

SSb.3 (Flevoland +  
Gelderse Vallei) Verkef  
Dienst WB

geohydrologische gegevens  
van zuidelijk flevoland en  
de gelderse vallei  
november 1976

Provinciaal bestuur  
van Gelderland

16.325

WATERBEHEER

WV 062

MILIEU  
en  
WATER



## Inhoud.

	blz.
1. Inleiding	1
2. Topografische en waterstaatkundige beschrijving van de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland	2
3. De geologische opbouw van de ondergrond	4
4. De geohydrologische schematisering	6
5. De richting van de stroming van het grondwater	8
5.1. De isohypsen van het diepe watervoerende pakket	8
5.2. De isohypsen van het ondiepe watervoerende pakket	9
5.3. De isohypsen van het middeldiepe watervoerende pakket	10
6. De geohydrologische constanten van de diverse pakketten	11
6.1. Het doorlaatvermogen $kD$ van het diepe watervoerende pakket	11
6.2. Het doorlaatvermogen $kD$ van het middeldiepe watervoerende pakket	12
6.3. Het doorlaatvermogen $kD$ van het ondiepe watervoerende pakket	12
6.4. De weerstand $c$ van de diverse slecht doorlatende lagen	17
7. De kwaliteit van het grondwater	24

### Appendix A.

Een methode om de weerstand tegen grondwaterstroming van een slecht doorlatende laag te benaderen.

### Appendix B.

Notitie ten aanzien van de geohydrologische schematisering van de lagen onder het diepe watervoerende pakket onder Zuidelijk Flevoland.

### Appendix C.

Lijst van literatuur, van nota's en rapporten.



Lijst van kaarten.

nr.

- 1.) Topografische gegevens met betrekking tot de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland. 41356
- 2.) Geologische gegevens van belang voor de geohydrologische situatie. 41357
- 3.) Geohydrologische schematisering van de ondergrond. 41358
- 4a) Isohypsen d.d. 28.4.'74 van het grondwater in het diepe watervoerende pakket. 41359
- 4b) Isohypsen d.d. 28.4.'74 van het grondwater in het ondiepe watervoerende pakket. 41360
- 4c) Isohypsen d.d. 28.4.'74 van het grondwater in het middeldiepe watervoerende pakket. 41361
- 5a) Doorlaatvermogen van het diepe watervoerende pakket in  $m^2/dag$ . 41362
- 5b) Doorlaatvermogen van het middeldiepe watervoerende pakket in  $m^2/dag$ . 41363
- 5c) Doorlaatvermogen van het ondiepe watervoerende pakket in  $m^2/dag$ . 41364
- 6a) Weerstand van relatief diep gelegen slecht doorlatende lagen. 41365
- 6b) Weerstand van relatief ondiep gelegen slecht doorlatende lagen (met uitzondering van de Holocene lagen). 41366
- 7.) Ligging van het grensvlak tussen zoet en zout grondwater ten opzichte van de top van de Formatie van Maassluis. 41367



## 2. Topografische en waterstaatkundige beschrijving van de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland.

De Gelderse Vallei is het laaggelegen gebied dat in het oosten wordt gegrensd door de heuvelrijen van de Veluwe en in het westen door de Utrechtse Heuvelrug en het Gooi. In het noorden wordt de grens gevormd door de kustlijn van het voormalige IJsselmeer en in het zuiden tussen Wageningen en de Grebbeberg door de Neder-Rijn. De polder Zuidelijk Flevoland is door relatief smalle randmeren gescheiden van de Gelderse Vallei.

De heuvels die de Gelderse Vallei omringen zijn door hun hoge ligging en de goede doorlatendheid van de ondergrond infiltratiegebieden waar het gedeelte van de neerslag dat niet verdampt, in zijn geheel als grondwater wordt afgevoerd. Natuurlijke waterlopen worden in die gebieden niet aangetroffen. De Vallei zelf is daarentegen grotendeels een kwelgebied waar het vanaf de heuvels stromende grondwater weer aan de dag komt en door een net van watergangen verder wordt afgevoerd. Uiteraard wordt door deze watergangen ook het plaatselijke neerslagoverschot uit het gebied gebracht.

Het zuidelijke en het centrale deel van de Gelderse Vallei zijn een vrij afwaterend gebied; het overtollige water stroomt onder eigen verhang via een bekenstelsel het gebied uit. Deze afvoer verliep niet altijd naar wens. Sinds het gebied in cultuur werd gebracht, zijn een aantal maatregelen genomen om wateroverlast te vermijden. Een der eerste is het graven van de Bisschop Davids Grift geweest, die de moerassen in de omgeving van Veenendaal beter moest gaan draineren. In deze eeuw nog is het Valleikanaal in zijn huidige vorm gegraven; dit kanaal is de centrale waterloop waarop nagenoeg alle beken uitmonden. Kenmerkend is de asymmetrische ligging van het Valleikanaal, dat dicht bij de Utrechtse Heuvelrug loopt; dit is een gevolg van het feit dat de Gelderse Vallei in zijn geheel een asymmetrisch dal is. De laagste punten van het maaiveld liggen dicht bij de Heuvelrug dan bij de Veluwe. In het noordelijk deel van de Gelderse Vallei zijn een aantal polders ingericht. Het peil in de watergangen van deze polders is zo goed mogelijk gereguleerd door middel van polderpeilen. Dit is uiteraard ook het geval in de polder Zuidelijk Flevoland en zelfs in principe in de randmeren tussen Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland, waarvoor bepaalde streefpeilen gelden.

Het cultuurpatroon in de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland hangt nauw samen met de inrichting van de waterhuishouding. De heuvels, waar de grondwaterstand diep onder maaiveld ligt, zijn grotendeels bebost of met hei begroeid. In de overgangsgebieden aan de flank van de heuvels wordt akkerbouw toegepast en hier liggen ook reeds van oudsher vele bewoningskernen. Dit hangt onder andere samen met het feit dat het grondwater in deze gebieden weer op een bereikbare diepte kan worden aangetroffen. De Vallei zelf, waar in het algemeen (zeker vroeger) ondiepe grondwaterstanden aanwezig zijn of waren, is overheersend bedekt met weiland. Toch wordt ook hier in het algemeen op de iets hogere terreingedeelten akkerbouw bedreven. De polder Zuidelijk Flevoland tenslotte is voor een deel voorbestemd een akkerbouwgebied te worden en gedeeltelijk reeds als zodanig ingericht; een ander deel zal rekreatiebos gaan bevatten, terwijl ook een aanzienlijk gebied is gereserveerd voor

stedelijke bebouwing.

Hoogtelijnen van het maaiveld, het bekenstelsel en de begrenzingen van de diverse polders met de bijbehorende polderpeilen zijn afgebeeld op kaart 1.



### 3. De geologische opbouw van de ondergrond.

Door de Rijks Geologische Dienst, zijn in het kader van zijn werkzaamheden binnen de coördinatiegroep Gelderse Vallei een aantal rapporten vervaardigd (waarvan de titels zijn opgenomen in appendix C), die betrekking hebben op de geologie van de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland. Hoewel de geologische opbouw van de ondergrond van het gebied in deze rapporten afdoende wordt beschreven, lijkt het toch gewenst een aantal kenmerken naar voren te halen die van bijzonder belang zijn voor de geohydrologische situatie.

In de eerste plaats geeft het geologisch onderzoek een aanwijzing inzake de lagen die vooral van belang zijn voor de stroming van het grondwater. Dit zijn in het beschouwde gebied de lagen die afgezet zijn boven de top van de formatie van Maassluis (kaart 2). Beneden dit niveau worden hoofdzakelijk mariene sedimenten aangetroffen met een geringe doorlatendheid. Het is duidelijk dat het doorlaatvermogen van de gezamenlijke pakketten beneden de top van de formatie van Maassluis een aantal malen kleiner is dan dat van de pakketten erboven (zie ook appendix B). Hieruit en uit het feit dat de horizontale gradiënten in de stijghoogte van het grondwater op grotere diepte vermoedelijk kleiner zullen zijn dan in de pakketten erboven, valt af te leiden dat de stroming van het grondwater in de lagen beneden de top van de formatie van Maassluis kwantitatief verwaarloosd mag worden ten opzichte van de stroming erboven.

Het lagensysteem dat van belang is voor de stroming van het grondwater kan in goed, minder goed en slecht doorlatende pakketten worden onderverdeeld. Boven de formatie van Maassluis zijn een aantal geologische eenheden aanwezig, waarvan de eerste, de formatie van Tegelen, nog slecht doorlatende kleilagen kan bevatten, maar de overige, de formaties van Harderwijk, Enschede, Sterksel en Urk, nagenoeg uitsluitend zeer grof (beneden) tot iets minder grof zand en kleilagen (boven). Zij vormen waarschijnlijk één samenhangend en wat betreft de stroming van het grondwater, goed doorlatend pakket (regionaal gezien).

Aan de bovenzijde wordt het hiervoor genoemde pakket afgedekt door ofwel de opvulling van de voormalige glaciale dalen, ofwel de stuwwallen, die beide zijn ontstaan in de voorlaatste, de Saale-, ijstijd. Deze ijstijd is, voorzover bekend, de enige waarin het landijs vanuit Scandinavië tot diep in Nederland doordrong. Ter plaatse van het huidige Zuidelijk Flevoland en de Gelderse Vallei zijn toen ijslichamen van tientallen meters dik aanwezig geweest. Onder het ijs aanwezig materiaal werd frontaal en zijdelings weggedrukt, waardoor diepe dalen ontstonden met daarnaast relatief steile en hoge heuvelrijen, de stuwwallen. Hoewel dit niet geheel zeker is, wordt vaak aangenomen dat de ligging van de basis van de stuwing, dat is het grensvlak tussen niet en wel door de stuwing verstoorde lagen onder de stuwwallen, ongeveer overeenkomt met de diepte van het naastliggende glaciale dal.

Voor de stroming van het grondwater is van belang dat de afzettingen in de stuwwallen door de stuwing vaak zijn scheefgesteld, waardoor de horizontale doorlatendheid veelal minder is dan in de oorspronkelijke horizontale stand. Daardoor kunnen vertikaal

of scheefgestelde kleilagen een grote invloed uitoefenen op de stroming van het grondwater.

De voormalige glaciale dalen zijn achtereenvolgens opgevuld met fluvioglaciale sedimenten, de Eemformatie en de formatie van Twente. De fluvioglaciale sedimenten kunnen zowel bestaan uit kleileem (onderin het glaciale dal), als uit kleilagen, als uit meer of minder grof zand. Er kan worden opgemerkt dat bij toenemende diepte van het dal een toenemende dikte van de kleiige gedeelten van de fluvioglaciale afzettingen behoort. Hydrologisch gezien is van de Eemformatie de mariene Eemklei van belang, die als een aaneengesloten kleidek van enkele tot een groot aantal meters dik over een groot gebied aanwezig is. De formatie van Twente wordt gevormd door voornamelijk eolische sedimenten, het dekzand, die tijdens de laatste ijstijd (Weichsel) zijn afgezet. In de polder Zuidelijk Flevoland maar ook in het noorden van de Gelderse Vallei is het dekzand bedekt met Holocene klei- en veenlagen.

De top van de formatie van Maassluis, de onderzijde van de voormalige glaciale dalen, de verbreiding van de mariene Eemklei, de ligging van de stuwwallen en de begrenzing van de Holocene lagen zijn aangegeven op kaart 2.



