

# DE INGENIEUR

## B. BOUW- EN WATERBOUWKUNDE 8.

### Hydrologisch onderzoek in Nederland <sup>1)</sup>

551.49(492)

#### I. Grondwaterproblemen en grondwateronderzoek in Nederland

door prof. W. F. J. M. KRUL,

Voorzitter van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O.

**Summary:** *Groundwater problems and groundwater investigations in the Netherlands.*

A survey is given of hydro-geological investigations, carried out in the Netherlands during the last decades on behalf of groundwater supplies and public works, and in connection with agricultural problems.

*„Tales sunt aquae quales terrae per quas fluunt“.*

*Vitruvius.*

#### Inleiding

Nu reeds verscheidene jaren samenwerking gegroeid is op het gebied van het hydrologisch onderzoek in Nederland, onder de schutse van T.N.O., leek het wenselijk, voor dit onderwerp eens de bijzondere aandacht te vragen van de civielingenieurs. Onder hen toch zijn er weinigen, die niet met grondwaterproblemen in aanraking komen, en velen, die de ontwikkeling van het onderzoek op dit gebied niet voortdurend hebben gevolgd.

Eerst is het nodig, enkele begrippen nauwkeurig te omschrijven.

Vroeger verstond men, althans in Nederland, onder hydrologie de kennis van het grondwater. Dit is echter niet meer in overeenstemming met de algemeen, ook internationaal, aanvaarde terminologie.

Onder hydrologie moet worden verstaan de kennis van het water in de verschillende kringlopen die het in de natuur beschrijft en in de verschillende toestanden, waarin het in de natuur voorkomt.

Aldus vormt de hydrologie een onderdeel van de kennis der aarde. Internationaal komt dit tot uiting doordat de Internationale Unie voor Geodesie en Geophysica o.m. een Internationale Associatie voor Wetenschappelijke Hydrologie omvat. Van de Unie was destijds onze landgenoot Prof. Dr. Ir. F. A. Vening Meinesz voorzitter, van de Associatie tot voor kort Prof. ir. J. Th. Thijsse.

Onder de algemene wetenschap hydrologie vallen de *glaciologie* (sneeuw en ijs), de *potamologie* (rivieren), *limnologie* (meren), de *oceanologie* (zeeën) en tenslotte de *geo-hydrologie* of *grondwaterkunde*. Belangrijke hulpwetenschappen voor de geo-hydrologie zijn de geologie, de meteorologie, de hydraulica en de chemie.

Deze voordracht zal zich nu in het bijzonder met de geo-hydrologie in Nederland bezighouden, met de betekenis van het grondwater voor tal van belangen en met de wijze, waarop de grondwaterkunde beoefend wordt.

Aangezien het water onder de aardoppervlakte deel uitmaakt van de kringlopen die het onder invloed van de zonne-energie beschrijft, staat het grondwater onder voortdurende invloed van wat er op andere punten van die kringlopen geschiedt: het kan worden gevoed uit de atmosfeer door neerslag en condensatie, door smelten van sneeuw en ijs en door toevloeiing van oppervlaktewater, alsmede door opstijging van gecondenseerde waterdamp uit grote diepte (juveniel grondwater), het kan verdampen, rechtstreeks aan de aardoppervlakte of middellijk door de planten, het kan uitvloeien naar het oppervlaktewater, rechtstreeks of middellijk door natuurlijke bronnen of menselijk ingrijpen, het kan stromen onder invloed van verschillen in potentiaal.

Daarnaast wisselt het grondwater van samenstelling onder invloed van zijn contacten met de atmosfeer (opneming van gassen, b.v. O<sub>2</sub> en CO<sub>2</sub>), met de gesteenten (opneming in het bijzonder van Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Cl, F, I, HCO<sub>3</sub><sup>'</sup>, SO<sub>4</sub><sup>'</sup>) en met het oppervlaktewater. Al deze verschijnselen worden kwantitatief beheerst door van plaats tot plaats verschillende omstandigheden.

Men kan dan ook de algemene, principiële geo-hydrologie onderscheiden van de regionale, beschrijvende.

De eerste omvat de wetten die aan de voeding, de beweging en de samenstelling van het grondwater ten grondslag liggen, de laatste de studie van de natuurlijke geo-hydrologische gesteldheid op basis van waarnemingen en metingen.

Op vele plaatsen op aarde bestaat de bodem tot grote diepte uit magmatische gesteenten (graniet, dioriet, gneis), die zulke fijne poriën hebben, dat daarin water vrijwel uitsluitend moleculair en capillair gebonden voorkomt en niet aan beweging onderhevig is.

Gemetamorfoseerde oudere sediment-gesteenten, zoals leien, schalies, kunnen een belangrijke doorlatendheid bezitten door de aanwezigheid van meer of minder grove poriën en spleten, meestal in de richting der gelaagdheid. Doordat hierbij van isotropie en homogeniteit met betrekking tot de doorlatendheid geen sprake is, onttrekt zich de grondwaterbeweging in dergelijke formaties in het algemeen aan berekeningen.

<sup>1)</sup> Voordrachten gehouden voor de Afdeling voor Bouw- en Waterbouwkunde van het K.I.v.I. op 24 oktober 1957 te Utrecht. Zie *De Ingenieur* No. 40 van 1957.



Fig. 1. Uitgespoelde gang in het krijt van de St. Pietersberg. [1] blz. 78.

In nog sterkere mate is dat meestal het geval met het grondwater in vaste gemakkelijk oplosbare (sediment)gesteenten, met name de kalksteenformaties. Het koolzuurhoudende neerslagwater lost gemakkelijk calcium- en magnesiumcarbonaat uit dergelijk gesteente op, zodat spleten, gangen en holen ontstaan, waarin het water onder vrije spiegel ondergronds zijn weg vindt (karstvorming).

Onder dergelijke omstandigheden is het ondergrondse water vaak een grillige factor bij het uitvoeren van werken (tunnelbouw, aanleg van dammen) en het ontwerpen van waterwinningen.

Slechts wanneer het kalkgesteente een beschuifstructuur vertoont, zoals het krijt in Zuid-Limburg, kan van een min of meer homogeen isotroop milieu worden gesproken, waarin het grondwater zich volgens de wet van Darcy beweegt. Uiteraard moet ook in dit geval met de plaatselijke verschillen in doorlatendheid rekening worden gehouden.

Dat overigens ook in het Zuid-Limburgse senone krijt onregelmatigheden ten gevolge van karstverschijnselen optreden, tonen de figuren 1 en 2 [1].

In de jongere (tertiaire en kwartaire) korrelige sedimentgesteenten (zand en grind) is in het algemeen van een wetmatige grondwaterbeweging in homogeen milieu sprake en in het bijzonder onder dergelijke omstandigheden heeft zich de geo-hydrologie ontwikkeld op mathematische grondslag. Het behoeft dan ook geen verwondering te wekken dat deze betrekkelijk jonge wetenschap vooral in Duitsland, de Verenigde Staten en Nederland werd beoefend en evenmin dat de grondlegger natuurlijk een Fransman was, Darcy, in 1856.

Hij leidde uit zorgvuldige waarneming van stroming van water door zand de betrekking tussen snelheid en verhang bij laminaire stroming af,  $v = -Kdh/ds$ , die in wezen dezelfde is als voor stroming van warmte en elektriciteit door een geleidend medium. Op deze wet zijn alle latere berekeningen gebaseerd inzake het waterleverend vermogen van horizontale en verticale drainagemiddelen, met name resp. van open kanalen en gesloten drainageleidingen en van putten (deze laatste worden bij bemaling van funderingsputten „bronnen” genoemd).

#### Winning van grondwater ten behoeve van de watervoorziening

Van de oudste tijden stamt de grondwaterwinning uit poreuze gesteenten door middel van gegraven putten, waarin met een schepwerktuig, later met pompen, een depressie wordt opgewekt, waardoor het omgevende grondwater toestroomt.

