

waren geen gegevens beschikbaar over veranderingen van de zeespiegelstand in de laatste drieduizend jaar. Onderzoek op de Duitse Waddeneilanden heeft aangetoond dat de zeespiegel 700 jaar geleden hoger stond dan tegenwoordig (Streif, 1986). Een door de R.G.D. uitgevoerd onderzoek lijkt dit niet te bevestigen; de zeespiegelrijzing is de laatste drie millennia langzaam maar gestaag doorgegaan.

Dankbetuiging

De directeur van de Rijks Geologische Dienst gaf toestemming voor de publicatie van dit artikel. Drs. P. Cleveringa deed zeer bruikbare suggesties voor het verbeteren van eerdere versies. De technische realisatie was in handen van mevrouw A. de Vries (tekstverwerking) en de heer M.A. Smakman (figuren).

Adres van de auteur
Rijks Geologische Dienst, district Noord
Postbus 85
8430 AB Oosterwolde

Literatuur

- Berg, M.W. van den & D.J. Beets (1987): Saalian glacial deposits and morphology in The Netherlands. -p. 235-251 in: J.J.M. van der Meer ed.: Tills and glaciotectionics of an Inqua symposium on genesis and lithology of glacial deposits, Amsterdam, 1986, Balkema, Rotterdam.
- Bowen, D.Q. and G.A. Sykes, (1988): Correlation of marine events and glaciations on the northeast Atlantic margin. Phil. Trans. R. Soc. London. B318, p. 619-635.
- Gans, W. de (1981) Fysisch-geografische streekbeschrijving nr.2 : Het gebied van de Drentsche Aa. -K.N.A.G. Geografisch Tijdschrift XV, p. 243-252.
- Griede, J.W. (1978): Het ontstaan van Frieslands Noordhoek. Proefschrift V.U. Amsterdam, Rodopi, 186 p.
- Groot, T.A.M. de (1987): Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000. Blad Heerenveen West (11W) en blad Heerenveen Oost (11O). -Rijks Geol. Dienst, Haarlem, 251 p.
- Rappol, M. (1985): Enkele nieuwe resultaten en een overzicht van het onderzoek naar de aard van steenorientatie in keileem. Grondb. en Hamer, p. 88-95.
- Rappol, M., S. Haldorsen, P. Jorgensen, J.J.M. van der Meer & H.M.P. Stoltenberg (1989): Composition and origin of petrographically-stratified thick till in the northern Netherlands and a Saalian glaciation model for the North Sea Basin. -Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol. 26, p. 31-64.
- Roeleveld, W. (1974): The holocene evolution of the Groningen marine-clay district. -Berichten van de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek, 24, 252 p.
- Ruegg, G.H.J. & J.G. Zandstra (1977): Pliozäne und Pleistozäne gestauchte Ablagerungen bei Emmerschans (Drenthe, Niederlande). -Med. Rijks Geol. Dienst, Nieuwe Serie 28, p. 65-99.
- Streif, H. (1986): Zur Altersstellung und Entwicklung der Ostfriesische Inseln. -Offa, Band 43, p. 29-44.
- Wee, M.W. ter (1962): The Saalian glaciation in the Netherlands. -Med. Geol. Stichting, Nieuwe Serie 15, p. 57-76.
- Wee, M.W. ter (1976): Toelichtingen bij de Geologische Kaart van Nederland 1:50.000, Blad Sneek (10 W, 10 O). -Rijks Geologische Dienst, Haarlem, 131 p.
- Wee M.W. ter (1983): The Elsterian Glaciation in the Netherlands. p. 413-415 in: J. Ehlers (ed.) Glacial Deposits in North-West Europe, Balkema-Rotterdam.
- Wingfield, R. (1990): The origin of major incisions within the Pleistocene Deposits of the North Sea. -Marine Geology, 91, p. 31-52.
- Zagwijn, W.H. (1973): Pollenanalytic studies of Holsteinian and Saalian Beds in the Northern Netherlands. -Med. Rijks Geol. Dienst, Nieuwe Serie 24, p. 139-156.
- Zandstra, J.S. (1977): Geologische opbouw. -in: C.J. van Staaldunen (red.) Geologisch Onderzoek van het Nederlandse Waddengebied, Rijks Geol. Dienst Haarlem, p. 37-58.
- Zonneveld, J.I.S. (1975): Zijn de Noordnederlandse stuwwallen overreden of niet? -Berichten Fysisch Geografische Afdeling, nr. 9