#### 4. De geohydrologische schematisering.

In het algemeen behoort een geohydrologische schematisering aangepast te zijn aan de aard van het probleem waarvoor de schematisering nodig is. Voor de schematisering van de ondergrond van Zuidelijk Flevoland en de Gelderse Vallei is uitgegaan van de veronderstelling dat eventuele onttrekkingen van grondwater plaats zullen vinden boven de top van de formatie van Maassluis en dat zij bovendien van zodanige grootte zijn dat ze een invloed op regionale schaal zullen uitoefenen. In dat geval kan de navolgende schematisering worden opgesteld, die dus voor problemen van meer lokale aard zonodig dient te worden aangevuld of gewijzigd.

Zoals in het vorige hoofdstuk is vermeld, zal de natuurlijke stroming van het grondwater in lagen beneden de top van de formatie van Maassluis kwantitatief kunnen worden verwaarloosd ten opzichte van de stroming erboven. Hetzelfde geldt voor een kunstmatig opgewekte grondwaterstroming ten gevolge van een onttrekking boven de formatie van Maassluis. Om deze reden kan dit niveau worden beschouwd de praktisch ondoorlatende basis te zijn van het systeem waarbinnen het grondwater stroomt in het gebied van de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland.

Boven deze basis wordt een watervoerend pakket aangetroffen dat op zijn beurt aan de bovenzijde wordt begrensd door de fluvio-glaciale afzettingen in de voormalige glaciale dalen en door een niveau dat ongeveer overeenkomt met de basis van de stuwing onder de stuwwallen. Dit pakket zal voortaan het diepe watervoerende pakket worden genoemd. De betekenis van de formatie van Tegelen, onder in het diepe watervoerende pakket, voor de stroming van het grondwater is niet overal duidelijk. Op plaatsen waar deze formatie vooral kleiig is ontwikkeld, moet waarschijnlijk worden aangehouden dat de lagen van Tegelen eigenlijk tot de praktisch ondoorlatende basis behoren; op andere plaatsen echter, waar de erin aangetroffen kleilagen dun zijn, terwijl overigens zand is afgezet, behoren ze zeker tot het diepe watervoerende pakket. Dit probleem is echter van geringe praktische betekenis, doordat het doorlaatvermogen van het diepe watervoerende pakket vooral zal afhangen van de grofzandige pakketten boven de formatie van Tegelen en in veel mindere mate van de omstandigheid of de formatie van Tegelen zelf er al dan niet toe behoort. Natuurlijk is het wel van belang om bij de situering van pomp- en waarnemingsputten rekening te houden met het feit dat het onderste gedeelte van het diepe watervoerende pakket enige en soms dikke kleilagen kan bevatten.

Een soortgelijk probleem speelt een rol aan de bovengrens van het diepe watervoerende pakket onder de glaciale dalen. Plaatselijk zijn onderin deze dalen dikke en slecht doorlatende kleilagen aanwezig die een scheiding vormen tussen het diepe watervoerende pakket en een middeldiep watervoerend pakket (voortaan zo genoemd), dat bestaat uit soms grove zandlagen die tot de fluvio-glaciale afzettingen en tot de Eemformatie behoren. Met name wordt de bovenbeschreven situatie aangetroffen ten westen van Ermelo en Putten (Claessen, 1973). In het centrale deel van de Gelderse Vallei echter heeft de fluvio-glaciale klei meer het karakter van niet samenhangende lenzen die nauwelijks weerstand bieden tegen verticale grondwaterbeweging, zoals uit in dat gebied



gehouden pompproeven duidelijk is gebleken. De bovenbegrenzing van het diepe watervoerende pakket valt in het centrale deel van de Gelderse Vallei samen met de onderzijde van de mariene Eemklei. Vermoedelijk hangt het geconstateerde verschil samen met de diepte van het voormalige glaciale dal. Zoals in het vorige hoofdstuk reeds is opgemerkt, is bij toenemende diepte van het dal de kans groter dat er aaneengesloten weerstand-biedende fluvioglaciale lagen in worden aangetroffen. Voorshands zal worden aangenomen dat het gebied waar fluvioglaciale kleilagen een niet te verwaarlozen weerstand tegen verticale beweging van grondwater bieden, samenvalt met het gebied waar het voormalige glaciale dal dieper is dan N.A.P. - 50 m.

Voor het gebied waar de mariene Eemklei ontbreekt en waar de voormalige glaciale dalen ondieper zijn dan N.A.P. - 50 m zal worden aangehouden dat toch een zekere weerstand tegen verticale beweging van grondwater wordt geboden door de opvulling van de glaciale dalen. Er moet echter worden bedacht dat het niet overal mogelijk is om de juiste begrenzingen van de glaciale dalen aan te geven.

Ter plaatse van de stuwwallen kan aangehouden worden dat de bovenbegrenzing van het diepe watervoerende pakket samenvalt met de veronderstelde ligging van de basis van de stuwning. In een aantal gevallen is de enige betekenis van dit niveau dat de horizontale doorlatendheid erboven geleidelijk iets afneemt. De situatie ontstaat dan dat het diepe watervoerende pakket wordt bedekt door een iets minder, maar nog steeds relatief goed doorlatend ondiep watervoerend pakket, zonder dat van een duidelijk scheidende laag kan worden gesproken. In andere gevallen echter en met name onder de stuwwal Ermelo-Garderen wordt ongeveer op het niveau van de veronderstelde basis van de stuwning een niet door de stuwning aangestane, oudere fluviatiele kleilaag aangetroffen die grote weerstand biedt tegen verticale beweging van grondwater, zoals blijkt uit de grote verschillen in stijghoogte van het grondwater aan weerszijden van deze kleilaag die zijn geconstateerd (in boring 26H 144 bedraagt dit verschil ca 9 m). Hier kan wel een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen een diep en een ondiep watervoerend pakket. Er zijn aanwijzingen dat ook onder 't Gooi een soortgelijke situatie wordt aangetroffen, dus een ondiepe pakket dat uit gestuwd materiaal bestaat en een diep watervoerend pakket dat hoofdzakelijk door ongestoorde lagen wordt gevormd.

In de polder Zuidelijk Flevoland en in de eigenlijke Gelderse Vallei, d.w.z. in de voormalige glaciale dalen, vormt het dekzand een (voortaan zo te noemen) ondiep watervoerend pakket met een relatief gering doorlaatvermogen. De grote betekenis van het ondiepe watervoerende pakket ligt in het feit dat de ondiepe grondwaterstand zich erin bevindt.

Doordat de Holocene lagen meestal zijn opgebouwd uit klei en veen, vormen zij een weerstand-biedende laag die het ondiepe watervoerende pakket in de desbetreffende gebieden afdekt.

De verbreiding van de diverse weerstand-biedende lagen is afgebeeld op kaart 3. Uit deze kaart kan dus tevens worden afgeleid in hoeveel watervoerende pakketten het lagensysteem boven de praktisch ondoorlatende basis is onderverdeeld.



## 5. De richting van de stroming van het grondwater.

Grondwater stroomt van gebieden met hogere potentiaal, waarbij de potentiaal gelijk is aan de stijghoogte van het grondwater, naar gebieden met lagere potentiaal. De richting van de stroming is loodrecht op de lijnen van gelijke stijghoogte (dergelijke lijnen worden isohypsen genoemd). Bovendien kan uit het verhang tussen de isohypsen in één bepaald watervoerend pakket worden berekend hoe groot het debiet van de grondwaterstroming is, indien van dat pakket tevens het doorlaatvermogen bekend is. Het is dus van belang om voor de in het voorgaande hoofdstuk gedefinieerde watervoerende pakketten isohypsen te construeren.

Er bestaan in hoofdzaak twee methoden om lijnen van gelijke stijghoogte samen te stellen. De eerste is dat gebruik wordt gemaakt van de waarnemingen van de stijghoogte op één bepaald tijdstip. Het nadeel hiervan is dat één foutieve waarneming moeilijkheden kan opleveren bij de interpretatie. Bovendien kan door toevallige en/of lokale oorzaken de op één bepaald tijdstip gemeten waarde niet representatief zijn voor de gemiddelde stijghoogte in het desbetreffende punt. Beide bezwaren kunnen worden ondervangen door middel van een tweede methode, waarbij alle waarnemingen die in een peilfilter zijn gedaan over een bepaalde periode (meestal een jaar) worden gemiddeld en daarna gebruikt om gemiddelde isohypsen samen te stellen. Het nadeel van deze methode is de bewerkelijkheid ervan. Voor het onderhavige onderzoek is gekozen voor de eerste methode. Wel is hierbij een datum uitgekozen waarop, volgens enkele vooraf gemaakte tijdstijghoogtelijnen, stijghoogten worden gemeten die ongeveer overeenkomen met de gemiddelde in het desbetreffende jaar (1974). De geconstrueerde kaarten worden in het navolgende kort toegelicht.

### 5.1. De isohypsen van het diepe watervoerende pakket (kaart 4a).

Bij de isohypsenkaart die geldt voor het diepe watervoerende pakket kunnen de volgende opmerkingen worden geplaatst.

1. Er zijn, vergeleken met ondiepere pakketten, relatief weinig peilfilters geplaatst en waargenomen in het diepe watervoerende pakket. Dit betekent dat plaatselijk geïnterpoleerd moet worden tussen waarnemingen die op grote afstand van elkaar zijn gedaan, waardoor de ligging van de desbetreffende isohypsen minder betrouwbaar wordt.

2. Bij ongeveer gelijkblijvende waarden van het doorlaatvermogen duidt een kleiner wordende afstand tussen de isohypsen (gezien in de richting van de stroming van het grondwater) op infiltratie; het watervoerende pakket wordt gevoed met grondwater uit andere (in dit geval uit bovenliggende) pakketten. Te verwachten valt dat dit verschijnsel op zal treden in de omgeving van de stuwwallen, die immers infiltratiegebieden zijn. Merkwaardigerwijs ligt de waterscheiding (dat is de lijn waarlangs het grondwater naar weerszijden afstroomt) in een aantal gevallen buiten de eigenlijke stuwwallen. Het meest uitgesproken is dit verschijnsel in de omgeving van Maarsbergen. De omstandigheid dat de stijghoogten van het grondwater aan de zuid-west-zijde van de Utrechtse Heuvelrug door een aantal oorzaken relatief lager zijn dan ten noord-oosten ervan kan onder andere als verklaring dienen voor het feit dat de waterscheiding ten noorden van de stuwwal ligt. Nabij Putten ligt de waterscheiding in het diepe watervoerende pakket ten zuiden van de stuwwal Ermelo-Garderen. Hier zou de reden kunnen zijn dat de oudere



fluviatiele kleilaag die het diepe watervoerende pakket afdekt, ter plaatse van de waterscheiding minder weerstand biedt dan onder de stuwwal. Zekerheid hierover bestaat niet.

3. De dalwaterscheiding (dat is de lijn die de relatief laagste punten van het vlak van de stijghoogten van het grondwater verbindt) in de Gelderse Vallei volgt ongeveer de relatief laagste punten van het maaiveld. Zoals ook te verwachten was, blijkt het isohypsenbeeld regelmatigiger te zijn dan het hoogtelijnenbeeld van het maaiveld.

4. De depressie in de isohypsen ten westen van Amersfoort is een gevolg van de onttrekking van grondwater op de waterwinplaats Soestduinen, waarvan de capaciteit in orde van grootte  $10 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{jaar}$  bedraagt.

#### 5.2. De isohypsen van het ondiepe watervoerende pakket (kaart 4b).

Voordat isohypsen van het middeldiepe watervoerende pakket worden geconstrueerd, dienen eerst de isohypsen van zowel het diepe als het ondiepe watervoerende pakket te worden vastgelegd. Daar immers niet overal een middeldiep pakket aanwezig is, moet aan de rand ervan aansluiting worden gezocht bij ofwel het diepe ofwel het ondiepe watervoerende pakket.

De isohypsenkaart voor het ondiepe watervoerende pakket geeft aanleiding tot de volgende opmerkingen.

