# Voorlopige evaluatie drainagesysteem militaire oefenterrein Marnewaard

H. W. Denecke

RAPPORT 63

Augustus 1995

Vakgroep Waterhuishouding
Nieuwe Kanaal 11, 6709 PA Wageningen

ISSN 0926-230X

912447

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING 3

2. MARNEWAARD EN LOKATIE GEËVALUEERDE PLEKKEN 4

3. THEORETISCHE ACHTERGROND 5

3.1 Draagkracht en Gronddruk 5
3.2 Schade en Berijdbaarheid 9
3.3 Model SWAP93 11

4. GEGEVENS EN CALIBRATIE VAN HET MODEL SWAP93 12

4.1 Beschikbaar gestelde gegevens en de wijze waarop deze werden gebruikt 12
4.2 Calibratie van het model SWAP93 13

5. EVALUATIE PER PLEK 15

5.1 Plek M4-25 15
5.2 Plek M2-28 19
5.3 Plek M2-13 22
5.4 Plek M4-06 25
5.5 Conclusies pleksgewijze analyse 26

6. VOORLOPIGE ALGEMENE CONCLUSIES 28

LITERATUUR 30

Diagram 1 : Potentiaaldiagram van bodemvocht
Diagram 2 : Drukhoogteverloop bij evenwicht
Diagram 3 : Drukhoogteverloop bij bevochtiging
Diagram 4 : Drukhoogteverloop bij uitdroging

ANNEX I : Figuren
Figuur 1 : Lokatiekaart Plekken
Figuur 2A : Marnewaard M4-25 Calibratie
Figuur 2B : Marnewaard M4-25 Calibratie
Figuur 3 : Marnewaard M4-25 Simulatie
Figuur 4 : Marnewaard M4-25 Drukhoogte (da=30m)
Figuur 5 : Marnewaard M4-25 Drukhoogte (da= 10, 20, 30m)
Figuur 6 : Marnewaard M2-28 Calibratie
Figuur 7 : Marnewaard M2-28 Simulatie
Figuur 8 : Marnewaard M2-13 Calibratie
Figuur 9 : Marnewaard M2-13 Simulatie
Figuur 10 : Marnewaard M4-06 Calibratie

ANNEX II : Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van de bovengrond B1 en de ondergrond O1.
ANNEX III : Invoer in SWAP93 voor plek M4-25.

# 1. INLEIDING

In opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Directie IJsselmeergebied, Lelystad, heeft de Vakgroep Waterhuishouding van de Landbouwuniversiteit, Wageningen, een voorlopig onderzoek uitgevoerd naar het functioneren van het drainagesysteem in de Marnewaard. Het onderzoek betreft een voorlopige evaluatie van het drainagesysteem en werd verricht ten behoeve van de Dienst Gebouwen, Werken en Terreinen (DGMT) van het Ministerie van Defensie, Assen.

De doelstelling van het onderzoek is het verkrijgen van een voorlopig inzicht in het functioneren van het drainagesysteem vooral ten behoeve van de berijdbaarheid van het terrein voor oefeningen met Leopard II tanks.

Daarnaast is het van belang dat een zo goed mogelijke bodemvochtsituatie wordt gerealiseerd om een begroeiing van het maaiveld te handhaven die verstuiving voorkomt. Deze doelstelling is van secundair belang, gelet op de hoofdfunctie van het terrein, namelijk oefengelegenheid te bieden aan de tanks, 't liefst gedurende 365 dagen per jaar. De gewasopbrengst van de begroeiing, vnl. grassen, is van ondergeschikt belang.

Met behulp van het agrohydrologische model SWAP93 zijn voor vier plekken simulaties verricht om het verloop van de grondwaterstanden en de drukhoogtes te voorspellen, indien a.g.v. verminderd onderhoud, drains zouden uitvallen.

De eerste noodzakelijke calibratie van het model werd verricht met de waargenomen grondwaterstanden over $3^1/_2$ jaar: midden-1991 - 1994. Op basis van deze calibratie kan goed worden voorspeld wat de effecten op de grondwaterstanden zijn, indien als gevolg van verminderd onderhoud, drains zouden uitvallen. Dit is van belang in verband met de hoge onderhoudskosten van het ondergrondse drainagesysteem.

De tweede noodzakelijke calibratie, namelijk de relatie tussen de gronddruk, veroorzaakt door de tanks, en de draagkracht, geleverd door de grond, zoals berekend met het model, kon in deze fase van studie niet worden uitgevoerd. Dit vereist een berijdingsproef in het veld, waarvoor geen middelen en faciliteiten beschikbaar waren gesteld. Een eventuele vervolgstudie zou deze calibratie moeten omvatten.

Deze studie omvat de analyse van vier plekken, waar grondwaterstandsbuizen waren geïnstalleerd. Vanwege de beperkte opzet en de beschikbare tijd kon de studie in deze fase slechts een gedeeltelijke evaluatie van het gehele drainagesysteem inhouden.

## 2. MARNEWAARD EN LOKATIE VAN DE GEËVALUEERDE PLEKKEN

Het militaire oefenterrein de Marnewaard is ongeveer 1500 ha groot. Het bestaat voor het grootste gedeelte uit kleiarme, middelfijne zandgronden. Het grootste deel van het maaiveld ligt tussen -0.50 m en +0.25 m NAP.

Natuurlijke afwatering van het gebied naar het Lauwersmeer is niet mogelijk, vanwege de lage grondwaterstand, die vereist is voor het handhaven van een voldoende berijdbaarheid voor het oefenen met tanks en andere militaire voertuigen. De Marnewaard is daarom bedijkt en wordt bemalen.

Voordat het gebied werd gedraineerd, varieerde de grondwaterstand tussen maaiveldsniveau (herfst, winter, voorjaar) en ongeveer 1 meter beneden maaiveld (zomer). Via het aangelegde ondergrondse drainagesysteem wordt ernaar gestreefd de grondwaterstand op ongeveer 1.00 m beneden maaiveld te houden.

De ontzilting van het gebied is vrij langzaam gegaan doordat niet gelijk na afsluiting van de Lauwerszee, maar pas veel later werd overgegaan tot aanleg van een ondergronds buizen drainage systeem.

Het vóórkomen van kwel en de grootte ervan was voor deze studie onvoldoende bekend. Ondergrondse kwel en oppervlakkige instroming is in grote delen van de Marnewaard aanwezig.

Hoewel de textuur van de zandgrond weinig varieert, bestaan er toch nog relatief grote verschillen in de aangelegde drainafstand: 10 tot 40 m. Dit zou mogelijk verklaard kunnen worden door de grote variatie in de diepte waarop de ondoorlatende laag zich zou bevinden. Volgens de ter beschikking gestelde gegevens zou deze in de Marnewaard liggen tussen ongeveer 2.3 en 10 m beneden maaiveld.

De lokatie van de vier plekken tevens inspectiepunten, waarvoor de analyse van het ondergrondse drainagesysteem werd gedaan, is aangegeven op bijgaande lokatiekaart (Figuur 1 in Annex I). De keuze van deze plekken werd voornamelijk gedaan op basis van de bestaande variatie in drainafstand en de verspreiding over het gebied.

De volgende vier plekken werden geselecteerd:

1. M4-25 2. M2-28 3. M2-13 4. M4-06

# 3. THEORETISCHE ACHTERGROND

## 3.1 Draagkracht en Gronddruk

### 1. Draagkracht

De draagkracht van de grond wordt bepaald door o.a. de volgende factoren:

- drukhoogte
- dichtheid
- lutumgehalte
- organische stof gehalte
- aard van de bodembedekking
- voorgeschiedenis (kwaliteit ontwatering)

Daarnaast is het belangrijk voor welk voertuig de draagkracht wordt berekend, want niet alleen de druk/cm$^2$ is van belang, maar bv. ook de breedte van de rupsen. Hiervoor is additionele bodemmechanische deskundigheid nodig. Er zijn nog geen pasklare modellen beschikbaar die al antwoord kunnen geven op de vragen zoals deze opkwamen bij dit onderzoek.

De belangrijkste factor is de drukhoogte en deze wordt door SWAP93 berekend en is als modeluitvoer beschikbaar.

Interpretatie van de modeluitvoer "drukhoogte" .

In het algemeen geldt:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H | = | h | + | z | (cm) |
| stijghoogte | = | drukhoogte | + | plaatshoogte | |

De drukhoogte h geeft de energietoestand weer van de zg. matrixkrachten adhesie, cohesie en osmose). De drukhoogte wordt gegeven t.o.v. de atmosferische druk: dus h=0 bij de grondwaterspiegel (freatisch niveau). In de onverzadigde zone is h negatief; in de verzadigde zone beneden de grondwaterspiegel is h positief (hydrostatische druk). Het meten van de drukhoogte kan gebeuren met tensiometers.

De plaatshoogte z geeft de energietoestand weer in het zwaartekrachtsveld. Deze plaatshoogte is gelijk aan de hoogte z t.o.v. een referentieniveau, veelal wordt hiervoor gekozen de grondwaterspiegel.

De stijghoogte H is de som van h en z. Als op twee punten in de bodem H gelijk is, dan zal er geen waterstroming optreden tussen deze twee punten.

Onderstaand potentiaaldiagram (Diagram 1) geldt voor een statisch evenwicht van het bodemwater met het grondwater.

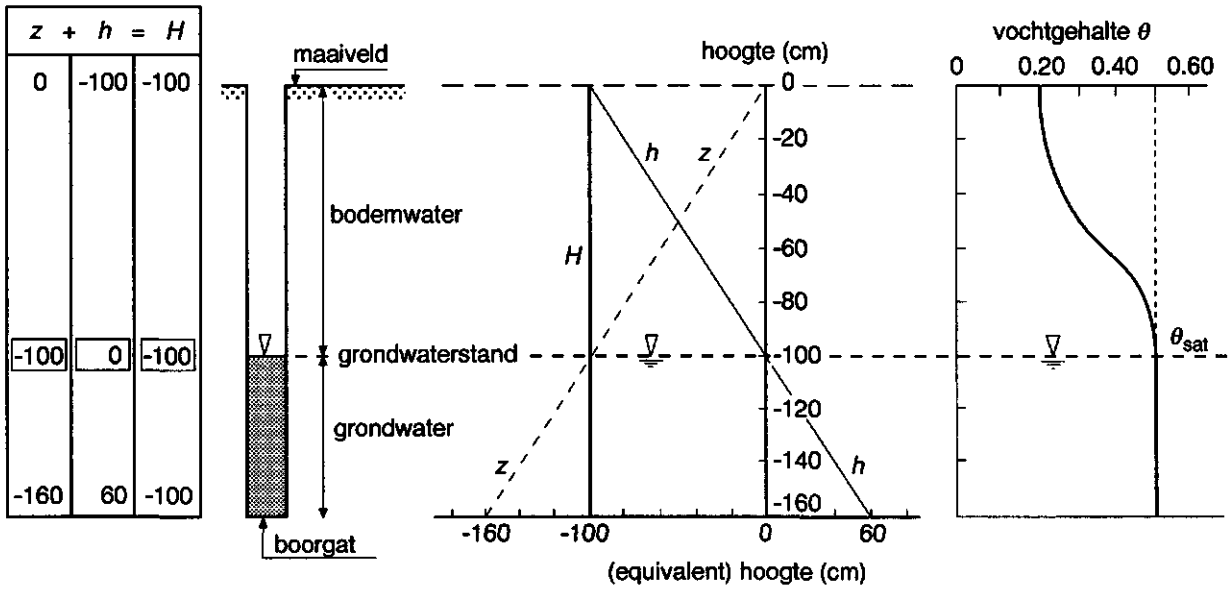



Diagram 1. Potentiaaldiagram van bodemwater in statisch evenwicht met het grondwater. Rechts staat het verloop van het overeenkomende vochtgehalte met de hoogte weergegeven.

N.B. De weergave is voor een statisch evenwicht en geldt onder omstandigheden van gevulde capillairen. Bij grove zandgronden geldt deze beschouwing voor hoogten van 0 tot 50 cm en bij fijne zandgronden voor hoogten van 0 - 100 à 200 cm boven de grondwaterspiegel. (Bij kleigronden wordt vanwege de lage onverzadigde doorlatendheid vaak geen statisch evenwicht bereikt.)

Het model SWAP93 berekent de drukhoogte "dynamisch" per laag en in afhankelijkheid van grondwaterstand, regenval en verdamping. De lagen hebben een dikte van 5 cm en de modeluitvoer is voor de tweede, derde en vierde laag gedaan. De gemiddelde diepte is dus 7,5 cm, 12,5 cm en 17,5 cm.

Onder invloed van veranderende omstandigheden (neerslag en verdamping) zijn in onderstaande diagrammen 2, 3 en 4 schematisch weergegeven de evenwichtssituatie, situatie bij bevochtiging (door regenval), situatie bij uitdroging (door verdamping).

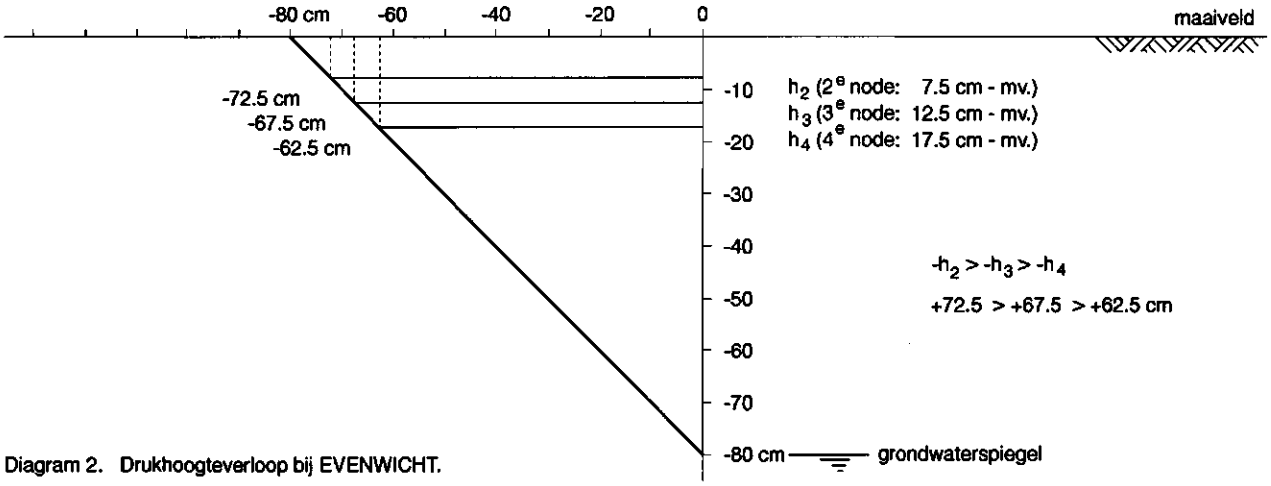



Diagram 2. Drukhoogteverloop bij EVENWICHT.

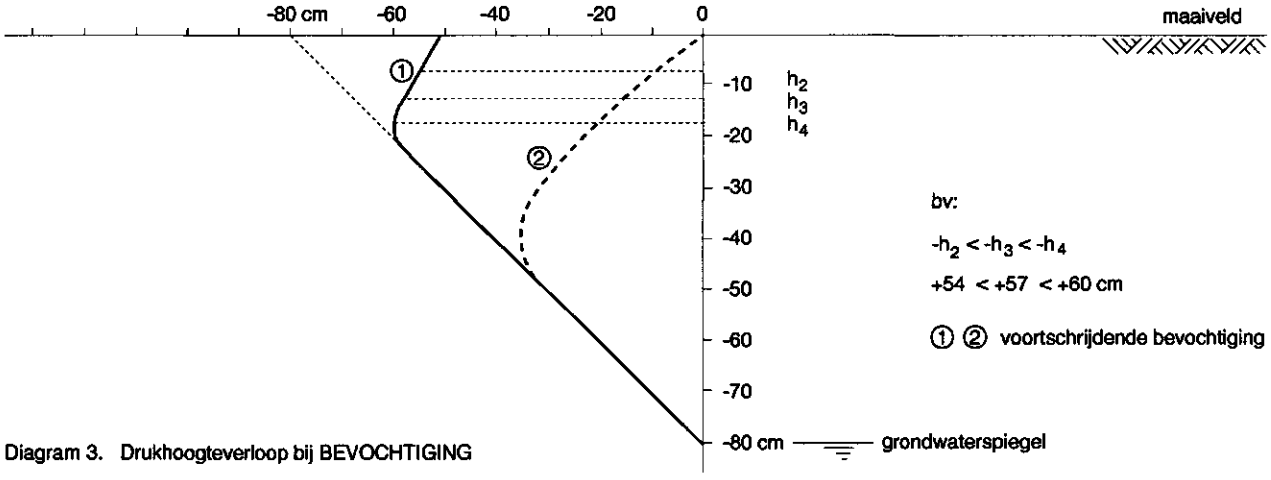



Diagram 3. Drukhoogteverloop bij BEVOCHTIGING

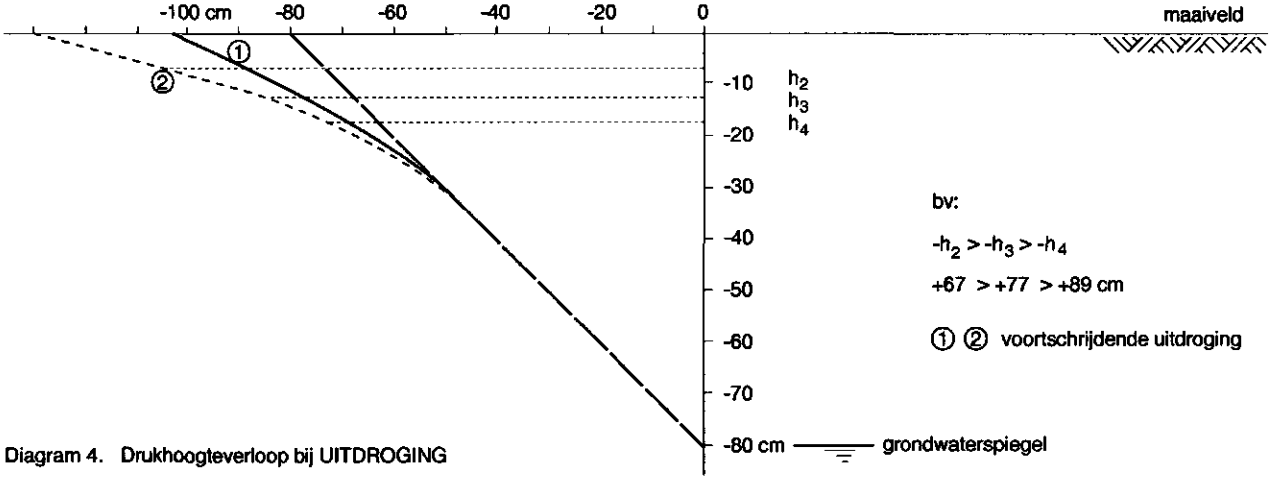



Diagram 4. Drukhoogteverloop bij UITDROGING

2. Gronddruk

Van DGMT werden de volgende gegevens verkregen over de gronddrukken van voertuigen:

Tabel 3.1 Gronddruk gevechtsvoertuigen

| Gronddruk | Leopard II (tank) (in $N/cm^2$) | YPR (pantservoertuig) (in $N/cm^2$) |
|---|---|---|
| leeg | 7.7 | 5.6 |
| gevechtsklaar | 8.4 | 6.7 |
| in de bocht (op één rups) | 16 | 12 |

N.B. 1 $kgf/cm^2$ = 9.8 $N/cm^2$ ≈ 0.1 MPa

Deze studie zou, volgens mondelinge afspraken met DGMT, als gronddruk van de Leopard II moeten hanteren 8.0 $N/cm^2$ (= 0.08 MPa).