Grondwatersystemen in Noord-Nederland

J.J. Delvigne

1. Inleiding

De sterk toegenomen belangstelling voor het grondwater in de laatste jaren is voor een deel uit nood geboren. De aanspraken die op grondwater worden gemaakt vanuit de drinkwatervoorziening, de landbouw, de industrieën, het natuurbeheer, zijn in omvang toegenomen en blijken lang niet altijd met elkaar te verenigen. Betroffen genoemde belangen in het verleden voornamelijk de kwantiteit van het grondwater omdat de kwaliteit als onveranderlijk werd beschouwd, momenteel komt ook de zorg om de kwaliteit nadrukkelijk in beeld (Langeweg,

1988). Die zorg betreft vooral de bedreiging van de grondwaterkwaliteit in verband met de drinkwatervoorziening en in gebieden die door grondwater worden gevoed, in verband met de samenstelling van natuurlijke vegetaties die aan grondwater zijn gebonden.

Kwantiteit en kwaliteit van grondwater hangen met elkaar samen via de stroming van het grondwater. Het grondwater doorstroomt in Noord-Nederland sedimentpakketten waarvan de geohydrologische eigenschappen mede bepalend zijn voor het volume van de stroming. De stroming is daar

naast medebepalend voor kwaliteitseigenschappen doordat het de richting aangeeft waarin opgeloste stoffen worden getransporteerd, terwijl de doorstroomde pakketten als gevolg van oplossing en uitwisseling ook enige invloed op de chemische samenstelling van het grondwater hebben.

Als conceptueel model voor de ruimtelijke samenhang van het stromende grondwater wordt tegenwoordig gebruik gemaakt van het begrip grondwatersysteem of grondwaterstromingsstelsel (Engelen, 1984; Engelen et al. 1984), waarmee een ruimtelijk samenhangend geheel van bewegend

grondwater wordt bedoeld. Elk grondwaterstromingsstelsel heeft een herkomstgebied (infiltratiegebied) en een invoergebied (kwelgebied). Grondwatersystemen kunnen op verschillende schalen worden onderscheiden: tussen aangrenzende polders met ongelijke waterpeilen, tussen een heuvel en een dal, tussen een plateau en zijn omgeving. Het is daardoor heel goed mogelijk dat kleinere stelsels gesuperponeerd zijn op grotere. Voor de bespreking van de grondwatersituatie in Noord-Nederland wordt hier dankbaar gebruik gemaakt van de indeling in grondwatersystemen, zoals die door Engelen et al. (1989) is ontworpen. De regio's die zo ontstaan worden besproken naar hun kenmerkende eigenschappen.

2. Geohydrologie en grondwatersystemen

2.1 Geohydrologie

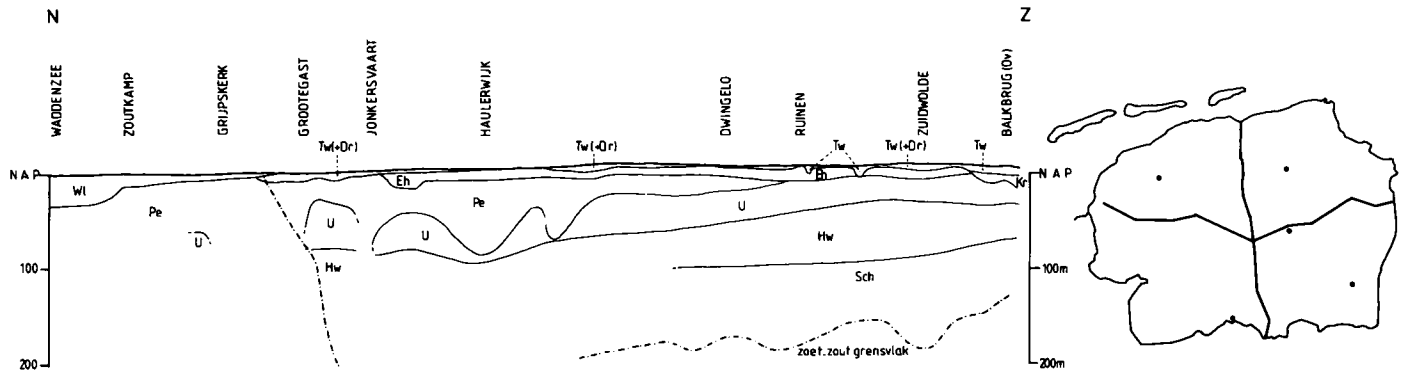
Het neerslagoverschot dat Nederland op jaarbasis kent, wordt via het grond- en oppervlaktewater naar zee afgevoerd. Afstroming over het grondoppervlak is qua volume onbetekenend, zodat vrijwel al het afgevoerde water een kortere of langere tijd deel uitmaakt van het grondwater. Drukverschillen in het grondwater, meestal