Een belangrijke vooruitgang was het maken van diepere putten door toepassing van speciale graafwerktuigen en bekleding van het gat met (houten) boor- of pompbuizen. De oudst bekende uitvoering van deze werkwijze in ons land is gepatenteerd in 1602 ten name van Pieter Pietersz. Enten van Houterinck (zie de mededeling met afbeelding van G. Doorman in *De Ingenieur*, 1955 No. 18, A. 219). De grond werd daarbij door een aan een stok verbonden zak met snijrand verwijderd. Later kwam de pulsmethode hiervoor in de plaats.

De toepassing van stalen buizen leidde tot de uitvinding van de ingehaide „artesische” putbuis, voorzien van een geperforeerd stalen puntstuk, en tot de toepassing van pulsboringen, die een bevredigende nauwkeurigheid in het opbrengen van grondmonsters mogelijk maakten. Eerst in de laatste decennia werd het mogelijk, in boorbuizen ongeroerde grondmonsters te steken, die een ideale nauwkeurigheid van beoordeling waarborgen.

Dergelijke geboorde putten werden aanvankelijk uitsluitend voor individuele watervoorzieningen, voornamelijk voor brouwerijen, en voor openbare pompen toegepast. In enkele gevallen werd de uitgekomen grond onderzocht en beschreven, zodat deze boringen een bescheiden bijdrage voor de kennis van de ondergrond hebben geleverd.

Van groot belang voor de latere ontwikkeling van de geo-hydrologie was het inzicht van W. Badon Ghijben, weergegeven in het Tijdschrift van het Kon. Inst. van Ingenieurs van 1889, naar aanleiding van een voorgenomen putboring nabij Amsterdam [2]. Hij gaf n.l. voor het eerst een verklaring van het voorkomen van zoet water in de ondergrond, „drijvende” op het zwaardere zoute



Fig. 2. Instorting in het krijt bij Berghem [1] blz. 82.

water. De theorie van het „drijvende duinwatereland” werd later wereldkundig door een voordracht van Herzberg voor de „Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern” in 1901.

Van een systematische ontwikkeling der geo-hydrologie was in ons land pas sprake lang nadat de eerste waterleidingen met gebruik van grondwater waren aangelegd (Amsterdam 1853, Den Haag 1874, Nijmegen 1878). Het water werd aanvankelijk in hoofdzaak door middel van horizontale drainage (open kanalen en ingegraven draineerleidingen) aan geringe diepte onttrokken.

Nadat de Amsterdamse Duinwatermaatschappij door de hoofdstad in 1899 was overgenomen, zette de directeur Ir. J. M. K. Pennink zich aan een geologische en hydrologische verkenning van het duingebied onder Vogelenzang, ten einde meer zekerheid omtrent de watervoorzieningscapaciteit te verkrijgen. Dat werd een klassiek onderzoek! Door middel van een groot aantal boringen in verschillende raaien, sommige tot meer dan 100 m diepte, de meting van grondwaterstanden op vele plaatsen en diepten en het chemisch onderzoek van een groot aantal monsters grondwater was het Pennink mogelijk, een samenvattend beeld van de duinhydrologie in de winplaats van Amsterdam te geven [3].

Daarnaast bestudeerde hij aan zandmodellen de stromingsverschijnselen in de omgeving van kanalen en putten en de invloed van een depressie in het zoete water op de ligging van de zoutgrens. Kennisneming van dit modelonderzoek van 50 jaar geleden is een verkwikking voor de hedendaagse experimentator [4]. Pennink onderzocht de invloed van een depressie op de potentialen van het grondwater in een homogene zandmassa, tekende aldus isohypsen en stroombanen en bewees — tegen de mening van velen — dat de toestroming naar de kanalen niet alleen van terzijde maar ook van onderen plaats vond.

Aansluitend en voortbouwend op het werk van Pennink en zijn medewerker Ir. G. J. Hoogesteger werden onder leiding van de in 1910 ingestelde Staatscommissie voor Drinkwatervoorziening en het op haar advies in 1913 opgerichte Rijksbureau (later Rijksinstituut) voor Drinkwatervoorziening (R.v.D.) systematische uitvoerige onderzoeken in een groot aantal duingebieden, van Texel tot Walcheren, verricht in de jaren 1912—1917. Omtrent de voornaamste daarvan berichtte de eerste Directeur van het R.v.D., J. van Oldenborgh, in een Instituutsvergadering in 1916 [5].

Voor het eerst werd door deze studies het dynamische evenwicht van het grondwater in de duinen wiskundig vastgelegd als een beweging ten gevolge van potentiaalverschillen, dit in tegenstelling met het door Badon Ghijben en Herzberg beschouwde geval van het statisch evenwicht in een duineiland, in feite met uitsluiting van de neerslag.

Het zoetwaterlichaam is slechts bestaanbaar bij de gratie van aanvulling door de neerslag ter compensatie van het verlies door ondergrondse afstroming naar zee of de polders; vandaar het dynamische evenwicht. De afmetingen en vorm van het zoetwaterlichaam in de toestand van dynamisch evenwicht worden bepaald door de grootte van de voeding, de breedte van het duingebied, de doorlatendheid van de ondergrond en het eventueel verschil tussen de zeestand en het peil der achter de duinen gelegen polders. Bij een stationair grensvlak is de druk van het zoete water aan de ene zijde van dit vlak gelijk aan de druk van het zoute aan de andere zijde. Hier herneemt het beginsel van Badon Ghijben zijn rechten.

Op dit natuurlijke stromingsbeeld kunnen de poten-

tiaalverschillen ten gevolge van de waterwinning worden gesuperponeerd.

Strikt genomen is superpositie in dit geval niet toelaatbaar, aangezien door optrekken van het grensvlak tussen zoet en zout het stromingsbeeld verandert. Daar het optrekken zeer langzaam gaat, kan echter superpositie wel worden gebruikt voor benaderende berekeningen van de grondwaterstroming over tijdvakken van betrekkelijk korte duur.

De grote betekenis van het werk van Pennink en Van Oldenborgh blijkt wel uit het feit, dat aan beiden de Conrad-premie van het Kon. Inst. van Ingenieurs werd toegekend.

Bij het opmaken van plannen voor streekwaterleidingen zag het jonge R.v.D. zich voor de moeilijkheid geplaatst, dat slechts zeer weinig geologische en hydrologische gegevens betreffende de Nederlandse bodem voorhanden waren. Eerst in 1918 werd in ons land een Rijks Geologische Dienst opgericht!

Dit leidde tot de opbouw van een geo-hydrologisch archief, waaromtrent Ir. J. H. Beltman vandaag nadere mededelingen zal doen.

De gegevens van dit archief en de resultaten van vele plaatselijke onderzoeken, in de geest van het hierboven vermelde duinonderzoek, maakten het in de loop der dertiger jaren mogelijk, een samenvattend beeld in grote trekken van de geo-hydrologische gesteldheid van ons land te ontwerpen [6].

Dit beeld kwam hierop neer, dat er geen sprake is van „machtige artesische stromen”, die van oost naar west uit hoog gelegen gebieden in Duitsland naar de Noordzee bewegen, doch dat een aantal vrijwel onafhankelijke geo-hydrologische eenheden moeten worden onderscheiden, elk met een eigen infiltratiegebied.

Voorbeelden: verschillende duingebieden, door rivierarmen of doorgravingen van elkaar gescheiden, de Utrechts-Gooise heuvelrug, de Veluwe, de heuvelruggen in Overijssel en Drenthe, verschillende massieven in het Limburgse Krijtland, de hoge gronden van Noord-Brabant, enz.