Ter vergelijking is hieronder aangegeven welke gronddruk optreedt bij verschillende belastingen:

| | |
|---|---|
| Leopard II tank | 0.08 MPa |
| Trekker | 0.1 MPa |
| Voetballer (per nop) | 1.5 MPa |
| Koe (per hoef) | 4 Mpa |

3. Gronddruk versus draagkracht

In een statische situatie zou de belangrijkste factor, die de draagkracht bepaalt, de drukhoogte zijn. Theoretisch komt dan een drukhoogte van - 80 cm overeen met een mogelijke belasting (gronddruk) van 0.08 MPa.

Echter kan hier niet de conclusie uit worden getrokken dat als de gronddruk groter is dan 0.08 MPa bij een drukhoogte van -80 cm aan het maaiveld er dus onmiddellijk risico's zijn en er schade kan ontstaan. Immers zovele andere factoren bepalen de draagkracht dat er geen eenduidige conclusies mogelijk zijn alleen op basis de drukhoogte.

Ook is nog niet bekend welke de kritieke diepte is waarvan de drukhoogte maatgevend kan zijn om de berijdbaarheid vast te stellen. Echter het theoretisch verband tussen de drukhoogte en de diepte (node) is het volgende: drukhoogte -80 cm aan de oppervlakte komt overeen met -72.5 cm op 7.5 cm diepte (2e node), met -67.5 cm op 12.5 cm diepte (3e node) en met -62.5 cm op 17.5 cm diepte (4e node). Zie ook diagram 2.

De draagkracht zou aan de hand van twee voorlopige indicatoren kunnen worden vastgesteld:

- drukhoogte
- grondwaterstand

- drukhoogte: directe relatie tot draagkracht en in het verlengde daarvan de berijdbaarheid, maar moeilijker in het veld vast te stellen, daarom minder gemakkelijk hanteerbaar voor het operationeel management van de Marnewaard t.b.v. de waterbeheersing. Wel is het belangrijk om bij vervolgstudies deze waarde te meten en te relateren aan de weersomstandigheden en de grondwaterstand.

- grondwaterstand: goed te meten, maar de relatie tot de draagkracht, c.q. berijdbaarheid is indirect, nl. ijlt na of loopt erop vooruit. In relatie tot de recente regenval is dit waarschijnlijk een goede indicator om de berijdbaarheid vast te stellen. Op basis van de opgedane ervaringen per lokatie, door de tankchauffeurs en DGMT, zou met behulp van de recente regenval waarnemingen en het recente grondwaterstandsverloop een redelijke voorspelling mogelijk zijn omtrent de berijdbaarheid.

## 3.2 Schade en Berijdbaarheid

Als gevolg van de oefeningen met legervoertuigen, tanks en pantservoertuigen in de Marnewaard, en niet optimaal daarop afgestemde waterbeheersing kan er schade ontstaan en kan de berijdbaarheid tijdelijk verminderen.

**- Schade aan het ondergrondse drainagesysteem:**

De kans op deze vorm van schade werd eerder onderzocht (IMAG). De drains liggen in het algemeen diep genoeg om dit soort schade te vermijden en de kans op schade is nihil.

**- Schade aan de tanks en pantservoertuigen:**

De tanks hebben een bodemvrijheid van ongeveer 50 cm en ook al zouden ze vast komen te zitten, dan is er nog 1200 pk ter beschikking tot de tankchauffeur om in luttele seconden de tank los te wrikken en de missie te vervolgen. Dus deze vorm van schade treedt niet op.

**- Beperking van de trainingsmogelijkheden van de tankbemanningen:**

Natuurlijk zal het zo zijn dat het voortdurend vast komen te zitten in drassige grond de oefeningen minder efficiënt maakt. Daarom moet er een redelijke waterbeheersing zijn opdat deze vorm van "schade" beperkt blijft tot een acceptabel niveau. Dit is een belangrijk effect van waterbeheersing en moet worden vastgesteld, bij voorkeur d.m.v. proeven in het terrein onder variabele condities. Onder steeds nattere condities moet worden nagegaan wat de effecten op de berijdbaarheid zijn.

**- Beperking van de keuzevrijheid wanneer er geoefend kan worden:**

Bij voorkeur wenst men het gehele jaar te kunnen oefenen. Het effect van waterbeheersing zou dus moeten zijn dat 365 dagen per jaar het gehele terrein voor oefeningen zou moeten kunnen worden opengesteld. Voor dit geval zou, met inachtneming van een niet altijd optimale waterbeheersing, gesimuleerd kunnen worden waar en wanneer er verminderde rijcondities zouden kunnen optreden. Vervolgens kan geëvalueerd worden wat wel en wat niet acceptabel is.

- **Schade aan de graszode:**

  - De eerste prioriteit is de oefengelegenheid voor tanks. De opbrengst van de graszode is van secundair belang. Aan aannemers wordt gegund om het gras te maaien, waar overigens niet door hen voor betaald behoeft te worden. Integendeel de aannemers ontvangen een vergoeding voor het door hen gepleegde maaiveldsonderhoud. De te verwachten opbrengst zal een rol spelen bij de te betalen vergoeding. Verwacht mag worden dat dit ook van ondergeschikt belang is. Een goede waterbeheersing blijft van belang en met name in de zomer zal door voldoende vochtvoorziening aan het gewas een redelijke stand van het gras nagestreefd moeten worden.

  - De bodembedekking heeft ook als functie het voorkomen van verstuiving. Dit kan gebeuren met een redelijke bodembedekking te realiseren met een adequate waterbeheersing.

  - De berijdbaarheid wordt verbeterd door de aanwezigheid van een goede graszode. Middels een goede waterbeheersing kan dit worden gerealiseerd.

  - Hoewel de verdamping in de najaars-, winter- en voorjaarsperiode minder is dan in de zomer, is het toch belangrijk dat er dan een goede bodembedekking is om vocht uit de bovengrond te verdampen en daarmee de terreincondities voor berijdbaarheid te verbeteren. Tezamen met een goed functionerend ondergronds drainagesysteem wordt zo een goede berijdbaarheid gerealiseerd.

- **Normen:**

  - Met betrekking tot schade en berijdbaarheid zullen normen moeten worden ontwikkeld op basis waarvan de "beste" waterbeheersing moet worden bepaald. Bijvoorbeeld zou een norm kunnen zijn dat bij een bepaalde oefenfrequentie niet meer dan 75 % van de graszode mag worden beschadigd. Eventueel is hierbij expertise van een vegetatiedeskundige nodig.

  - Vooral proefondervindelijk zal vastgesteld moeten worden wat een optimale waterbeheersing is om de gewenste condities te creëren voor een militaire oefenterrein. Vervolgens kunnen dan via routine observaties van grondwaterstanden in samenhang met de recente regenval de gewenste waterbeheersingsmaatregelen worden genomen.

- **Criteria voor minimaliseren van schade en realiseren van maximale berijdbaarheid:**

  - m.b.t. "grondwaterstand":

  Mondelinge mededelingen van DGMT en Instituut voor Mechanisatie, Arbeid en Gebouwen (IMAG): De YPR-pantservoertuigen zouden bij een diepte van de grondwaterstand van 80 cm beneden maaiveld geen problemen ondervinden met de berijdbaarheid.

  - m.b.t. "drukhoogte":

  Hiervoor zijn geen eenduidige criteria bekend. Uit de literatuur en uit mondelinge communicatie (IMAG) blijkt dat dit onderdeel van de studie specifieke bodemmechanische deskundigheid vereist, maar ook dat de relatie "gronddruk van tanks" versus "draagkracht van de bodem" met daaraan gerelateerd de berijdbaarheid onvoldoende onderzocht is.

Uit onderzoeken elders kunnen geen richtlijnen of normen worden verkregen m.b.t. criteria voor berijdbaarheid en schade. Veelal is onderzoek gebeurd voor landbouwmechanisatie doeleinden, waarbij geheel andere eisen worden gesteld.

## 3.3 Het model SWAP93

Het model SWAP93 is ontwikkeld op het Staring Centrum en de Landbouwuniversiteit om het watertransport in een heterogeen bodemprofiel te simuleren. Het is een één-dimensionaal model dat voor een groot scala van toepassingen kan worden aangewend, zoals bijvoorbeeld actuele verdamping, gewasproductie, effect irrigatie op gewasopbrengst, vochtleverend vermogen van gronden in het kader van bodemklassifikatie, effecten van verschillende drainageintensiteit op de waterbeheersing.

De invoer omvat: begin-bodemvochtverdeling met de diepte, neerslag, potentiële evapotranspiratie, bodemvocht- en doorlatendheidskarakteristieken van de verschillende bodemlagen, kritieke drukhoogten voor wateropname door wortels (sink term), drainage karakteristieken (drainafstand, draindiepte, diepte ondoorlatende laag), kwel of wegzijging, gewaskarakteristieken, enz.

De uitvoer van het model betreft: alle termen van de waterbalans, de verdeling van het vochtgehalte en drukhoogte over het profiel, wateropname door de wortels, actuele transpiratiesnelheid, gewasopbrengst en de grondwaterstand.

# 4 GEGEVENS EN CALIBRATIE VAN HET MODEL SWAP93

## 4.1 Beschikbaar gestelde gegevens en de wijze waarop deze werden gebruikt

De periode waarover de voornaamste gegevens beschikbaar waren, nl. de grondwaterstanden, was $3^1/_2$ jaar: van 1-7-1995 tot 31-12-1994.

- *Grondwaterstanden.*
  Per inspectieplek zijn van vier peilbuizen de grondwaterstanden beschikbaar, gemeten met een interval van ongeveer 2 weken. De waargenomen grondwaterstanden werden gemiddeld per twee of vier buizen voor elk van de vier geselecteerde inspectieplekken.

- *Neerslag.*
  Dagcijfers van station Ballastplaat. Periode gebruikt 1-7-1991 tot 31-12-1994.
  De jaarsommen van de neerslagen zijn als volgt:
  1991: 661 mm (periode 1/7-31/12: 333 mm)
  1992: 823 mm
  1993: 982 mm
  1994: 998 mm
  De voor calibratie en simulatie gebruikte jaren zijn dus zeer natte jaren geweest.

- *Verdamping.*
  Dagcijfers van station Leeuwarden, op basis van de Makkink-verdampingsmethode.

  N.B. De later beschikbaar gestelde gegevens van neerslag en verdamping over een periode van 20 jaar werden in deze fase van het onderzoek naar het functioneren van het drainagesysteem niet meer gebruikt, aangezien dit tot onverantwoorde statistische conclusies zou leiden.

- *Gewas.*
  Als bodembedekking werd gras gemengd met riet aangenomen.

- *Bodem.*
  Beschikbare gegevens: U-cijfers: U-16 getal naar zandfractie; pF-curves; diepte ondoorlatende laag; verzadigde doorlatendheid.

  Op basis van de U-cijfers werden bodemhorizonten onderscheiden. De klassifikatie naar de zandfractie is steeds middelfijn zand, soms iets fijner en soms iets grover.
  Vervolgens werd uit de Staringreeks een keuze gemaakt van de meest gelijkende bouwsteen. Dit was altijd B1 voor de bovengrond en O1 voor de ondergrond. Zie Annex II (Staringreeks). De voor calibratie in het model gebruikte verzadigde doorlatendheid varieert steeds tussen 10 - 20 cm/dag. De pF-curves werden niet gebruikt, omdat deze in de aangeleverde vorm niet onmiddellijk voor verwerking op de computer geschikt waren. De diepte van de ondoorlatende laag werd ingevoerd in het model, zoals opgegeven.

- *Drainage.*
  Beschikbare gegevens: drainafstanden, draindiepte, omhullingsmateriaal, drainsleuf.
  Gegevens over afvoeren ontbraken. Als "natte omtrek" van de drainbuis werd 25 cm aangenomen voor M4-25 en 30 cm voor de plekken M2-28, M2-13 en M4-06.

N.B. Er waren geen gegevens beschikbaar over infiltratie via instuwing in de drains.

- *Kwel.*
  Er waren geen exacte gegevens bekend per geselecteerde plek. Voor het gebied als geheel werd voor enkele varianten de kwel geschat; zie Flevobericht no. 278.
  Onduidelijk was welke variant de meest bruikbare is en het was onmogelijk om een betrouwbaar kwelcijfer, nl. als mm/dag per plek, uit de beschikbare rapportage te verkrijgen. Een globale schatting van de kwel zou kunnen zijn dat zo'n 80% van het gebied een kwel heeft tussen 0.2 tot 2 mm/dag.

## 4.2 Calibratie van het model SWAP93

Voor het bereiken van sluitende conclusies van deze studie zijn twee calibraties nodig:

1. Calibratie van door het model berekende grondwaterstanden aan waargenomen grondwaterstanden.

Op basis van de aangeleverde gegevens en verwerkt zoals boven beschreven, werden de grondwaterstanden berekend. De gegevens, zoals ingevoerd in het model, zijn steeds in overeenstemming met de fysieke werkelijkheid. Alleen de verzadigde doorlatendheid werd, met kleine aanpassingen, uit de Staringreeks gehaald.

Algemeen:

Voor de Marnewaard zijn de volgende parameters relevant voor calibratie:

- aantal verschillende bodemhorizonten: deze werden steeds gekozen in relatie tot de opgegeven U-cijfers. Soms zou er aanleiding kunnen zijn om een extra laag in te voeren, indien dit een betere aansluiting van het model met de werkelijkheid geeft; voor de geselecteerde plekken was dit niet het geval.

- diepte ondoorlatende laag: steeds volgens opgave gebruikt.

- verzadigde doorlatendheid ks: deze kan veranderen t.o.v. de gemeten waarden in het veld/laboratorium a.g.v compactie, diep-woelen, etc.

- kh/kv ratio: de horizontale doorlatendheid (kh) is meestal groter dan de vertikale (kv) bij gelaagde afzettingen; opgegeven was de vertikale doorlatendheid. Bij enkele pogingen met calibraties waarbij kh/kv resp. 3 en 4 werd genomen, blijkt de grondwaterstand nauwelijks nog boven de diepte van de drains uit te komen en dit is niet in overeenstemming met de werkelijkheid.

- natte omtrek drainbuis (u-cijfer): kan kleiner worden na installatie door gedeeltelijke verstopping of door effecten van instuwing. Een lagere u geeft een hogere drainageweerstand en een tragere reactie van de afvoer op de neerslag.

- kwel: afhankelijk van de lokatie waarschijnlijk steeds aanwezig, echter de exacte hoeveelheden waren niet bekend. De kwel werd geschat op basis van summiere gegevens, waarbij de beste aansluiting werd verkregen van berekende grondwaterstanden met de waargenomen grondwaterstanden.

2. Calibratie van de door het model berekende drukhoogtes en resulterende draagkracht, in de zone boven de grondwaterstand, naar berijdbaarheid van het terrein door Leopard tanks. Als resultaat van deze calibratie zouden de berijdbaarheid en de effecten op graszode kunnen worden voorspeld.

   Deze calibratie kon niet worden gedaan en zou in een eventuele vervolgstudie kunnen worden opgenomen. Hiervoor zijn nodig 1. routine veldobservaties (door DGMT) en 2. een berijdingsproef met tanks.

## 5. EVALUATIE PER PLEK

### 5.1 Plek M4-25

1. Calibratie voor plek M4-25. (Zie Figuren 2A, 2B)

Een uitvoer van het model SWAP93 is de grondwaterstand. Deze uitvoer werd gecalibreerd naar de waargenomen grondwaterstand. Voor deze plek werd voor de waargenomen grondwaterstanden het gemiddelde genomen van de waarnemingen van buizen 1, 2, 3 en 4.

De na gedane calibratie in het model ingevoerde basisgegevens (kengetallen), luiden als volgt:

Tabel 5.1 Kengetallen M4-25

| | |
|---|---|
| Actuele drainafstand | 10 m |
| Draindiepte | 1.65 m |
| Aantal bodemhorizonten | 2: 0- 50 cm (B1) ks=14 cm/d kh/kv=1.0<br>50-250 cm (O1) ks=10 cm/d kh/kv=2.0 |
| Gewascoëfficiënten | Makkink |
| Bodembedekking | Gras |
| Diepte ondoorlatende laag | - 3.3 m |
| Natte omtrek drainbuis | u = 25 (vooral relevant voor de winter) |
| Kwel | 1.5 mm/d (maatgevend is de zomer) |

Voor de periode van $3^1/_2$ jaar is in Figuur 2A weergegeven de dagneerslag van station Ballastplaat, de waargenomen grondwaterstand (gemiddelde van de peilbuizen 1, 2, 3 en 4) en de grondwaterstand zoals berekend door het model SWAP93 zonder kwel. Het blijkt dat met name in de zomer de berekende grondwaterstand te laag is en daarom werd nog twee keer een grondwaterstand met het model berekend, maar nu met eerst een kwel van 1 mm/dag en daarna met een kwel van 2 mm/dag. Dit is weergegeven in Figuur 2B. Hieruit blijkt dat een nog betere aansluiting kan worden verkregen met de waargenomen grondwaterstanden door de kwel er tussen in te schatten, nl. op 1.5 mm/dag. Om een nog betere aansluiting te verkrijgen, met name voor de winterperiode, werd de drainageweerstand enigszins iets vergroot door de effektieve natte omtrek van de drainbuis iets te verkleinen, nl. u = 25.