1. In de Gelderse Vallei wordt het ondiepe watervoerende pakket gedraineerd door een aantal grotere en kleinere beken. Deze omstandigheid wordt tot uitdrukking gebracht door het terugbuigen van de isohypsen in de nabijheid van deze beken. De ligging van de isohypsen is daar minder betrouwbaar; deze is namelijk sterk afhankelijk van lokale omstandigheden en daarom niet altijd exact te bepalen.

2. De toppenwaterscheiding in de isohypsen van het ondiepe pakket valt in de omgeving van Maarsbergen ongeveer samen met die in het diepe watervoerende pakket, ten noorden van de Heuvelrug; ten oosten van Putten is dat niet het geval; daar worden de hoogste stijghoogten in het ondiepe pakket aangetroffen in de stuwwal zelf, terwijl de waterscheiding in het diepe pakket erbuiten ligt. Deze feiten geven steun aan de eerder uitgesproken veronderstelling ten aanzien van de grondwaterstroming in het diepe pakket (zie de vorige paragraaf 5.1.).

3. De depressie in de isohypsen voor het ondiepe watervoerende pakket onder Zuidelijk Flevoland is een gevolg van het in cultuur brengen en het bemalen van deze nieuwe polder. Aangezien de landinrichting nog niet voltooid was op het tijdstip dat de stijghoogten van het grondwater werden waargenomen ten behoeve van de isohypsenkaart, mag verwacht worden dat in de toekomst een verdergaande daling van de stijghoogte van het ondiepe grondwater op zal treden.

5.3. De isohypsen van het middeldiepe watervoerende pakket.  
(kaart 4c)

Bij het samenstellen van de isohypsen van het middeldiepe pakket is rekening gehouden met de omstandigheden dat ze in het oosten aan moeten sluiten bij de isohypsen van het ondiepe pakket, in het zuiden en zuidwesten bij die in het diepe watervoerende pakket en dat in het westen het middeldiepe pakket overgaat in een kleilaag die als een barrière kan worden opgevat.



## 6. De geohydrologische konstanten van de diverse pakketten.

Door middel van de isohypsenkaarten zoals die in het vorige hoofdstuk beschreven zijn, is de richting van de stroming van het grondwater, zowel in horizontale zin in één watervoerende pakket, als in verticale zin door de weerstandbiedende laag tussen twee watervoerende pakketten, vastgelegd. Om de grootte van de diverse huidige grondwaterstromingen te kunnen bepalen, is het nu nog nodig de doorlaatvermogens  $kD$  van de watervoerende pakketten en de weerstanden  $c$  van de slecht doorlatende lagen te kennen. Deze gegevens zijn tevens onontbeerlijk bij de berekening van de gevolgen van een toekomstige kunstmatige opgewekte grondwaterstroming, bijvoorbeeld ten gevolge van een onttrekking. Het uitgevoerde onderzoek zal in het navolgende worden beschreven.

### 6.1. Het doorlaatvermogen $kD$ van het diepe watervoerende pakket.

De meest betrouwbare methode om het doorlaatvermogen van een watervoerend pakket te bepalen is de pompproef. In het diepe watervoerende pakket onder de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland zijn ten behoeve van het onderhavige onderzoek acht pompproeven uitgevoerd, terwijl tevens gebruik is gemaakt van de resultaten van twee eerder in het gebied gedane pompproeven (op de pompstations Holk en Woudenberg). De opzet van de pompproeven en de uitwerking van de verkregen gegevens zijn beschreven in diverse nota's van het R.I.D. (zie appendix C) met uitzondering van de pompproef in Zuidelijk Flevoland waarover door de R.I.J.P. (Ven, 1975) is gerapporteerd.

De pompproeven geven een waarde voor het doorlaatvermogen die geldt in de naaste omgeving van de desbetreffende pompproeflokatie (zie tabel 1). Dit doorlaatvermogen is het produkt van de gemiddelde doorlatendheidsfaktor in horizontale richting en de dikte van het bepompte pakket. De dikte kan ter plaatse van de pompproef worden bepaald (door middel van de bijbehorende verkenningsboring) of in ieder geval geschat; het is niet overal duidelijk welke lagen nog tot het afgepompte pakket moeten worden gerekend. De doorlatendheidsfaktor kan vervolgens worden bepaald door het doorlaatvermogen te delen door de dikte. In tabel 1 zijn de verkregen cijfers vermeld.



Tabel 1. Gegevens van de pompproeven in het diepe watervoerende pakket; de lokatie van de pompproeven is aangegeven op kaart 7.

Lokatie van de pompproef	Geologische formaties waaruit het pakket bestaat	Berekend doorlaatvermogen $kD$ , in ( $m^2/dag$ )	Dikte(D) van het gepompte pakket, in (m)	Gemiddelde horizontale doorlatendheidsfactor, in (m/dag)
Barneveld	fluvioglaciaal? Sterksel/Enschede Harderwijk	5100	105	49
Ederveen	Eem/fl.glaciaal? Harderwijk	3500	ca 70	ca 50
Woudenberg	Sterksel/Enschede Harderwijk	3600	65	55
Achterveld	Sterksel/Enschede Harderwijk/Tegelen	6000	110	55
Amersfoort	Sterksel/Enschede Harderwijk	4800	95	50
Zwartebroek	Sterksel/Enschede Harderwijk	5000	105	48
Holk	(fluvioglaciaal)* Harderwijk	7000	100 (130)*	70 (54)*
Huinerbroek	Harderwijk Tegelen?	7100	115	61
Zd. Flevoland (OZ69)	Sterksel/Enschede Harderwijk/Tegelen	7500	130	58

\* De tussen haakjes geplaatste waarden gelden indien de fluvioglaciale lagen tot het watervoerende pakket worden gerekend.

Uit tabel 1 kan worden afgeleid dat er slechts weinig variatie bestaat in de berekende waarden voor de gemiddelde horizontale doorlatendheidsfactor. Wel kan worden opgemerkt dat de waarden iets toenemen in noordelijke richting. De oorzaak hiervan is waarschijnlijk dat de formatie van Harderwijk in het noorden een groter deel van het watervoerende pakket inneemt dan in het zuiden. Het is bekend dat de formatie van Harderwijk uit relatief grover zand is opgebouwd, in vergelijking met de overige formaties.

Als aangehouden wordt, dat een waarde van  $k = 50$  m/dag een redelijke schatting vormt voor de gemiddelde doorlatendheidsfactor van het diepe watervoerende pakket in het gehele gebied, dan kan met behulp van de dikte, die uit kaart 2 kan worden afgeleid, het doorlaatvermogen van dit pakket worden bepaald. Het resultaat is weergegeven op kaart 5a. Uiteraard zullen alle onzekerheden die zowel aan de bepaling van de gemiddelde doorlatendheidsfactor als aan de bepaling van de dikte kleven, hun weerslag hebben op de gegeven doorlaatvermogens.



### 6.2. Het doorlaatvermogen kD van het middeldiepe watervoerende pakket.

Uit kaart 3 (de geohydrologische schematisering van de ondergrond van de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland) kan worden afgeleid, dat waarschijnlijk een middeldiep watervoerend pakket aanwezig is in het gebied waar het voormalige glaciale dal dieper is dan NAP - 50 m, met uitzondering van het gebied waar de fluvioglaciale en de Eemafzettingen volledig uit kleilagen bestaan. Zoals eerder is gesteld, zal overigens vermoedelijk ook tussen slecht doorlatende lagen op de bodem van het glaciale dal en de Eemklei een afzonderlijk middeldiep pakket lokaal van betekenis kunnen zijn; voor de onderhavige studie echter wordt een dergelijk pakket gerekend tot het diepe watervoerende pakket te behoren.

De onder- en de bovenzijde van het middeldiepe watervoerende pakket vallen niet samen met begrenzingen van geologische formaties. Er is aangehouden dat dit pakket aan de onderzijde wordt begrensd door de eerste slecht doorlatende (klei- of leem-)laag die vanaf de bodem in het glaciale dal wordt aangetroffen, en aan de bovenzijde door de onderkant van de mariene Eemklei. Deze grenzen zijn moeilijk aan te geven, doordat klei- en zandlagen zeer wisselvallig zijn verdeeld in het voormalige glaciale dal. Aan een interpolatie van boorgegevens mag niet te veel waarde worden gehecht. Bovendien zullen, zoals uit de geologische profielen blijkt, op meerdere plaatsen kleilagen voorkomen in het middeldiepe watervoerende pakket, waardoor lokaal nog weer een onderverdeling gemaakt zou kunnen worden.

In het middeldiepe watervoerende pakket zijn geen pompproeven uitgevoerd. Om toch een indruk te verkrijgen van de doorlaatvermogens, zijn deze geschat met behulp van boorbeschrijvingen, aan de hand van de methode zoals die wel door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding wordt toegepast. (De Ridder et al 1967; zie ook Van den Akker, 1972). Deze methode berust op de formule

$k U^2 = C$ , waarin

k = doorlatendheidsfactor in m/dag van de desbetreffende zandlaag,

U = het specifieke korreloppervlak, een verhoudingsgetal dat de grofheid van het zand aangeeft,

C = een constante (in dit geval is aangehouden C = 54.000).

Afhankelijk van het slibgehalte, de sorteringsgraad en het grindgehalte worden bepaalde correcties toegepast op de gevonden k-waarde. Na vermenigvuldiging met de dikte van de betrokken lagen en sommatie volgt het totale doorlaatvermogen. De resultaten zijn weergegeven op kaart 5b; ze hebben een geringe betrouwbaarheid.

### 6.3. Het doorlaatvermogen kD van het ondiepe watervoerende pakket.

In de eigenlijke Gelderse Vallei en in Zuidelijk Flevoland is een ondiep watervoerend pakket aanwezig dat wordt gevormd door de formatie van Twente, die ook wel het dekzand wordt genoemd. Uit de geologische beschrijving blijkt dat dit pakket zeer heterogeen van samenstelling is. De begrenzingen van dit pakket bestaan aan de bovenzijde uit de Holocene klei- en veenlagen of, waar deze ontbreken, het maaiveld, en aan de onderzijde uit kleilagen van het Eemien of van fluvioglaciale ouderdom. De ligging van deze begrenzingen is niet in kaart gebracht. In het zuiden ligt de basis van het ondiepe watervoerende pakket op 10 à 20 m beneden het maaiveld, dat zelf de top ervan is, terwijl in het noorden de basis op 20 à 30 m of meer beneden het maaiveld ligt en de bovenzijde een aantal meters onder maaiveld (de dikte van de Holocene afzettingen).



In het gebied van de stuwwallen is het ondiepe watervoerende pakket gedefinieerd als het gestuwde gedeelte van de stuwwallen, voorzover er inderdaad sprake is van een scheiding tussen dit gestuwde deel van de stuwwallen en dieper gelegen ongestoorde lagen. De plaats van een dergelijke scheiding dient in eerste instantie gezocht te worden op het niveau van de vermoedelijke basis van de stuwing. Met name onder de stuwwal van Ermelo-Garderen is een duidelijk scheidende (d.w.z. weerstandbiedende) laag aangetroffen op een niveau van ca N.A.P. - 100 m.

Ten behoeve van het onderzoek zijn vier pompproeven uitgevoerd in het ondiepe watervoerende pakket onder de Gelderse Vallei, terwijl daarnaast rondom de polder Zuidelijk Flevoland in het verleden reeds een aantal ondiepe pompproeven waren uitgevoerd in verband met ter plaatse geprojecteerde gemalen en schutsluizen. Vooral vanwege de heterogene samenstelling van het ondiepe pakket, met als gevolg sterke variaties in doorlatendheidsfactoren, is het niet mogelijk om op grond van de pompproeven alleen een beeld te schetsen van de doorlaatvermogens in het gehele beschouwde gebied. Aanvullende gegevens kunnen worden verkregen door het schatten van doorlaatvermogens uit de boorbeschrijvingen van de vele boringen in het gebied. Voor een juiste interpretatie van de gegevens is het echter nodig thans iets dieper op deze methode in te gaan.

