

NN31545.0326

VOOR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING

NOTA nr. 326, d. d. 20 december 1965

De geohydrologische gesteldheid van het Kromme Rijngebied

Dr. N. A. de Ridder

BIBLIOTHEEK
STARRINGBOUW

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Aan gebruikers buiten het Instituut wordt verzocht ze niet in publikaties te vermelden.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking.

CENTRALE LANDBOUWCATALOGUS



0000 0021 3781

204.112

De geohydrologische gesteldheid van het Kromme Rijngebied

Dr.N.A.de Ridder

Inleiding

Voor de berekening van de hoeveelheid grondwater die van het Kromme Rijngebied naar het Amsterdam-Rijnkanaal afstroomt, is een gedetailleerde kennis van de geohydrologische gesteldheid van het desbetreffende gebied noodzakelijk. Wanneer het grondwater zich onder invloed van bepaalde drukhoogteverschillen door de bodem beweegt, ondervindt het daarbij zekere weerstanden, die onder andere in sterke mate afhankelijk zijn van de geologische, i.c. lithologische eigenschappen van het doorstroomde profiel. Om de intensiteit van de wegzijging te kunnen berekenen, zijn in principe de volgende gegevens nodig:

- . de verbreiding, dikte en doorlatendheid van de watervoerende laag,
- . de diepteligging van de 'ondoorlatende' basislaag,
- . de verbreiding, dikte en doorlatendheid van aaneengesloten, minder goed, doorlatende lagen,
- . de gemiddelde stijghoogte van het grondwater ten opzichte van het gemiddelde kanaalpeil.

In het Kromme Rijngebied zijn bovengenoemde gegevens verkregen uit diepe pulsboringen en door geologische kartering van de oppervlaktelagen. De gegevens over deze jongere, meest holocene deklagen kwamen ter beschikking door het karteringswerk van de Geologische Dienst en zullen worden besproken onder het hoofdstuk over 'De Bodemkundige gesteldheid'. In deze bijdrage zal voornamelijk op de geologie van de diepere ondergrond worden ingegaan.

Voor dit overzicht is gebruik gemaakt van gegevens uit 45 diepe boringen, die ten behoeve van dit onderzoek door de Provinciale Waterstaat van Utrecht zijn uitgevoerd. Deze boringen, die met de letter L en volgnummer zijn aangeduid, liggen in een 6-tal raaien regelmatig door het gebied verspreid. Hun maximale diepte bedraagt 40 m - m.v. Daarnaast is gebruik gemaakt van gegevens uit oudere pulsboringen, die voornamelijk voor de drinkwatervoorziening in dit gebied waren verricht. Deze boringen, waarvan sommige een diepte van meer dan 100 m tot maximaal 157 m bereikten, zijn aangeduid volgens kaart-

blad en volgnummer, bijvoorbeeld 32C/19 (zie bijlage 1).

In de L-boringen, die speciaal voor dit onderzoek zijn gemaakt, zijn één of twee peilfilters in de grove lagen gesteld. Aan deze lagen zijn watermonsters onttrokken, waarvan de chemische samenstelling door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening in den Haag is bepaald. Op regelmatige afstanden in het profiel zijn grondmonsters genomen, die door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Groningen granulometrisch zijn onderzocht. Voor het vaststellen van de stratigrafie der aangeboorde lagen is van een deel van deze monsters bovendien de samenstelling der zware mineralinhoud bepaald. Deze analyses vonden plaats op het laboratorium van de Geologische Dienst te Haarlem.

Een boorpuntennet als het onderhavige geeft niet alleen een redelijk goed beeld van de algemene geologische gesteldheid van de ondergrond van het gebied, maar biedt tevens de mogelijkheid een globale indruk te verkrijgen van de grootte van en variatie in het horizontaal geleidend vermogen (kD-waarde) van het watervoerende pakket. Voor dit doel is gebruik gemaakt van de resultaten van de korrelgrootte-analysen.

De maximale diepte van 40 m, die met de beschikbare boorinstallatie kon worden bereikt, is helaas niet steeds voldoende gebleken om het grove, sterk doorlatende watervoerende pakket over zijn gehele dikte te doorboren. In zulke gevallen zal de werkelijke kD-waarde groter en soms aanzienlijk groter zijn dan de uit de boring berekende. Uit enkele oudere, zeer diepe boringen kon echter de dikte en doorlatendheid van het resterende deel der watervoerende laag worden geschat, zodat de kD-waarde van het gehele pakket in orde van grootte kon worden berekend. Met betrekking tot de kD-waarden van de lagen die in de oudere, diepe boringen zijn aangetroffen en waarvan geen korrelgrootte-analysen bekend zijn, zijn, uitgaande van de profielbeschrijvingen schattingen gemaakt.

Bovengenoemde werkwijze kan uiteraard niet op een grote nauwkeurigheid bogen, reden waarom pompproeven een noodzakelijk hulpmiddel blijven ter toetsing van de aldus afgeleide bodemconstante. Onder de gemeente Cothen zijn daarom door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen twee pompproeven uitgevoerd. In het archief van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening bleken voorts nog gegevens van pompproeven aanwezig uit de omgeving van Bunnik, Amerongen, Hagestein, Vreeswijk en Oudenrijn.

Geologisch overzicht

Bij de bespreking van de geologische ontwikkelingsgeschiedenis van het gebied kunnen wij ons beperken tot het Kwartair, waarvan het Pleistoceen de voornaamste plaats zal innemen. De oudere, tertiaire afzettingen liggen te diep dan dat zij in het kader van dit onderzoek van belang zijn.

De sedimentatie aan het begin van het Pleistoceen, ongeveer een miljoen jaar geleden, was in zekere zin nog de voortzetting van die in het Tertiair. Het gebied maakte dan ook deel uit van het grote dalingsbekken van Nederland, dat geleidelijk werd opgevuld. De opvulling vond aanvankelijk nog in een marien milieu plaats, met andere woorden de zee had nog toegang tot deze gebieden, maar geleidelijk nam vanaf de randen de fluviatiele sedimentatie toe, die tenslotte de mariene geheel verdrong.