De modeluitvoer van de grondwaterstanden met een kwel van 1.5 mm/dag en een u=25, het eindresultaat van de calibratie, is weergegeven in Figuur 3 (rode lijn). Als voorbeeld zijn de invoergegevens voor deze plek, M4-25, in het model SWAP93, weergegeven in Annex III.

N.B. - gws: grondwaterstand
- da: drainafstand

2. Simulaties voor plek M4-25 (Zie Figuur 3, 4, 5)

Als toevoeging op de actuele drainafstand van 10 m, werden simulaties verricht voor drainafstanden van 20 en 30 m. De door het model berekende grondwaterstanden voor deze drainafstanden zijn ook in Figuur 3 aangegeven.

Zoals uit deze figuur blijkt, komt alleen bij een drainafstand van 30 m (da=30 m) de grondwaterstand af en toe boven 80 cm - mv. ("grondwaterstand criterium")

Een andere mogelijke uitvoer van het model is de drukhoogte; zie Figuur 4. Deze modeluitvoer is weergegeven voor 3 dieptes, nl. 7.5 cm (2e node), 12.5 cm (3e node) en 17.5 cm (4e node). In Figuur 4 is dit weergegeven voor de meest ongunstige, gesimuleerde, drainafstand, nl. van 30 m. Het betreft een winterperiode: van ongeveer oktober 1991 tot eind maart 1992.

In Figuur 5 zijn ook de drukhoogtes weergegeven voor dezelfde dieptes, maar nu voor de 3 drainafstanden: de actuele drainafstand van 10 m en de gesimuleerde drainafstanden van 20 en 30 m.

"Kritieke" waarden voor drukhoogtes zijn (zie hoofdstuk 3):

h2 > -72,5 cm; h3 > -67,5 cm; h4 > -62,5 cm

Deze kritieke waarden gerelateerd aan het "drukhoogte criterium" blijken frequent te worden overschreden.

3. Conclusies m.b.t. berijdbaarheid:

a. naar grondwaterstand criterium:

Indien als gevolg van verminderd onderhoud drains zouden uitvallen, dan is toch de kans op verminderde berijdbaarheid te verwaarlozen. Geen probleem is te verwachten indien bijvoorbeeld om de ander de drains zouden uitvallen; de actuele drainafstand is ook erg klein (da=10m). Zelfs indien pleksgewijs twee op de drie drains zouden uitvallen, dan is er alleen maar in een zeer nat jaar verminderde berijdbaarheid te verwachten.

b. naar drukhoogte criterium:

Onduidelijk is welke drukhoogte bepalend is. Conclusies kunnen niet worden getrokken.

De drukhoogtelijnen voor de drie lagen (nodes) met gemiddelde diepte van 7.5 cm, 12.5 cm en 17.5 cm blijken vrijwel gelijktijdig "omhoog te schieten" zodra het (fors) gaat regenen. Op dat moment doet de drainafstand er kennelijk niet zoveel meer toe. Pas na afloop van de regenperiode gaat de drainafstand weer een rol spelen en "trekt" de kortste drainafstand de drukhoogtelijnen het snelst naar veiliger lagere, meer negatieve, drukhoogteniveaus.

De kwantificering van deze Figuren naar aantal dagen per jaar waarop kritieke drukhoogtes (hcrit) worden overschreden, is weergegeven in de tabellen 5.2, 5.3 en 5.4.

Tabel 5.2 M4-25, Overschrijding druk-hoogtes, in dagen; drainafstand 10 m, kwel 1.5 mm/dag

| h crit | node 2 | node 3 | node 4 |
|---|---|---|---|
| **1991** | | | |
| -40 cm | 2 | 2 | 2 |
| -50 cm | 12 | 5 | 3 |
| -60 cm | 28 | 23 | 21 |
| -70 cm | 38 | 36 | 34 |
| -80 cm | 52 | 52 | 47 |
| -90 cm | 72 | 71 | 74 |
| -100 cm | 100 | 100 | 105 |
| **1992** | | | |
| -40 cm | 10 | 7 | 5 |
| -50 cm | 21 | 19 | 13 |
| -60 cm | 39 | 35 | 33 |
| -70 cm | 63 | 60 | 55 |
| -80 cm | 90 | 87 | 92 |
| -90 cm | 122 | 121 | 125 |
| -100 cm | 155 | 160 | 163 |
| **1993** | | | |
| -40 cm | 12 | 11 | 9 |
| -50 cm | 27 | 25 | 24 |
| -60 cm | 47 | 44 | 44 |
| -70 cm | 75 | 71 | 70 |
| -80 cm | 102 | 98 | 99 |
| -90 cm | 133 | 130 | 127 |
| -100 cm | 164 | 164 | 163 |
| **1994** | | | |
| -40 cm | 11 | 9 | 9 |
| -50 cm | 26 | 22 | 17 |
| -60 cm | 52 | 51 | 42 |
| -70 cm | 88 | 86 | 88 |
| -80 cm | 120 | 129 | 131 |
| -90 cm | 153 | 158 | 164 |
| -100 cm | 174 | 177 | 185 |

Tabel 5.3 M4-25, Overschrijding druk-hoogtes, in dagen; drainafstand 20 m, kwel 1.5 mm/dag

| h crit | node 2 | node 3 | node 4 |
|---|---|---|---|
| **1991** | | | |
| -40 cm | 2 | 2 | 2 |
| -50 cm | 12 | 5 | 3 |
| -60 cm | 29 | 27 | 21 |
| -70 cm | 39 | 41 | 39 |
| -80 cm | 54 | 54 | 52 |
| -90 cm | 79 | 78 | 79 |
| -100 cm | 112 | 110 | 119 |
| **1992** | | | |
| -40 cm | 11 | 8 | 6 |
| -50 cm | 24 | 20 | 17 |
| -60 cm | 44 | 41 | 40 |
| -70 cm | 71 | 70 | 68 |
| -80 cm | 102 | 99 | 106 |
| -90 cm | 136 | 143 | 147 |
| -100 cm | 173 | 180 | 187 |
| **1993** | | | |
| -40 cm | 13 | 11 | 10 |
| -50 cm | 29 | 29 | 27 |
| -60 cm | 50 | 47 | 47 |
| -70 cm | 83 | 80 | 81 |
| -80 cm | 109 | 107 | 110 |
| -90 cm | 149 | 145 | 151 |
| -100 cm | 178 | 188 | 192 |
| **1994** | | | |
| -40 cm | 12 | 10 | 9 |
| -50 cm | 29 | 26 | 24 |
| -60 cm | 59 | 57 | 52 |
| -70 cm | 94 | 97 | 107 |
| -80 cm | 135 | 141 | 147 |
| -90 cm | 161 | 169 | 178 |
| -100 cm | 188 | 198 | 203 |

Tabel 5.4 M4-25, Overschrijding drukhoogtes, in dagen; drainafstand 30 m, kwel 1,5 mm/dag

| h crit | node 2 | node 3 | node 4 |
|---|---|---|---|
| **1991** | | | |
| -40 cm | 2 | 2 | 2 |
| -50 cm | 14 | 7 | 4 |
| -60 cm | 31 | 29 | 24 |
| -70 cm | 43 | 44 | 43 |
| -80 cm | 59 | 61 | 62 |
| -90 cm | 89 | 88 | 93 |
| -100 cm | 124 | 129 | 135 |
| **1992** | | | |
| -40 cm | 13 | 9 | 10 |
| -50 cm | 30 | 30 | 31 |
| -60 cm | 60 | 59 | 58 |
| -70 cm | 90 | 86 | 96 |
| -80 cm | 125 | 135 | 148 |
| -90 cm | 174 | 181 | 187 |
| -100 cm | 198 | 199 | 202 |
| **1993** | | | |
| -40 cm | 23 | 27 | 28 |
| -50 cm | 43 | 40 | 41 |
| -60 cm | 70 | 69 | 71 |
| -70 cm | 97 | 104 | 118 |
| -80 cm | 146 | 156 | 166 |
| -90 cm | 192 | 189 | 190 |
| -100 cm | 206 | 210 | 221 |
| **1994** | | | |
| -40 cm | 19 | 20 | 22 |
| -50 cm | 52 | 45 | 52 |
| -60 cm | 88 | 101 | 108 |
| -70 cm | 132 | 144 | 153 |
| -80 cm | 167 | 180 | 192 |
| -90 cm | 200 | 205 | 211 |
| -100 cm | 215 | 220 | 227 |

Gerelateerd aan de vereiste drukhoogteniveaus per laag zouden er dus in 1994 het volgende aantal dagen problemen zijn geweest met de berijdbaarheid:

Tabel 5.5 Drainafstand en verminderde berijdbaarheid (in dagen)

| Node (diepte laag) | Drainafstand da = 10 m | da = 20 m | da = 30 m |
|---|---|---|---|
| h2 (7.5 cm) | ongeveer: 96 dagen | 104 | 152 |
| h3 (12.5 cm) | ongeveer: 77 dagen | 87 | 133 |
| h4 (17.5 cm) | ongeveer: 54 dagen | 66 | 120 |

In werkelijkheid is het aantal dagen met verminderde berijdbaarheid veel geringer geweest. Dit zou ertoe kunnen leiden om dus bijvoorkeur de kritieke drukhoogtes van de grotere dieptes als maatgevend te nemen, maar ook het hier gevonden aantal dagen is nog te hoog. Hieruit blijkt dat er meer studie vereist is naar de relatie drukhoogte-berijdbaarheid.

## 5.2 Plek M2-28

1. Calibratie voor plek M2-28 (Zie Figuur 6)

De uitvoer grondwaterstand (gws) van het model werd gecalibreerd naar de waargenomen grondwaterstand. Voor deze plek werd voor de waargenomen grondwaterstanden het gemiddelde genomen van de waarnemingen van buizen 1 en 2.

De na gedane calibratie in het model ingevoerde basisgegevens (kengetallen), luiden als volgt:

Tabel 5.6 Kengetallen M2-28

| | |
|---|---|
| Actuele drainafstand | 25 m |
| Draindiepte | 1.90 m |
| Aantal bodemhorizonten | 2: 0-100 cm B1 ks=17.5 cm/d kh/kv=1.0<br>100-250 cm O1 ks=13.2 cm/d kh/kv=2.0 |
| Gewascoëfficiënten | Makkink |
| Bodembedekking | Gras |
| Diepte ondoorlatende laag | - 6.5 m |
| Natte omtrek drainbuis | u = 30 |
| Kwel | 0.5 mm/d (maatgevend is de winter) |

In Figuur 6 zijn tegelijkertijd weergegeven de waargenomen grondwaterstand en de door het model berekende grondwaterstanden met verschillende hoeveelheden kwel. De eerste calibratie zonder kwel gaf geen goede aansluiting. Na calibratie met variabele kwel hoeveelheden van resp. 2, 1.5, 1 en 0.5 mm/dag, blijkt een kwel van ongeveer 0.5 mm/dag de beste aansluiting te geven tussen waargenomen grondwaterstanden en de door het model berekende grondwaterstanden in het winter halfjaar. Echter in het zomer halfjaar is de aansluiting veel slechter. In de zomer heeft er waarschijnlijk instuwing plaatsgevonden, omdat er dan hoge grondwaterstanden voorkomen, die niet door de optredende kwel te verklaren zijn. Bovendien mag worden aangenomen dat de kwel het gehele jaar redelijk constant is.

2. Simulaties voor plek M2-28 (Zie Figuur 7)

De werkelijke drainafstand is 25 m. Simulaties werden uitgevoerd voor 50, 75 en 100 m drainafstand. Meer ter illustratie dan als reëel alternatief werd ook een drainafstand van 100 m gesimuleerd. Bij deze afstand, waarbij dus 3 van de 4 drains zijn uitgevallen, blijkt de grondwaterstand vrijwel elke winter boven de 80 cm - mv. te komen en dit kan nimmer getolereerd worden. Bij een drainafstand van 75 m is er sprake van dat alleen in hele natte winters risico's voor verminderde berijdbaarheid en schade bestaan. Voor de drainafstanden 25 m en 50 m is er zelfs in natte winters geen probleem. Dus volgens het "grondwaterstand criterium" zou zelfs om de ander er een drain mogen uitvallen.

De drukhoogtes zijn niet meer toegevoegd in de vorm van een grafiek, maar het aantal dagen dat de drukhoogte boven de eventuele kritieke niveaus komt ("drukhoogte criterium"), is direkt in tabelvorm weergegeven; zie tabellen 4.7-4.9.

3. Conclusies m.b.t. de berijdbaarheid

a. - naar grondwaterstand criterium:

Indien als gevolg van verminderd onderhoud drains zouden uitvallen, dan is de kans op verminderde berijdbaarheid te verwaarlozen. Geen probleem is te verwachten indien bijvoorbeeld om de ander de drains zouden uitvallen en dus de drainafstand plaatselijk 50 m zou worden.

b. - naar drukhoogte criterium:

Onduidelijk is welke drukhoogte bepalend is en conclusies kunnen niet worden getrokken In de tabellen 5.7 en 5.8 werd voor de beschouwde periode per jaar aangegeven het aantal dagen dat er kans op verminderde berijdbaarheid bestaat. Ook in dit geval zou de werkelijke situatie beter zijn dan uitsluitend uit het "drukhoogte criterium" blijkt.

Tabel 5.7 M2-28, Overschrijding druk-hoogtes, in dagen; drainafstand 25 m, kwel 0.5 mm/dag

| h crit | node 2 | node 3 | node 4 |
|---|---|---|---|
| **1991** | | | |
| -40 cm | 4 | 4 | 4 |
| -50 cm | 13 | 14 | 15 |
| -60 cm | 27 | 24 | 22 |
| -70cm | 39 | 37 | 36 |
| -80 cm | 54 | 55 | 50 |
| -90 cm | 67 | 70 | 68 |
| -100 cm | 86 | 92 | 90 |
| **1992** | | | |
| -40 cm | 6 | 6 | 3 |
| -50 cm | 15 | 14 | 11 |
| -60 cm | 29 | 26 | 26 |
| -70 cm | 48 | 44 | 45 |
| -80 cm | 73 | 71 | 73 |
| -90 cm | 103 | 102 | 103 |
| -100 cm | 134 | 134 | 133 |
| **1993** | | | |
| -40 cm | 10 | 9 | 8 |
| -50 cm | 24 | 23 | 23 |
| -60 cm | 40 | 40 | 39 |
| -70 cm | 59 | 58 | 63 |
| -80 cm | 89 | 88 | 84 |
| -90 cm | 112 | 111 | 112 |
| -100 cm | 144 | 141 | 139 |
| **1994** | | | |
| -40 cm | 8 | 8 | 9 |
| -50 cm | 21 | 18 | 14 |
| -60 cm | 43 | 38 | 38 |
| -70 cm | 74 | 78 | 79 |
| -80 cm | 113 | 116 | 126 |
| -90 cm | 143 | 149 | 154 |
| -100 cm | 168 | 169 | 177 |

Tabel 5.8 M2-28, Overschrijding druk-hoogtes, in dagen; drainafstand 50 m, kwel 0.5 mm/dag

| h crit | node 2 | node 3 | node 4 |
|---|---|---|---|
| **1991** | | | |
| -40 cm | 16 | 16 | 17 |
| -50 cm | 21 | 21 | 24 |
| -60 cm | 37 | 36 | 35 |
| -70cm | 52 | 51 | 51 |
| -80 cm | 70 | 72 | 73 |
| -90 cm | 99 | 107 | 110 |
| -100 cm | 126 | 125 | 130 |
| **1992** | | | |
| -40 cm | 6 | 6 | 3 |
| -50 cm | 16 | 15 | 14 |
| -60 cm | 31 | 30 | 30 |
| -70 cm | 54 | 55 | 52 |
| -80 cm | 81 | 84 | 84 |
| -90 cm | 114 | 119 | 123 |
| -100 cm | 147 | 151 | 162 |
| **1993** | | | |
| -40 cm | 10 | 10 | 10 |
| -50 cm | 27 | 27 | 31 |
| -60 cm | 46 | 45 | 45 |
| -70 cm | 71 | 69 | 72 |
| -80 cm | 98 | 103 | 105 |
| -90 cm | 134 | 130 | 134 |
| -100 cm | 159 | 165 | 169 |
| **1994** | | | |
| -40 cm | 9 | 9 | 9 |
| -50 cm | 26 | 25 | 30 |
| -60 cm | 59 | 61 | 65 |
| -70 cm | 101 | 109 | 112 |
| -80 cm | 132 | 139 | 150 |
| -90 cm | 162 | 167 | 185 |
| -100 cm | 191 | 199 | 199 |

Gerelateerd aan de vereiste drukhoogteniveaus per laag zouden er dus in 1994 het volgende aantal dagen problemen zijn geweest met de berijdbaarheid:

Tabel 5.9 Drainafstand en verminderde berijdbaarheid (in dagen)

| Node (diepte laag) | Drainafstand da = 25 m | da = 50 m |
|---|---|---|
| h2 (7.5 cm) | ongeveer: 96 dagen | 104 |
| h3 (12.5 cm) | ongeveer: 77 dagen | 87 |
| h4 (17.5 cm) | ongeveer: 54 dagen | 66 |

## 5.3 Plek M2-13

1. Calibratie voor plek M2-13 (Zie Figuur 8)

De uitvoer grondwaterstand (gws) van het model werd gecalibreerd naar de waargenomen grondwaterstand. Voor deze plek werd voor de waargenomen grondwaterstanden het gemiddelde genomen van de waarnemingen van buizen 1 en 2.