Het behoeft geen betoog, dat deze feiten van grote betekenis zijn. Zij speelden b.v. een rol bij de beoordeling van de capaciteit der duinwaterwinning: bij een onteigeningsprocedure werd de artesische watertoevoer uit Duitsland in het geding gebracht om de overbodigheid van uitbreiding van het duinwaterwingebied te bewijzen. Zij vormden ook de grondslag voor een globale schatting van de in de toekomst winbare hoeveelheden grondwater in het in 1940 verschenen Rapport der Commissie Drinkwatervoorziening Westen des Lands. Dit rapport kwam tot de conclusie, dat de voor het jaar 2000 geschatte waterbehoefte slechts voor 30 % uit grondwater zal kunnen worden gedekt en dat 70 % aan het oppervlaktewater zal moeten worden ontleend, terwijl in 1940 de verhouding juist omgekeerd was.

Het huidige belang der grondwaterwinning voor de openbare drinkwatervoorziening blijkt uit figuur 3.

De veelvuldige metingen van de stijghoogte van het grondwater leerden, dat de geologische gesteldheid in zoverre van betekenis voor de grondwaterbeweging is, dat de potentialen sterke invloed ondervinden van verschillen in doorlatendheid. De helling der geologische lagen echter is — in tegenstelling met wat vaak door geologen gedacht wordt — meestal niet primair van betekenis voor de stromingsrichting van het grondwater.

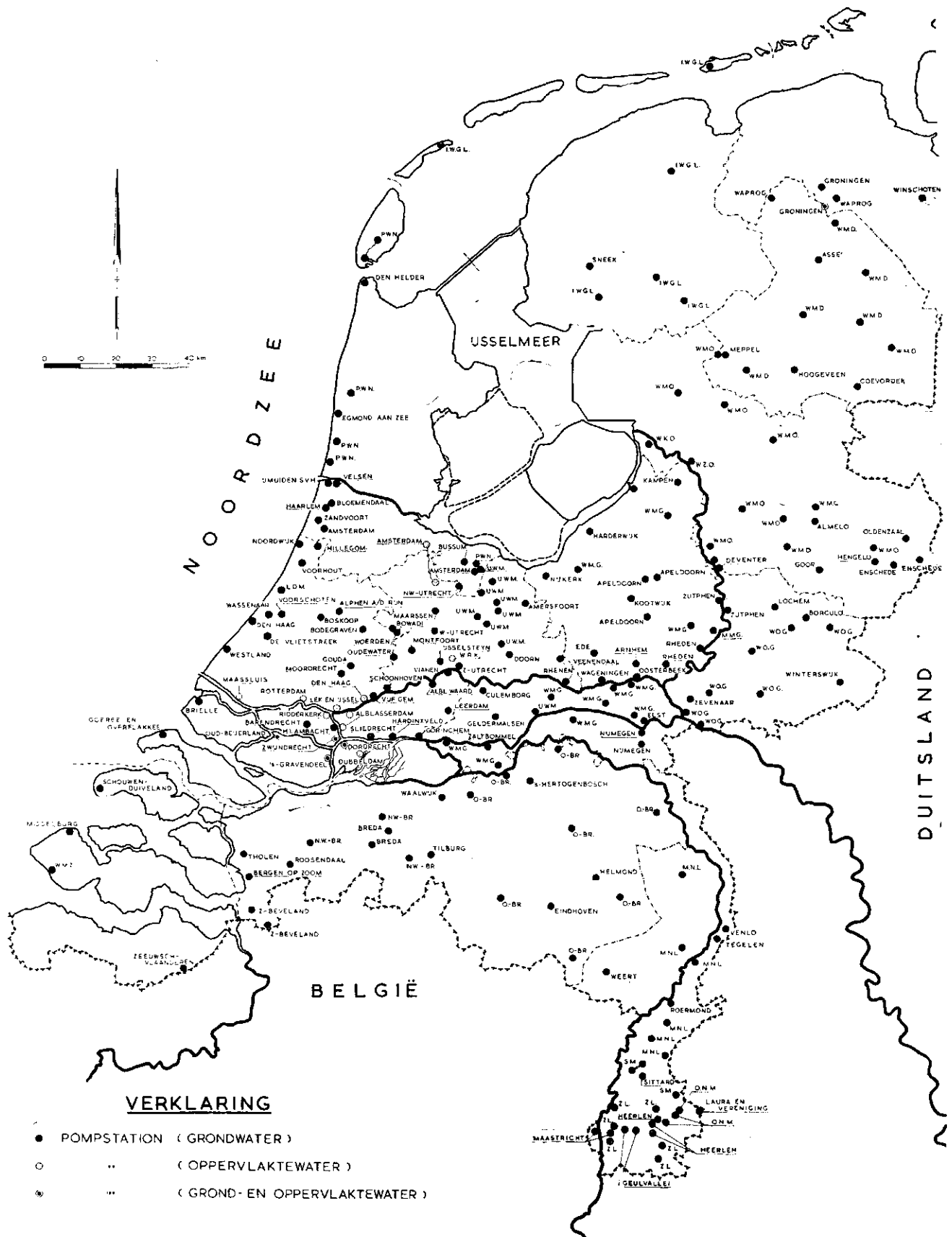


Fig. 3. Waterwinplaatsen t.b.v. de drinkwatervoorziening.

Dit geldt ook — zij het in mindere mate — voor de terrein hoogte. Een algemeen verbreide mening is, dat het phreatisch grondwatervlak globaal en met verzwakte amplitude de hoogteligging van het maaiveld volgt. Dit is alleen in zéér globale zin het geval: zeer vaak is plaatselijk

de stroomrichting van het grondwater tegengesteld aan de terreinhelling en ook vaak aan de helling der geologische formaties.

Een aardig voorbeeld leverde een systematisch onderzoek van de geo-hydrologische gesteldheid van het Gooi