Bij het gebruik van de formule  $k U^2 = C$  wordt uit gegaan van het idee dat het mogelijk is de doorlatendheid van grond te beschrijven als een functie van de geometrische structuur van het poriënsysteem en de fysische eigenschappen van het grondwater dat er doorheen stroomt. In de formule representeert het U-cijfer de grofheid en de vorm van de korrels, terwijl alle overige eigenschappen van grond en water in één empirisch te bepalen constante C zijn samengebracht. Het is duidelijk dat de waarde van C vooral bepaald wordt door de geologische geschiedenis (wijze van afzetting, consolidatie etc.) en daarom alleen geldig is onder goed gedefinieerde omstandigheden (één bepaald watervoerend pakket in een bepaald gebied). Door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding is een aantal malen gevonden dat voor watervoerende pakketten die vooral uit dekzand bestaan, de waarde van C ongeveer 54000 bedraagt. Tevens werden door het I.C.W. nog een aantal verfijningen aangebracht. Nadat vooral uit de onderzoekingen van Fahmy (appendix C) was gebleken dat het slibgehalte grote invloed uitoefent op de doorlatendheid van zandmonsters, werd steeds een correctie aangebracht die afhankelijk is van het slibgehalte. Evenzo worden correctiefactoren gebruikt in verband met het grindgehalte van het monster. Tenslotte kan worden beredeneerd dat ook de sorteringsgraad invloed zal hebben; ook hiervoor wordt een correctie aangebracht. De uiteindelijk door het I.C.W. gebruikte methode om aan de hand van de boorbeschrijvingen de doorlatendheid te bepalen is beschreven in het afstudeerverslag van Van den Akker (1972).

De in het voorgaande beschreven methode zal om een aantal redenen soms weinig betrouwbare resultaten geven ten aanzien van het doorlaatvermogen van het ondiepe watervoerende pakket in het gebied van de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland. In de eerste plaats is de methode zelf uit een aantal vereenvoudigingen en empirische verbanden opgebouwd, waardoor afwijkingen kunnen worden veroorzaakt. Vervolgens zijn slechts weinig boringen zo nauwgezet beschreven dat de voor de methode benodigde parameters (U-cijfer, slibgehalte enz.) eenduidig bepaald kunnen worden. In vele gevallen is niet meer dan een ruwe schatting mogelijk. Tenslotte is het bij een inhomogene



opbouw van de ondergrond geenszins zeker dat de via een boring met beperkte diameter verkregen grondmonsters representatief zijn voor de opbouw van de ondergrond in de iets wijdere omgeving. Vooral deze laatste omstandigheid zal in de Gelderse Vallei een rol spelen.

In Tabel 2 zijn zowel de resultaten van ondiepe pompproeven als de uit boorbeschrijvingen van nabij de desbetreffende pompproeven uitgevoerde boringen verkregen resultaten weergegeven.

Tabel 2. Vergelijking van pompproefresultaten en schattingen uit boorbeschrijvingen (het ondiepe pakket).

Lokatie	Resultaat van de pompproef: kD in m <sup>2</sup> /dag	Aanduiding van nabij gelegen boringen volgens RID-archief	Geschat doorlaatvermogen kD in m <sup>2</sup> /dag
Houtribsluizen (nabij Lelystad)	660 1200 300	niet van toepassing door het ontbreken van de Bemkleilaag	
Sluizen Nijkerk	46	32E 48 32E 49	131 62
Huinerbroek	70	32E 13 32E 61	90 220
Zwartebroek	170	32E 52 32E 67	50 200
Achterveld	130	32G 135	130
Barneveld	120	32G 54 32G 56 32G 57 32G 130	260 90 160 200

Duidelijker dan woorden illustreren de cijfers van tabel 2 hoezeer de kD-waarden verkregen met behulp van schattingen uit boorbeschrijvingen uiteen kunnen lopen over zeer korte afstand (enkele honderden meters). Toch blijken de ordes van grootte van de aldus bepaalde doorlaatvermogens nog redelijk goed in overeenstemming te zijn met de resultaten van de pompproeven. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de toegepaste evenredigheidsfactor  $C = 54000$  ook in het gebied van de Gelderse Vallei en Zuidelijk Flevoland mag worden toegepast voor het ondiepe watervoerende pakket, voorzover dat door het dekzand wordt gevormd.

Bij de beoordeling van het doorlaatvermogen van het ondiepe watervoerende pakket kunnen nog een aantal overwegingen van meer kwalitatieve aard worden aangevoerd. Dit zijn de volgende.

a. Een algemeen geologische. De stuwheuvelds die het gebied omringen zijn in de loop van hun bestaan aan erosie onderhevig geweest. Een gedeelte van het in het algemeen grofzandige materiaal zal in het tussengelegen dal zijn terechtgekomen. Hierdoor mag worden verwacht dat de doorlatendheid van het ondiepe watervoerende pakket nabij de



heuvels in het algemeen iets beter zal zijn dan in het centrum van het dal.

b. De vorm van het drainagesysteem. Bij de afvoer van overtollig water uit een bepaald gebied zijn de afvoer via een oppervlakkig drainagesysteem en de ondergrondse afvoer elkaars complement. Het gedeelte dat, afhankelijk van vooral het doorlaatvermogen en de maaiveldshoogte, niet ondergronds afstroomt, wordt afgevoerd via een oppervlakkig drainagestelsel. In extremo kan dit worden geïllustreerd aan het voorbeeld van de stuwwallen. Hier is de combinatie van maaiveldshoogte en doorlaatvermogen zodanig dat een oppervlakkig drainagestelsel geheel ontbreekt. In het relatief vlakke gebied van de Gelderse Vallei geeft een dichtmazig drainagestelsel (veel beken en sloten) een aanwijzing dat het doorlaatvermogen van de ondergrond wellicht relatief gering is. Een slecht ontwikkeld stelsel (geen of droge sloten, grote onderlinge afstanden tussen beken) duidt daarentegen op een relatief groot doorlaatvermogen van het ondiepe watervoerende pakket.

Bij de weergave van het doorlaatvermogen van het ondiepe watervoerende pakket op kaart 5c is met bovengenoemde factoren rekening gehouden.

Tenslotte zal nog aandacht worden gegeven aan het ondiepe watervoerende pakket onder de stuwheuvels.

Volgens de schematisering uit hoofdstuk 4 is nabij Ermelo-Garderen een ondiep pakket aanwezig dat aan de onderzijde, op een diepte van ruwweg NAP - 100 m, wordt begrensd door een (zeer) slecht doorlatende kleilaag (getuige het grote stijghoogteverschil aan weerszijden ervan). Het neerslagoverschot wordt in dit gebied volledig ondergronds afgevoerd. Indien nu wordt gesteld dat dit hoofdzakelijk via het ondiepe pakket geschiedt en bovendien het gebied geschematiseerd wordt tot een langwerpige eiland met evenwijdige kanalen erlangs, dan kan uit de opbolling van het freatisch vlak een waarde voor de doorlatendheid  $k$  worden afgeleid volgens de formule van Hooghoudt:

$$h^2 = H^2 + \frac{N}{k} \cdot \frac{1}{4} L^2,$$

waarin

$H$  = het peil in de kanalen (m)

$h$  = de hoogste stand van het grondwater (m)

$N$  = het neerslagoverschot (m/dag)

$k$  = de doorlatendheidsfactor (m/dag)

$L$  = de afstand tussen de kanalen (m).

Substitutie van  $h - H = 10$  m,  $N = 1$  mm/dag (een verantwoorde schatting onder Nederlandse omstandigheden),  $L = 10$  km (zie de isohypsen kaarten 5.1.2.3. en de topografische kaart) levert een waarde voor het doorlaatvermogen  $kD = k \times H = \text{ca } 1500 \text{ m}^2/\text{dag}$  op. Een dergelijke waarde is niet onaannemelijk, indien wordt bedacht dat nagenoeg het gehele ondiepe pakket waarschijnlijk uit gestuwd en soms verschuud materiaal bestaat, waardoor het doorlaatvermogen wordt gereduceerd.

Het noordelijk deel van de Utrechtse Heuvelrug bestaat gedeeltelijk ook uit gestuwd materiaal. Hier worden echter, zoals uit pompproeven blijkt, doorlaatvermogens van  $3000$  à  $6500 \text{ m}^2/\text{dag}$  aangetroffen. Blijkbaar heeft de stuwing slechts een geringe of geen invloed gehad op de doorlatendheid van het watervoerende pakket, dat hier in het algemeen van maaiveld tot aan de ondoorlatende basis reikt.



Van het zuidelijk deel van de Utrechtse Heuvelrug is weinig bekend. Vermoedelijk zal een minder hoog doorlaatvermogen dan in het noordelijk deel worden aangetroffen, doordat de basis van het pakket minder diep ligt.

Uit pompproeven die in ondiepe lagen in het Gooi zijn gehouden, zou kunnen worden afgeleid dat daar een ondiep pakket met een doorlaatvermogen van ongeveer 2000 à 2500 m<sup>2</sup>/dag aanwezig is. Aan gezien de dikte van dit ondiepe pakket vermoedelijk ongeveer 60 m bedraagt, mag worden geconcludeerd dat geen abnormaal lage k-waarden worden aangetroffen.

Overigens moet hier worden opgemerkt dat thans in de provincie Utrecht een uitgebreid hydrologisch veldonderzoek wordt uitgevoerd waarover binnen enkele jaren door de desbetreffende coördinatiegroep zal worden gerapporteerd.

#### 6.4. De weerstand c van de diverse slecht doorlatende lagen.

De bepaling van de weerstand c van de slecht doorlatende lagen zoals die in hoofdstuk 4 zijn gedefinieerd, kan op een aantal manieren gebeuren, die echter geen van alle volledig betrouwbare resultaten opleveren.

In de eerste plaats is bij de interpretatie van de in het gebied uitgevoerde diepe pompproeven ook een waarde voor de spreidingslengte L berekend. Zou de aangenomen ondoorlatende basis ook lokaal als volledig ondoorlatend mogen worden opgevat, dan zal met behulp van het berekende doorlaatvermogen een waarde voor de weerstand c van de slecht doorlatende lagen boven het watervoerende pakket kunnen worden berekend uit het gegeven  $L = \sqrt{KD \cdot c}$ . In de meeste gevallen zal echter toch met een zekere voeding vanuit de "ondoorlatende" basis moeten worden gerekend, waardoor de met bovengenoemde formule berekende c-waarde een minimumwaarde is voor de weerstand van de bovenliggende slecht doorlatende laag. Verder geldt de restrictie dat de spreidingslengte L berekend is volgens de eerste theorie van Hantush, die in principe alleen opgaat indien geen uitlevering van water uit de kleilagen die de desbetreffende weerstandbiedende laag vormen, plaats vindt. Een dergelijke aanname is alleen gerechtvaardigd bij relatief dunne kleilagen, zoals ze in het centrum en in het zuiden van de Gelderse Vallei voorkomen, maar niet bij de tientallen meters dikke kleilagen onder Zuidelijk Flevoland. In het laatste geval kunnen theorieën worden toegepast die wel rekening houden met het verschijnsel van de uitlevering; hierbij wordt echter alleen in het gunstigste geval een c-waarde voor de gehele kleilaag gevonden. In tabel 3 zijn de uitkomsten van de pompproeven voor dunne kleilagen samengevat.

Tabel 3. Berekende c-waarden uit pompproeven in de Gelderse Vallei.