Gedurende het verdere verloop van het Pleistoceen, dat gekenmerkt wordt door sterk wisselende klimaatomstandigheden, werden tientallen meters dikke lagen van afwisselend grove en fijne zanden en kleien afgezet, die thans in volgorde van sedimentatie zullen worden besproken (zie geologische profielen A tot H en tabel 1).

Marien Icenien

De oudste pleistocene afzetting, die tot dusver in het Kromme Rijngebied is aangeboord, behoort tot het mariene Icenien. Door de grote diepte waarop het Icenien gelegen is, hebben slechts enkele van de diepere boringen de afzetting bereikt. Zo werd in boring 32D/8 bij Doorn marien Icenien op N.A.P.-90 m aangetroffen (profiel D - D'), in boring 32C/118 bij Driebergen op N.A.P.-114 m (profiel C - C') en in de boringen 32C 19 en 145 bij Bunnik op N.A.P.-141 m (profiel G - G').

De afzetting bestaat uit fijne slibhoudende zanden en kleien. Plaatselijk kan het Icenien ook grove, schelprijke zanden bevatten, zoals nabij Doorn. Over de dikte van het Icenien is niets bekend, omdat geen enkele boring de basis van de afzetting heeft bereikt.

Formatie van Tegelen

Wadat de Icenien-zee zich uit deze streken had teruggetrokken, kwam het onder belangrijk warmere klimaatomstandigheden tot afzetting van de forma-

tie van Tegelen, die zijn naam aan de bekende klei van Tegelen ontleent. Gedurende deze periode werden echter niet alleen kleien gesedimenteerd maar ook fijne en vooral grove zanden.

Slechts in enkele van de diepere boringen is de formatie van Tegelen aangetoond, onder andere in boring 32D/8 bij Doorn op een diepte van ongeveer N.A.P.-66 m tot N.A.P.-91 m (profiel D - D'). De formatie, die op deze plaats ongeveer 25 m dik is, bestaat uit slibhoudende fijne zanden, matig grove zanden en zware kleien. Ook in de diepe boringen 32C/19 en 145 bij Bunnik is de formatie van Tegelen aangetroffen en wel op een diepte van N.A.P.-110 tot N.A.P.-141 m. De ruim 30 m dikke afzetting bestaat hier uit overwegend matig grove tot zeer grove zanden met ingeschakelde leemlagen. Overeenkomstige afzettingen in het onderste deel van boring 38F172 bij Tull en 't Waal, behoren eveneens tot deze formatie. Tenslotte maken de fijne tot grove zanden, die in boring 32C118 bij Driebergen boven het Icenien zijn aangetroffen, eveneens deel uit van de formatie van Tegelen, maar de begrenzing met de bovenliggende jongere afzettingen is moeilijk aan te geven.

Formatie van Kedichem

De formatie van Tegelen gaat naar boven, vaak zonder duidelijke geologische verschillen over in een complex afzettingen, die worden samengevat onder de naam formatie van Kedichem. Lithologisch vertoont deze formatie grote verschillen; naast grove grindrijke zanden en fijne slibhoudende zanden, komen kleilagen van soms grote dikte veelvoudig voor. De zanden worden in het algemeen gekenmerkt door een zware mineraalassociatie van granaat, epidoot, hoornblende en weinig saussuriet (bijlage 2-5).

Hoewel dit geen algemene regel is, kan wel worden gesteld dat de formatie in het bovenste traject veelal uit slibrijke fijne zanden en kleilagen van soms aanzienlijke dikte bestaat. Op grond van paleobotanisch onderzoek kon worden vastgesteld, dat de klei op een diepte van ca. 23 - 29 m in boring L24, gedurende een interglaciale periode, het zogenaamde Waalien, werd afgezet.

Op grotere diepte blijkt de formatie vaak uit grove tot zeer grove grindrijke zanden te bestaan, die samen met de onderliggende grove zanden van de formatie van Tegelen voor grondwaterwinning zeer geschikt zijn (o.a. winplaats bij Bunnik).

Tabel 1. Litho-stratigrafische indeling van de afzettingen in het Kromme Rijngebied

	Chronologie	Litho-stratigrafie	Lithologische kenmerken
Boven Pleistoceen	Koud Warm Holoceen	Jonge rivierafzettingen en veen	Klei, zandige klei, fijn zand en veen
	Würm (Weichselien)	zanddiluvium	fijn zand, dekzand
	Eemien	Formatie van Kreftenheije	Grof zand en grind
Midden Pleistoceen	Riss (Saalien)	Fluvioglaciaal	grof zand
	Holsteinien	Formatie van Veghel-Vianen	grof zand en grind
	Mindel (Elsterien)	Formatie van Urk	
	Cromerien	Formatie van Sterksel	grof zand en grind
Onder Pleistoceen	Menapien	Formatie van	Klei, kleiig zand, fijn en grof zand met grind
	Waalien	Kedichem	
	Eburonien		
	Tiglien	Formatie van Tegelen	grof en fijn zand, klei
	Praetiglien	Marien Icenien	fijn en grof zand, klei