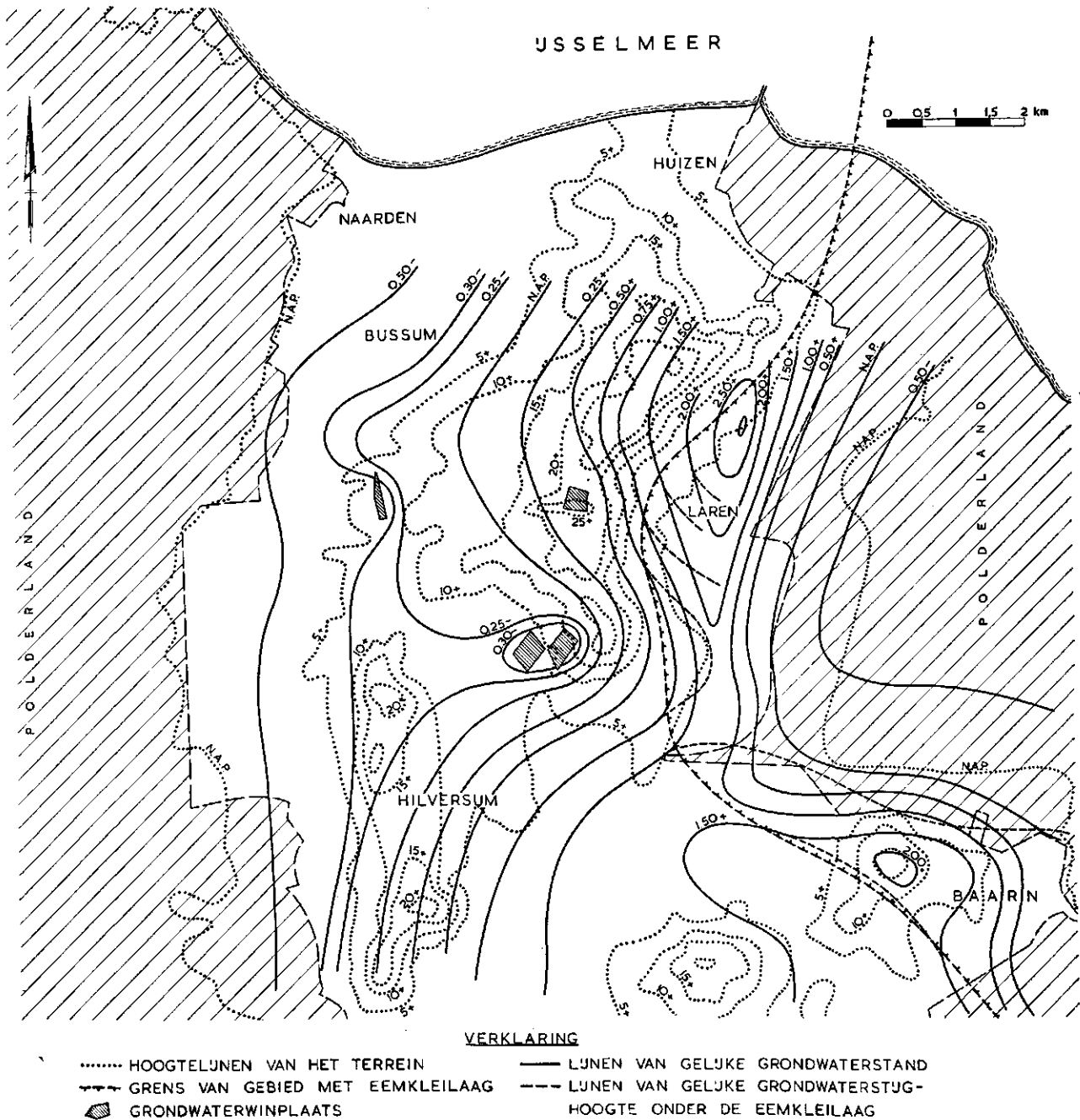


Fig. 4. Ondergrondse waterscheiding in het Gooi.

(fig. 4). De ondergrondse waterscheiding blijkt daar in het geheel niet met de hoogteligging van het terrein overeen te komen: zij ligt niet centraal over het Gooi, maar ver oostelijk van de hoogste terreinpunten, aan de rand van de polders. De oorzaak van deze excentriciteit is de aanwezigheid van de z.g. Eemkleeilaag onder de oostelijke rand van het Gooi en hare afwezigheid meer westelijk. Daardoor heeft het phreatisch grondwater in het oosten slechts een dun watervoerend pakket voor afvloeiing ter beschikking.

Naast de opbouw van een regionale geo-hydrologie werden de mathematische grondslagen van de grondwaterbeweging nader uitgewerkt.

J. Versluys, m.i., promoveerde in 1916 te Delft op een baanbrekend proefschrift „De capillaire werkingen in den bodem”, trad als hydroloog in dienst bij het R.v.D., doceerde aan de Technische Hogeschool als privaat-docent

de hydrologie en later als hoogleraar aan de Gemeentelijke Universiteit te Amsterdam de toegepaste geologie.

Verschillende artikelen in *De Ingenieur* en geo-hydrologische dissertaties getuigen van de belangstelling der civiel-ingenieurs: Dr. Ir. G. J. de Glee, 1930 (Over grondwaterstromingen bij wateronttrekking door middel van putten), Dr. Ir. J. H. Steggewentz, 1933 (De invloed van de getijbeweging van zeeën en getijrivieren op de stijghoogte van grondwater), Dr. Ir. P. C. Lindenbergh, 1941 (Bijdrage tot oordeelkundig beheer van het duinwaterkapitaal), Dr. Ir. J. H. Edelman, 1947 (Over de berekening van grondwaterstromingen).

In deze reeks moet ook het Groningse proefschrift van de landbouwkundige Dr. Ir. J. H. Engelhardt, 1928 (Bijdrage tot de kennis van de capillaire verschijnselen in verband met de heterogeniteit van den grond) worden genoemd.

Op deze theoretische beschouwingen werd na de laatste wereldoorlog een modern model-onderzoek opgebouwd, waarop ik in het volgende iets nader zal ingaan.

### **Toepassing van de geo-hydrologie bij uitvoering van waterbouwkundige werken**

Tal van waterbouwkundige werken, in het bijzonder in een deltagebied als Nederland, oefenen invloed uit op de natuurlijke geo-hydrologische gesteldheid, hetzij blijvend door bemaling van polders en droogmakerijen, waterverlies van kanalen in ophoging, kwel bij kanalen in ingraving, of tijdelijk door uitvoering van kunstwerken „in den droge” met verlaging van de grondwaterstand. Die invloed kan zich doen gelden door schade aan terreinen in de omgeving (verdroging, inklinking, wateroverlast), maar ook door schade aan de waterstaatswerken zelve: overmatige waterlast bij sterk kwellende polders (Naardermeer), onderloopsheid, stabiliteitsvermindering van aarden dammen, wellen bij ontgravingen met grondwaterstandsverlaging.

Eerst in de laatste decennia heeft het geo-hydrologisch onderzoek bij ontwerp en uitvoering van deze werken zijn intrede gedaan, vooral onder invloed van de onderzoekingen ten behoeve van de waterwinning, in de vorige paragraaf behandeld.

Zo leidde de kennis van de grondwaterbeweging ten gevolge van potentiaalverschillen tot het inzicht dat het kwelwater in polders en droogmakerijen niet op de eerste plaats van dijkskwel afkomstig was, maar voornamelijk door spanningsverschil tussen het „bovengrondwater” en het „diepe grondwater”, waarbij een opwaartse stroming door de scheidende lagen optreedt. Belangrijke beschouwingen aan deze kwel werden door Ir. V. J. P. de Blocq van Kuffeler in zijn „Wieringermeerrapport” (1914) gewijd en in het Verslag der „Staatscommissie tot het instellen van een onderzoek omtrent het vraagstuk der droogmaking van de plassen beoosten de Vecht” (1920).

Belangrijk voor het ontwerpen van waterbouwkundige werken was ook het hydrologisch inzicht, verkregen na het beruchte spoorwegongeluk bij Weesp (1918), toen de spoordijk bij het Merwedekanaal bezweek ten gevolge van inzijging van regenwater in het dijkslichaam. Dit gaf in feite de stoot tot de ontwikkeling van de grondmechanica hier te lande, waarbij de spanning van het water in de grondporeën als een belangrijke factor voor het draagvermogen werd onderkend.

De eerste aanleiding tot contact tussen de waterstaatsdeskundigen en de grondwaterhydrologen was het project voor de Noordersluis te IJmuiden, die geheel in den droge met grondwaterstandsverlaging door bronbemaling zou worden uitgevoerd.

Bronbemaling was hier te lande voor het eerst toegepast in 1898 bij de uitvoering van een riolering te 's-Gravenhage, doch deze methode was nimmer voor een kunstwerk van zulk een omvang als de Noordersluis toegepast. Voor dergelijke werken, die overigens nooit tevoren zulk een diepte hadden bereikt, werd hier te lande steeds een open bemaling gekozen.

In Keilhack's „Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde” (1912) vindt men vermeld, dat ten behoeve van bruinkoolontginning bij Senftenberg in Saksen de grondwaterstand 30 m werd verlaagd, waarbij  $1\frac{1}{4}$  m<sup>3</sup> per sec. werd weggemalen; de grondwaterstandsverlaging bedreeg op 1 km afstand nog enkele meters en was op 6—10 km nog waarneembaar.

Een dergelijke invloed moest ook te IJmuiden niet

denkbeeldig worden geacht, hetgeen voor de omgeving met zijn vele bestaande waterwinningen en fraaie begroeiing tot ontoelaatbare consequenties zou leiden. Bovendien was bij de open bemaling van de fundeerput der grote sluis te IJmuiden in 1890—1893 zeer veel last van wellen ondervonden (uitzakken van taluds, enz.).