Lokatie van de pompproef	Doorlaatvermogen KD in m <sup>2</sup> /dag	Spreidingslengte L in m	c-waarde in dagen	Geschatte dikte van de kleilaag in m
Barneveld	5100	3200	2000	7
Achterveld	6000	2500	1000	5
Zwartebroek	5000	1500	450	5 (zandige klei)
Amersfoort	4800	3600	2500	4 à 10
Woudenberg	3600	3000	2700	9
Ederveen	3500	2400	1600	6 (keileem)



Een volgende methode om de weerstand van slecht doorlatende lagen te kwantificeren berust op waterbalansonderzoek. Indien namelijk van een watervoerend pakket zowel het doorlaatvermogen als de stijghoogte overal bekend is, kunnen de richting en de grootte van de horizontale grondwaterstroming op iedere plaats in dat pakket worden berekend. Van uitgekozen delen van een dergelijk pakket kan dan een waterbalans worden opgesteld, waarin als onbekende de uit het pakket verdwijnende hoeveelheid water zit. In het geval van het diepe watervoerende pakket onder de Gelderse Vallei kan worden gekonkludeerd dat de aldus berekende hoeveelheid nagenoeg geheel door de slecht doorlatende lagen naar het ondiepe pakket opkwelt. Na bepaling van het gemiddeld over een dergelijk gebiedje aanwezige stijghoogteverschil tussen het grondwater in het diepe en het ondiepe watervoerende pakket, kan een c-waarde voor de weerstand van de slecht doorlatende lagen tussen beide pakketten worden berekend. Er dient bij dergelijke berekeningen te worden nagestreefd dat de gebruikte stijghoogten zo goed mogelijk het gemiddeld over langere tijd aanwezige grondwaterstromingsbeeld representeren.

Berekeningen zoals hiervoor beschreven, zijn uitgevoerd voor een drietal proefgebiedjes van enkele km<sup>2</sup> in de omgeving van Amersfoort (zie kaart 6b). Bij een dikte van de Eemkleilaag van resp. 6,6 en 7 m werden weerstanden van resp. 1300, 1400 en 2000 dagen gevonden. Deze waarden zijn redelijk goed in overeenstemming met de in tabel 3 gegeven waarden. Hieruit zou, onder voorbehoud dat rekening wordt gehouden met de onnauwkeurigheden in beide soorten bepalingen, kunnen worden afgeleid dat de uit pompproeven berekende c-waarde in het onderhavige gebied vooral betrekking heeft op de weerstand van de het diepe watervoerende pakket afdekkende lagen.

Voor de bepaling van de weerstand van de Eemkleilaag over het gehele gebied zou nu steeds dezelfde methode kunnen worden gevolgd, d.w.z. het gebied wordt opgedeeld in proefgebiedjes waarvoor waterbalansen worden opgesteld. Afgezien nog van de omvangrijke hoeveelheid werk die dit mee zou brengen, kan gesteld worden dat het resultaat niet in alle gevallen bevredigend zal zijn. Bij een aantal pogingen om dit probleem met behulp van numerieke methoden op te lossen, bleek namelijk dat onwaarschijnlijke resultaten werden berekend in gebieden waar de isohypsen gekromd zijn. Blijkbaar kon deze kromming met het aanwezige waarnemingsmateriaal voor deze berekeningen niet nauwkeurig genoeg worden gerepresenteerd. Daarom is een andere benaderingswijze gekozen die in het volgende zal worden toegelicht.

In principe kan de weerstand van een kleilaag opgevat worden als het quotiënt van de dikte  $d$  (m) en de doorlatendheidsfactor  $k$  (m/dag) van de klei.

$$c = \frac{d}{k}$$

De doorlatendheidsfactor van de klei zal hoofdzakelijk afhangen van het aanwezige poriënsysteem en de vorm hiervan zal weer voor een deel bepaald worden door de mate waarin de kleilaag in de loop der tijd samengedrukt is. Een maat voor deze samendrukking (klink) is de in de kleilaag heersende korrelspanning. Aannemend dat de doorlatendheidsfactor van klei omgekeerd evenredig is met de korrelspanning is door één van de medewerkers aan het onderzoek (ir. G.J. Hey) voor dit rapport de volgende formule afgeleid (zie appendix A):



$$c = H \cdot d (1,6 h_1 + h_2 + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2} \Delta\varphi),$$

waarin

$c$  = de weerstand, in dagen;

$d$  = de dikte van de kleilaag, in m;

$h_1$  = de dikte van de onverzadigde zone, in m;

$h_2$  = de dikte van het met water verzadigde lagenpakket boven de kleilaag, in m;

$\Delta\varphi$  = het stijghoogte verschil over de kleilaag (positief bij kwel), in m;

$H$  = een evenredigheidsconstante die voor iedere kleilaag empirisch bepaald dient te worden, in dag/m<sup>2</sup>.

Bij verwaarlozing van  $h_1$  en  $\Delta\varphi$ , die in het algemeen klein zullen zijn onder de omstandigheden in de vlakkere delen van Nederland, gaat deze formule over in

$$c = H \cdot d (h_2 + \frac{1}{2}d).$$

Voordat evenwel met deze formule gewerkt kan worden, dient nog een storende faktor, namelijk de aanwezigheid van wellen, in rekening te worden gebracht. In het voorgaande is steeds impliciet aangenomen dat de ontlasting van het diepe watervoerende pakket geschiedde door opwaartse kwel door de slecht doorlatende lagen heen. In werkelijkheid wordt via de talrijke in het gebied aanwezige wellen, waarvan het filter meestal direkt onder de Eemklei is gesteld, ook een deel van het water uit het diepe watervoerende pakket afgevoerd. De weerstand van de Eemkleilaag die berekend is, met name met behulp van de waterbalansen, maar ook uit de pompproeven, is daardoor een schijnbare weerstand. De werkelijke weerstand van de kleilaag, die volgt uit een situatie zonder wellen c.q. droog gevallen wellen, is hoger. Hierover kan de volgende beschouwing worden opgezet.

Door de Waterleiding Maatschappij Gelderland is in een gebied van ca 15 km<sup>2</sup> rond Glindhorst een enquête gehouden (zoals vermeld in de notulen van de Commissie Waterwinning Gelderse Vallei d.d. 21-5-1975) om een indruk te verkrijgen van de mate waarin gebruik werd gemaakt van wellen (al of niet voorzien van een pomp) voor de watervoorziening van mens en dier. Hieruit bleek dat in het onderzochte gebied slechts ca 60% van de percelen aangesloten was op de openbare watervoorziening en verder dat talrijke zg. weidewellen werden gebruikt. Via deze wellen zou bij optimaal gebruik van het water ca 0,1 mm/dag aan het diepe pakket worden onttrokken. Wanneer gerekend wordt dat een ongeveer even grote hoeveelheid wordt verspild, doordat sommige wellen vrij overlopen, dan wordt ca 0,2 mm/dag onttrokken. Daar in de rest van de Gelderse Vallei geen gedetailleerde gegevens beschikbaar zijn, is aangenomen dat de genoemde getallen representatief zijn voor het gehele gebied. In de uitgekozen proefgebiedjes nabij Amersfoort bleek de ontlasting van het diepe watervoerende pakket ca 0,5 mm/dag te zijn. Hiervan zou volgens deze benadering dus slechts 0,3 mm/dag ofwel ongeveer de helft, werkelijk kwel door de kleilaag zijn, terwijl de andere helft via wellen verdwijnt. Dit betekent dat de via de waterbalansen berekende weerstanden en in mindere mate ook de weerstanden uit tabel 3 in werkelijkheid ca twee keer zo groot moeten worden genomen.

Bij invulling in de formule  $c = H \cdot d (h_2 + \frac{1}{2}d)$  blijkt voor de Eemkleilaag te gelden  $H_s = ca 15 \text{ dag/m}^2$  ( $H_s$  = de constante waarmee schijnbare weerstanden worden berekend) en dus  $H_r = ca 30 \text{ dag/m}^2$  (met  $H_r$  worden werkelijke weerstanden berekend). Een dergelijke waarde wordt ook in Zuid-Flevoland berekend (zie hierna). Opgemerkt moet worden dat



voor sommige gevallen gebruik moet worden gemaakt van een schijnbare weerstand (namelijk zolang de wellen niet volledig droog vallen).

Met behulp van de in het voorgaande bepaalde constante  $H_r = 30 \text{ dag/m}^2$  en met gegevens betreffende de dikte van de Eemkleilaag is voor het centrale en het zuidelijke deel van de Gelderse Vallei een schatting gemaakt van de werkelijke weerstand van de slecht doorlatende lagen tussen het diepe en het ondiepe pakket. Aangenomen is immers dathier door de overige lagen (bijv. fluvio-glaciale kleilagen) een te verwaarlozen aandeel aan de weerstand wordt geleverd. De geschatte waarden zijn verwerkt in kaart 6b.

Voor het noordelijk deel van de Gelderse Vallei en voor Zuidelijk Flevoland is een andere benadering toegepast. Hier is gebruik gemaakt van een numeriek model, gebaseerd op de methode van de eindige elementen. Het model bestrijkt een gebied van  $29 \times 39 \text{ km}^2$  (zie kaart 6a) en is opgedeeld in elementen die elk  $1 \text{ km}^2$  groot zijn. In dit model wordt een systeem van 3 watervoerende pakketten en 3 weerstandbiedende lagen gesimuleerd (nl. de Holocene lagen, de Eemklei en de fluvioglaciale c.q. oudere fluviatiele kleilagen) met aan de onderzijde een ondoorlatende basis. De waarden voor de doorlaatvermogens van de diverse watervoerende pakketten (zie de kaarten 5a, 5b en 5c) zijn per knooppunt ingevoerd als vast gegeven, evenals de dikten van de diverse kleilagen en hun diepte  $h$  onder maaiveld die gelijk gesteld wordt aan  $h_2$ . Ook de grondwaterstijghoogten in de diverse pakketten langs de rand van het model (zie kaart 6a) zijn per knooppunt als vast gegeven ingevoerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van door de Dienst der Zuiderzeewerken verstrekte isohypsenkaarten die gebaseerd zijn op gemiddelde stijghoogten over het jaar 1972. Deze kaarten wijken weinig af van de in dit rapport opgenomen isohypsenkaarten die ten tijde van de onderhavige bewerking nog niet beschikbaar waren. Met dit soort modellen is het mogelijk om grondwaterstijghoogten te berekenen voor het gehele systeem indien alle modelparameters en randvoorwaarden gegeven zijn voor het geheel of voor het desbetreffende deel. Van deze eigenschap kan nu als volgt gebruik worden gemaakt om een schatting van de c-waarden van de diverse weerstandbiedende lagen te verkrijgen.

Als eerste wordt het deelsysteem ondoorlatende basis, het diepe watervoerende pakket en de erboven liggende weerstandbiedende laag, genomen. De weerstand van de laatste wordt verkregen met behulp van dezelfde formule  $c = Hdh + \frac{1}{2}Hd^2$ , waarbij verschillende alternatieven ontstaan door de faktor  $H$  per deelgebied (zie tabel 4) naar grootte te doen variëren (de overige parameters zijn vaste gegevens). Als randvoorwaarde wordt tevens de gemeten stijghoogte in het boven de weerstandbiedende laag gelegen middeldiepe pakket ingevoerd. Het gekozen deelsysteem, in een aantal alternatieven, is nu zodanig vastgelegd dat de stijghoogten in het diepe watervoerende pakket kunnen worden berekend. Deze berekende waarden worden per knooppunt vergeleken met de gemeten waarden (die uit de isohypsenkaarten kunnen worden bepaald). De absolute waarde van het verschil tussen beide wordt de deviatie genoemd. De verschillende alternatieven worden met elkaar vergeleken met als criterium het rekenkundig gemiddelde van de deviaties. Het alternatief met de laagste gemiddeld deviatie geeft blijkbaar de beste benadering van de H-waarde en dus de c-waarde van de weerstandbiedende laag aan.