Vele van de nieuwe L-boringen hebben de formatie van Kedichem niet bereikt of drongen er slechts enkele meters in door. In het oostelijke deel van het gebied, ongeveer binnen de driehoek Amerongen-Poorn-Wijk bij Duurstede, waar de formatie minder diep ligt, hebben de boringen echter de bovenste 20 à 25 m getroffen. In dit gebied kan de totale dikte ca. 50 m bedragen (profiel D-D'). De bovenzijde van de formatie ligt hier op N.A.P.-10 à -18 m. In westelijke richting daalt de bovenzijde tot N.A.P.-25 à -30 m, terwijl ten westen van de lijn Bunnik-Werkhoven waarden van N.A.P. -47 à -53 m worden gevonden. Deze daling van het bovenvlak van de Kedichem formatie vindt niet geleidelijk plaats, maar met zekere sprongen, zoals uit de profielen blijkt. Soms vindt men over betrekkelijk korte afstand een daling van 25 à 30 m (profiel B-B' en C-C'). De verschillen in diepte van dit bovenvlak zijn waarschijnlijk grotendeels toe te schrijven aan tektonische bewegingen langs breukvlakken in de diepere ondergrond. Dergelijke bewegingen vonden plaats tijdens en ook nog na de vorming van de formatie van Kedichem. In de geologische profielen zijn deze storingen aangeduid als de 'storing van Odijk' en de 'storing van Wijk bij Duurstede'. Hun ligging in het terrein is op bijlage 1 aangegeven.

Formatie van Sterksel

De grofzandige afzettingen, die op de formatie van Kedichem liggen, worden aangeduid met de naam formatie van Sterksel. Naast de typische Rijnassociatie granaat, epidoot, hoornblende, saussuriet, alteriet, treft men in deze zanden soms ook een niet onbelangrijk percentage metamorfe mineralen, toermalijn en stauroliet aan. (bijlage 5, boring L14). De aanwezigheid van laatstgenoemde mineralen zou op een overigens weinig betekenende sedimentaanvoer uit oostelijke richting ten tijde van het ontstaan van de formatie van Sterksel kunnen wijzen.

Met uitzondering van enkele plaatsen in het oostelijk deel van het gebied, komt de formatie overal in de ondergrond voor. In het westen ligt de formatie op één diepte van globaal N.A.P.-20 tot N.A.P.-50 m en bereikt een dikte van ongeveer 25 à 30 m. Verder oostelijk in het gebied Odijk-Werkhoven-Cothen tot aan de storing van Wijk bij Duurstede vindt men de formatie op geringere diepte namelijk globaal op N.A.P.-15 tot N.A.P.-30 m. De dikte varieert van ongeveer 7 tot 10 m. Oostelijk van deze storing ligt de formatie op ongeveer N.A.P.-9 tot N.A.P.-17 m, terwijl de dikte varieert van enkele

meters tot 6 à 8 m. Deze verschillen in dikte en diepte zijn een gevolg van tektonische bewegingen tijdens en na de vorming van deze afzettingen.

Matig grove en middel grove grindhoudende zanden vormen het hoofdbestanddeel der formatie. Op sommige plaatsen komen echter in deze zanden meer of minder dikke lenzen klei voor, waarvan sommige uit het zogenaamde Cromerien, een warme, interglaciale periode stammen. Een belangrijk deel van de afzettingen uit deze formatie werd evenwel gedurende het Mindel glaciaal (Elsterien) gevormd.

Formatie van Veghel-Vianen

De formatie van Sterksel wordt aan de bovenzijde begrensd door een laag matig grove tot middel grove en soms zeer grove grindrijke zanden, die wat hun zware mineraalinhoud betreft uit een mengsel van Rijn-en Maascomponenten bestaan (bijlagen 2-7). De zanden bevatten naast granaat, epidoot, saussuriet en hoornblende, een relatief hoog gehalte aan vulkanische mineralen, hetgeen kenmerkend voor jongere Rijnsedimenten is. Vergelijken met de formatie van Sterksel bevatten deze zanden bovendien nog relatief hoge gehalten aan toermalijn, metamorfe mineralen stauroliet en soms wat Vogezen hoornblende, een associatie die kenmerkend is voor Maasafzettingen (Veghel formatie). De betreffende zanden, die gedurende het Holsteinien (Mindel-Riss interglaciaal) en deels nog tijdens het Saalien (Riss-glaciaal) zijn afgezet, worden aangeduid als de formatie van Veghel-Vianen.

De formatie komt algemeen verbreid in de ondergrond voor en wel op een diepte van ongeveer N.A.P.-10 tot N.A.P.-20 m. De dikte varieert van enkele meters tot ca. 10 m, maar dikten van 5 à 8 m worden vrij algemeen gevonden. Oostelijk van de storing van Wijk bij Duurstede ligt de formatie minder diep, namelijk tussen N.A.P.-5 m en N.A.P.-13 m, terwijl de dikte veelal niet meer dan ca. 5 m bedraagt.

Uit het feit dat de diepte van boven- en onderzijde en de dikte van de formatie ter weerszijde van de storing van Wijk bij Duurstede duidelijk verschillen te zien geven, kan worden geconcludeerd dat tijdens en na de vorming van de formatie bewegingen langs de storing hebben plaatsgevonden.

Fluvioglaciaal

Aan de voet van de heuvelrug komen plaatselijk boven de formatie van

Veghel-Vianen fluvioglaciale afzettingen voor, aangevoerd door smeltwaterbeken van het landijs. Deze afzettingen bestaan veelal uit grove, soms grindrijke, zanden die op een diepte liggen van ongeveer N.A.P.-5 à -8 m tot N.A.P. De dikte kan variëren van enkele meters tot ca. 10 m. Zoals uit de geologische profielen blijkt, is het voorkomen van deze afzettingen voornamelijk beperkt tot het gebied oostelijk van de storing van Wijk bij Duurstede.

Formatie van Kreftenheije

Westelijk van de storing van Wijk bij Duurstede ligt boven de formatie van Veghel-Vianen een grofzandige afzetting, die wat zijn samenstelling van de zware minderaalinhoud betreft, een typische Rijnafzetting is. Naast granaat, epidoot, hoornblende en vooral saussuriet, bevatten de zanden soms een belangrijk gehalte aan vulkanische mineralen (bijlagen 2, en 4-7).