Dit bracht de ontwerpende ingenieur, Dr. Ir. J. A. Ringers ertoe, in 1922 het advies van de geo-hydrologische afdeling van het R.v.D. in te roepen, hetgeen tot een vruchtbare samenwerking bij de voorbereiding en tijdens de bouw heeft geleid.

Een uitvoerig geo-hydrologisch voor-onderzoek maakte een prognose voor de meest gewenste uitvoeringswijze met het oog op beperking van waterbezwaar in de put en beperking van schade aan de omgeving mogelijk, zodat in het bestek het risico van de aannemer (en dus ook van de directie!) tot een minimum kon worden teruggebracht.

Omtrent dit werk en de beginselen van geo-hydrologisch onderzoek bij waterbouwkundige werken in het algemeen mocht ik uitvoerig berichten in een vergadering van het Kon. Inst. van Ingenieurs op 10 november 1930 [7].

Ik kan heden volstaan met voor bijzonderheden naar die voordracht te verwijzen.

Met grote voldoening kan ik daarbij thans vermelden, dat inmiddels verschillende van toen geuite desiderata zijn verwezenlijkt en dat met name de geo-hydrologische afdeling van het R.v.D. sedert aan voorbereiding en uitvoering van een lange reeks van waterstaatswerken en andere waterbouwkundige werken van waterschappen, gemeenten, de Nederlandse Spoorwegen e.d. heeft mogen medewerken. Figuur 5 geeft een overzicht van die werken tot heden, onderscheiden in sluizen, stuwen, tunnels, weg- of spoorwegonderdoorgangen, zandwinningen in diepe putten, bruggen, gemalen, dokken, dijken, duikers, kanalen, enz.

Een van de vruchten van de samenwerking Rijkswaterstaat-R.v.D. is geweest een onderzoek naar de hydrologische gevolgen van de inpolderingen in het IJsselmeer. Het behoeft geen betoog, dat de permanente bemaling van deze uitgestrekte polders een belangrijke inbreuk betekent op de natuurlijke geo-hydrologische gesteldheid, die zich zal uiten zowel in grondwaterstandsveranderingen in het aangrenzende oude land als in de verandering van de verdeling tussen zoet en zout water in de ondergrond, derhalve ook in het zoutgehalte van het uitgeslagen water. Dit laatste is weer van belang voor de zoutbalans van het IJsselmeer.

Helaas rijpten deze inzichten eerst tijdens de drooglegging van de Wieringermeer, zodat pas met het verrichten van grondboringen kon worden begonnen nadat de polder was drooggevalen (1930). Toen werd een net van waarnemingsboringen gemaakt in een assenstelsel, waarvan de oorsprong op de terp in de Wieringermeer lag en waarvan de armen zich uitstrekten tot ver in het oude land (fig. 6).

De diepste boring reikte tot 117,38 m —NAP, de ondiepste tot 10,25 m —NAP; in de verschillende grondwateretages, door weinig permeabele lagen gescheiden, werden peilfilters geplaatst, die nog steeds periodiek worden gepeild en waaruit monsters water geregeld worden onderzocht.

Een en ander werd uitvoerig in een gezamenlijk bericht van de Zuiderzeewerken en het R.v.D. beschreven [8].

Bij de voorbereiding van de Noordoostpolder werd reeds vroegtijdig een waarnemingsnet over het oude land gespreid, dat reeds terstond boringen op Urk en Schokland bevatte en na de drooglegging met boringen in de

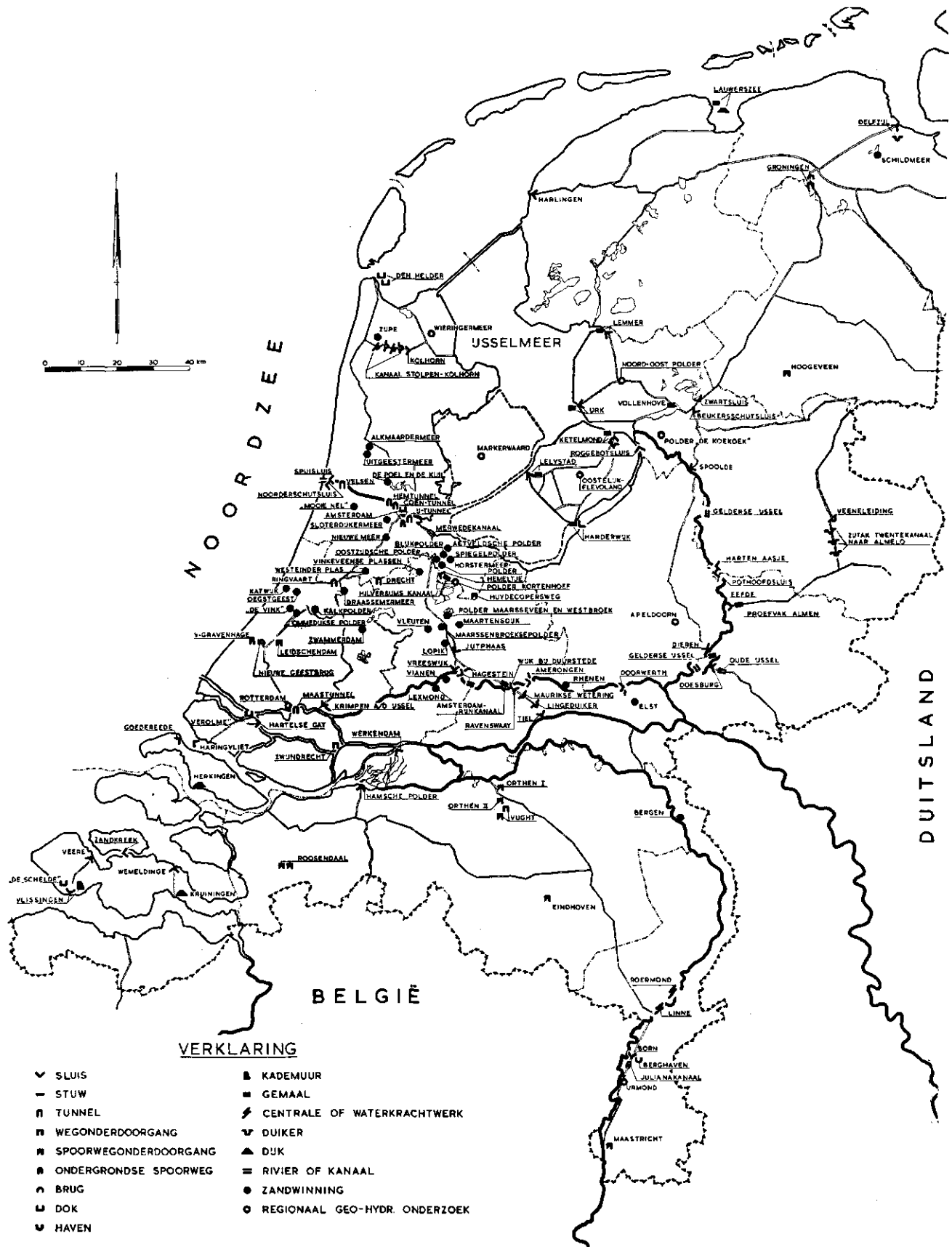


Fig. 5. Geo-hydrologische onderzoeken ten behoeve van waterbouwkundige werken.

polder werd uitgebreid. Aldus konden de hydrologische gevolgen van de drooglegging op de voet worden gevolgd. Het was daardoor ook mogelijk, de invloed op de grondwaterstanden in de aangrenzende veengebieden van Over-

ijssel en de daardoor veroorzaakte belangrijke inklinking van het veen vast te stellen.