Symbol	Formatienaam	slecht doorl. deklaag	ondiep waterv. pakket	slecht doorl. tussenlaag	diep waterv. pakket	slecht doorl. basis	Genese	Lithologie
W1	Westland Formatie	X					marien, org.	fijn zand, klei, veen
Tw	Formatie van Twente		X				eolisch, fluv.	fijn zand, plaatselijk leem
Kr	Formatie van Kreftenheije		X				fluviaal	grof zand
E	Eem Formatie		(X)	X			marien	fijn zand, waarop kleilaag
Dr	Formatie van Drente	X	(X)	X			(fluv.) glaciaal	keileem, grove zanden
Eh	Formatie van Eindhoven		X				eolisch	fijn zand
Pe	Formatie van Peelo		(X)	X	(X)		fluv.glaciaal	fijn zand, grof zand, potklei
U	Formatie van Urk		(X)	(X)	X		fluviaal	grof zand, naar boven fijner, lokaal klei
En	Formatie van Enschede				X		fluviaal	grof zand
Hw	Formatie van Harderwijk			(X)	X		fluviaal	grof zand, onderin kleilagen (F.v. Tegelen)
Sch	Formatie van Scheemda			X	X	X	fluviaal	grof en fijn zand, lok. dunne kleilagen
Ms	Formatie van Maassluis					X	marien	fijn zand en klei
Oh	Formatie van Oosterhout					X	marien	fijn zand en klei
Br	Formatie van Breda					X	marien	kleilig zand en klei

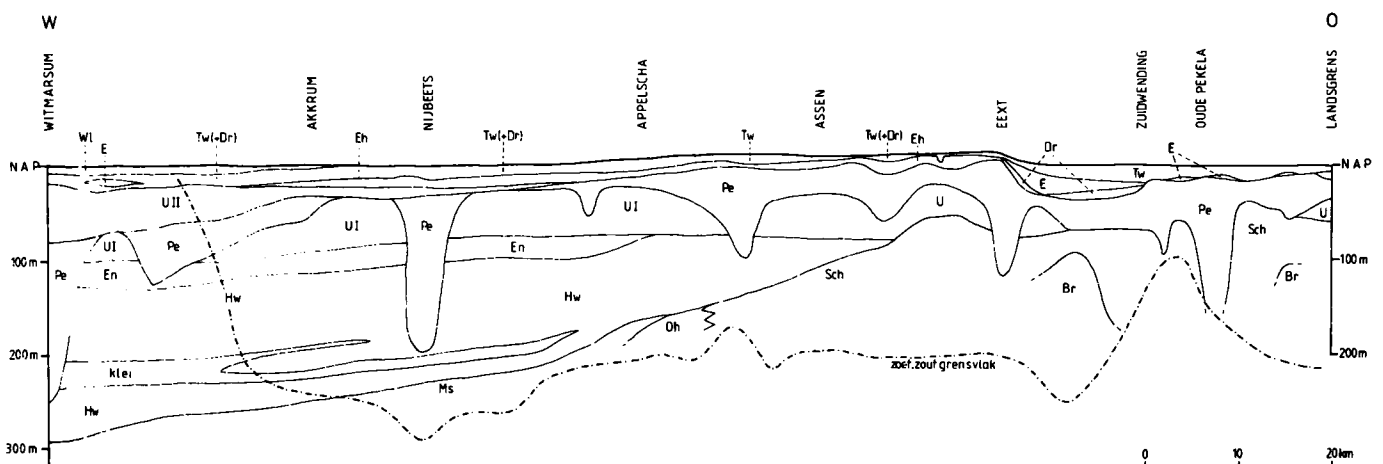
Tabel 1. Geohydrologische kenmerken van de formaties in de ondergrond van Noord-Nederland.