De betreffende afzettingen, die voornamelijk uit matig grove tot zeer grove grindhoudende zanden bestaan, worden aangeduid met de naam formatie van Kreftenheije. Sedimentatie van deze afzettingen begon vermoedelijk reeds tijdens het Saalien (Riss ijstijd die ongeveer 120 000 jaar geleden begon) en duurde voort tot in het Weichselien (Würm glaciaal). Deze laatste ijstijd duurde van ongeveer 70 000 tot 10000 jaar voor heden.

De basis van de formatie ligt ongeveer op N.A.P.-10 à -15 m; de bovenzijde ongeveer op N.A.P., plaatselijk echter op N.A.P.-5 m. De dikte van de formatie varieert van ca. 5 tot 15 m.

Zanddiluvium

Na de afzetting van de grove grindrijke Rijnzanden ving een periode aan met een ten dele fluviatiele, ten dele eolische sedimentatie. Vooral tegen het einde van het Würm glaciaal kwamen over grote gebieden dekzanden tot afzetting. Fijnzandige sedimentatie vanuit beken en riviertjes vond echter ook plaats. Het gehele complex fijnkorrelige afzettingen wordt samengevat onder de naam Zanddiluvium.

De matig fijne tot middel fijne dekzanden bedekken als een mantel de voet van de heuvelrug. Zij duiken in zuidwestelijke richting vaak een eindweegs onder de holocene klei- en veenafzettingen van de Kromme Rijn weg.

Holoceen

Toen ongeveer 10 000 jaar geleden de laatste koude periode van het Pleistoceen, het Würm glaciaal, eindigde, trad een belangrijke klimaatsverbetering in. De jongste periode uit de aardgeschiedenis, het Holoceen, was begonnen. Met deze verandering in klimaat wijzigden zich ook de sedimentologische omstandigheden. Het brede dal van de Rijn met zijn verwilderd stelsel van riviertakken, maakte plaats voor een meanderend rivierensysteem. Gedurende het Holoceen werden in hoofdzaak fijne zanden en klei afgezet, terwijl het tijdens deze periode ook over grote uitgestrektheid tot veenvorming kwam.

Dit holocene klei-veendek wigt in noordoostelijke richting tegen de Utrechtse heuvelrug uit. De dikte van deze deklagen wisselt sterk, namelijk van enkele meters tot ca. 10 m. Het is vooral in de laaggelegen komgebieden dat de deklagen een aanzienlijke dikte bezitten, onder andere langs het kanaaltracé Schalkwijk-Wijk bij Duurstede.

Geohydrologisch overzicht

In deze paragraaf zal een overzicht worden gegeven van enkele hydrologische eigenschappen van de aangetroffen geologische formaties. Van belang daarbij zijn onder andere de diepteligging van de ondoorlatende basislaag en de verbreiding, de dikte en het doorlatend vermogen van de watervoerende pakketten.

Tenslotte zal nog nader worden ingegaan op de chemische samenstelling van het grondwater, die speciaal van belang is bij berekening van tuinbouwgewassen.

De ondoorlatende basislaag

De formatie van Kedichem, die vooral in het bovenste deel uit slibhoudende fijne zanden en dikke kleilagen bestaat, zou in beginsel als 'ondoorlatende' basislaag beschouwd kunnen worden. Zoals in het voorgaande reeds is opgemerkt, ligt de bovenzijde van deze formatie niet overal op eenzelfde diepte. De grootste diepte van gemiddeld N.A.P.-50 m wordt in het westelijke deel van het gebied gevonden, namelijk ten westen van de storing van Odijk (bijlage 1). Tussen deze storing en de storing van Wijk bij Duurstede ligt een gebied waar de formatie op N.A.P.-25 à -30 m ligt, terwijl in het gebied oostelijk van laatstgenoemde storing een diepte wordt gevonden van N.A.P.-10 à -18 m.

Er dient echter rekening mede gehouden te worden, dat op sommige plaatsen het bovenste deel van de formatie grofzandig ontwikkeld is en kleilagen ontbreken (boringen L19, L49, L48, L28, L31, L50, L34 enz.): In zulke gevallen ligt de ondoorlatende basislaag dieper, maar hoeveel dieper is wegens de te geringe diepte van de boringen niet uit te maken.

De watervoerende lagen

Tot de goed doorlatende watervoerende lagen kunnen de formaties van Sterksel, Veghel-Vianen en Kreftenheije worden gerekend. Deze drie formaties komen nagenoeg overal in de ondergrond voor, zij het in variërende dikte, samenstelling en doorlatendheid. In het oostelijke deel van het gebied, waar de formatie van Sterksel dun is of plaatselijk zelfs geheel ontbreekt, kunnen ook de fluvioglaciale afzettingen tot de watervoerende lagen worden gerekend.

In het gebied ten westen van de storing van Odijk kunnen deze watervoerende formaties een totale dikte van ca. 50 m bereiken. In de zone tussen deze storing en die van Wijk bij Duurstede wisselt de totale dikte in het algemeen tussen 20 en 30 m, terwijl oostelijk van de storing van Wijk bij Duurstede waarden van 5 tot 20 m voorkomen.

Het doorlatend vermogen van de watervoerende laag

a) Uit korrelgrootte-analysen

Voor de berekening van het doorlatend vermogen of kD-waarde van het watervoerende pakket is gebruik gemaakt van de resultaten van korrelgrootte analyses. Met behulp van deze analyses is het U-cijfer van de grondmonsters berekend. De doorlatendheid van ieder monster is vervolgens uit het U-cijfer afgeleid door gebruikmaking van de formule $kU^2 = 54\ 000$. De aldus berekende k-factoren zijn op slibgehalte, sorteringsgraad en grindgehalte gecorrigeerd. Door vermenigvuldiging van de gecorrigeerde k-factor met de laagdikte waarop het monster betrekking heeft, is de kD-waarde van de betreffende laag berekend. Door nu de aldus berekende kD-waarden van alle opeenvolgende zandige lagen te sommeren, is de kD-waarde van het gehele watervoerende pakket gevonden.