De na gedane calibratie in het model ingevoerde basisgegevens (kengetallen), luiden als volgt:

Tabel 5.10 Kengetallen M2-13

| | |
|---|---|
| Actuele drainafstand | 30 m |
| Draindiepte | 1.80 m |
| Aantal bodemhorizonten | 3: 0- 40 cm B1 ks=20 cm/d kh/kv = 1.0<br>40-100 cm O1 ks=10 cm/d kh/kv = 1.5<br>100-250 cm O1 ks=15 cm/d kh/kv = 2.0 |
| Gewascoëfficiënten | Makkink |
| Bodembedekking | Gras |
| Diepte ondoorlatende laag | - 10.0 m |
| Natte omtrek drainbuis | u = 30 |
| Kwel | 1.0 mm/d (maatgevend is de winter) |

Een kwel van 1 mm/dag blijkt het beste resultaat te geven, maar ook bij deze plek zou er instuwing plaats moeten vinden in de zomer om de hoge grondwaterstanden 's zomers te verklaren.

2. Simulaties voor plek M2-13 (Zie Figuur 9)

Simulaties verricht voor drainafstanden van 60 en 90 m. De door het model berekende grondwaterstanden voor deze drainafstanden zijn tezamen met de actuele drainafstand weergegeven in Figuur 9 aangegeven.

Zoals uit deze figuur blijkt, komt bij een drainafstand van 90 m (da = 90 m) de grondwaterstand jaarlijks boven 80 cm - mv ("grondwaterstand criterium") en treedt bovendien plasvorming op. Bij een drainafstand van 60 m is er alleen in zeer natte periodes sprak van dat de grondwaterstand boven kritieke niveaus komt, maar plasvorming komt niet voor.

Het aantal dagen dat de drukhoogte boven de eventuele kritieke niveaus komt ("drukhoogte criterium"), is in tabelvorm weergegeven; zie tabellen 5.11 en 5.12.

Tabel 5.11 M2-13, Overschrijding druk-hoogtes, in dagen; drainafstand 30 m, kwel 1,0 mm/dag

| h crit | node 2 | node 3 | node 4 |
|---|---|---|---|
| **1991** | | | |
| -40 cm | 4 | 4 | 6 |
| -50 cm | 14 | 14 | 15 |
| -60 cm | 23 | 21 | 21 |
| -70cm | 38 | 37 | 39 |
| -80 cm | 52 | 52 | 52 |
| -90 cm | 68 | 71 | 72 |
| -100 cm | 96 | 100 | 109 |
| **1992** | | | |
| -40 cm | 4 | 4 | 1 |
| -50 cm | 11 | 10 | 10 |
| -60 cm | 26 | 23 | 21 |
| -70 cm | 43 | 43 | 40 |
| -80 cm | 71 | 71 | 72 |
| -90 cm | 99 | 101 | 108 |
| -100 cm | 133 | 138 | 146 |
| **1993** | | | |
| -40 cm | 8 | 8 | 7 |
| -50 cm | 19 | 18 | 17 |
| -60 cm | 34 | 33 | 34 |
| -70 cm | 54 | 50 | 54 |
| -80 cm | 87 | 85 | 84 |
| -90 cm | 108 | 110 | 117 |
| -100 cm | 140 | 138 | 145 |
| **1994** | | | |
| -40 cm | 8 | 8 | 7 |
| -50 cm | 16 | 13 | 14 |
| -60 cm | 35 | 33 | 33 |
| -70 cm | 66 | 66 | 68 |
| -80 cm | 102 | 106 | 119 |
| -90 cm | 137 | 143 | 153 |
| -100 cm | 163 | 168 | 176 |

Tabel 5.12 M2-13, Overschrijding druk-hoogtes, in dagen; drainafstand 60 m, kwel 1,0 mm/dag

| h crit | node 2 | node 3 | node 4 |
|---|---|---|---|
| **1991** | | | |
| -40 cm | 18 | 21 | 22 |
| -50 cm | 26 | 26 | 28 |
| -60 cm | 42 | 40 | 42 |
| -70cm | 58 | 61 | 70 |
| -80 cm | 93 | 100 | 102 |
| -90 cm | 121 | 125 | 132 |
| -100 cm | 139 | 148 | 159 |
| **1992** | | | |
| -40 cm | 6 | 5 | 2 |
| -50 cm | 15 | 12 | 13 |
| -60 cm | 34 | 35 | 43 |
| -70 cm | 66 | 70 | 74 |
| -80 cm | 98 | 103 | 112 |
| -90 cm | 135 | 145 | 169 |
| -100 cm | 177 | 189 | 193 |
| **1993** | | | |
| -40 cm | 23 | 26 | 26 |
| -50 cm | 32 | 34 | 34 |
| -60 cm | 51 | 46 | 56 |
| -70 cm | 81 | 91 | 100 |
| -80 cm | 126 | 131 | 149 |
| -90 cm | 168 | 170 | 177 |
| -100 cm | 198 | 199 | 204 |
| **1994** | | | |
| -40 cm | 24 | 29 | 35 |
| -50 cm | 49 | 56 | 58 |
| -60 cm | 86 | 96 | 108 |
| -70 cm | 126 | 138 | 158 |
| -80 cm | 165 | 177 | 183 |
| -90 cm | 191 | 196 | 200 |
| -100 cm | 208 | 212 | 215 |

3. Conclusies m.b.t. de berijdbaarheid

a. - naar grondwaterstand criterium

Een drainafstand van 90 m geeft te veel schade en kan niet worden toegelaten. Drainafstanden van 60 m geven alleen bij extreem natte periodes een kleine kans op verminderde berijdbaarheid.

b. - naar drukhoogte criterium

Conclusies zijn niet mogelijk, als eerder aangegeven. Aantal dagen met kans op schade zou niet te verwaarlozen zijn bij de grotere drainafstand. Gerelateerd aan de vereiste drukhoogteniveaus per laag zouden er dus in 1994 het volgende aantal dagen problemen zijn geweest met de berijdbaarheid:

Tabel 5.13 Drainafstand en verminderde berijdbaarheid (in dagen)

| Node (diepte laag) | Drainafstand da = 30 m | da = 60 m |
|---|---|---|
| h2 (7.5 cm) | ongeveer: 75 dagen | 136 |
| h3 (12.5 cm) | ongeveer: 58 dagen | 128 |
| h4 (17.5 cm) | ongeveer: 42 dagen | 120 |

## 5.4 Plek M4-06

1. Calibratie voor plek M4-06 (Zie Figuur 10)

De uitvoer grondwaterstand (gws) van het model werd gecalibreerd naar de waargenomen grondwaterstand. Voor deze plek werd voor de waargenomen grondwaterstanden het gemiddelde genomen van de waarnemingen van buizen 3 en 4.

De na gedane calibratie in het model ingevoerde basisgegevens (kengetallen), luiden als volgt:

Tabel 5.14 Kengetallen M4-06

| | |
|---|---|
| Actuele drainafstand | 40 m |
| Draindiepte | 1.60 m |
| Aantal bodemhorizonten | 2: 0-100 cm B1 ks=20 cm/d kh/kv = 1.5<br>100-230 cm O1 ks=15 cm/d kh/kv = 2.0 |
| Gewascoëfficiënten | Makkink |
| Bodembedekking | Gras |
| Diepte ondoorlatende laag | - 2.3 m |
| Natte omtrek drainbuis | u = 30 |
| Kwel | 1.0 mm/d (?) |

Bij de eerste uitvoer van de door het model berekende grondwaterstanden bleek er weinig correlatie te zijn met de waargenomen grondwaterstanden. Bij de eerste poging tot calibratie werd zoals steeds geen kwel aangenomen. Daarna werd de kwel geschat op 1 mm/dag. Ook deze schatting gaf een pover resultaat.

Voor deze plek blijkt het niet goed mogelijk om op basis van de beschikbare gegevens een goede aansluiting te vinden van de door het model berekende grondwaterstanden met de waargenomen grondwaterstanden. Behalve kwel, zal er waarschijnlijk ook een seizoensafhankelijke infiltratie ("sub-irrigation") in het model moeten worden ingevoerd.

Aangezien er geen goed resultaat van de calibratie van het model kan worden verkregen, is deze exercitie gestaakt en zijn er dus ook geen simulaties gedaan.

## 5.5 Conclusies pleksgewijze analyse

- M.b.t. calibratie modeluitvoer grondwaterstanden met waargenomen grondwaterstanden

  Over het algemeen bleek dat calibratie goed mogelijk is zonder de fysieke werkelijkheid geweld aan te doen. Slechts een schatting van de kwel was nodig om tot een goede aansluiting te komen tussen de door het model berekende en de waargenomen grondwaterstanden. Als er geen goede aansluiting mogelijk was, dan zou de oorzaak kunnen zijn dat er infiltratie resp. instuwing heeft plaatsgevonden. Om deze "afwijkingen" te kunnen verklaren en vervolgens goed te modelleren, zijn meer gegevens nodig over de waterbeheersing in de Marnewaard. Uit de calibratie blijkt ook, dat een generalisatie van analyses van slechts enkele plekken naar de gehele Marnewaard, niet juist is en dat dus bij een volgend onderzoek naar het functioneren van het drainagesysteem de gehele Marnewaard onderwerp van bestudering zou moeten zijn.

- M.b.t. grondwaterstanden

Het drainagesysteem blijkt van ruim voldoende capaciteit om neerslag en kwel te kunnen afvoeren. De geanalyseerde jaren waren erg natte jaren en ook in deze natte jaren bleef de grondwaterstand altijd beneden het "grondwaterstand criterium" van 80 cm - mv. Dit criterium werd eerder voor de berijdbaarheid met YPR pantservoertuigen gehanteerd als het verschil tussen berijdbaar of niet berijdbaar, resp. het geven van schade aan de bodembedekking (graszode) indien bereden. Bij gebrek aan beter gedefinieerde criteria voor Leopard II tanks werd dit criterium ook voor deze voertuigen gebruikt bij de beoordeling van berijdbaarheid.

Indien, als gevolg van verminderd onderhoud, er zuigdrains zouden uitvallen, bijvoorbeeld om de ander, dan blijkt dat ook in deze natte jaren er nog geen duidelijk verminderde berijdbaarheid of grote schade optreedt.

- M.b.t. drukhoogte

De benodigde draagkracht om de gronddruk van de tanks te compenseren, moet in principe gerelateerd worden aan de drukhoogte als één van de belangrijkste factoren die de draagkracht bepaalt. Deze drukhoogte, boven de grondwaterspiegel in het onverzadigde bodemprofiel, wordt voornamelijk bepaald door de recente regenval, verdamping en de grondwaterstand. Het is gebleken dat gedurende periodes met kortdurende hevige regenval het bodemvocht in de bovengrond een drukhoogte heeft die een geringe draagkracht geeft. Dit is voor deze periodes vrijwel onafhankelijk van de grondwaterstand; dan speelt dus de drainafstand vrijwel geen rol. Pas na enige tijd, enkele dagen, zal de drukhoogte bij kleinere drainafstanden sneller teruggaan naar veiliger, meer negatieve waarden. Bij kleinere drainafstanden, dus betere drainage, zijn dan ook minder dagen met verminderde berijdbaarheid aangetoond dan bij de grotere drainafstanden. Hieruit mag echter niet de conclusie worden getrokken dat dus de kleinste drainafstand de beste is. Immers, in de praktijk blijkt dat de berijdbaarheid veel beter is dan de analyses van deze studie doen vermoeden. Daarom is er een beter inzicht nodig in de relatie drukhoogte-draagkracht en deze dient proefondervindelijk te worden verkregen.

- Criteria voor draagkracht en schade

Er zijn nu nog geen goede criteria bekend voor de bepaling van wanneer er sterk verhoogde risico's zijn m.b.t. de berijdbaarheid en de eventuele schade die optreedt aan de graszode. Daarvoor moeten normen worden ontwikkeld die specifiek toepasbaar zijn onder de condities van de Marnewaard. Voor meer algemene toepasbaarheid van dit soort onderzoek zullen voor andere bodemcondities aparte onderzoeken nodig zijn om lokale toepasbaarheid mogelijk te maken.

## 6. VOORLOPIGE ALGEMENE CONCLUSIES

1. Een voorlopige evaluatie van het functioneren van het drainagesysteem voor de gehele oefenterrein in de Marnewaard kan niet worden gedaan op basis van de studie van enkele plekken met grondwaterstandswaarnemingen, hiervoor moeten alle plekken worden geëvalueerd. Wel kan op basis van de geanalyseerde plekken een indikatie worden gegeven: zie de conclusies zoals hieronder vermeld.

2. Volgens opgave zou het terrein geschikt zijn voor militaire oefeningen als een grondwaterstand van 80 cm -mv gehandhaafd kan worden. De belangrijkste conclusie van deze studie luidt dat het geïnstalleerde ondergrondse drainagesysteem voldoende in staat is om deze diepte van de grondwaterstand te handhaven; een kleinere drainafstand geeft geen belangrijke verbetering van de berijdbaarheid of vermindering van de schade aan de bodembedekking.

3. Ook al zouden er als gevolg van verminderd onderhoud plaatselijk drains uitvallen, dan nog moet het drainagesysteem in staat worden geacht om voor een voldoende waterbeheersing te zorgen. Besparing op de hoge onderhoudskosten van het ondergrondse drainagesysteem lijkt daarom mogelijk.

4. Ter beoordeling van de berijdbaarheid en eventuele schade, zowel onder actuele drainage omstandigheden als bij een minder goed functionerend drainagesysteem, kunnen als criteria worden gehanteerd: 1. de drukhoogte op enkele dieptes beneden maaiveld en 2. de diepte van de grondwaterstand (huidige praktijk).

5. Bruikbaarheid van het "grondwaterstand criterium":

   Bij "Evenwicht in de bodemvochtsituatie" geldt dat een grondwaterstand van 80 cm -mv overeenkomt met een drukhoogte van -80 cm aan het maaiveld. Aan het maaiveld is dan een draagkracht van 0.08 MPa aanwezig en dit is juist voldoende om, bij statische belasting, de gronddruk van een Leopard tank (0.08MPa) te weerstaan. Voor dit geval kan het "grondwaterstand criterium" goed worden gebruikt, omdat er een direkt verband is met de drukhoogte. Deze situatie van evenwicht komt echter zelden in werkelijkheid voor, slechts in het voorjaar kan een dergelijke evenwichtsituatie voorkomen. De bruikbaarheid van het "grondwaterstand criterium" is daarom zeer beperkt.

   Bij "Bevochtiging, resp. Uitdroging van de bodem" is het "grondwaterstand criterium" onbruikbaar, omdat de draagkracht door de drukhoogte bepaald wordt en er in deze, meest voorkomende, situatie geen direkt verband meer is met de diepte van de grondwaterstand.

6. Bruikbaarheid van het "drukhoogte criterium":

   Bij éénzelfde diepte van de grondwaterstand kan de drukhoogte erboven zeer verschillend zijn: 1. bij bevochtiging (door neerslag) begint bovenin het bodemprofiel de drukhoogte minder negatief te worden en dit is ongunstig voor de draagkracht en 2. bij uitdroging (regenloze periode) begint bovenin het bodemprofiel de drukhoogte negatiever te worden en dit is gunstig voor de draagkracht. De conclusie is dat het "drukhoogte criterium" uiteindelijk het enig juiste criterium is voor de beoordeling van de berijdbaarheid.

7. In de praktijk is gebleken dat het aantal dagen met verminderde berijdbaarheid veel kleiner is dan de resultaten van de analyses, op basis van "drukhoogte criterium", doen vermoeden. Dit behoeft nader onderzoek, waarbij de relatie tussen "berijdbaarheid en schade" met de "drukhoogte" op relevante dieptes in het bodemprofiel moet worden vastgesteld.

8. Het is belangrijk dat nu al veldobservaties van tankchauffeurs en DGMT ten aanzien van berijdbaarheid, schade en waterbeheersing worden gedaan.

9. Normen voor de klassifikatie van de berijdbaarheid versus de verschillende vormen van schade aan de bodembedekking moeten nader worden ontwikkeld.

10. Meer onderzoek is nodig naar de effectieve draagkracht en de uitgeoefende gronddrukken, zoals gerealiseerd tijdens aan de gang zijnde militaire oefeningen. Dit zou in een vervolgstudie kunnen gebeuren.

11. Een eventuele vervolgstudie zou de analyse van alle plekken moeten omvatten en het gehele drainagesysteem moeten analyseren op effecten van verminderd onderhoud in relatie tot eisen van berijdbaarheid en toelaatbare schade.

12. Model SWAP93:
    - Calibratie: De calibratie van de door het model SWAP93 berekende grondwaterstanden met de waargenomen grondwaterstanden slaagt beter indien voldoende informatie over de actuele waterbeheersing beschikbaar is: m.n. gegevens over kwel, instuwing en drainafvoeren zijn gewenst.
    - Simulatie: Met het model SWAP93 bleek het goed mogelijk om grondwaterstanden te simuleren.

LITERATUUR:


1. SWAP93 Input instructions manual. Work Group SWAP DLO-Winand Staring Centre/LUW-Vakgroep Waterhuishouding:

2. R.A. Feddes: Inleiding Bodemnatuurkunde; 1994. LUW-Vakgroep Waterhuishouding.

3. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, 1987. Flevobericht, no. 278. Bodemkundig en Waterhuishoudkundig onderzoek t.b.v. de inrichting van het militaire oefenterrein in de Marnewaard (Lauwerszee).

4. A.L.M. van Wijk, R.A. Feddes, J.G. Wesseling en J. Buitendijk: Effecten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen; ICW rapport 31

5. W.P. Locher en H. de Bakker: Bodemkunde van Nederland, Deel 1; 1987.

6. W.B.M. Arts, G.D. Vermeulen, J.J.M. van Oorschot: Onderzoek terreineffecten rupsvoertuigen. IMAG/LUW, 1988.

7. Heidemij, 1990/Min. v. Defensie. Onderzoek terreinen 1 en 2 van het Oefenterrein "De Kamp" te Vught.

8. Proefstation voor de akkerbouw en de groenteteelt in de volle grond, 1987. Themadag "Werkbaarheid en tijdigheid".

9. Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, 1993. Grasland en Berijding.