Aldus waren ervaring en inzicht gerijpt voor een gedegen geo-hydrologische voorbereiding van de droogleg-



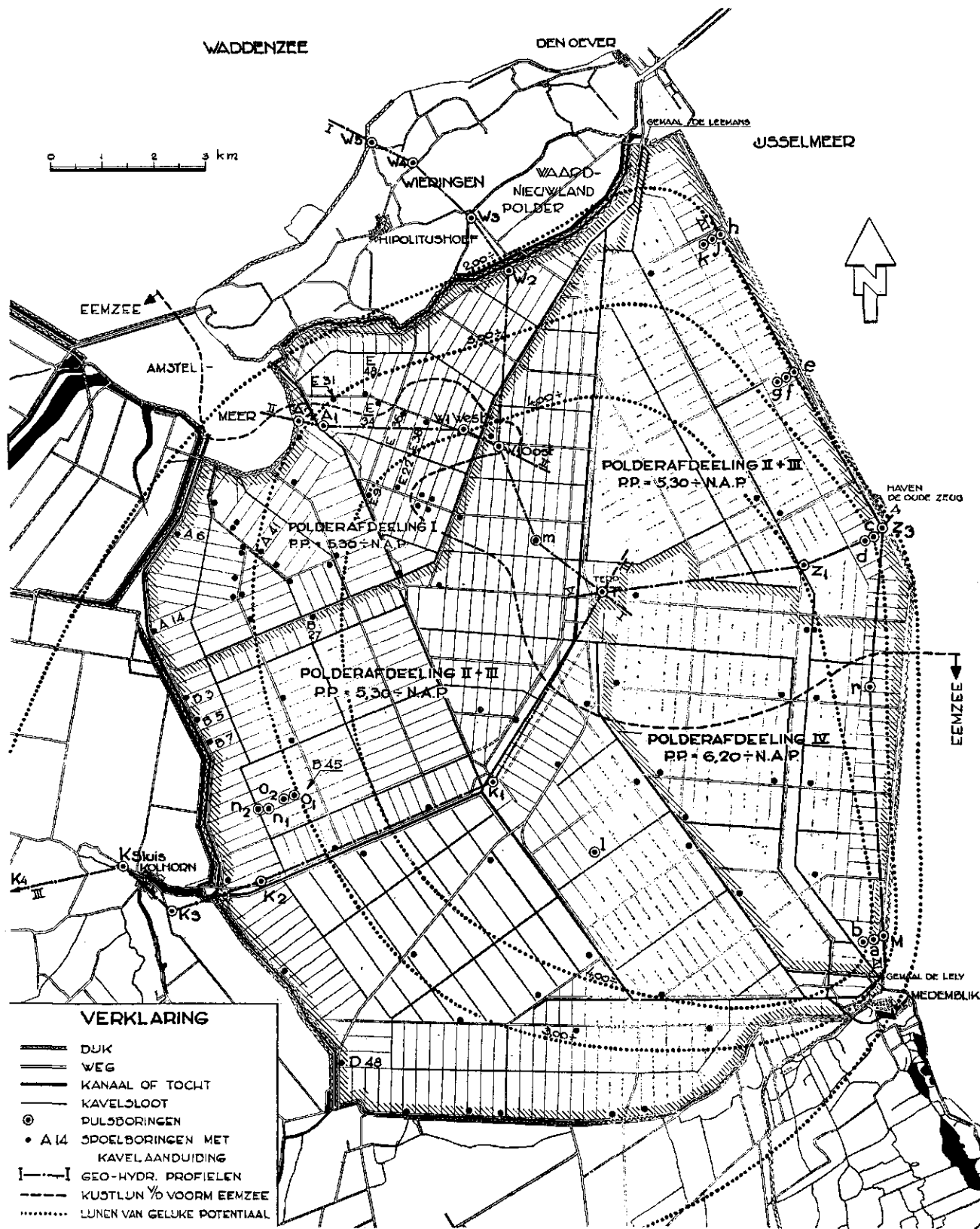


Fig. 6. Systeem van verkeningsboringen voor het geo-hydrologisch onderzoek van de Wieringermeer.

ging van Oostelijk Flevoland. Hier zou een depressie worden opgewekt aan de rand van een hoog infiltratiegebied, de Veluwe, met een lage zoom langs het IJsselmeer, vruchtbaar ten gevolge van het afvloeiende Veluwewater. De depressie zou verlaging van de grondwaterstanden onder de Veluwe, verdroging van het oeverland kunnen veroorzaken.

Hier was nauwkeurige berekening noodzakelijk, waartoe in het IJsselmeer en op de Veluwe een groot aantal boringen werd verricht in samenwerking tussen de inmiddels door de Zuiderzeewerken ingestelde eigen geo-hydrologische afdeling en het R.v.D. Ook werd daarbij van een inmiddels bij het R.v.D. ontwikkeld model-onderzoek gebruik gemaakt.



Hierboven sprak ik reeds van het model-onderzoek van Pennink. Later werd ook in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft hydrologisch model-onderzoek aan een uitgestrekt zandpakket verricht. Ir. D. N. Dietz, destijds ingenieur bij de geo-hydrologische afdeling van het R.v.D. (1941), bracht het verticale platenmodel tot ontwikkeling volgens een beginsel, dat reeds in 1897 door Hele-Shaw was aangegeven. Hierbij stroomt een viskeuze vloeistof (b.v. paraffine) in een nauwe spleet tussen twee evenwijdige doorzichtige platen en volgt daarbij de stromingswet van Poiseuille voor laminaire stromingen, die in wezen met de grondwaterwet van Darcy overeenkomt.

Met een dergelijk model, een verticale doorsnede over de Veluwe en het IJsselmeer voorstellend, kon — gebruik makend van de door boringen verkregen bodemconstanten — de invloed van de seizoenvariëaties in de regenval op de afvoer van grondwater uit de Veluwe worden nagegaan, zulks met het oog op de waterbalans van het ontworpen randmeer tussen de Veluwe en de toekomstige polder.

Soortgelijk onderzoek wordt thans overwogen ten einde de invloed van de drooglegging van de Markerwaard na te gaan op de grondwaterstanden in Noord-Holland, met name onder Amsterdam en omgeving.

Over het model-onderzoek, dat de laatste jaren door het R.v.D. voor tal van problemen van waterwinning en uitvoering van waterstaatswerken werd uitgevoerd, heeft Ir. G. Santing verschillende mededelingen gedaan [9].

Ook voor verkenning van de toekomstige mogelijkheden van grondwaterwinning in Oostelijk Flevoland en de berekening van het zoutgehalte van het uitslagwater was een geo-hydrologisch onderzoek nodig.

Ter besparing van tijd en hoge kosten van diepe boringen op het land en in het water werd hier voor het eerst de geo-elektrische onderzoekingsmethode toegepast, waarover Ir. Volker nog nader mededeling zal doen.

Mijn medewerkers hebben mij een lijst van niet minder dan 129 in de loop der jaren door het R.v.D. uitgevoerde geo-hydrologische onderzoeksprojecten voor waterbouwkundige werken voorgelegd. Ik wil er slechts enkele recente van bijzondere aard vermelden:

- de tunnelbouw te Velsen (berekening van de bemaling en van de gevolgen daarvan op de hydrologische gesteldheid der omgeving);
- het IJ-tunnelproject van Publieke Werken van Amsterdam (toepassing van z.g. retourputten, waarbij water in infiltratieputten wordt ingemalen ter compensatie van verlaging van de grondwaterstand);
- bouwputten voor Verolme's dokken aan de Botlek (samenwerking met het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft);
- Rijnkanalisatie (bemaling van bouwputten voor diverse stuwen, berekening van kwelbezwaar in uiterwaarden boven de stuw te Hagestein);
- dijkherstel na de ramp van 1953;
- Deltawerken (o.a. de afdamming van het Haringvliet);
- diverse diepe zandputten, waarin de doorgraving van scheidende lagen invloed uitoefent op de kwel in omliggende polders en het zoutgehalte van het grondwater.

Bij vele van deze werken en uiteraard ook bij waterwinning kwam steeds meer de invloed op de vegetatie in de omgeving op de voorgrond.