In de geologische profielen zijn de kD-waarden per geologische formatie

naast iedere boorstaaf vermeld. Indien de bovenzijde van de formatie van Kedichem uit klei bestaat, is de totale kD-waarde van alle watervoerende lagen tot aan deze klei, onder de boringen aangegeven. Bij ontbreken van klei in de bovenste lagen der Kedichem formatie is de totale kD-waarde van de aangeboorde grove zandlagen berekend en onder de boring vermeld, echter voorzien van het teken 'groter dan'.

Tenslotte zij opgemerkt dat vele boringen de ondoorlatende basislaag niet hebben bereikt. In zulke gevallen is de kD-waarde van het ontbrekende onderste deel tot aan de basislaag geschat en tussen haakjes in de profielen aangegeven. Met betrekking tot de oudere boringen, waarvoor geen korrelgrootte-analysen bekend zijn, is de kD-waarde geschat aan de hand van de profielbeschrijving. Het zal duidelijk zijn dat de vermelde cijfers, gezien het ontbreken van de nodige basisgegevens, geen grote nauwkeurigheid bezitten en in vele gevallen slechts een meer of minder grove benadering van de werkelijkheid zijn.

Bij een nadere beschouwing van de verschillende geologische formaties die tezamen het watervoerende pakket vormen, blijkt dat hun doorlatend vermogen belangrijk uiteenloopt. Ook binnen één bepaalde formatie komen soms aanzienlijke verschillen voor. Zo zijn binnen de formatie van Kreftenheije kD-waarden van 100 tot 2000 m²/dag gevonden, binnen de formatie van Veghel-Vianen van 100 tot 3000 m²/dag en binnen de formatie van Sterksel van 40 tot ruim 2000 m²/dag.

Behalve aan verschillen in doorlatendheid van deze fluviatiele sedimenten, zijn de variaties in kD-waarden deels ook toe te schrijven aan verschillen in dikte van het watervoerende pakket. Hoge kD-waarden, in de orde van grootte van 2000 à 3000 m²/dag worden vooral in het westelijke deel van het gebied gevonden, waar de watervoerende lagen hun grootste dikte bezitten (bijlage 8). Lage kD-waarden in de orde van grootte van 200 à 1000 m²/dag overheersen in het gebied oostelijk van de storing van Wijk bij Duurstede, waar de grofzandige lagen veelal belangrijk minder dik zijn dan in het westen. In het algemeen blijkt hieruit, dat de grootte van het doorlatend vermogen in een zeker verband staat met de schollenstructuur van de diepere ondergrond.

b) Uit pompproeven

Zoals in het voorgaande reeds werd opgemerkt, kunnen kD-waarden afgeleid uit korrelgrootte-analysen of geschat uit profielbeschrijvingen niet op een

grote nauwkeurigheid bogen. Pompproeven geven in dit opzicht betrouwbaarder uitkomsten. Behalve twee pompproeven, die speciaal bij Cothen tussen L28 en L29, voor dit onderzoek zijn uitgevoerd, bleken in de loop der tijden voor andere doeleinden pompproeven verricht te zijn in Bunnik, Amerongen, Hagestein, Vreeswijk en Oudenrijn. In het volgende zullen deze proeven kort worden besproken. Voor meer gedetailleerde gegevens moge verwezen worden naar de desbetreffende rapporten van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding.

Pompproef Bunnik

Deze proef werd 7 en 8 november 1962 uitgevoerd in enkele diepe putten ten Z.W. van Bunnik. Doel van de proef was na te gaan wat de gevolgen zouden zijn van een grondwateronttrekking van 3,5 miljoen m³ per jaar. De proefpomping werd gehouden in de formaties van Kedichem en Tegelen, waarbij de pompproef filters zich op een diepte van ongeveer N.A.P.-70 tot -100 m bevonden. Boring 32C19 (profiel G-G¹) was één van de pompputten. De pompopbrengst bedroeg 240 m³/uur.

Voor de bodemconstanten van deze formaties werd gevonden:

$$kD = 3700 \text{ m}^2/\text{dag}$$

$$\lambda = 1200 \text{ m}$$

In de eerste watervoerende laag (formaties van Kreftenheije, Veghel-Vianen en Sterksel) werd geen pompproef uitgevoerd.

Pompproef Amerongen

Ten behoeve van de bouw van het stuwcomplex in de Nederrijn ten Z.W. van Amerongen zijn in augustus - september 1957 drie pompproeven gehouden. De eerste proef had plaats in de matig grove tot grove grindhoudende zanden van de formaties van Veghel-Vianen en/of Kreftenheije, die ter plaatse op een diepte van N.A.P. + 3 m tot N.A.P.-15 m voorkomen. De pompopbrengst bedroeg 86,1 m³/uur.

Voor de bodemconstanten werd gevonden:

$$kD = 860 \text{ m}^2/\text{etm.} \quad \lambda_{\text{oost}} = 165 \text{ m} \quad \lambda_{\text{west}} = 145 \text{ m}$$

De tweede proef vond plaats op pompput I in de matig grove tot grove zandlagen van N.A.P.-15 m tot onbekende diepte, behorende tot de formatie van Sterksel. De pompopbrengst bedroeg $42,6 \text{ m}^3/\text{uur}$.

Voor de bodemconstanten werd gevonden:

$$kD = 950 \text{ m}^2/\text{dag} \quad \lambda = 157 \text{ m}$$

De derde proef vond plaats in hetzelfde watervoerende pakket als de 2e pompproef, maar nu op pompput II. De pompopbrengst bedroeg $90 \text{ m}^3/\text{uur}$. De volgende waarden voor de bodemconstanten werden berekend:

$$kD = 2460 \text{ m}^2/\text{dag} \quad \lambda = 210 \text{ m}$$

Aangezien scheidende kleilagen in deze pompput ontbreken, heeft de gevonden $kD = 2460 \text{ m}^2/\text{dag}$ betrekking op het gehele watervoerende pakket.