10. IMAG, 1990. Themadag: "Management bodemstructuur"

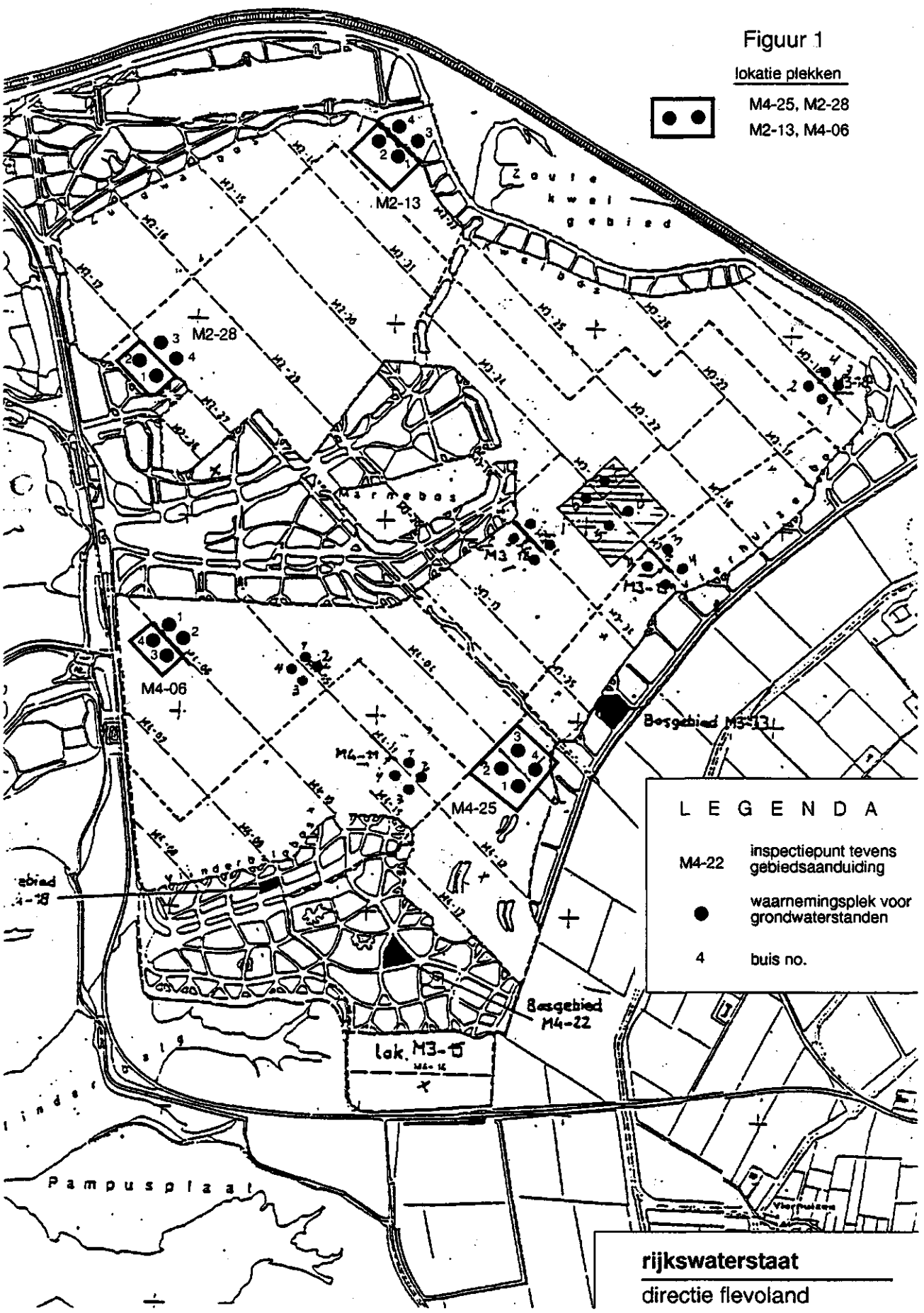
11. Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders, 1985. Flevobericht, no. 247. Vijftien jaar afgesloten Lauwerszee.

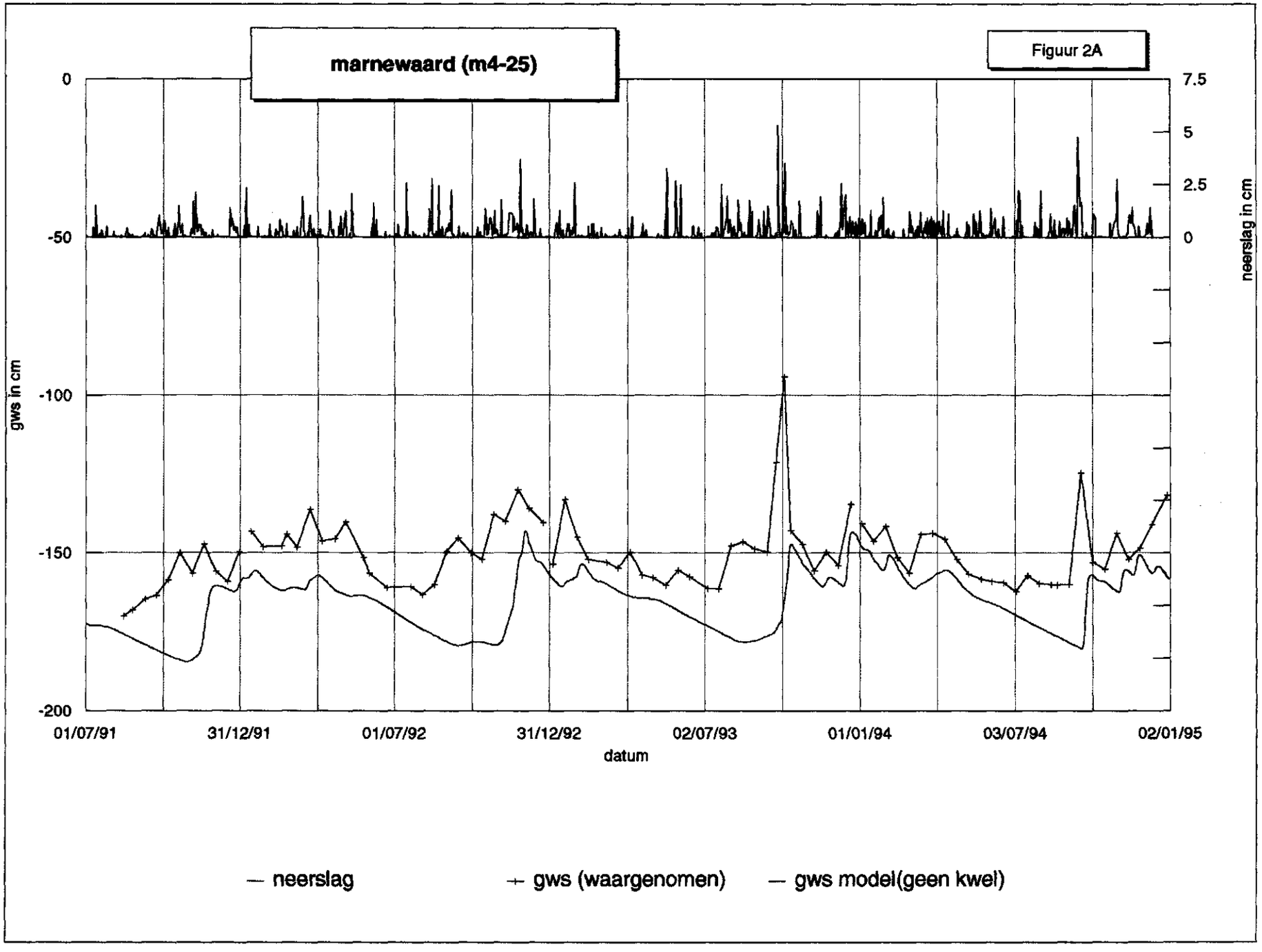
12. R.IJ.P. Rapporten: 1979-12 Abw, 1979-13 Abw, 1983-6 abw, 1983-12 abw, 1984-25 abw.

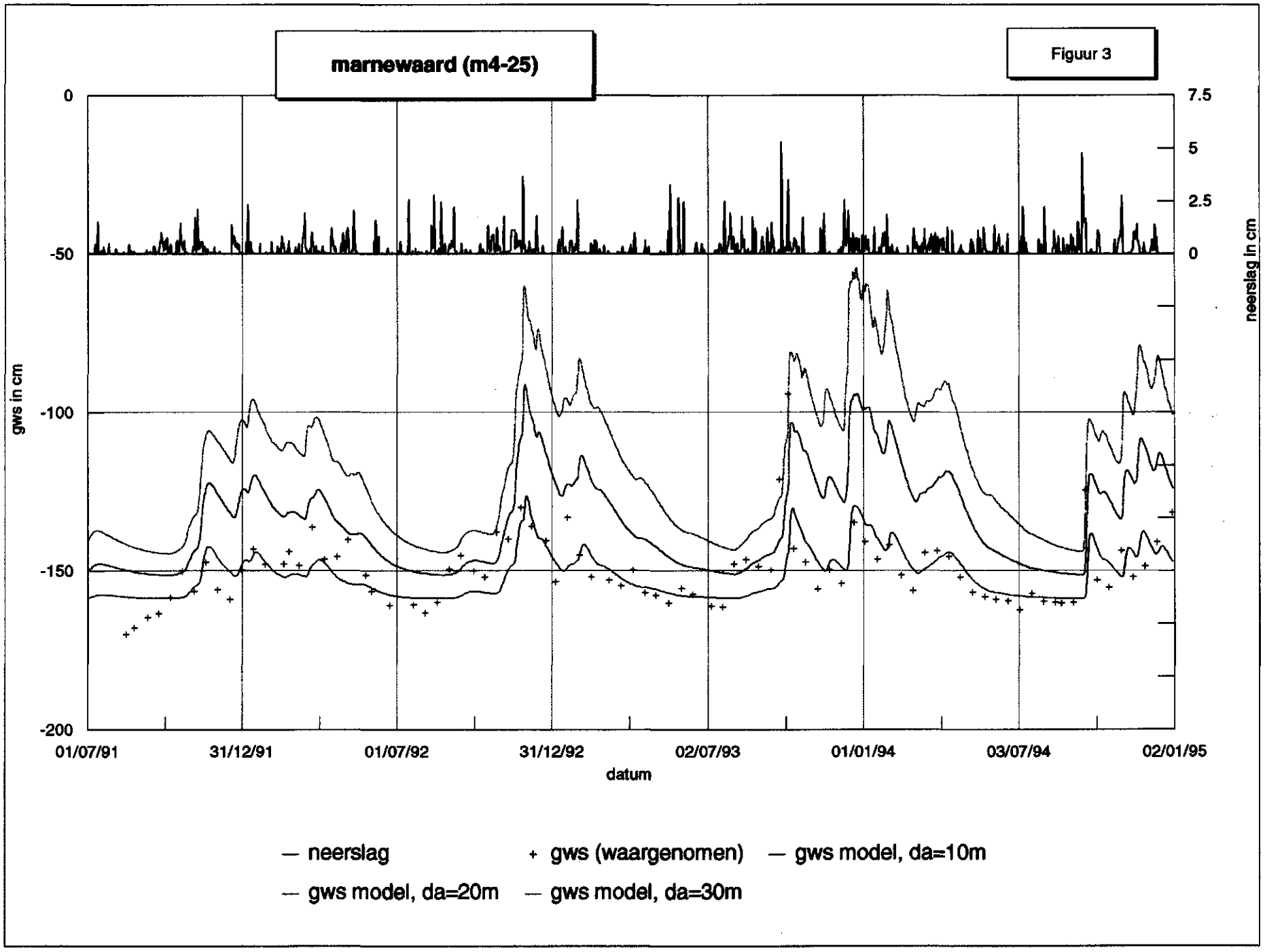
13. J.H.M. Wösten, G.J. Veerman en J. Stolte. Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van boven- en ondergronden in Nederland: De Staringreeks. Vernieuwde uitgave 1994.

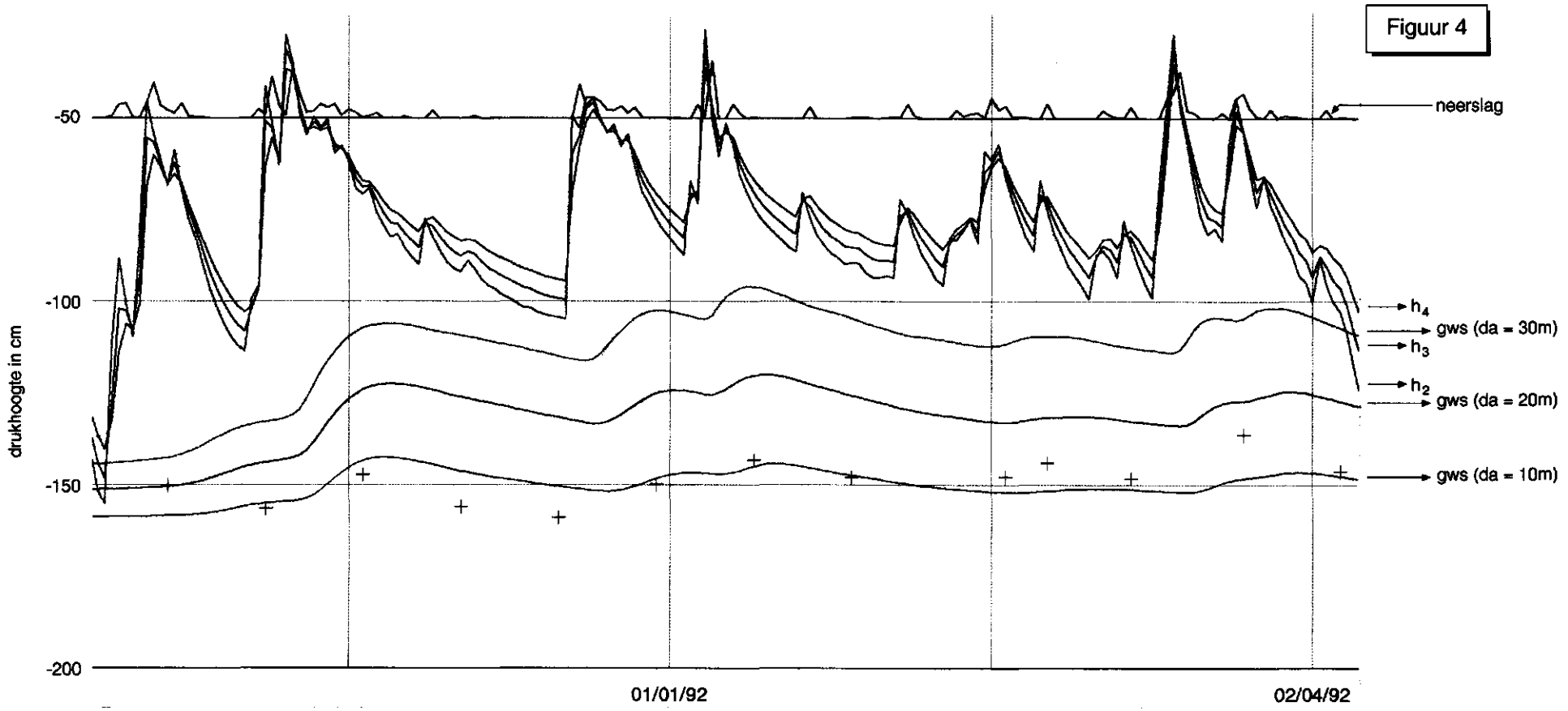
# ANNEX I

Figuren.