veroorzaakt door verschillen in hoogte van de grondwaterspiegel die samenhangen met het reliëf, veroorzaken stroming van het grondwater. De doorlatendheid van de sedimenten waaruit de ondergrond van Noord-Nederland bestaat, bepaalt daarbij de weerstand tegen stroming. Op haar beurt wordt de doorlatendheid van de sedimenten sterk door de korrelgrootteverdeling bepaald. Ten behoeve van de stroming van grondwater is daarom zuiver lithologische informatie over de ondergrond van belang. De beperkte boorgegevens en de kleinschaligheid van

de lithologische variatie in sommige gebieden zijn er de oorzaak van dat voor de geohydrologische interpretatie van de ondergrond toch vaak gebruik wordt gemaakt van de lithostratigrafische indeling in formaties. De lithostratigrafie wordt dan geschematiseerd naar hydraulische eigenschappen. Omdat voor de belanghebbende bij grondwater de betrokken volumina vaak interessanter zijn dan de snelheid van de stroming, wordt bij de geohydrologische schematisatie tot watervoerende en waterscheidende pakketten meer gelet op het produkt van



Figuur 1b. Geologische noord-zuid doorsnede door Noord-Nederland. Zie voor de ligging van het profiel fig. 2.



Figuur 1a. Geologische oost-west doorsnede door Noord-Nederland. Zie voor de ligging van het profiel fig. 2

doorlatendheid (k) en pakketdikte (D), het doorlaatvermogen kD , dan op de doorlatendheid alleen.

In Noord-Nederland kunnen vaak twee watervoerende pakketten (aquifers) worden onderscheiden. De onderste, en doorgaans de belangrijkste, wordt gevormd door afzettingen behorend tot de fluviatiele, Pleistocene Formaties van Urk, Enschede en Harderwijk (zie tabel 1). Typerende kD -waarden voor deze aquifer liggen tussen 1000 en 4000 m^2/dag . De basis van dit pakket wordt gevormd door kleihoudende mariene afzettingen van Tertiaire ouderdom, welke geleidelijk naar het noordwesten afhellen. Waar boven het diepe watervoerende pakket nog een ondiep watervoerend pakket voorkomt, heeft dit laatste een veel geringere capaciteit, met karakteristieke kD -waarden tussen 250 en 500 m^2/dg . Dit watervoerend pakket kan bestaan uit de zandige gedeelten van diverse formaties (zie tabel 1). De scheidende laag tussen het eerste en tweede watervoerende pakket bestaat vaak uit glaciële afzettingen: potklei uit de Formatie van Peelo of keileem uit de Formatie van Drenthe. Met name waar de Formatie van Peelo als geulopvulling voorkomt (fig.1), is veelal een dikke laag potklei aanwezig. Het lokale karakter van het voorkomen van potklei en keileem maakt dat lang niet overal van meerdere watervoerende pakketten kan worden gesproken. De betekenis van de aanwezigheid van een scheidende laag ligt in het feit dat de doorgifte van (vervuilende) stoffen naar het tweede watervoerende pakket en de doorgifte van drukveranderingen vanuit dit pakket naar de bovengrond, bijvoorbeeld als gevolg van grondwaterwinning, sterk wordt verminderd. Voor het hydrologisch contact tussen de bovengrond en de ondiepe ondergrond is het van belang of een slechtdoorlatende 'deklaag' aanwezig is. In een groot deel van Noord-Nederland wordt zo'n laag gevormd door zeeklei of veen. In het zandgebied kan een ondiepe keileemlaag als deklaag fungeren. De wisselende dikte van de keileem, het voorkomen van zandbanen erin, en het discontinue karakter maken hem echter tot een weinig betrouwbare deklaag.