Pompproef Oudenrijn

Deze proef werd gehouden op 12 en 29 mei 1959 ten behoeve van een advies voor de bemaling van een bouwput voor de reconstructie van het verkeersplein Oudenrijn. Het watervoerende pakket bestond uit de formaties van Kref-tenheije, Veghel-Vianen en Sterksel, die op een diepte liggen tussen 4 en ca. 60 m beneden maaiveld.

Voor de bodemconstanten werden de volgende waarden berekend:

$$kD = 2200 \text{ m}^2/\text{dag} \quad \lambda = 470 \text{ m}$$

Pompproef Hagestein

Ten behoeve van de bouw van het stuwcomplex in de Nederrijn bij Hagestein zijn in de periode van begin november tot eind december 1952 vier pompproeven gehouden.

Twee proefpompingen vonden plaats in de ondiepe zandlagen op N.A.P.+2 m tot N.A.P.-3 m.

De pompopbrengsten bedroegen $10,4 \text{ m}^3/\text{uur}$ en $12,6 \text{ m}^3/\text{uur}$.

Voor de bodemconstanten werden de volgende waarden gevonden:

$$kD = 130 \text{ m}^2/\text{dag} \quad \lambda = 54 \text{ m}$$

$$kD = 210 \text{ m}^2/\text{dag} \quad \lambda = 54 \text{ m}$$

De beide andere proeven vonden plaats in de pleistocene zanden (formaties van Kreftenheije, Veghel-Vianen en Sterksel) die op N.A.P.-5 m beginnen en tot onbekende diepte reiken. De pompopbrengsten bedroegen 67,7 m³/uur en 92,2 m³/uur.

Beide proeven gaven eensluidende uitkomsten:

$$kD = 1382 \text{ m}^2/\text{dag} \quad \text{en} \quad \lambda = 360 \text{ m}$$

Pompproef Vreeswijk

Deze proef werd gehouden in 1932 ten behoeve van een bemaling van de bouwput van de Beatrixsluis. De proef vond plaats in de pleistocene lagen op een diepte van N.A.P.-10 m tot N.A.P.-34 m, waarbij zich een leemlaag bevond op een diepte tussen N.A.P.-19 tot -25 m.

De pompopbrengst bedroeg 50 m³/uur.

Voor de formatieconstanten werden de volgende waarden berekend:

$$kD = 700 \text{ m}^2/\text{dag} \quad \lambda = 300 \text{ m}$$

Pompproef Cothen

Ten zuidwesten van Cothen werden speciaal ten behoeve van dit onderzoek twee pompproeven uitgevoerd door het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding te Wageningen. De eerste proef werd gehouden op ca. 500 m ten zuidwesten van L28 en de tweede proef ca. 600 m ten noordwesten van L29. Zoals uit geologisch profiel D - D' blijkt, werden de proeven uitgevoerd in de formaties van Kreftenheije, Veghel-Vianen en Sterksel. Aangezien het bovenste deel van de formatie van Kedichem hier eveneens zandig ontwikkeld is, hebben de gevonden kD-waarden ook betrekking op deze formatie. De totale dikte van het watervoerende pakket is wegens onvoldoende diepte der boringen onbekend.

De gegevens van deze pompproeven werden door dr. L.F. Ernst bewerkt waarbij de volgende uitkomsten werden verkregen:

Pompproef I bij L28: $kD = 3000 \text{ m}^2/\text{dag}$

Pompproef II bij L29: $kD = 2000 \text{ m}^2/\text{dag}$

Overziet men de uitkomsten van al deze pompproeven dan valt ook hier op dat van gebied tot gebied het doorlatendvermogen aanzienlijk kan verschillen. Vergeleken met de kD -waarden afgeleid uit de resultaten van korrelgrootte analyses, zijn de uitkomsten van de pompproeven bij Vreeswijk en Hagestein relatief laag en van die bij Amerongen en Cothen relatief hoog te noemen.

De vraag doet zich thans voor welke kD -waarde bij de berekening van de wegzijging naar het Amsterdam-Rijnkanaal moet worden aangehouden. Om deze vraag te beantwoorden is een zekere schematisering van de geohydrologische gesteldheid noodzakelijk. Geologisch gezien bestaat het gebied uit drie structurele eenheden of aardeschollen die door storingen worden begrensd, namelijk de schol van Houten, gelegen ten westen van de storing van Odijk, de Schol van Cothen, gelegen tussen de storingen van Odijk en Wijk bij Duurstede en de Schol van Doorn, gelegen ten oosten van de storing van Wijk bij Duurstede (bijl.). Beschouwen we in eerste instantie de formatie van Kedichem als ondoorlatende basis, dan blijkt dat ieder van deze schollen door bepaalde, zij het variërende kD -waarden wordt gekenmerkt (zie tabel 2).