## Invloed van de geo-hydrologische gesteldheid op de vegetatie

Water vormt een der belangrijkste groeifactoren voor de planten. De plant kan water tot zich nemen via de bladeren of de wortels en is voor de laatste werking op het bodemvocht aangewezen.

In het algemeen is een korrelige bodem op zekere diepte geheel met water verzadigd. Boven het z.g. phreatisch vlak, waarin de atmosferische druk heerst, is tot zekere hoogte de grondmassa ook nog met water verzadigd. Deze capillaire stijghoogte hangt af van de poriënwijdte; voor grind is zij vrijwel 0, voor duinzand ca 0,30 m, voor klei kan zij verscheidene meters bedragen.

Boven het capillaire vlak kunnen nog aanzienlijke hoeveelheden vocht aanwezig zijn, die de poriën slechts gedeeltelijk vullen, het z.g. hangwater.

Voor de vochtvoorziening van de wortels is het capillair gebonden water van primair belang; het phreatisch water is van secundair belang in die zin, dat de ligging van het capillaire vlak door de ligging van het phreatisch vlak bepaald wordt.

In grofkorrelige bodems (zand) is de hoeveelheid beschikbaar hangwater zo gering dat bij ontbreken van neerslag spoedig verdroging kan optreden, tenzij de wortels tot in de capillaire zone in-engere-zin reiken; de watervoorziening der gewassen is dan afhankelijk van de ligging van het phreatisch vlak; verlaging van het phreatisch vlak, door natuurlijke oorzaken (klimaats- en seizoeninvloeden) of kunstmatige (wateronttrekking), kan tot verdroging leiden.

In het begin dezer eeuw was de belangstelling der geo-hydrologen vrijwel uitsluitend op het grondwater beneden het phreatisch vlak gericht, terwijl het inzicht in de vochtvoorziening der gewassen nog niet gerijpt was.

Het is dan ook begrijpelijk, dat in die tijd verdrogingsverschijnselen van landbouwkundige zijde lichtvaardig aan wateronttrekking, van water-onttrekkerszijde even lichtvaardig aan klimaatsinvloeden werden toegeschreven.

Dit leidde tot strijd, waarbij het algemeen belang onvoldoende werd behartigd.

Slechts onbevooroordeeld onderzoek kon tot een bevredigende oplossing leiden.

Voor het eerst kwam een daartoe nodige samenwerking tot stand, toen in 1927 de gemeente Amsterdam een geo-hydrologisch onderzoek op de Veluwe instelde naar de mogelijkheid om daar een aanzienlijke grondwaterwinning tot stand te brengen (100.000 m<sup>3</sup> per etmaal). Gevreesd werd voor schade aan de bossen en de landbouwgebieden op de West-Veluwe. Ter beoordeling van deze problemen werd de z.g. Veluwe-commissie ingesteld, waarin het Staatsbosbeheer, het Landbouwkundig Proefstation te Groningen en het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening vertegenwoordigd waren en waarin ook de Rijkslandbouwconsulent voor Gelderland (Ir. O. J. Cleveringa) zitting had. Onder leiding van deze commissie, die uiteraard nauw met de Gemeentewaterleiding van Amsterdam samenwerkte, werd een groot aantal waarnemingen van grondwaterstanden en beekafvoeren en pompproeven verricht, waaruit een bevredigend beeld van de natuurlijke hydrologische gesteldheid van de Veluwe kon worden verkregen. Daarop werd de ontworpen afpompingsgesuperponeerd, waardoor uiteindelijk voor de gehele Veluwe een grondwater-verlagingskaart kon worden geconstrueerd.

Daarnaast werd een bodemkundig onderzoek ingesteld naar de mate, waarin de vegetatie van de grondwaterstand afhankelijk is. Hierbij kon worden onderscheiden tussen

gebieden waarin de plantengroei ten gevolge van de hoogteligging niet en die waarin zij wèl van het grondwater profiteert. Aldus kon, met behulp van de grondwaterverlagingskaart, het door de beoogde waterwinning „bedreigde” gebied worden aangegeven. Het omvangrijke rapport der Veluwe-commissie, in 1933 gepubliceerd [10], leidde tot de conclusie, dat in de onmiddellijke nabijheid der ontworpen 10 km lange puttenrij op den duur een grondwaterstandsverlaging van ca 5 m moest worden verwacht, geleidelijk tot 0 uitlopend, waardoor o.a. het Uddelermeer zou verdwijnen; voorts dat in een gebied van ongeveer 13500 ha in de randgebieden van de Veluwe — in het bijzonder aan de westzijde — waar de grondwaterstand zich op 1 à 2 m beneden maaiveld bevindt, de te verwachten verlagingen schade aan de landbouw zouden berokkenen; en tenslotte dat elders in deze randgebieden geringe waterstandsverlagingen teweeg zouden worden gebracht, die vermoedelijk niet schadelijk zouden zijn voor de landbouw, maar die — bij de natuurlijke droogtegevoeligheid dezer zandgronden — gemakkelijk tot klachten aanleiding zouden geven, waarvan de gegrondheid moeilijk te beoordelen zou zijn.

Onder deze omstandigheden zag Amsterdam van zijn Veluweplan af.

Een der conclusies van de Veluwe-commissie was ook, dat soortelijk onderzoek als door haar verricht, wenselijk is in tal van gevallen, waarin tijdelijke of blijvende grondwateronttrekking plaatsvindt en dat daartoe een blijvende samenwerking van deskundige diensten in het leven moest worden geroepen.

Overeenkomstig dit advies werd bij besluit van de Minister van Economische Zaken van 9 juni 1934 de Commissie inzake Wateronttrekking aan de Bodem (de „CoWaBo”) ingesteld onder voorzitterschap van de directeur van het Staatsbosbeheer. In haar huidige samenstelling zijn daarin vertegenwoordigd: het Staatsbosbeheer, de Cultuurtechnische Dienst, het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (Wageningen), de directie van de Rijkswaterstaat en het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening.

De CoWaBo geeft adviezen aan alle overheidslichamen inzake vraagstukken van wateronttrekking aan de bodem, in het bijzonder bij toepassing van de Hinderwet.

De vele problemen, waarvoor de commissie zich gesteld zag, leidden tot een verdieping en verfijning van het geo-hydrologisch en het landbouwkundig onderzoek, waarbij tal van deskundigen op landbouwgebied werden aange trokken en kon worden geprofiteerd van de inmiddels steeds intensiever geworden beoefening van de agro-hydrologie, waaromtrent Dr. van den Berg heden nadere mededelingen zal doen.

Voor bijzondere gevallen van tijdelijke wateronttrekking, b.v. de bouw van de tunnels te Velsen, de aanleg van stuwen in de Rijn, werden — met medewerking van de CoWaBo — commissies ad hoc ingesteld ter voorlichting van de directie van het desbetreffende waterstaatswerk nopens de gevolgen van de grondwaterstandsverlaging.

Deze commissies waren op overeenkomstige wijze als de CoWaBo samengesteld en verrichtten belangrijk werk, zowel voor een onpartijdig onderzoek van ingekomen klachten als voor de verdere wetenschappelijke ontwikkeling op dit terrein.

Steeds meer kwam de noodzakelijkheid naar voren van een het rechtsgevoel bevredigend beheer van het grondwater, nu enerzijds de wateronttrekking belangrijk toe-

neemt en anderzijds intensivering van land- en tuinbouw op droogte-gevoelige gronden wordt nagestreefd.

Een algemene wettelijke regeling van het grondwaterrecht is echter een veelomvattend probleem, welks oplossing in het kader der algemene nationale waterhuishouding nog moet rijpen.

Inmiddels waren zoveel bezwaren gebleken bij de toepassing van de Hinderwet op de grondwateronttrekking ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening, dat op dit stuk een (voorlopig partiële) regeling tot stand is gebracht bij de Wet van 21 juli 1954, S. 383, de z.g. Grondwaterwet Waterleidingbedrijven.