Figuur 1
lokatie plekken
M4-25, M2-28
M2-13, M4-06
M2-13
M2-28
M4-06
M4-25
Zoute kwel gebied
Marnebos
Bosgebied M3-13
Bosgebied M4-22
lok. M3-15
Pampusplaat
LEGENDA
M4-22 inspectiepunt tevens gebiedsaanduiding
waarnemingsplek voor grondwaterstanden
4 buis no.
rijkswaterstaat
directie flevoland


marnewaard (m4-25)
Figuur 2A
0
-50
-100
-150
-200
gws in cm
7.5
5
2.5
0
neerslag in cm
01/07/91
31/12/91
01/07/92
31/12/92
02/07/93
01/01/94
03/07/94
02/01/95
datum
neerslag
gws (waargenomen)
gws model(geen kwel)


marnewaard (m4-25)
Figuur 3
0
-50
-100
-150
-200
gws in cm
7.5
5
2.5
0
neerslag in cm
01/07/91
31/12/91
01/07/92
31/12/92
02/07/93
01/01/94
03/07/94
02/01/95
datum
neerslag
gws (waargenomen)
gws model, da=10m
gws model, da=20m
gws model, da=30m



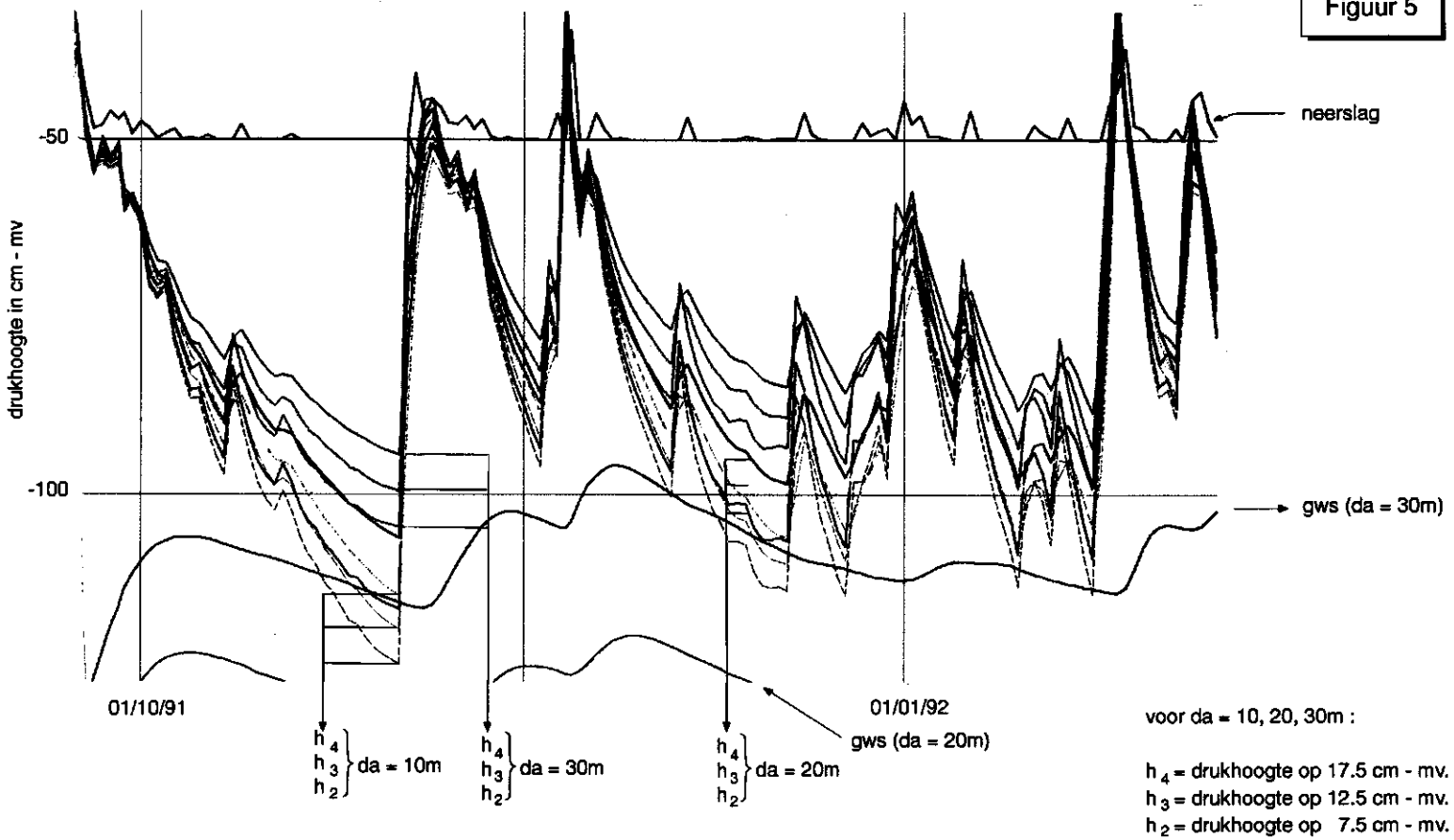

M4-25: Drukhoogte bij drainafstand da = 30m

Behorend bij da = 30m :

$h_4$ = drukhoogte op 17.5 cm - mv.
$h_3$ = drukhoogte op 12.5 cm - mv.
$h_2$ = drukhoogte op 7.5 cm - mv.

gws = grondwaterstand model

Figuur 5

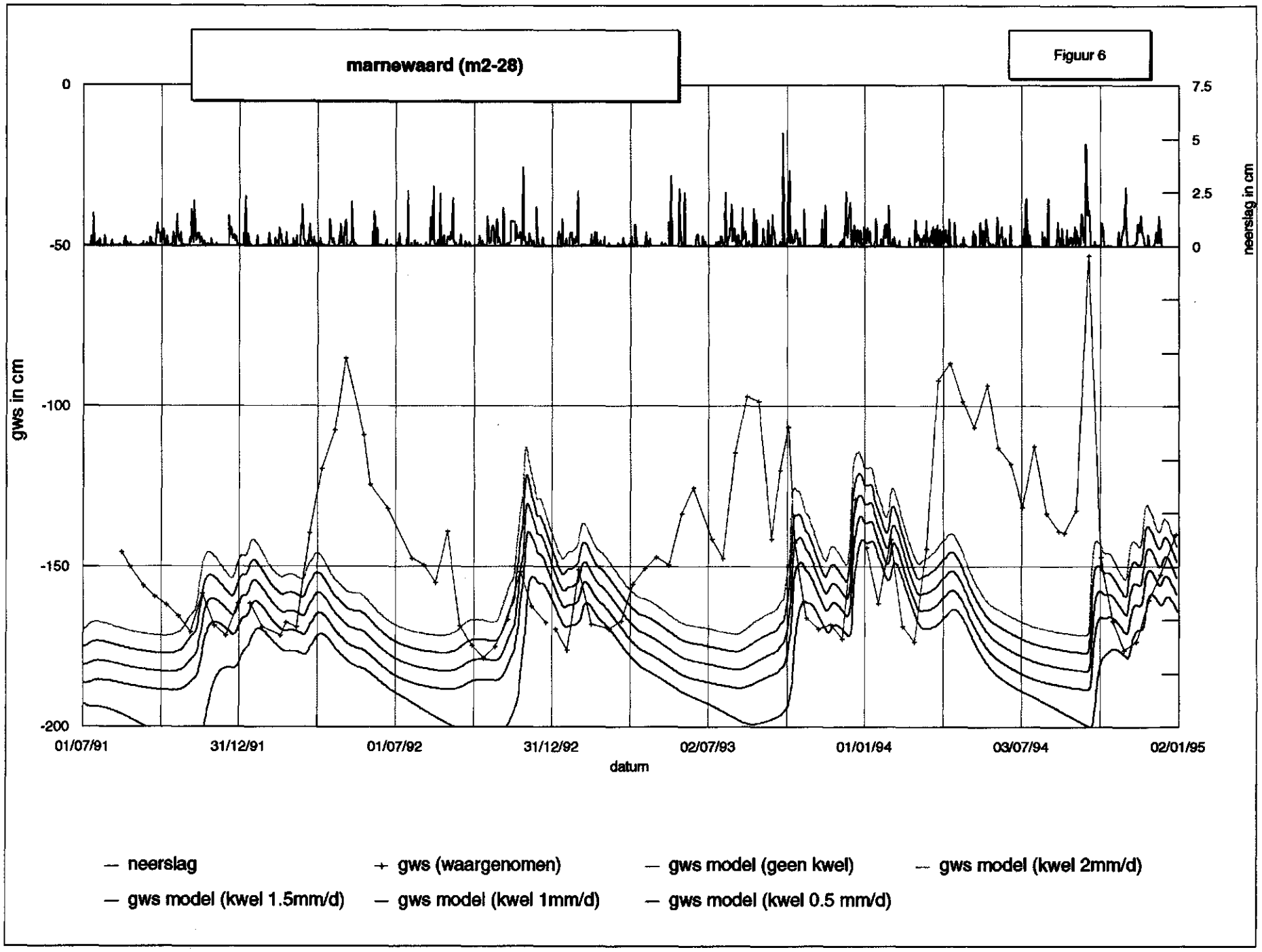


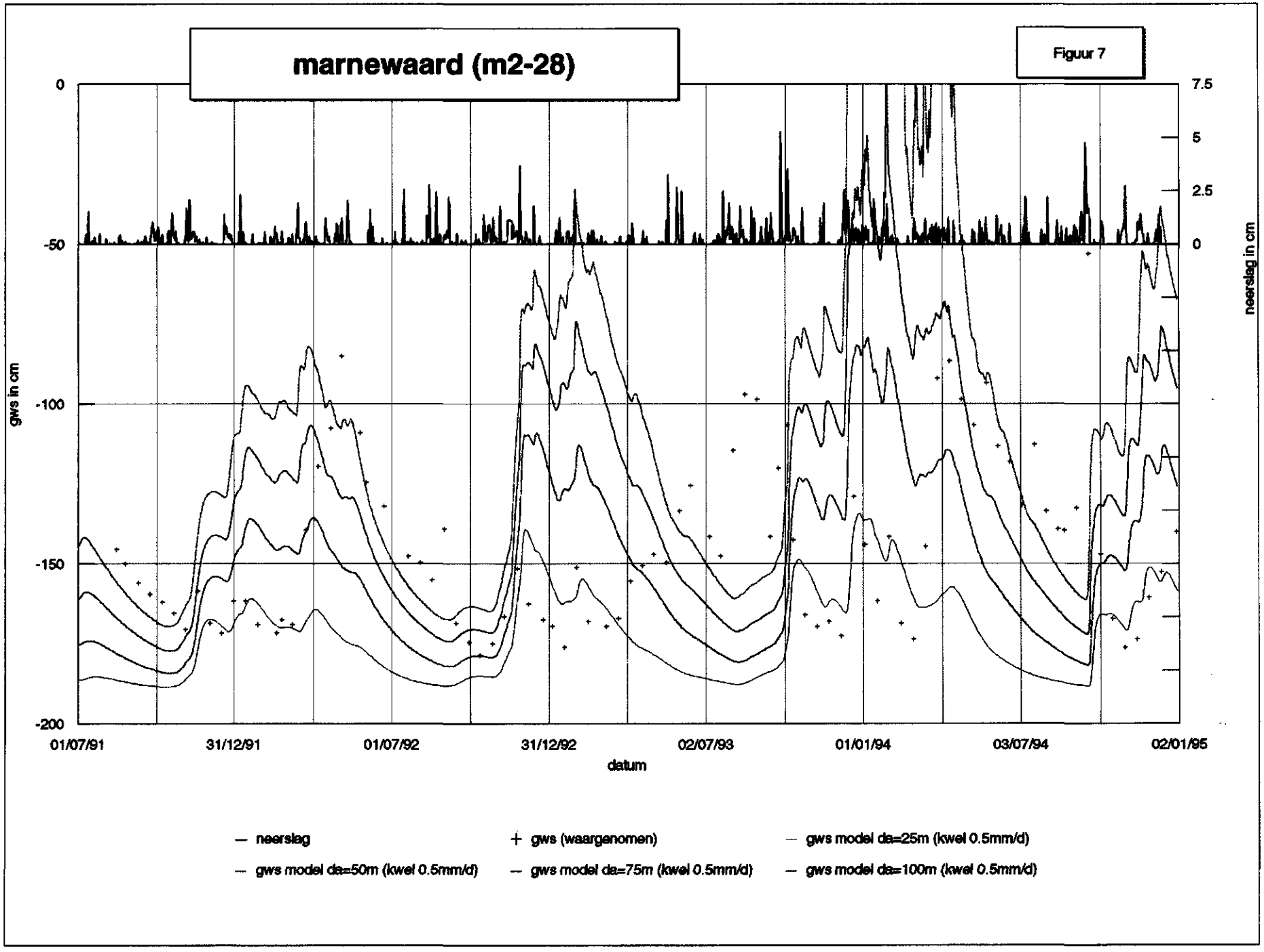

voor da = 10, 20, 30m :

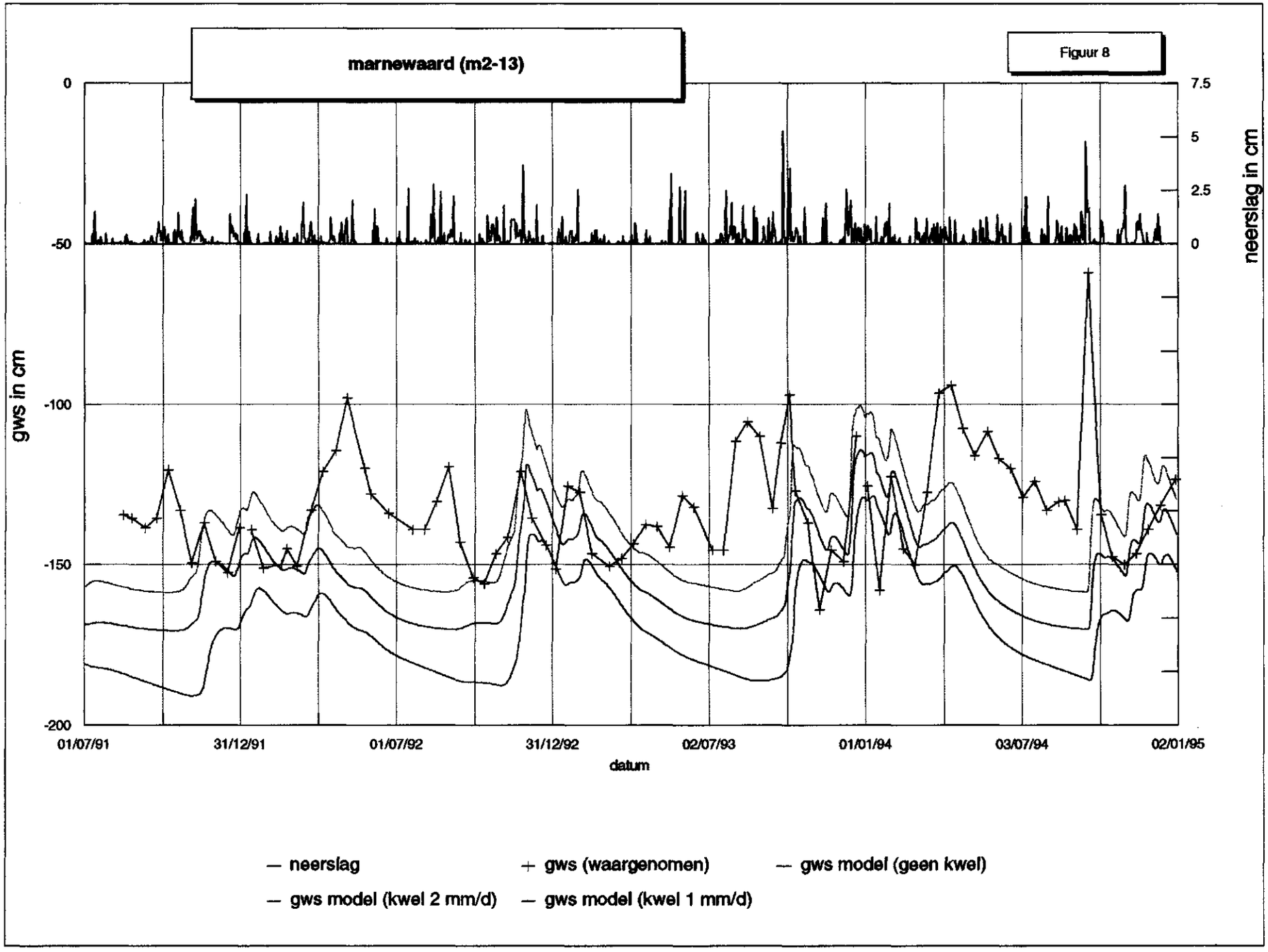
$h_4$ = drukhoogte op 17.5 cm - mv.
$h_3$ = drukhoogte op 12.5 cm - mv.
$h_2$ = drukhoogte op 7.5 cm - mv.

gws = grondwaterstand model

M4-25: Drukhoogte bij drainafstanden da = 10 , 20 en 30m


marnewaard (m2-28)
Figuur 6
gws in cm
0
-50
-100
-150
-200
neerslag in cm
7.5
5
2.5
0
01/07/91
31/12/91
01/07/92
31/12/92
02/07/93
01/01/94
03/07/94
02/01/95
datum
neerslag
gws (waargenomen)
gws model (geen kwel)
gws model (kwel 2mm/d)
gws model (kwel 1.5mm/d)
gws model (kwel 1mm/d)
gws model (kwel 0.5 mm/d)


marnewaard (m2-28)
Figuur 7
0
-50
-100
-150
-200
gws in cm
7.5
5
2.5
0
neerslag in cm
01/07/91
31/12/91
01/07/92
31/12/92
02/07/93
01/01/94
03/07/94
02/01/95
datum
neerslag
gws (waargenomen)
gws model da=25m (kwel 0.5mm/d)
gws model da=50m (kwel 0.5mm/d)
gws model da=75m (kwel 0.5mm/d)
gws model da=100m (kwel 0.5mm/d)


marnewaard (m2-13)
Figuur 8
gws in cm
neerslag in cm
0
-50
-100
-150
-200
7.5
5
2.5
0
01/07/91
31/12/91
01/07/92
31/12/92
02/07/93
01/01/94
03/07/94
02/01/95
datum
neerslag
gws (waargenomen)
gws model (geen kwel)
gws model (kwel 2 mm/d)
gws model (kwel 1 mm/d)

# ANNEX II

Waterretentie- en doorlatendheidskarakteristieken van de bovengrond B1 en de ondergrond O1.