Tabel 2. Doorlatend vermogen van de watervoerende pakketten afgeleid uit de korrelgrootte-verdeling

	Schol van Houten	Schol van Cothen	Schol van Doorn
$k_1 D_1$ ¹⁾	1000 - 3000	700 - 1500	300 - 850 m^2/dag
gemiddeld	2000	1200	550 m^2/dag
$k_2 D_2$ ²⁾	0 - 1000	0 - 1000	0 - 1000 m^2/dag
gemiddeld	500	500	500 m^2/dag

$k_1 D_1 + k_2 D_2$	1000 - 4000	700 - 2500	300 - 1850 m^2/dag
gemiddeld	2500	1700	1050 m^2/dag

1) $k_1 D_1$ doorlatend vermogen van bovenste watervoerende pakket (formaties van Kreftenheije, Veghel-Vianen, Sterksel en fluvioglaciaal)

2) $k_2 D_2$ doorlatend vermogen bovenste deel (ca 10 m) van de formatie van Kedichem

Zoals reeds eerder werd opgemerkt, bestaat het bovenste deel van de formatie van Kedichem in het algemeen uit fijne soms slibrijke zanden en meer of minder dikke kleilagen. Deze kleien vormen echter veelal geen aaneensluitende laag, maar vertonen een lensvormig karakter. Het kan dan ook niet ontkend worden dat er 'gaten' in de ondoorlatende basis aanwezig zijn. De bovenste 30 m van deze formatie is 16 maal aangeboord, waarbij bleek dat er slechts 5% kans bestaat dat in dit traject geen dikke kleilagen voorkomen.

Op sommige plaatsen is de formatie van Kedichem direct aan de bovenzijde reeds sterk kleiig ontwikkeld. Op andere plaatsen daarentegen komen van de bovenzijde tot bepaalde (soms onbekende) diepten uitsluitend grove zanden voor, die er de oorzaak van zijn dat bij de gevonden kD -waarden van de bovenste watervoerende lagen nog een zeker bedrag moet worden opgeteld om de werkelijke waarde van het doorlatend vermogen van het gehele doorstroomde profiel te verkrijgen. Doordat vele boringen niet voldoende diep zijn, kan slechts een schatting van de kD -waarde van dit zandige bovenste deel der Kedichem formatie gemaakt worden. Nemen we aan dat voor dit bovenste deel het doorlatend vermogen kan variëren van 0 tot $1000 \text{ m}^2/\text{dag}$, met als gemiddelde $500 \text{ m}^2/\text{dag}$ ($D_2 = 10 \text{ m}$, $k_2 = 50 \text{ m}/\text{dag}$), dan vinden we als som van $k_1 D_1$ en $k_2 D_2$ waarden als aangegeven in tabel 2.

Samenvattend kan gesteld worden, dat voor de westelijke schol van Houten, waarin $2/3$ van het te beschouwen kanaaltracé ligt, een gemiddelde $kD = 2500 \text{ m}^2/\text{dag}$ kan worden aangehouden. Voor de schol van Cothen, waarin $1/3$ van het kanaaltracé ligt, is een wat lagere waarde van $kD = 1700 \text{ m}^2/\text{dag}$ het meest waarschijnlijk. Voor de oostelijke schol van Doorn lijkt een gemiddelde $kD = 1050 \text{ m}^2/\text{dag}$ aanvaardbaar. Opgemerkt moet worden, dat plaatselijk kD -waarden zijn gevonden die sterk van de hierboven genoemde gemiddelde waarden afwijken. Voorbeelden hiervan zijn onder andere de boringen L35 en L49, gelegen in de nabijheid van het kanaal op de schol van Cothen, waar kD -waarden van respectievelijk 3500 en meer dan 4100 m^2/dag zijn afgeleid (bijlage 8). Deze waarden zijn dus een factor 2 à $2\frac{1}{2}$ hoger dan de gemiddelde kD -waarde die voor deze schol is berekend.

Chemische samenstelling van het grondwater

Wanneer voor berekening van gewassen en met name van tuinbouwgewassen, grondwater zou worden gebruikt, zijn niet alleen gegevens nodig met betrekking tot de verbreiding en dikte van watervoerende lagen, maar ook van de

chemische eigenschappen van het water dat zich in deze lagen bevindt. Nu is op grond van de geologische ontstaanswijze van het gebied te verwachten dat het grondwater tot grote diepte zoet is. Eerst op een diepte van ca. 90 à 140 m beneden N.A.P. komen afzettingen voor die in een marien milieu werden gevormd. Aangenomen mag echter worden dat ook in deze afzettingen van het mariene Icenien het grondwater tot een bepaalde (maar onbekende) diepte verzoet is. Maar ook het zoete grondwater kan bepaalde bestanddelen (o.a. ijzer) in zulke hoge concentraties bevatten, dat het bij gebruik voor beregening van tuinbouwgewassen schade veroorzaakt.

De filters die in de verschillende boringen zijn gesteld, zijn in de geologische profielen aangegeven. Op enkele uitzonderingen na zijn aan deze filters watermonsters onttrokken, die door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening in Den Haag vrij volledig zijn geanalyseerd. De gehalten aan anionen (Cl^- , SO_4^{--} en HCO_3^-) en kationen (Na^+ , K^+ , Ca^{++} en Mg^{++}) zijn zowel in milligrammen en milligram equivalenten (m val) per liter, als in % m val uitgedrukt, waarbij het totale aantal m val op 100% is gesteld. Om de analyse uitkomsten te kunnen vergelijken, is gebruik gemaakt van het zogenaamde Collinsdiagram, een staafdiagram dat in de geologische profielen onder iedere bemonsterde put is weergegeven. In deze diagrammen zijn aan de linkerzijde de gehalten aan kationen in % m val weergegeven en aan de rechterzijde die aan anionen in % m val. Boven elke diagram zijn de pH, het Fe-gehalte in mg/l en de totale hardheid van het water in $^\circ\text{D}$ vermeld. De cijfers onder het diagram hebben betrekking op de diepte van de boven- en onderkant van het filter in meters beneden m.v. en de datum van bemonstering.

Uit een vergelijking van deze diagrammen blijkt, dat het grondwater in de bovenste 40 m van het watervoerende pakket tot eenzelfde type, het zogenaamde calciumbicarbonaat type behoort. Slechts enkele monsters vertonen door wat hogere gehalten aan chloride, sulfaat en nitraat een enigszins afwijkende samenstelling. In het algemeen wordt het grondwater in het Kromme Rijngebied gekenmerkt door lage gehalten aan chloride, variërend van 10 tot 60 mg/l. Een uitzondering vormen de putten L 49 en L50, gelegen op korte afstand van de Lek, L45 en L32 waar grondwater is aangetroffen met hogere gehalten aan chloride namelijk 95 tot 130 mg/l.