Krachtens deze wet behoeft de stichting of uitbreiding van waterwinplaatsen ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening een vergunning van de Minister van Sociale Zaken en Volksgezondheid, die aan de vergunning voorwaarden kan verbinden, o.a. tot vergoeding van veroorzaakte schade. Hij beschikt daartoe over de adviezen van een ingevolge de wet ingestelde Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven („CoGroWa”), die dezelfde samenstelling als de CoWaBo heeft.

#### **Samenwerking op geo-hydrologisch gebied in T.N.O.-verband**

Uit het voorgaande blijkt, hoe de beoefening van de grondwaterkunde in de laatste decennia geleidelijk bij tal van lichamen ingang heeft gevonden, hetgeen de wenselijkheid van een zekere coördinatie op de voorgrond bracht.

In de congressen der Internationale Associatie voor Wetenschappelijke Hydrologie is wel de stichting van nationale hydrologische instituten bepleit. Het behoeft geen betoog, dat in een land als het onze, waar zoveel uiteenlopende belangen met geo-hydrologische problemen samenhangen, geen alles-omvattend „monster”-instituut op dit gebied denkbaar is: tal van diensten en bedrijven op nationaal, regionaal en plaatselijk niveau zijn voor geo-hydrologische maatregelen verantwoordelijk en kunnen deze verantwoordelijkheid niet op een centraal instituut afwentelen. Dit geldt ook voor het onderzoek, waarop vele maatregelen gebaseerd moeten zijn.

Hier kan coördinatie alleen door samenwerking van zelfstandige partijen worden verkregen.

Wij zagen reeds, hoe in enkele gevallen die coördinatie in de beleids-sfeer werd verwezenlijkt.

Het was logisch, dat na de oorlog voor een veel-omvattende coördinatie van het fundamentele technisch-wetenschappelijke onderzoek de hulp van onze onvolprezen nationale T.N.O.-organisatie werd ingeroepen. Zo kwam in 1946 de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. tot stand, een vrijwillige samenwerking van vrijwel alle lichamen in ons land, die bij geo-hydrologisch onderzoek betrokken zijn: landbouw-diensten en -instituten, Rijks- en Provinciale Waterstaat, de Zuiderzeewerken, de Hoogheemraadschappen Rijnland en Delfland, het K.N.M.I., waterleidingbedrijven, het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en sinds kort ook de Delta-Dienst.

In z.g. „technische bijeenkomsten” worden actuele problemen, bij een of meer der aangesloten lichamen ahangig, besproken en daarbij blijkt dan, in hoeverre uitbreiding en coördinatie van onderzoek wenselijk is. Vaak is dan het resultaat, dat een speciale werkgroep wordt ingesteld. Zo bestaan op het ogenblik werkgroepen voor regenwaarnemingen, voor het beheer en de verwerking van de resultaten van lysimeters, voor geo-elektrisch onderzoek, terwijl ook het Archief voor Grondwater-

standen T.N.O. onder de auspiciën van de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. werkt.

De samenwerkende lichamen geven hun medewerking in natura, de additionele kosten (onderzoekers, bijzondere instrumenten, administratie, enz.) worden door T.N.O. gedragen. Het jaarlijkse subsidie van T.N.O. bedraagt ongeveer f 115.000,—.

De verslagen der technische bijeenkomsten plegen te worden gepubliceerd [11; 12] en zijn tegen betaling bij T.N.O. verkrijgbaar.

Tenslotte wil ik nog de bijdrage van Nederland vermelden in het internationale werk: in ons land bestaat — evenals in de andere bij de Internationale Unie voor Geodesie en Geophysica aangesloten landen — een Nationale Raad voor Geodesie en Geophysica, waarvan een der onderdelen is de Sectie voor Wetenschappelijke Hydrologie. In deze sectie zijn alle diensten en lichamen op hydrologisch gebied vertegenwoordigd en voor wat de geo-hydrologie betreft o.a. dezelfde lichamen als die in de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek T.N.O. Deze sectie bereidt de deelneming van Nederlandse zijde voor aan de (driejaarlijkse) congressen der Unie en de tussentijdse symposia van verschillende onderdelen.

#### Besluit

De algemene waterhuishouding van Nederland is een probleem van de eerste orde geworden. Slechts door een goede aanpak van dit probleem kan ons dichtbevolkte land in de stijgende behoeften aan kwaliteitswater voor de bevolking, de industrie en de landbouw voorzien.

Van deze algemene waterhuishouding vormt de beheersing van het grondwater een belangrijk onderdeel.

Een doeltreffend beleid in deze kan slechts op de basis van wetenschappelijk onderzoek worden gevoerd.

Het was mij een voorrecht, een inzicht te hebben mogen geven in hetgeen op dit gebied in ons land wordt verricht.

#### Literatuur

- [ 1 ] W. J. JONGMANS, W. F. J. M. KRUL en J. J. H. Vos. „Waterwinning in Zuid-Limburg” (N.V. Waterleidingmaatschappij voor Zuid-Limburg, Maastricht 1941).
- [ 2 ] J. DRABBE en W. BADON GHIJBEN. „Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam”. (Tijdschr. Kon. Inst. v. Ing. 1888/1889, 1e afl.).
- [ 3 ] J. M. K. PENNINK. „De prise d'eau der Amsterdamsche Duinwaterleiding”. (Verh. v. h. Kon. Inst. v. Ing. 1903).
- [ 4 ] Idem. „Grondwaterstroombanen. Uitkomsten van een onderzoek verricht in de jaren 1904 en 1905 naar den vorm der stroombanen van grondwater, zich bevindend in zui-ver zand” (in 4 talen uitgegeven door de Stadsdrukkerij van Amsterdam, 1915).
- [ 5 ] J. VAN OLDENBORGH. „Mededelingen omtrent de uitkomsten van door het Rijksbureau voor Drinkwatervoorziening ingestelde geo-hydrologische onderzoeken in verschillende duingebieden”. („De Ingenieur”, 1916 nos. 25—26).
- [ 6 ] W. F. J. M. KRUL. „De drinkwatervoorziening van Nederland uit geografisch en hydrologisch oogpunt”. (Tijdschrift v. h. Kon. Ned. Aardrijksk. Gen. Df LIII, 4 juli 1936).
- [ 7 ] Idem. „Geologisch en hydrologisch onderzoek bij waterbouwkundige werken”. („De Ingenieur”, 1931 no. 34).
- [ 8 ] Dienst der Zuiderzeewerken in samenwerking met het Rijksbureau voor Drinkwatervoorziening. „Geo-hydrologische gesteldheid van de Wieringermeer”. Rapporten en Mededelingen betreffende de Zuiderzeewerken No. 5 (Rijksuitgeverij, 's-Gravenhage, 1936).
- [ 9 ] G. SANTING. „Infiltratie en modelonderzoek”. („Water”, 1951, nos. 21 en 22).
- [10] Wateronttrekking aan de Veluwe. Rapport van de Commissie tot het onderzoek naar de gevolgen van eventuele wateronttrekking aan de Veluwe ten behoeve van de drinkwatervoorziening van Amsterdam. 's-Gravenhage, Algemene Landsdrukkerij, 1933.
- [11] Verslagen Technische Bijeenkomsten 1—6. Verslagen en Mededelingen der Commissie voor Hydrologisch Onderzoek No. 1, 's-Gravenhage, Staatsdrukkerij, 1952.
- [12] Verslagen Technische Bijeenkomsten 7—10, en Verslag inzake het verdampingsonderzoek in de Rottegatpolder (1947—1952). Verslagen en Mededelingen der Commissie v. Hydr. Onderz. No. 2, 's-Gravenhage, Staatsdrukkerij, 1955.