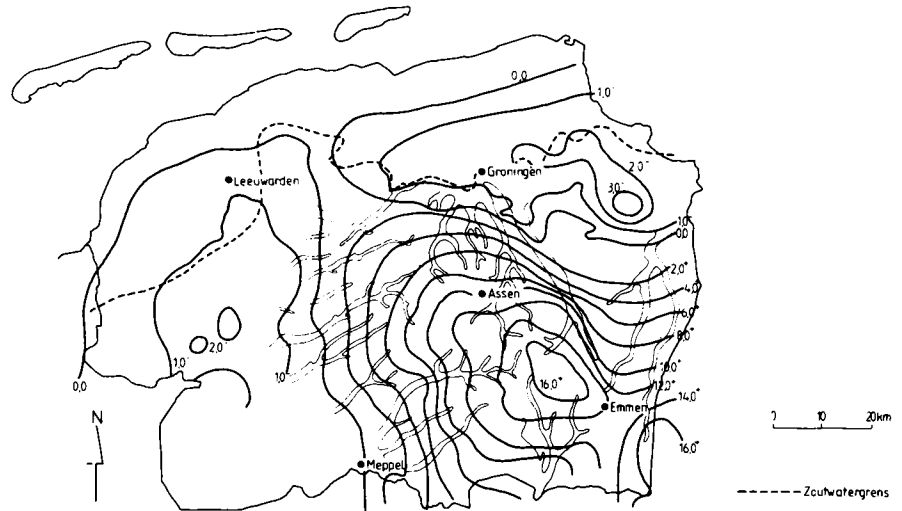
2.2 Grondwatersystemen

De combinatie van neerslagoverschot enerzijds en traagheid van het wegzakken van grondwater anderzijds veroorzaakt een opbolling van de grondwaterspiegel onder de hogere delen van het terrein. De grondwaterspiegel volgt daardoor in gedempte mate het oppervlaktereliëf. Met toenemende diepte neemt de betekenis van

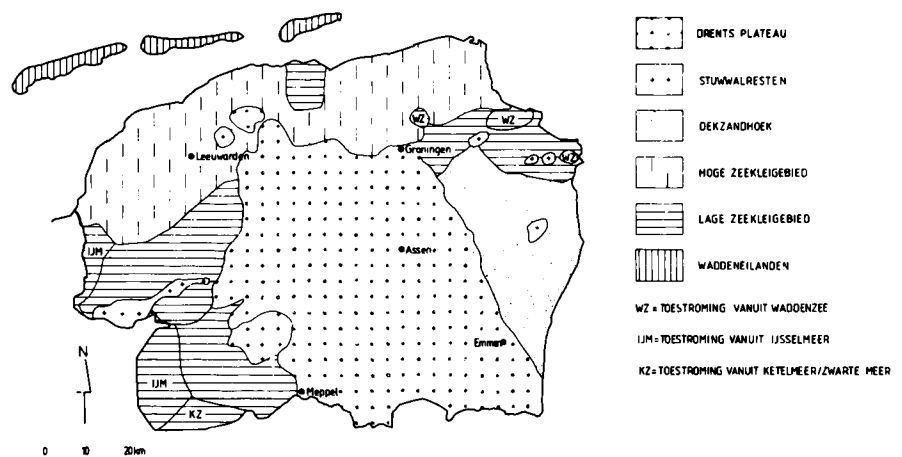
lokale drukverschillen in het grondwater af ten gunste van regionale verschillen. Deze verschillen worden opgespoord aan de hand van de stijghoogten van het grondwater in peilbuisen die een filter op de gewenste diepte hebben. Het patroon van stijghoogten van het diepe grondwater in Noord-Nederland weerspiegelt de hoofdstructuur van het reliëf en bepaalt de stroomrichting van dit water. Noord-Nederland heeft het Drents Plateau als hoge kern. Daar vandaan stroomt het diepe grondwater min of meer radiaal naar de omringende lagere gebieden (fig. 2). Vooral ten noorden en westen van het Drents Plateau is een laaggelegen gordel aanwezig waar het diepe grondwater een opwaartse stromingscomponent heeft (kwel) en zich bij het oppervlaktewater voegt. Het Drents Plateau met het bijbehorende kwelgebied vormt daardoor het meest markante grondwaterstromingsstelsel van Noord-Nederland.