*Tabel 1 Indeling naar textuur (in % van de minerale delen), organische-stofgehalte (in % van de grond) en mediaan van de zandfractie (M50) van bouwstenen uit de Staringreeks volgens de textuur-terminologie van het systeem van bodemclassificatie voor Nederland en het aantal relaties per bouwsteen*

**BOVENGRONDEN**

| Bouwsteen | | Leem (%) | Lutum (%) | Organische stof (%) | M50 (µm) | Aantal (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Zand* | | | | | | |
| B1 | leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand | 0- 10 | | 0- 15 | 105- 210 | 10 |

**ONDERGRONDEN**

| Bouwsteen | | Leem (%) | Lutum (%) | Organische stof (%) | M50 (µm) | Aantal (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Zand* | | | | | | |
| 01 | leemarm, zeer fijn tot matig fijn zand | 0- 10 | | 0- 3 | 105- 210 | 79 |

*Tabel 2 Waarden per bouwsteen van de geoptimaliseerde parameters uit de analytische vergelijkingen waarmee de gemiddelde bodemfysische karakteristieken zijn beschreven*

**BOVENGRONDEN**

| | $\theta_r$ ($cm^3/cm^3$) | $\theta_s$ ($cm^3/cm^3$) | $K_s$ (cm/d) | $\alpha$ (1/cm) | $l$ (-) | $n$ (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Zand* | | | | | | |
| B1 | 0,01 | 0,43 | 17,46 | 0,0249 | - 0,140 | 1,507 |

**ONDERGRONDEN**

| | $\theta_r$ ($cm^3/cm^3$) | $\theta_s$ ($cm^3/cm^3$) | $K_s$ (cm/d) | $\alpha$ (1/cm) | $l$ (-) | $n$ (-) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Zand* | | | | | | |
| O1 | 0,01 | 0,36 | 13,21 | 0,0224 | 0,000 | 2,167 |

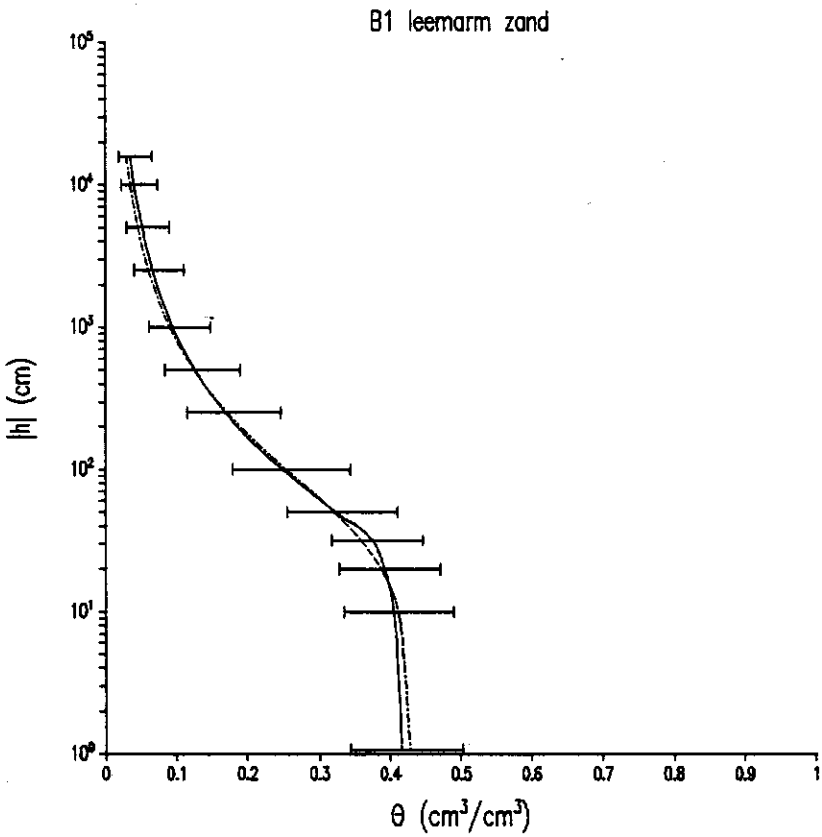
*Tabel 3 Waarden voor K (cm/d), θ ($cm^3/cm^3$), stijghoogte S1 (cm) bij een flux van 0,1 cm/d en stijghoogte S2 (cm) bij een flux van 0,2 cm/d bij 13 waarden van h (cm)*

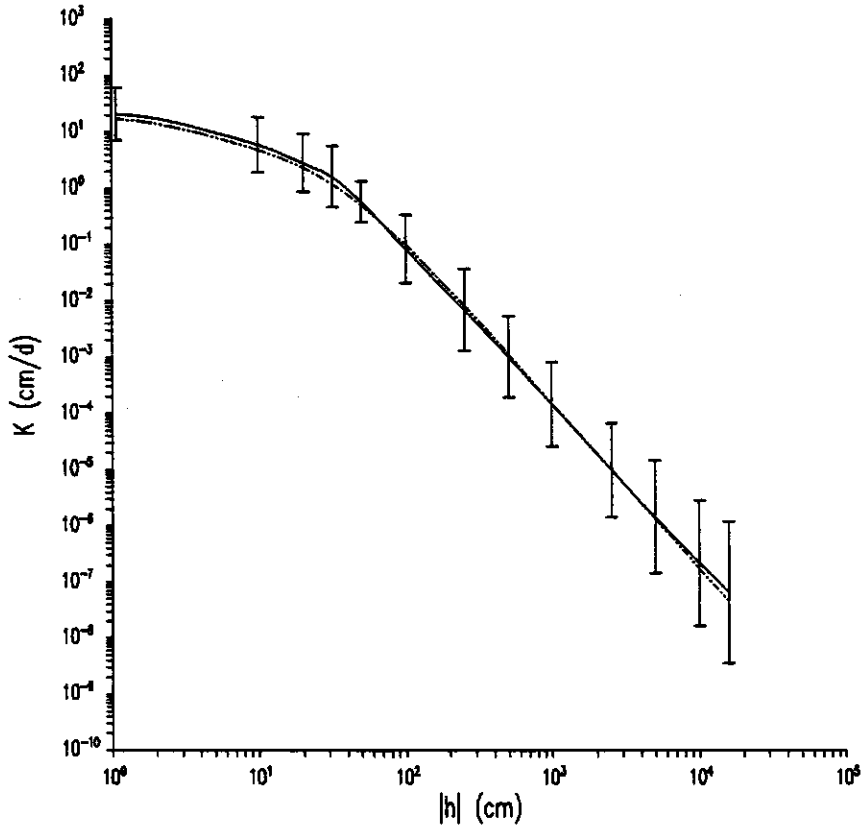
**BOVENGRONDEN**

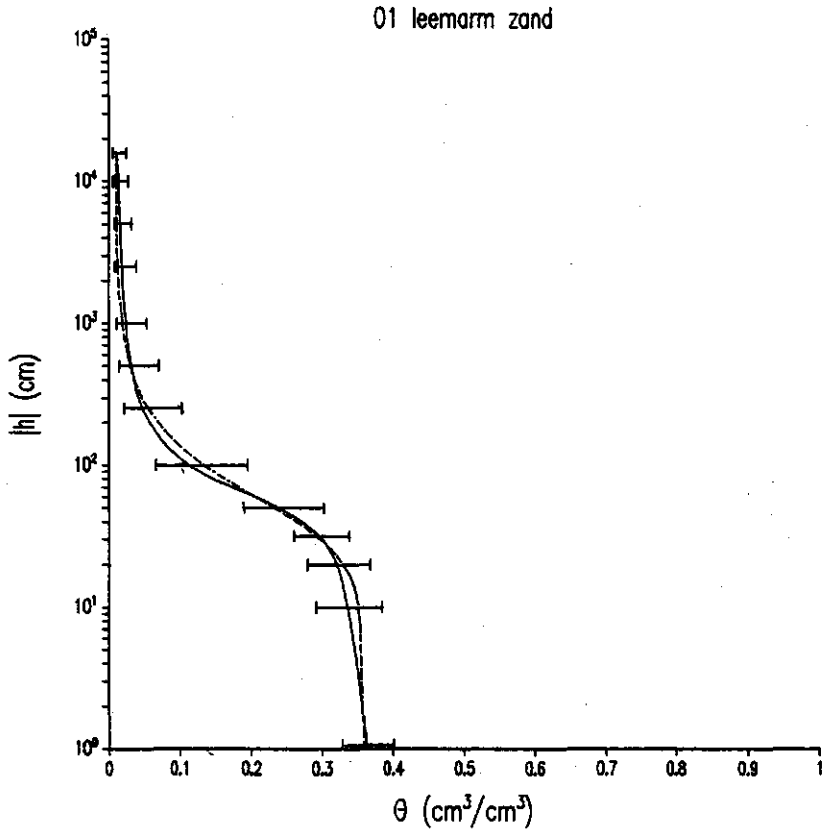
| Bovengronden | h (cm) | 1 | 10 | 20 | 31 | 50 | 100 | 250 | 500 | 1000 | 2500 | 5000 | 10000 | 16000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pF | 0,0 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,4 | 3,7 | 4,0 | 4,2 |
| B1 | K | 17,46 | 4,83 | 2,37 | 1,20 | 0,50 | 1,0E-1 | 8,3E-3 | 1,1E-3 | 1,5E-4 | 1,0E-5 | 1,3E-6 | 1,8E-7 | 4,5E-8 |
| | θ | 0,428 | 0,412 | 0,388 | 0,360 | 0,322 | 0,254 | 0,172 | 0,125 | 0,092 | 0,061 | 0,046 | 0,035 | 0,030 |
| | S1 | 0,0 | 9,9 | 19,6 | 29,9 | 46,6 | 79,8 | 112,0 | 119,6 | 121,7 | 122,3 | 122,9 | 123,0 | 123,0 |
| | S2 | 0,0 | 9,7 | 19,2 | 28,9 | 43,9 | 69,1 | 87,9 | 91,8 | 93,0 | 93,1 | 93,3 | 93,7 | 94,0 |

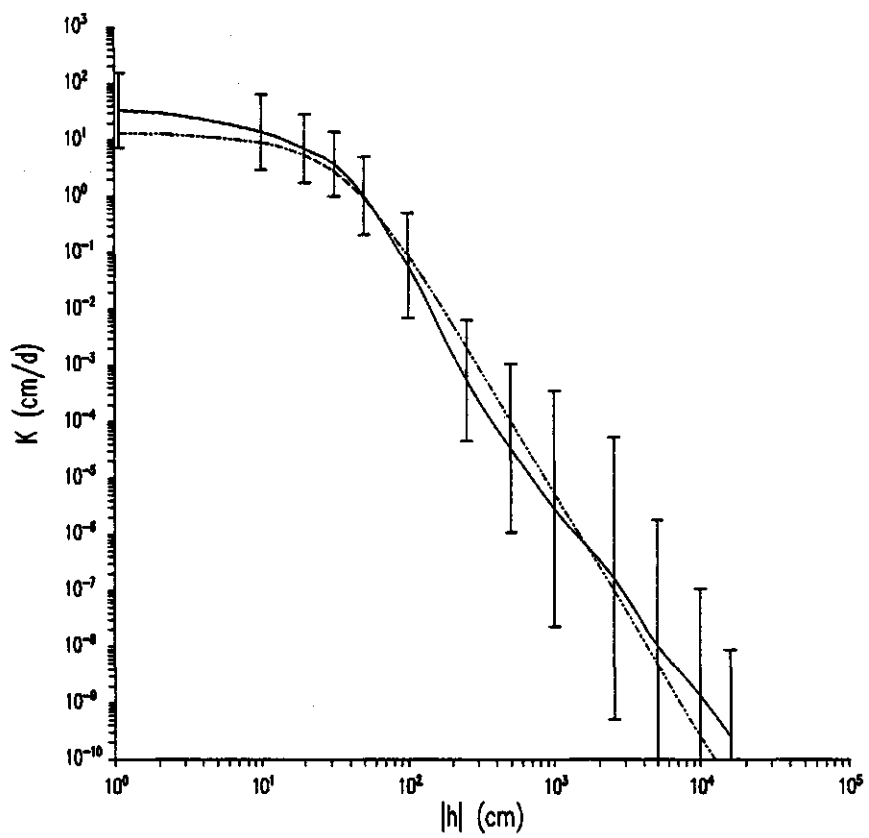
**ONDERGRONDEN**

| Ondergronden | h (cm) | 1 | 10 | 20 | 31 | 50 | 100 | 250 | 500 | 1000 | 2500 | 5000 | 10000 | 16000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pF | 0,0 | 1,0 | 1,3 | 1,5 | 1,7 | 2,0 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,4 | 3,7 | 4,0 | 4,2 |
| 01 | K | 13,21 | 9,08 | 5,44 | 2,76 | 0,94 | 9,1E-2 | 2,1E-3 | 1,1E-4 | 5,4E-6 | 1,0E-7 | 5,0E-9 | 2,0E-9 | 1,0E-9 |
| | θ | 0,358 | 0,351 | 0,329 | 0,292 | 0,233 | 0,135 | 0,056 | 0,031 | 0,019 | 0,013 | 0,012 | 0,011 | 0,010 |
| | S1 | 0,0 | 9,9 | 19,8 | 30,5 | 48,3 | 83,3 | 103,4 | 105,0 | 105,0 | 105,0 | 105,1 | 105,2 | 105,4 |
| | S2 | 0,0 | 9,8 | 19,5 | 30,0 | 48,7 | 74,4 | 86,0 | 86,9 | 87,0 | 87,0 | 87,0 | 87,0 | 87,0 |


B1 leemarm zand
|h| (cm)
θ (cm³/cm³)


K (cm/d)
|h| (cm)


01 leemarm zand
|h| (cm)
θ (cm³/cm³)


K (cm/d)
|h| (cm)

# A N N E X III

Invoer in SWAP93 voor plek M4-25.

GENERAL

---

---

```
>genhdr:
 'Voorlopige Evaluatie Drainagesysteem Militaire Oefenterrein Marnewaard (M4-25)'

>output:
 0 1  'marnew.bal'

>exfile:
 0
 'test.prf'
 1  1  1  1  1  1

>anafil:
 0

>timeva:
 1991  1994  1  365   1.0e-5  0.20  2  0.001

>balance:
 0

>redeva:
 1
 0.35

>profil:
 2   25  6
 5.0  5.0  5.0  5.0  5.0  5.0  10.0  10.0  10.0  10.0
 10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0  10.0
 15.0  15.0  15.0  15.0  20.0

>solute:
 0

>irriva:
 0

>methdr:
 'Meteorology'

>topbnd:
 1  1

>metfil:
 1991  'c:\swap93\data\meteo91.inp'
 1992  'c:\swap93\data\meteo92.inp'
 1993  'c:\swap93\data\meteo93.inp'
 1994  'c:\swap93\data\meteo94.inp'

>crphdr:
```

```
 'Maaiveld Vegetatie'

>sinkva:
 0   0   0

>rootac:
 0.      365.    366.

>crpfil:
 1991 'swap93.inp'
 1992 'swap93.inp'
 1993 'swap93.inp'
 1994 'swap93.inp'

>crppro:
 0

>soilfl:
 'swap93.inp'
 'swap93.inp'
 'swap93.inp'

>pondmx:
 5.0

>incond:
 2
 1.65

>bbdfil:
 'swap93.inp'

>drains:
 1
 'swap93.inp'

>mobile:
 0

>radi91:
 0.54  -4.0

-CROP PARAMETERS-----------------------------------------------
------------

>sink91:
 -10.    -25.    -25.   -320.   -600.   00.   -8000.

>root91:
 1
 1 20.   365 20./

>lasc91:
```