Een analoge benadering is toegepast voor het gebied waar inderdaad een systeem van drie watervoerende pakketten aanwezig is; hier zijn als deelsysteem het middelste watervoerende pakket en de aangrenzende weerstand biedende lagen, waarvan de onderste thans bekend wordt verondersteld, beschouwd. Daarna is ter controle het deelsysteem dat bestaat uit het geheel minus het bovenste watervoerende pakket, genomen. Een verdere verfijning wordt bereikt door behalve de gemiddelde deviatie over het gehele modelgebied ook de gemiddelde deviaties over een aantal uitgekozen deelgebieden te berekenen. De deelgebieden zijn bepaald aan de hand van de geologische opbouw en de geohydrologische schematisering van het gebied zoals die zijn uitgewerkt in de hoofdstukken 3 en 4. Ze zijn weergegeven op kaart 3.

De resultaten van de diverse berekeningen zijn weergegeven in tabel 4. Hierbij moet nog worden opgemerkt dat er is afgezien van een poging om de weerstand van de Holocene lagen op deze manier te kwantificeren. Deze zijn over 't algemeen zo inhomogeen opgebouwd (uit klei, veen en zand) dat een benadering volgens een algemene formule niet gerechtvaardigd zou zijn.

Tabel 4. Een overzicht van de voor diverse gebieden en diverse factoren H berekende gemiddelde deviaties tussen "gemeten" en "berekende" stijghoogten. De gebieden worden door indices aangeduid (A is het gehele modelgebied, zie verder kaart 3)

	Kombinaties van factoren H (dag/m <sup>2</sup> )		Berekende deviaties in m per gebied				
	Relatief diep gelegen slecht doorlatende lagen	Relatief ondiep gelegen slecht doorlatende lagen					
	H <sub>E</sub> ; H <sub>B</sub> ; H <sub>C</sub>	H <sub>A-E</sub> ; H <sub>E</sub>	d <sub>A</sub>	d <sub>B</sub>	d <sub>C</sub>	d <sub>D</sub>	d <sub>E</sub>
Stijghoogten in diepe watervoerend pakket berek.; overige geg.	20; 1000; 150	30; 30	0.1641	0.2325	0.4440	0.0559	0.3270
	100; 1000; 150	30; 30	0.1366	0.2288	0.2010	0.0559	0.3321
	500; 1000; 150	30; 30	0.1323	0.2274	0.1550	0.0559	0.3370
	100; 100; 150	30; 30	0.1326	0.2323	0.1985	0.0559	0.3262
	100; 5000; 150	30; 30	0.1367	0.2285	0.2012	0.0559	0.3321
	100; 1000; 50	30; 30	0.1986	0.2519	0.7031	0.0559	0.4049
	100; 1000; 500	30; 30	0.1258	0.2197	0.1278	0.0559	0.3218
	100; 100; 500	30; 30	0.0985	-	0.0070	0.0005	0.7542
Stijghoogten in middeldiep w.p. berekend; overige gegev.	100; 100; 500	30; 30	0.0616	-	0.0070	0.0005	0.4349
	100; 100; 500	30; 150	0.0623	-	0.0070	0.0005	0.4379
	100; 100; 500	5; 30	0.2454	-	0.0090	0.0478	0.5110
Stijghoogten in diep en middeldiep w.p. berek.; overige gegev.	100; 100; 500	30; 30	0.1256	-	0.0088	0.0480	0.4779
	100; 100; 500	150; 30	0.1812	-	0.0087	0.0485	0.4890
	100; 100; 500	150; 30	0.1812	-	0.0087	0.0485	0.4890



Voor een juiste interpretatie van tabel 4 moet rekening worden gehouden met de volgende omstandigheden.

- Gebied D betreft het gebied waar geen weerstandbiedende lagen zijn aangenomen. De voor dat gebied berekende deviaties zijn daarvoor klein maar tevens weinig zeggend. Ze worden hoofdzakelijk veroorzaakt door interpolatiefouten bij de verwerking van de isohypsenkaarten tot stijghoogten per knooppunt.
- Om eenzelfde reden zijn de gegeven deviaties in het midden gedeelte van tabel 4 gering met uitzondering van de laatste kolom. Indien namelijk geen weerstand wordt aangebracht tussen het diepe en het middeldiepe watervoerende pakket, terwijl de stijghoogten in het diepe pakket worden vastgehouden, dan worden deze automatisch ook berekend voor het middeldiepe pakket (dat volgens het model wel overal aanwezig is maar niet overal door een weerstandbiedende laag van de andere pakketten is gescheiden). Hierdoor zullen ze sterk gaan lijken op de ingevoerde "gemeten" stijghoogten.
- Ook om eenzelfde reden geven de middelste kolommen van het laatste gedeelte van tabel 4 lage waarden aan.

Uiteindelijk zijn uit tabel 4 de volgende conclusies getrokken:

a. De weerstand van de mariene Eemkleilaag kan volgens de formule  $c = Hhd + \frac{1}{2}Hd$  worden berekend indien zowel voor het gebied A-E als voor het gebied A gerekend wordt met een faktor  $H = 30 \text{ dag/m}^2$ .

b. De weerstand van het gebied B waar Eem- en fluvioglaciale kleilagen één geheel vormen, kan worden berekend indien voor de totale kleidikte een constante  $H = 100 \text{ dag/m}^2$  wordt aangehouden.

c. De weerstand van de fluvioglaciale kleilagen in gebied E (drielaagsysteem) kan worden berekend met een faktor  $H = 100 \text{ dag/m}^2$ .

d. De weerstand van de oudere fluviatiele kleilaag onder de stuwwal Ermelo-Garderen kan worden berekend indien in de bovengenoemde formule  $H = 500 \text{ dag/m}^2$  wordt gesubstitueerd.

e. De verschillen tussen de berekende gemiddelde deviaties zijn in het algemeen niet erg groot indien voor een bepaalde kleilaag een andere faktor wordt gekozen. Dit betekent dat de nauwkeurigheid van de met bovenstaande methode berekende weerstanden niet bijzonder groot is. Hoogstens wordt de goede orde van grootte ermee aangegeven.

Tenslotte dienen nog de volgende opmerkingen in acht te worden genomen.

- Aangezien in het beschouwde modelgebied over het algemeen veel minder wellen zullen voorkomen dan in het centrale deel van de Gelderse Vallei, kunnen de berekende weerstanden opgevat worden als werkelijke en niet als schijnbare weerstanden. Hiermee is in overeenstemming dat in dit geval een faktor  $H = 30 \text{ dag/m}^2$  voor de Eemklei werd berekend, die even groot is als de schatting die voor  $H_T$  in het centrale deel van de Gelderse Vallei werd gemaakt.

- In vele gevallen, maar met name voor de oudere fluviatiele klei onder de Stuwwal Ermelo-Garderen, zijn niet voldoende gegevens bekend omtrent de dikte van de desbetreffende kleilagen. Ook om die reden kunnen de meeste berekende c-waarden niet bogen op een grote nauwkeurigheid.

Bij het uitzetten van de verschillen tussen de gemeten en de berekende stijghoogten van het grondwater in het diepe watervoerende pakket bleek dat zeer grote verschillen voorkwamen in een gebied ten zuidwesten van Harderwijk. Een volgende berekening waarbij de weerstand van de fluvioglaciale kleilagen in dat gebied op nul werd gesteld, gaf veel geringere verschillen te zien. De conclusie dat deze weerstand bij benadering verwaarloosbaar is, wordt ondersteund door boorgegevens, die aangeven dat de fluvioglaciale klei in dat gebied in het algemeen zandig ontwikkeld is.

Er is geen rekening gehouden met het feit dat wellicht ook onder sommige delen van het Gooi een weerstand biedende oudere fluvia-tiele kleilaag aanwezig is.

Met de uiteindelijk bepaalde c-waarden voor de diverse weerstand-biedende lagen zijn nog een tweetal ijkingen uitgevoerd waarbij de gevolgen van de inpolderingen van resp. Oostelijk en Zuidelijk Flevoland werden gesimuleerd en vergeleken met dienaangaande van de Dienst der Zuiderzeewerken verkregen gegevens. In het algemeen bleek van een redelijke overeenstemming sprake te zijn. Wel moest worden geconcludeerd dat in het noordelijk deel van het modelgebied, nabij Lelystad, waar volgens de schematisering een ononderbroken watervoerend pakket zal worden aangetroffen tussen de onderkant van de Holocene lagen en de ondoorlatende basis, toch waarschijnlijk ergens in de ondergrond een weerstand biedende laag aanwezig moet zijn. De ligging en de verspreiding van deze laag en de erdoor uitgeoefende weerstand zijn bij gebrek aan gegevens niet nader te kwantificeren.

Op de kaarten 6a en 6b zijn zowel voor de Gelderse Vallei als voor Zuidelijk Flevoland aangegeven welke waarden zijn aangehouden als de meest waarschijnlijke c-waarden van de weerstandbiedende lagen in deze gebieden. Om de eerder aangegeven reden wordt hierbij voorbij gegaan aan de weerstand van de Holocene lagen. In voorkomende gevallen zal deze door middel van een lokaal onderzoek moeten worden bepaald.



## 7. De kwaliteit van het grondwater.

Het voor gebruikers belangrijkste kwaliteitskriterium voor grondwater is in het algemeen het zoutgehalte. Nagenoeg overal in het beschouwde gebied komt zowel zoet als zout grondwater voor. Voor dat op de verdeling ervan wordt ingegaan, zullen echter eerst enige opmerkingen ten aanzien van de kwaliteit van het zoete grondwater worden gemaakt.

In het overgrote deel van het diepe watervoerende pakket is het grondwater afkomstig van de Veluwe. Dit water heeft een zeer goede kwaliteit. Het heeft een laag chloride- (ca 10 mg/l) en een laag sulfaatgehalte (ca 10 mg/l). Het nitraatgehalte is niet meetbaar of zeer laag; ook het ammoniumgehalte is in het algemeen laag (minder dan een tot enkele mg/l). De hardheid is minder dan 5, of omstreeks 5<sup>oD</sup> (= ca 2 meq/l). Het ijzergehalte is laag (minder dan 1 mg/l of enkele mg/l). In het algemeen neemt het ijzergehalte, evenals de hardheid, iets toe in de richting van de grondwaterstroming. Het complementerende deel van het zoete grondwater in het diepe watervoerende pakket dat afkomstig is van de Utrechtse Heuvelrug, heeft vergelijkbare kenmerken.

Het ondiepe grondwater heeft op vele plaatsen de invloed van menselijke activiteiten (bewoning, landbouw, wegezout) ondergaan. Dit uit zich in een verhoging van het zoutgehalte, hogere hardheden, hogere nitraat- of ammoniumgehalten en veelal hogere ijzergehalten. Dit water is slechter van kwaliteit dan het diepe grondwater.

In het middeldiepe pakket worden van de bovengenoemde watersoorten zowel de één als de ander aangetroffen. Opmerkelijk is dat in de omgeving van Ermelo en Putten het water soms zodanig vervuild is dat de aanbevolen limieten ten aanzien van het nitraatgehalte in drinkwater in enkele gevallen worden overschreden.