De grondwaterregio's die op basis van de grondwatersystemen van Engelen et al. (1989) worden onderscheiden, zijn in fig. 3 voor Noord-Nederland

weergegeven. Aan de indeling van Engelen et al. ligt de informatie uit waterstaatskaarten, grondwaterkaarten, geologische kaarten, en berekeningen met een computermodel ten grondslag. In dat model worden topografie, grondwaterstanden en geohydrologische gegevens van de ondergrond voor een netwerk van roosterpunten ingevoerd. De beperkingen aan de invoergegevens en aan het model zelf maken dat de grenzen tussen de stelsels niet te absoluut moeten worden gezien, noch in de tijd, noch in de ruimte. De onderscheiden regio's geven dus een globaal beeld. Het onderscheid van grondwaterregio's op basis van stromingsstelsels heeft tot gevolg dat grenzen in laaggelegen zones komen te liggen, aangezien daar grondwater van twee kanten wordt aangevoerd, en dus van verschillende stromingsstelsels afkomstig is. Laaggelegen gebieden zijn homogeen wat hun waterhuishouding aan het oppervlak betreft, als onderdelen van grondwaterstromingsstelsels zijn het grensgebieden.



Figuur 2. Lijnen van gelijke stijghoogte van het ondiepe grondwater in Noord-Nederland. In principe beweegt het grondwater loodrecht op deze lijnen.



Figuur 3. Grondwaterregio's in Noord-Nederland. Naar Engelen et al., 1989.

3. Bespreking der grondwater-regio's

3.1 Drents Plateau

Het Drents Plateau, dat overigens ook het zuidoosten van Friesland en het zuidwestelijk deel van Groningen beslaat, is tamelijk vlak en helt vanaf de aan de oostrand gelegen Hondsrug geleidelijk naar het noordwesten. De hoogsten delen liggen boven 20 m + N.A.P. Typerend voor de bovengrond van het Drents Plateau is het voorkomen van een laag keileem van niet meer dan enkele meters dikte. Meestal is deze afgedekt door een dunne laag dekzand. Door erosie ontbreekt de keileem waar beekdalen in het plateau zijn ingesneden. Ook buiten de beekdalen mag de keileem als gevolg van erosie en verwerking niet als een continue, slechtdoorlatende laag worden beschouwd. Voor de grondwatersituatie heeft de structuur van het Drents Plateau een aantal gevolgen.

Allereerst fungeert een groot deel van het plateau door zijn relatief hoge ligging als infiltratiegebied - ook wegzijgingsgebied genoemd - in het regionale stelsel. Het centrum van dit systeem ligt op het Ellertsveld ten zuiden van Assen (fig. 2), met een uitloper naar het noordwesten. Vanuit dit centrum stroomt het grondwater in het diepe watervoerende pakket min of meer radiaal weg. Aan de oostzijde zorgt dit voor een discrepantie met de oppervlakte-afwatering, waarin de structuur van de langgerekte Hondsrug en het aangrenzende Hunze-dal duidelijk tot uitdrukking komen. De hydrologische basis van het stelsel ligt op ongeveer 200 m diepte. Waar zoutkoepels in de ondergrond aanwezig zijn, kan deze basis meer dan 100 m hoger liggen. De Vries (1974) berekende een horizontale stroomsnelheid in de water-

voerende pakketten van 6 cm/dag, hetgeen betekent dat de verblijftijd van water in het regionale systeem enkele duizenden jaren is.