6.39 -17.7 16.1

>prin91:
0

>soco91:
56

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.200 | 34 | 0.200 | 35 | 0.201 | 36 | 0.201 | 37 | 0.202 / |
| 38 | 0.203 | 39 | 0.203 | 40 | 0.204 | 41 | 0.205 | 42 | 0.206 / |
| 43 | 0.207 | 44 | 0.209 | 45 | 0.210 | 46 | 0.211 | 47 | 0.212 / |
| 48 | 0.214 | 49 | 0.216 | 50 | 0.218 | 51 | 0.219 | 52 | 0.222 / |
| 53 | 0.224 | 54 | 0.227 | 55 | 0.230 | 56 | 0.234 | 57 | 0.237 / |
| 58 | 0.241 | 59 | 0.244 | 60 | 0.249 | 61 | 0.255 | 62 | 0.259 / |
| 63 | 0.264 | 64 | 0.270 | 65 | 0.276 | 66 | 0.282 | 67 | 0.289 / |
| 68 | 0.296 | 69 | 0.305 | 70 | 0.317 | 71 | 0.326 | 72 | 0.336 / |
| 73 | 0.351 | 74 | 0.364 | 75 | 0.383 | 76 | 0.401 | 77 | 0.418 / |
| 78 | 0.435 | 79 | 0.453 | 80 | 0.470 | 81 | 0.490 | 82 | 0.508 / |
| 83 | 0.529 | 84 | 0.548 | 85 | 0.569 | 86 | 0.589 | 87 | 0.604 / |
| 88 | 0.618 | 89 | 0.634 | 90 | 0.649 | 91 | 0.665 | 92 | 0.679 / |
| 93 | 0.695 | 94 | 0.713 | 95 | 0.724 | 96 | 0.739 | 97 | 0.755 / |
| 98 | 0.767 | 99 | 0.779 | 100 | 0.789 | 101 | 0.801 | 102 | 0.807 / |
| 103 | 0.815 | 104 | 0.820 | 105 | 0.831 | 106 | 0.845 | 107 | 0.851 / |
| 108 | 0.855 | 109 | 0.863 | 110 | 0.864 | 111 | 0.861 | 112 | 0.865 / |
| 113 | 0.865 | 114 | 0.871 | 115 | 0.867 | 116 | 0.864 | 117 | 0.861 / |
| 118 | 0.855 | 119 | 0.857 | 120 | 0.855 | 121 | 0.859 | 122 | 0.855 / |
| 123 | 0.853 | 124 | 0.852 | 125 | 0.856 | 126 | 0.853 | 127 | 0.854 / |
| 128 | 0.859 | 129 | 0.863 | 130 | 0.866 | 131 | 0.864 | 132 | 0.869 / |
| 133 | 0.866 | 134 | 0.873 | 135 | 0.877 | 136 | 0.882 | 137 | 0.885 / |
| 138 | 0.885 | 139 | 0.890 | 140 | 0.889 | 141 | 0.893 | 142 | 0.892 / |
| 143 | 0.898 | 144 | 0.897 | 145 | 0.895 | 146 | 0.896 | 147 | 0.893 / |
| 148 | 0.889 | 149 | 0.892 | 150 | 0.894 | 151 | 0.892 | 152 | 0.893 / |
| 153 | 0.894 | 154 | 0.875 | 155 | 0.872 | 156 | 0.871 | 157 | 0.877 / |
| 158 | 0.881 | 159 | 0.871 | 160 | 0.874 | 161 | 0.868 | 162 | 0.858 / |
| 163 | 0.857 | 164 | 0.858 | 165 | 0.848 | 166 | 0.846 | 167 | 0.846 / |
| 168 | 0.848 | 169 | 0.852 | 170 | 0.856 | 171 | 0.857 | 172 | 0.854 / |
| 173 | 0.857 | 174 | 0.860 | 175 | 0.861 | 176 | 0.859 | 177 | 0.857 / |
| 178 | 0.852 | 179 | 0.845 | 180 | 0.844 | 181 | 0.846 | 182 | 0.847 / |
| 183 | 0.840 | 184 | 0.835 | 185 | 0.831 | 186 | 0.826 | 187 | 0.822 / |
| 188 | 0.824 | 189 | 0.832 | 190 | 0.832 | 191 | 0.831 | 192 | 0.825 / |
| 193 | 0.828 | 194 | 0.829 | 195 | 0.831 | 196 | 0.826 | 197 | 0.824 / |
| 198 | 0.809 | 199 | 0.811 | 200 | 0.815 | 201 | 0.817 | 202 | 0.816 / |
| 203 | 0.817 | 204 | 0.819 | 205 | 0.827 | 206 | 0.839 | 207 | 0.847 / |
| 208 | 0.851 | 209 | 0.854 | 210 | 0.854 | 211 | 0.855 | 212 | 0.848 / |
| 213 | 0.838 | 214 | 0.844 | 215 | 0.849 | 216 | 0.848 | 217 | 0.850 / |
| 218 | 0.849 | 219 | 0.841 | 220 | 0.837 | 221 | 0.830 | 222 | 0.829 / |
| 223 | 0.823 | 224 | 0.823 | 225 | 0.822 | 226 | 0.817 | 227 | 0.810 / |
| 228 | 0.800 | 229 | 0.793 | 230 | 0.783 | 231 | 0.774 | 232 | 0.767 / |
| 233 | 0.760 | 234 | 0.761 | 235 | 0.759 | 236 | 0.757 | 237 | 0.750 / |
| 238 | 0.748 | 239 | 0.744 | 240 | 0.748 | 241 | 0.749 | 242 | 0.748 / |
| 243 | 0.749 | 244 | 0.745 | 245 | 0.741 | 246 | 0.742 | 247 | 0.746 / |
| 248 | 0.750 | 249 | 0.757 | 250 | 0.765 | 251 | 0.770 | 252 | 0.767 / |
| 253 | 0.770 | 254 | 0.773 | 255 | 0.775 | 256 | 0.777 | 257 | 0.779 / |
| 258 | 0.782 | 259 | 0.786 | 260 | 0.789 | 261 | 0.790 | 262 | 0.789 / |

```
263    0.792 264    0.792 265    0.795 266    0.797 267    0.797 /
268    0.804 269    0.806 270    0.810 271    0.816 272    0.816 /
273    0.819 274    0.820 275    0.823 276    0.827 277    0.829 /
278    0.833 279    0.834 280    0.834 281    0.834 282    0.834 /
283    0.832 284    0.829 285    0.829 286    0.829 287    0.828 /
288    0.826 289    0.826 290    0.825 291    0.821 292    0.818 /
293    0.817 294    0.813 295    0.811 296    0.808 297    0.806 /
298    0.803 299    0.801 300    0.798 301    0.795 302    0.792 /
303    0.791 304    0.787 305    0.783 306    0.789 307    0.793 /
308    0.796 309    0.800 365    0.200 /

>crfa91:
 2
 1 1.0 30 1.0 60 1.0 90 1.0 120 1.1 150 1.2 180 1.1 210 1.1 240 1.1 /
 270 1.0 300 1.0 330 1.0 365 1.0 /

>sink92:
 -10.   -25.   -25.   -320.   -600.   00.   -8000.

>root92:
 1
 1 20.   365 20./

>lasc92:
 6.39  -17.7  16.1

>prin92:
 0

>soco92:
 56
  1    0.200  34    0.200  35    0.201  36    0.201  37    0.202 /
 38    0.203  39    0.203  40    0.204  41    0.205  42    0.206 /
 43    0.207  44    0.209  45    0.210  46    0.211  47    0.212 /
 48    0.214  49    0.216  50    0.218  51    0.219  52    0.222 /
 53    0.224  54    0.227  55    0.230  56    0.234  57    0.237 /
 58    0.241  59    0.244  60    0.249  61    0.255  62    0.259 /
 63    0.264  64    0.270  65    0.276  66    0.282  67    0.289 /
 68    0.296  69    0.305  70    0.317  71    0.326  72    0.336 /
 73    0.351  74    0.364  75    0.383  76    0.401  77    0.418 /
 78    0.435  79    0.453  80    0.470  81    0.490  82    0.508 /
 83    0.529  84    0.548  85    0.569  86    0.589  87    0.604 /
 88    0.618  89    0.634  90    0.649  91    0.665  92    0.679 /
 93    0.695  94    0.713  95    0.724  96    0.739  97    0.755 /
 98    0.767  99    0.779 100    0.789 101    0.801 102    0.807 /
103    0.815 104    0.820 105    0.831 106    0.845 107    0.851 /
108    0.855 109    0.863 110    0.864 111    0.861 112    0.865 /
113    0.865 114    0.871 115    0.867 116    0.864 117    0.861 /
118    0.855 119    0.857 120    0.855 121    0.859 122    0.855 /
123    0.853 124    0.852 125    0.856 126    0.853 127    0.854 /
128    0.859 129    0.863 130    0.866 131    0.864 132    0.869 /
133    0.866 134    0.873 135    0.877 136    0.882 137    0.885 /
138    0.885 139    0.890 140    0.889 141    0.893 142    0.892 /
```

```
143     0.898 144     0.897 145     0.895 146     0.896 147     0.893 /
148     0.889 149     0.892 150     0.894 151     0.892 152     0.893 /
153     0.894 154     0.875 155     0.872 156     0.871 157     0.877 /
158     0.881 159     0.871 160     0.874 161     0.868 162     0.858 /
163     0.857 164     0.858 165     0.848 166     0.846 167     0.846 /
168     0.848 169     0.852 170     0.856 171     0.857 172     0.854 /
173     0.857 174     0.860 175     0.861 176     0.859 177     0.857 /
178     0.852 179     0.845 180     0.844 181     0.846 182     0.847 /
183     0.840 184     0.835 185     0.831 186     0.826 187     0.822 /
188     0.824 189     0.832 190     0.832 191     0.831 192     0.825 /
193     0.828 194     0.829 195     0.831 196     0.826 197     0.824 /
198     0.809 199     0.811 200     0.815 201     0.817 202     0.816 /
203     0.817 204     0.819 205     0.827 206     0.839 207     0.847 /
208     0.851 209     0.854 210     0.854 211     0.855 212     0.848 /
213     0.838 214     0.844 215     0.849 216     0.848 217     0.850 /
218     0.849 219     0.841 220     0.837 221     0.830 222     0.829 /
223     0.823 224     0.823 225     0.822 226     0.817 227     0.810 /
228     0.800 229     0.793 230     0.783 231     0.774 232     0.767 /
233     0.760 234     0.761 235     0.759 236     0.757 237     0.750 /
238     0.748 239     0.744 240     0.748 241     0.749 242     0.748 /
243     0.749 244     0.745 245     0.741 246     0.742 247     0.746 /
248     0.750 249     0.757 250     0.765 251     0.770 252     0.767 /
253     0.770 254     0.773 255     0.775 256     0.777 257     0.779 /
258     0.782 259     0.786 260     0.789 261     0.790 262     0.789 /
263     0.792 264     0.792 265     0.795 266     0.797 267     0.797 /
268     0.804 269     0.806 270     0.810 271     0.816 272     0.816 /
273     0.819 274     0.820 275     0.823 276     0.827 277     0.829 /
278     0.833 279     0.834 280     0.834 281     0.834 282     0.834 /
283     0.832 284     0.829 285     0.829 286     0.829 287     0.828 /
288     0.826 289     0.826 290     0.825 291     0.821 292     0.818 /
293     0.817 294     0.813 295     0.811 296     0.808 297     0.806 /
298     0.803 299     0.801 300     0.798 301     0.795 302     0.792 /
303     0.791 304     0.787 305     0.783 306     0.789 307     0.793 /
308     0.796 309     0.800 365     0.200 /

>crfa92:
 2
 1 1.0 30 1.0 60 1.0 90 1.0 120 1.1 150 1.2 180 1.1 210 1.1 240 1.1 /
 270 1.0 300 1.0 330 1.0 365 1.0 /

>sink93:
 -10.    -25.    -25.   -320.   -600.    00.   -8000.

>root93:
 1
 1 20.    365 20./

>lasc93:
 6.39  -17.7  16.1

>prin93:
 0
```

```
>soco93:
 56
  1   0.200  34   0.200  35   0.201  36   0.201  37   0.202 /
 38   0.203  39   0.203  40   0.204  41   0.205  42   0.206 /
 43   0.207  44   0.209  45   0.210  46   0.211  47   0.212 /
 48   0.214  49   0.216  50   0.218  51   0.219  52   0.222 /
 53   0.224  54   0.227  55   0.230  56   0.234  57   0.237 /
 58   0.241  59   0.244  60   0.249  61   0.255  62   0.259 /
 63   0.264  64   0.270  65   0.276  66   0.282  67   0.289 /
 68   0.296  69   0.305  70   0.317  71   0.326  72   0.336 /
 73   0.351  74   0.364  75   0.383  76   0.401  77   0.418 /
 78   0.435  79   0.453  80   0.470  81   0.490  82   0.508 /
 83   0.529  84   0.548  85   0.569  86   0.589  87   0.604 /
 88   0.618  89   0.634  90   0.649  91   0.665  92   0.679 /
 93   0.695  94   0.713  95   0.724  96   0.739  97   0.755 /
 98   0.767  99   0.779 100   0.789 101   0.801 102   0.807 /
103   0.815 104   0.820 105   0.831 106   0.845 107   0.851 /
108   0.855 109   0.863 110   0.864 111   0.861 112   0.865 /
113   0.865 114   0.871 115   0.867 116   0.864 117   0.861 /
118   0.855 119   0.857 120   0.855 121   0.859 122   0.855 /
123   0.853 124   0.852 125   0.856 126   0.853 127   0.854 /
128   0.859 129   0.863 130   0.866 131   0.864 132   0.869 /
133   0.866 134   0.873 135   0.877 136   0.882 137   0.885 /
138   0.885 139   0.890 140   0.889 141   0.893 142   0.892 /
143   0.898 144   0.897 145   0.895 146   0.896 147   0.893 /
148   0.889 149   0.892 150   0.894 151   0.892 152   0.893 /
153   0.894 154   0.875 155   0.872 156   0.871 157   0.877 /
158   0.881 159   0.871 160   0.874 161   0.868 162   0.858 /
163   0.857 164   0.858 165   0.848 166   0.846 167   0.846 /
168   0.848 169   0.852 170   0.856 171   0.857 172   0.854 /
173   0.857 174   0.860 175   0.861 176   0.859 177   0.857 /
178   0.852 179   0.845 180   0.844 181   0.846 182   0.847 /
183   0.840 184   0.835 185   0.831 186   0.826 187   0.822 /
188   0.824 189   0.832 190   0.832 191   0.831 192   0.825 /
193   0.828 194   0.829 195   0.831 196   0.826 197   0.824 /
198   0.809 199   0.811 200   0.815 201   0.817 202   0.816 /
203   0.817 204   0.819 205   0.827 206   0.839 207   0.847 /
208   0.851 209   0.854 210   0.854 211   0.855 212   0.848 /
213   0.838 214   0.844 215   0.849 216   0.848 217   0.850 /
218   0.849 219   0.841 220   0.837 221   0.830 222   0.829 /
223   0.823 224   0.823 225   0.822 226   0.817 227   0.810 /
228   0.800 229   0.793 230   0.783 231   0.774 232   0.767 /
233   0.760 234   0.761 235   0.759 236   0.757 237   0.750 /
238   0.748 239   0.744 240   0.748 241   0.749 242   0.748 /
243   0.749 244   0.745 245   0.741 246   0.742 247   0.746 /
248   0.750 249   0.757 250   0.765 251   0.770 252   0.767 /
253   0.770 254   0.773 255   0.775 256   0.777 257   0.779 /
258   0.782 259   0.786 260   0.789 261   0.790 262   0.789 /
263   0.792 264   0.792 265   0.795 266   0.797 267   0.797 /
268   0.804 269   0.806 270   0.810 271   0.816 272   0.816 /
273   0.819 274   0.820 275   0.823 276   0.827 277   0.829 /
278   0.833 279   0.834 280   0.834 281   0.834 282   0.834 /
283   0.832 284   0.829 285   0.829 286   0.829 287   0.828 /
```

```
 288    0.826 289    0.826 290    0.825 291    0.821 292    0.818 /
 293    0.817 294    0.813 295    0.811 296    0.808 297    0.806 /
 298    0.803 299    0.801 300    0.798 301    0.795 302    0.792 /
 303    0.791 304    0.787 305    0.783 306    0.789 307    0.793 /
 308    0.796 309    0.800 365    0.200 /

>crfa93:
 2
 1 1.0 30 1.0 60 1.0 90 1.0 120 1.1 150 1.2 180 1.1 210 1.1 240 1.1 /
 270 1.0 300 1.0 330 1.0 365 1.0 /

>sink94:
 -10.   -25.   -25.   -320.   -600.   00.   -8000.

>root94:
 1
 1 20.   365 20./

>lasc94:
 6.39  -17.7  16.1

>prin94:
 0

>soco94:
 56
  1    0.200  34    0.200  35    0.201  36    0.201  37    0.202 /
 38    0.203  39    0.203  40    0.204  41    0.205  42    0.206 /
 43    0.207  44    0.209  45    0.210  46    0.211  47    0.212 /
 48    0.214  49    0.216  50    0.218  51    0.219  52    0.222 /
 53    0.224  54    0.227  55    0.230  56    0.234  57    0.237 /
 58    0.241  59    0.244  60    0.249  61    0.255  62    0.259 /
 63    0.264  64    0.270  65    0.276  66    0.282  67    0.289 /
 68    0.296  69    0.305  70    0.317  71    0.326  72    0.336 /
 73    0.351  74    0.364  75    0.383  76    0.401  77    0.418 /
 78    0.435  79    0.453  80    0.470  81    0.490  82    0.508 /
 83    0.529  84    0.548  85    0.569  86    0.589  87    0.604 /
 88    0.618  89    0.634  90    0.649  91    0.665  92    0.679 /
 93    0.695  94    0.713  95    0.724  96    0.739  97    0.755 /
 98    0.767  99    0.779 100    0.789 101    0.801 102    0.807 /
103    0.815 104    0.820 105    0.831 106    0.845 107    0.851 /
108    0.855 109    0.863 110    0.864 111    0.861 112    0.865 /
113    0.865 114    0.871 115    0.867 116    0.864 117    0.861 /
118    0.855 119    0.857 120    0.855 121    0.859 122    0.855 /
123    0.853 124    0.852 125    0.856 126    0.853 127    0.854 /
128    0.859 129    0.863 130    0.866 131    0.864 132    0.869 /
133    0.866 134    0.873 135    0.877 136    0.882 137    0.885 /
138    0.885 139    0.890 140    0.889 141    0.893 142    0.892 /
143    0.898 144    0.897 145    0.895 146    0.896 147    0.893 /
148    0.889 149    0.892 150    0.894 151    0.892 152    0.893 /
153    0.894 154    0.875 155    0.872 156    0.871 157    0.877 /
158    0.881 159    0.871 160    0.874 161    0.868 162    0.858 /
163    0.857 164    0.858 165    0.848 166    0.846 167    0.846 /
```

```
168    0.848 169    0.852 170    0.856 171    0.857 172    0.854 /
173    0.857 174    0.860 175    0.861 176    0.859 177    0.857 /
178    0.852 179    0.845 180    0.844 181    0.846 182    0.847 /
183    0.840 184    0.835 185    0.831 186    0.826 187    0.822 /
188    0.824 189    0.832 190    0.832 191    0.831 192    0.825 /
193    0.828 194    0.829 195    0.831 196    0.826 197    0.824 /
198    0.809 199    0.811 200    0.815 201    0.817 202    0.816 /
203    0.817 204    0.819 205    0.827 206    0.839 207    0.847 /
208    0.851 209    0.854 210    0.854 211    0.855 212    0.848 /
213    0.838 214    0.844 215    0.849 216    0.848 217    0.850 /
218    0.849 219    0.841 220    0.837 221    0.830 222    0.829 /
223    0.823 224    0.823 225    0.822 226    0.817 227    0.810 /
228    0.800 229    0.793 230    0.783 231    0.774 232    0.767 /
233    0.760 234    0.761 235    0.759 236    0.757 237    0.750 /
238    0.748 239    0.744 240    0.748 241    0.749 242    0.748 /
243    0.749 244    0.745 245    0.741 246    0.742 247    0.746 /
248    0.750 249    0.757 250    0.765 251    0.770 252    0.767 /
253    0.770 254    0.773 255    0.775 256    0.777 257    0.779 /
258    0.782 259    0.786 260    0.789 261    0.790 262    0.789 /
263    0.792 264    0.792 265    0.795 266    0.797 267    0.797 /
268    0.804 269    0.806 270    0.810 271    0.816 272    0.816 /
273    0.819 274    0.820 275    0.823 276    0.827 277    0.829 /
278    0.833 279    0.834 280    0.834 281    0.834 282    0.834 /
283    0.832 284    0.829 285    0.829 286    0.829 287    0.828 /
288    0.826 289    0.826 290    0.825 291    0.821 292    0.818 /
293    0.817 294    0.813 295    0.811 296    0.808 297    0.806 /
298    0.803 299    0.801 300    0.798 301    0.795 302    0.792 /
303    0.791 304    0.787 305    0.783 306    0.789 307    0.793 /
308    0.796 309    0.800 365    0.200 /

>crfa94:
 2
 1 1.0 30 1.0 60 1.0 90 1.0 120 1.1 150 1.2 180 1.1 210 1.1 240 1.1 /
 270 1.0 300 1.0 330 1.0 365 1.0 /

SOIL CHARACTERISTICS
--------------------------------------------------

>solhd1:
 'Bovengrond middelfijn zand (B1)'

>metho1:
 1

>soild1:
 0.01  0.43  14.00  0.0249  -0.140  1.507  0.0
   Or    Os    Ks      a       l      n     a

>solhd2:
 'Ondergrond matig fijn zand (O1)'

>metho2:
 1
```

```
>soild2:
 0.01  0.36  10.00  0.0224  -0.000  2.167  0.0
   Or    Os    Ks      a       l      n    a
```

BOTTOM BOUNDARY
---

```
>bothdr:
 'kwel'

>swbotb:
 1

>dayflx:
 1
 1 0.15 365 0.15 366 0.15/
```

DRAINAGE DATA
---

```
>lathdr:
'pipe drains at 165 cm depth and at distance 10.0 m'

>dgener:
 1  -3.3
 1.0  2.0

>drchar:
 1  10.0  -165  25.0  1  2
```