Ten aanzien van de verdeling van zoet en zout grondwater kan onderscheid worden gemaakt tussen Zuidelijk Flevoland en de Gelderse Vallei. In het laatstgenoemde gebied zijn de ondiepe pakketten gevuld met zoet grondwater, terwijl in Zuidelijk Flevoland, waarschijnlijk ten gevolge van recente transgressies (Eem en Holoceen), in meerderheid zout of brak grondwater wordt aangetroffen in tenminste het ondiepe watervoerende pakket. (zie rapporten van de Dienst Grondwaterverkenning TNO, vermeld in appendix C). Bij een eventuele winning van grondwater zijn echter in dit verband vooral het diepe watervoerende pakket en de lagen onder de aangenomen ondoorlatende basis (zie appendix B) van belang. Onder en in dit pakket is een in de richting van de grondwaterstroming continu stijgend grensvlak tussen het zoete en het brakke grondwater aanwezig. De ligging van dit grensvlak ten opzichte van de "ondoorlatende basis" (= de top van de formatie van Maassluis) is aangegeven op kaart 7.

## Appendix A.

Een methode om de hydraulische weerstand van een slechtdoorlatende laag te benaderen.  
(door Ir. G.J. Heij).

De weerstand die een slechtdoorlatende laag biedt tegen verticale grondwaterstroming kan worden benaderd met de formule:

$$c = H \cdot d \left( h + \frac{1}{2}d \right)$$

waarin:

$c$  = hydraulische weerstand in etmalen;

$H$  = evenredigheidsconstante ( $\text{dag/m}^2$ ), bepaald door de aard van de weerstandbiedende laag;

$d$  = dikte van de slechtdoorlatende laag, in meters;

$h$  = diepte van de bovenkant van de slechtdoorlatende laag beneden maaiveld, in meters.

De afleiding van deze formule is in het onderstaande weergegeven.

De weerstand van slechtdoorlatende lagen wordt bepaald door de dikte van die lagen en de doorlaatfactor:  $c = \frac{d}{k}$  ( $k$  in  $\text{m/dag}$ )

De doorlaatfactor  $k$  wordt, als de vloeistofeigenschappen buiten beschouwing worden gelaten, bepaald door de porositeitseigenschappen van het korrelskelet van de grond. Bij de uit de grondmechanica bekende consolidatietheorie van Terzaghi wordt aangenomen, dat de samendrukking van het korrelskelet evenredig is met de toeneming van de korrelspanning. Door samendrukking van het korrelskelet zal, als gevolg van de vermindering van de poriënruimte, de weerstand tegen grondwaterstroming groter worden.

Met behulp van dit uitgangspunt kan aan de hand van figuur 1 de volgende berekening worden opgezet:

$$\sigma_{k_1} = h_1 \gamma_d + h \cdot \gamma_n - h \gamma_w$$

$$\sigma_{k_2} = h_1 \gamma_d + (h+d) \gamma_n - (h+d) \gamma_w - \Delta \varphi \cdot \gamma_w$$

Waarin:

$\sigma_{k_1}$  = de korrelspanning aan de bovenzijde van de slechtdoorlatende laag;

$\sigma_{k_2}$  = de korrelspanning aan de onderzijde van de slechtdoorlatende laag;

$\gamma_d$  = de soortelijke massa van droge grond;

$\gamma_n$  = de soortelijke massa van natte grond;

$\gamma_w$  = de soortelijke massa van water;

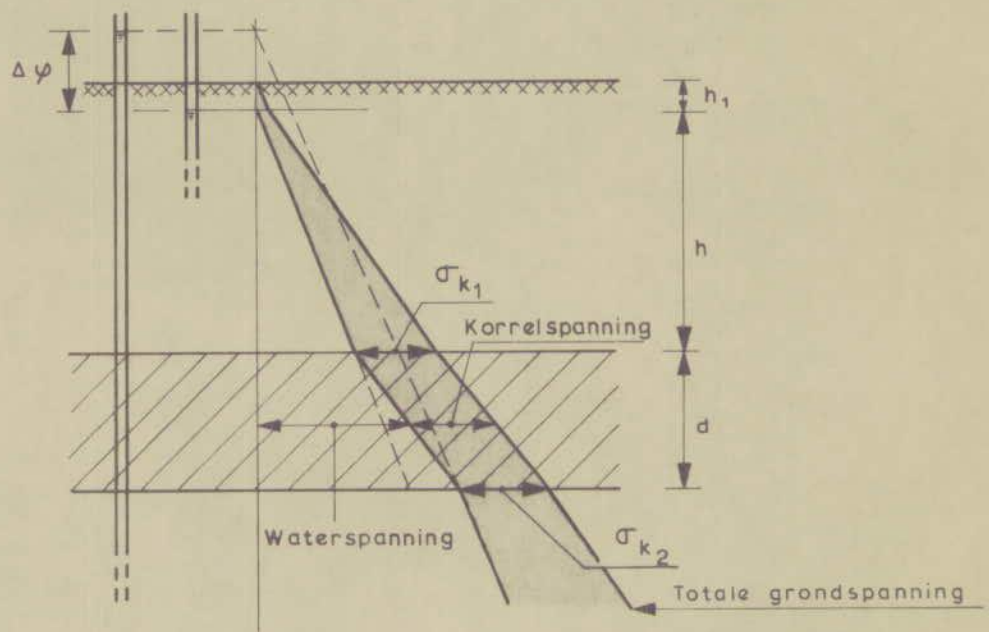
en de overige symbolen in de figuur verklaard zijn.

Wanneer wordt aangenomen dat de korrelspanning in de slechtdoorlatende laag in de stationaire stromingsfase volgens een lineair verband met de diepte verloopt, bedraagt die op een diepte  $x$  beneden de bovenzijde van deze laag:

$$\sigma_{k_x} = h_1 \cdot \gamma_d + h \cdot \gamma_n - h \gamma_w + \frac{x}{d} (d \gamma_n - d \gamma_w - \Delta \varphi \gamma_w).$$

Gesteld wordt, dat de weerstand van de slechtdoorlatende laag recht evenredig is met de korrelspanning in de laag. (Het blijkt overigens dat, indien een logaritmisch verband wordt aangenomen, dit voor Nederlandse omstandigheden resultaten geeft die niet veel afwijken van de lineaire relatie).





Figuur 1. De spannings verdeling in de grond

Indien  $c$  recht evenredig wordt genomen met de korrelspanning en de dikte van de slechtdoorlatende laag, bedraagt de weerstand van de gehele laag:

$$c = H \int_0^d \sigma_{k_x} dx$$

Wanneer voor  $\gamma_d$ ,  $\gamma_n$  en  $\gamma_w$  respectievelijk de waarden 1,6, 2 en 1 ton /m<sup>3</sup> worden aangehouden, wordt voor  $c$  gevonden:

$$c = H \cdot d (1,6 h_1 + h + \frac{1}{2}d - \frac{1}{2}\Delta\varphi).$$

In vele gevallen kunnen  $h_1$  en  $\Delta\varphi$  worden verwaarloosd ten opzichte van  $d$  en  $h$ , zodat dan wordt gevonden:

$$c = H \cdot d (h + \frac{1}{2}d)$$



## Appendix B.

### Notitie ten aanzien van de geohydrologische schematisering van de lagen onder het diepe watervoerende pakket onder Zuidelijk-Flevoland.

Inleiding. Eén criterium voor de realisering van een grondwaterwinning onder Zuidelijk Flevoland en omgeving is het eventuele optrekken van brak grondwater van grotere diepte. Om dit criterium te kunnen beoordelen moet de stroming van het grondwater in de lagen onder het diepe watervoerende pakket worden beschouwd. Daartoe is het noodzakelijk deze diepere lagen in te delen naar geohydrologische eenheden, d.w.z. naar watervoerende pakketten en weerstandbiedende lagen, ofwel naar lagen met verschillende k-waarden. Aangezien weinig boringen tot grote diepte (> 300 m) zijn doorgevoerd en er in het geheel geen pompproeven in deze lagen zijn uitgevoerd, is het noodzakelijk om de geohydrologische parameters van deze lagen te schatten op grond van geologische gegevens.

Geologie en geohydrologie. Voor het onderhavige probleem kan als basis van het grondwatersysteem waarschijnlijk de Midden-Oligocene of zg. Boomse Klei worden aangehouden. Naar verwachting zal deze onder Zuidelijk Flevoland waarschijnlijk op een diepte van ca NAP - 500 m liggen. Boven deze kleilaag zijn jongere Tertiaire afzettingen gevormd, met name Pliocene en Miocene sedimenten. Deze hebben onder Zuidelijk Flevoland ruwweg een dikte van 200 m. Ze bestaan in het algemeen uit slibhoudende fijne tot iets grovere zanden. Boven de Tertiaire lagen wordt de formatie van Maassluis aangetroffen. Deze is 50 à 100 dik en reikt aan de bovenzijde tot een niveau van NAP - 200 tot NAP - 300 (zie het geologisch rapport inzake Zd. Flevoland). In de formatie van Maassluis worden in het algemeen relatief dikke kleilagen aangetroffen, afgewisseld door zandiger trajecten (fijn slibhoudend zand) (zie figuur 1). Boven de formatie van Maassluis ligt de formatie van Tegelen, waarin veelal enkele kleilagen, maar ook grofzandige gedeeltes worden aangetroffen. Daarna volgt het diepe watervoerende pakket dat, zoals bekend, een dikte van ca 150 m heeft. Het diepe pakket wordt onder Zuidelijk Flevoland zelf afgedekt door lagen met grote weerstand en in de Gelderse Vallei door lagen met een relatief minder grote weerstand.

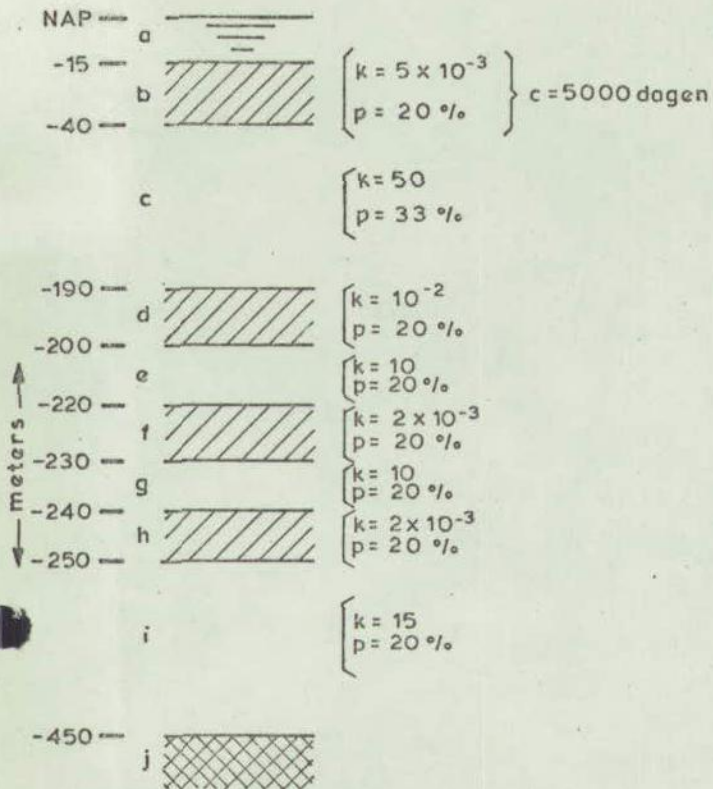
Als geohydrologisch systeem is voor het bovenbeschreven probleem de volgende schematisering opgezet (van boven naar beneden, zie figuur 2).

- a Een polderpeil
- b Een weerstandbiedende laag (Eem + fluvioglaciaal)
- c het diepe watervoerende pakket
- d Een weerstandbiedende laag (Tegelen klei)
- e Een watervoerend pakket (Tegelen + Maassluis)
- f Een weerstandbiedende laag (Maassluis klei 1)
- g Een watervoerend pakket (Maassluis zand)
- h Een weerstandbiedende laag (Maassluis klei 2)
- i Een watervoerend pakket (Jong Tertiair)
- j De echte ondoorlatende basis (top Modden-Oligoceen).