Het gehalte aan sulfaat in het grondwater is eveneens laag en varieert in het algemeen van circa 2 tot 100 mg/l. In enkele putten zijn echter hogere concentraties dan 100 mg/l gevonden, onder andere in L13, L14, L22, L34, L45

en L46. Het hoogste gehalte aan sulfaat namelijk 172 mg/l, is in de putten L22 en L46 gevonden.

Hoewel het grondwater in het algemeen weinig of geen nitraat bevat, vallen enkele putten op door relatief hoge concentraties aan dit bestanddeel. Het betreft de putten L9, L10, L18, L24 en L38 met gehalten aan nitraat van 3,5 tot 73 mg/l. De hoogste concentratie van 73 mg/l is in L24 bij Doorn gevonden, waar zowel het water op een diepte van 15 m als dat op 34 m rijk aan dit bestanddeel is. In het algemeen hebben dergelijke relatief hoge concentraties geen natuurlijke oorzaak, maar zijn toe te schrijven aan verontreinigingen (o.a. door meststoffen) vanaf de oppervlakte.

De pH van het grondwater varieert van 7,2 tot 7,9.

De totale hardheid schommelt tussen 2,5 en 30 °D. Van de 59 beschikbare analyses hebben er slechts 9 een hardheid minder dan 8 °D.

Een klassificatie van het grondwater volgens het zogenaamde Piper diagram, waarbij de chemische samenstelling van het water door één enkel punt wordt weergegeven, is te zien in bijlage 9. In dit diagram zijn langs de vier assen de percentages m val $\text{SO}_4^{--} + \text{Cl}^-$, $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$, $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ en $\text{CO}_3' + \text{HCO}_3'$ uitgezet. Op de reeds genoemde uitzonderingen na, blijken de meeste monsters kenmerken van secundaire alkaliniteit ('carbonaat hardheid') te bezitten, dat wil zeggen de chemische eigenschappen van het water worden beheerst door de aardalkaliën en zwakke zuren, die ieder met meer dan 50% aanwezig zijn.

Wat het Fe-gehalte van het grondwater betreft kan worden opgemerkt, dat dit van plaats tot plaats sterk kan variëren, maar dat over het geheel beschouwd hoge tot zeer hoge gehalten overheersen (bijlage 10). Als hoogste gehalte is 37,2 mg/l gevonden, namelijk in put L50 op een diepte van ca. 10 m beneden maaiveld, als laagste gehalte 0,3 mg/l in de putten L10 en L31 op diepten van respectievelijk ca. 15 en 13 m beneden maaiveld.

De meningen over de maximaal toelaatbare Fe-concentraties in beregeningswater voor tuinbouwgewassen lopen nogal uiteen. Sommigen leggen de grens bij 0,5 mg/l, anderen bij 2 of 4 mg/l. In het eerste geval blijken slechts vijf monsters een Fe-gehalte minder dan 0,5 mg/l te hebben (L10, L17, L18, L24 ondiep filter en L31). Deze putten liggen aan de voet van de Utrechtse heuvelrug.

Wanneer men de grens van 2 mg Fe per liter accepteert, blijken 12 monsters beneden deze grens te liggen (L9, L10, L17, L18, L19, L24, L26, L30, L31, L38, L41). Deze putten liggen, op een enkele uitzondering na, eveneens

langs de voet van de heuvelrug.

Legt men de grens bij 4 mg Fe per liter dan blijken 18 van de in totaal 65 geanalyseerde monsters een lagere concentratie te bezitten. Behalve de monsters uit laatstgenoemde putten betreft dit voorts nog de putten L34, L35, L39 en L52, waarvan alleen L39 langs de voet van de heuvelrug ligt.

Uit het voorgaande zou men kunnen concluderen dat vooral in het gebied tussen de heuvelrug en de Langbroeker wetering het grondwater zich in het algemeen door relatief lage gehalten aan ijzer kenmerkt. Ten zuidwesten van dit gebied nemen de Fe-gehalten toe tot ca. 20 mg/l in de putten L29, L43 en L44 met ruim 37 mg/l als hoogste gehalte in put L50.

Er blijkt geen verband te bestaan tussen het Fe-gehalte en de diepte van de laag, waaraan het monster werd onttrokken. Van de 22 putten waarin dubbele peilfilters werden geplaatst, zijn er 11 waarvan het water uit de ondiepe lagen ijzerrijker is dan uit de diepe lagen. In de overige 11 putten bleek het Fe-gehalte van het ondiepe grondwater lager te zijn dan van het diepe.

Als algemene conclusie kan worden gesteld dat voor beregening van tuinbouwgewassen binnen een diepte van 40 m voldoende grondwater aanwezig is. Door de lage concentraties aan chloride en sulfaat worden geen beperkingen aan het gebruik van dit grondwater voor beregeningsdoeleinden gesteld. De hoge concentraties aan ijzer die echter op vele plaatsen zijn vastgesteld, zullen, zonder voorbehandeling van het water, schade aan gewassen kunnen veroorzaken onder andere bruinkleuring van bladeren, verruwingen en zwarte verkleuring op vruchten.

Wageningen, december 1965

- Bijlage 1 Overzichtskaart aangevende de ligging van de boringen, de geologische profielen en de tektonische storingen
- Bijlagen 2-7 Samenstelling van de zware mineraleninhoud in de boringen L10, L24, L35, L14, L21 en L43
- Bijlage 8 kD-waardenkaart
- Bijlage 9 Classificatie van het grondwater volgens het Piper-diagram
- Bijlage 10 IJzer-gehalten van het grondwater
- Geologische profielen A - A' tot en met H - H'
- Korrelgrootte grafieken van enige boringen