	0	0	0	0	0.00
367	312	800	7533	0	0	0	0.00
368	335	700	0	0	0	0	0.00
369	259	640	0	0	0	0	0.00
370	239	384	0	0	0	0	0.00
371	200	600	2720	0	0	0	0.00
372	287	436	2267	5000	0	0	0.00
373	0	0	0	0	0	0	6.33
374	0	0	0	0	0	0	5.85
375	0	0	0	0	0	0	4.44
376	0	0	0	0	0	0	2.67
377	0	0	0	0	0	0	2.67
378	0	0	0	0	0	0	2.35
379	0	0	0	0	0	0	4.48
380	0	0	0	0	0	0	4.41
381	1288	0	0	0	0	140	0.00
382	451	2400	0	0	318	0	0.00
383	170	457	0	0	350	0	0.00
384	198	600	0	0	350	0	0.00
385	203	343	0	0	318	0	0.00
386	172	480	0	0	3500	0	0.00
387	168	480	0	0	700	0	0.00
388	219	492	1133	0	500	0	0.00
389	219	711	971	625	0	0	0.00
390	322	565	1360	417	0	0	0.00
391	277	600	1700	500	0	0	0.00
392	255	565	1700	833	0	0	0.00
393	253	417	1360	0	0	0	0.00
394	223	400	0	0	0	0	0.00
395	263	960	0	0	0	0	0.00
396	0	0	0	0	0	0	4.46
397	0	0	0	0	0	0	4.44
398	0	0	0	0	0	0	3.42
399	0	0	0	0	0	0	2.31
400	0	0	0	0	0	0	2.60