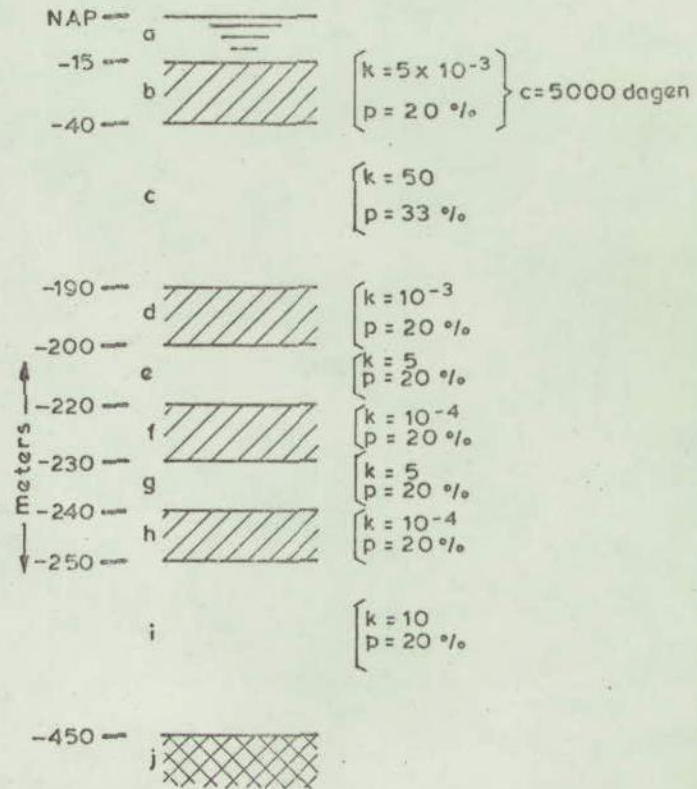
Mogelijke lage en hoge waarden voor de diverse geohydrologische constanten zijn vermeld in figuur 2.

fig. 2. Schematische weergave van het geohydrologische systeem onder Zuidelijk Flevoland en de Gelderse Vallei

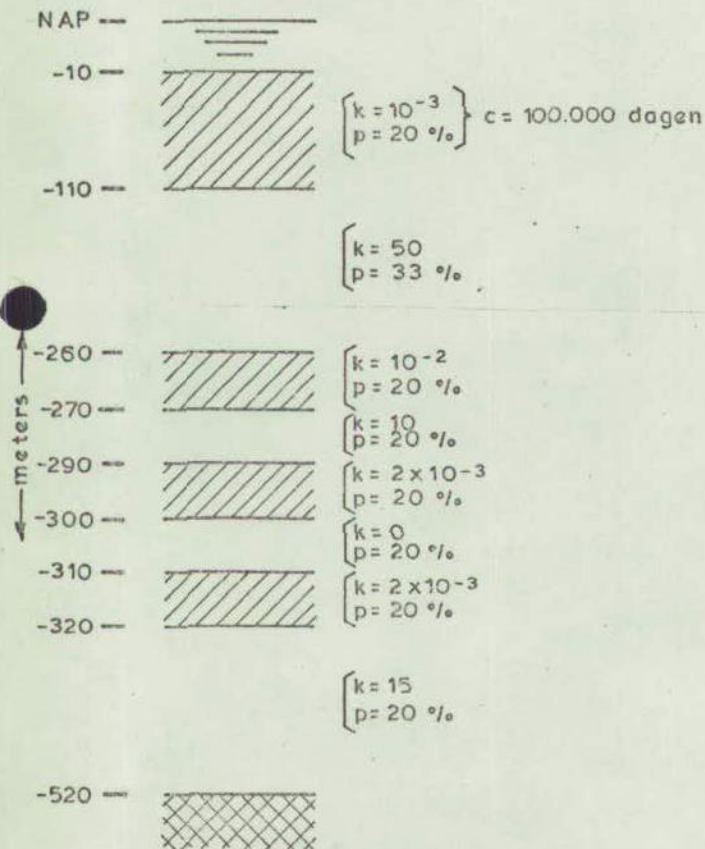
a1 Gelderse Vallei



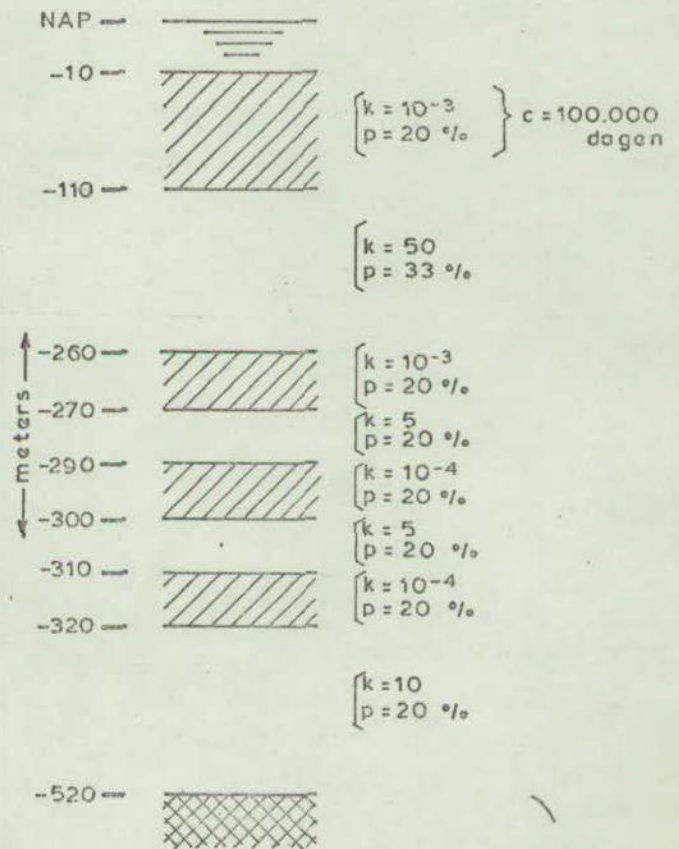
a2 Gelderse Vallei



b1. Zuidelijk Flevoland



b2. Zuidelijk Flevoland



k = doorlatendheidsfactor m/dag  
p = effectieve porositeit



Appendix C

Lijst van literatuur, van nota's en rapporten.

1. Akker C. van den (1972). Een schatting van kD-waarden van een watervoerend pakket aan de hand van granulaire samenstelling en dikte van het pakket, toegepast op boringen in de Gelderse Vallei, Afstudeerverslag T.H. Delft.
2. Bon J. (1968). Afvoer en berging in verband met beekverbetering toegelicht aan het stroomgebied van de Lunterse Beek, I.C.W.-Mededeling no. 107.
3. Claessen F.A.M. (1972). De geohydrologische gesteldheid van het gebied rondom het Veluwemeer tussen Harderwijk en Nijkerk. Nota B 72-25, Dienst der Zuiderzeewerken.
4. Dienst Grondwaterverkenning T.N.O. (1972). Rapport inzake een geo-elektrisch en een geothermisch onderzoek in de Gelderse Vallei (auteur J. Csonka).
5. Dienst Grondwaterverkenning T.N.O. (1974). Geo-elektrisch onderzoek Zuidelijk Flevoland (auteurs G.F.J. Jeurissen en T. Stavenga).
6. Dienst Grondwaterverkenning T.N.O. (1974). Geo-elektrisch onderzoek Oost Utrecht (auteur H.R. Schoute).
7. Dijkstra J. en A. Volker (1957). Geo-elektrisch onderzoek op het IJsselmeer, Rapporten en Mededelingen nr. 6, Dienst der Zuiderzeewerken.
8. Fahmij M.J. (1961). The influence of clay particles on the hydraulic conductivity of sandy soils, Dissertatie Wageningen.
9. Huizinga T.K. (1942). Grondmechanica, Amsterdam.
10. Jong S.J. de (1974). Verslag van een temperatuuronderzoek van het grondwater in de Gelderse Vallei en de Flevopolders, Scriptie geofysica, Vrije Universiteit.
11. Mente A. (z.j.). Toepassing Indelingsmethode van Piper op Grondwater van IJsselmeergebied en Noord-Holland, Nota B 76-9, Dienst der Zuiderzeewerken.
12. Meinardi C.R. (1974). De chemische samenstelling van het grondwater van de Veluwe, R.I.D. Mededeling 74-4.
13. Meinardi C.R. (1975). Brackish groundwater bodies as a result of geological history and hydrological conditions, R.I.D. Mededeling 75-1.
14. Reuter K.N. en J.J. Kouwe (1958). De landbouwwaterhuishouding in de provincie Gelderland, Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding in Nederland-T.N.O.
15. Ridder N.A. de, P. Hondius en A.J. Hellings (1967). Hydrogeological investigations of the Peel region and its environs.

16. Ridder N.A. de en K.E. Wit (1956). A comparative study on the hydraulic conductivity of unconsolidated sediments, Institute for Land and Water Management Research, Technical Bulletin 48.
17. Rijks Geologische Dienst (1969). De geologische opbouw van de Oostelijke Veluwe, Rapport 811.
18. Rijks Geologische Dienst (1970). Geologie van de Utrechtse Heuvelrug, Rapport 812.
19. Rijks Geologische Dienst (1970). Geologisch onderzoek van de Gelderse Vallei, Rapport 999.
20. Rijks Geologische Dienst (1972). Geologie van de provincie Utrecht, Rapport 812 III.
21. Rijks Geologische Dienst (1974). Geologisch onderzoek van Zuidelijk Flevoland en omgeving, Project 7106.
22. Rijks Geologische Dienst (1974). Geologisch onderzoek Gelderse Vallei, Project 7004.
23. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1968). Rapport inzake een geohydrologisch onderzoek op de nieuwe waterwinplaats Holk van de N.V. Waterleidingmaatschappij Gelderland.
24. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1970). Nota inzake uitgangspunten en programma van onderzoek voor de bepaling van de optimale grondwateronttrekking aan de Gelderse Vallei.
25. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1971). Nota inzake de opzet van de pompproeven in de Gelderse Vallei en de plaatsing van peilbuizen aan de rand van de Utrechtse Heuvelrug.
26. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1972). Nota betreffende de uitkomst van de in maart 1972 op de waterwinplaats aan de Hogeweg te Amersfoort gehouden pompproef.
27. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1973). Nota inzake de resultaten van de in 1971 te Barneveld gehouden pompproeven.
28. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1973). Nota inzake de resultaten van de in voorjaar 1972 te Zwartebroek gehouden pompproeven.
29. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1973). Interim-nota inzake de hydrologische konsekwenties van de geprojecteerde grondwaterwinning te Glindhorst.
30. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1974). Nota betreffende de resultaten van de in de maanden januari en februari 1972 te Huinerbroek gehouden pompproeven.



31. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1974). Nota betreffende de resultaten van de in december 1972 te Woudenberg gehouden pompproef.
32. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1974). Nota inzake de resultaten van de in april 1973 gehouden pompproef te Ederveen.
33. Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (1971). Nota inzake de daling van de stand van het grondwater in de Gemeente Zeist.
34. Rijkswaterstaat (1964). Rapport inzake het geo-elektrische onderzoek van de Eemvallei.
35. Rijkswaterstaat (1968). Beschrijving van de provincie Utrecht behorende bij de waterstaatskaart, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
36. Stiboka (1965). De bodem van Nederland.
37. Ven G.A. (1975). Over de bepaling van de geohydrologische bodemkonstanten uit een tweetal pompproeven in de zuidlob van Zuidelijk Flevoland, Flevoberichten van de Rijksdienst voor de IJsselmeerpolders.
38. Voort M. van der en B. Vrijhof (1958). De landbouwwaterhuishouding in de provincie Utrecht, Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding in Nederland-T.N.O., rapport nr. 7.