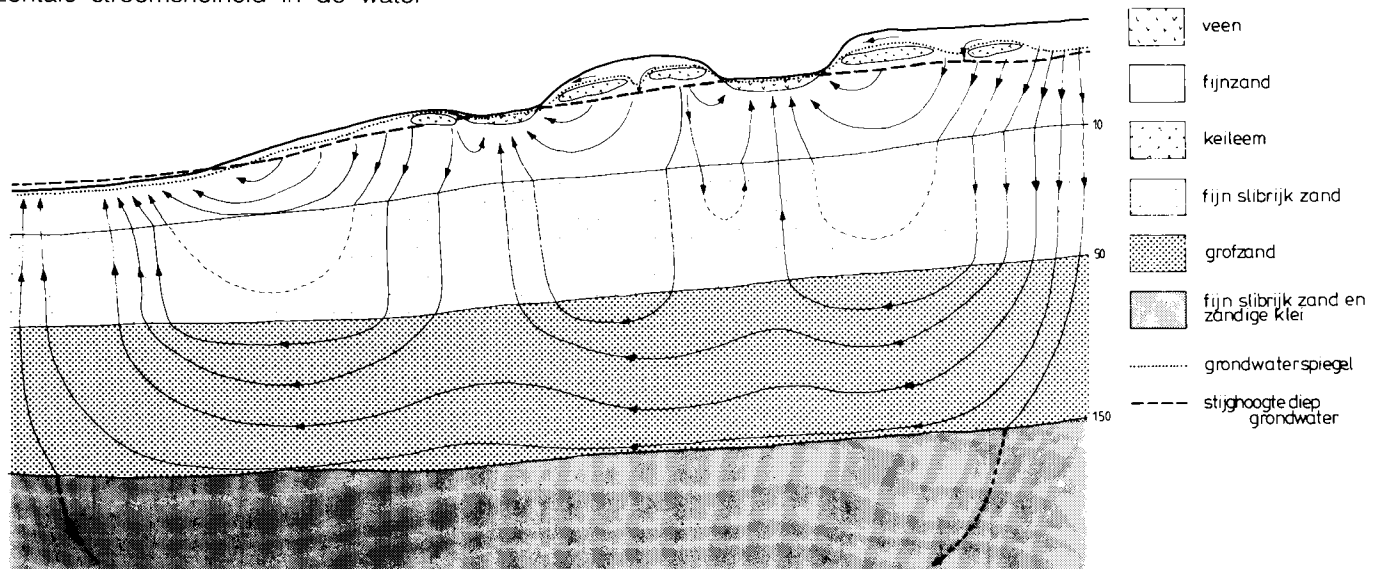
De keileem op geringe diepte en de plateauvorm zijn er verantwoordelijk voor dat de grondwaterspiegel niet erg diep ligt. Relatief veel geïnfiltreerd regenwater zal ondiep afstromen naar de beekdalen, relatief weinig water zal de watervoerende pakketten voeden. Bakker (1984) berekende voor het Dwingelderveld een infiltratie naar het diepe watervoerende pakket van ongeveer 1/6 van het neerslagoverschot. Colenbrander et al. (1986) en Engelen et al. (1989) schatten dit op ongeveer 20% van het neerslagoverschot. Deze cijfers zijn veel lager dan voor de hogere zandgronden elders in het land. Het ondiep afstromende water op het Drents Plateau voedt dan ook een tamelijk dicht netwerk van beken.

De beekdalen op het plateau zijn met hun aangrenzende hogere delen het domein van grondwaterstromingsstelsels die gesuperponeerd zijn op het regionale systeem (fig. 4). De beekdalen zijn veelal potentiële kwelgebieden en als zodanig te herkennen op de kaarten van potentiële kwel- en infiltratiegebieden, zoals die zijn samengesteld door de Werkgroep regionaal geohydrologisch onderzoek in de provincie Drenthe (1978) en de Wit & Bleuten (1988). In fig. 4 is tevens te zien dat in de beekdalen meerdere aanvoerwegen van water aanwezig zijn, met elk haar karakteristieke watersamenstelling. Zo is opkwellend water uit het diepe watervoerende pakket meestal kalkhoudend. De vegetatiezonering in natuurlijke gedeelten van de beekdalen weerspiegelt de invloedsfeer van de verschillende watertypen (Grootjans, 1985a). Deze zonering is dan ook kwetsbaar ten aanzien van ingrepen

die het aandeel van de verschillende waterstromen beïnvloeden. Over deze problematiek, toegespitst op de algemene verlaging van de grondwaterstand en de toegenomen bemesting in de laatste decennia, is onder andere door Grootjans (1985b) geschreven. Lokale, sterke verstoring van de grondwaterstromingstelsels vindt plaats waar grondwater gewonnen wordt voor met name de drinkwatervoorziening. In het gebied van het Drents plateau zijn de voornaamste winningen te vinden aan de zuidoostrand (omgeving Emmen), de noordoostrand (omgeving Leek - Haren) en noordwestrand (omgeving Bergum). De laatste twee zijn gebieden met een natuurlijke toestroming van water in het watervoerende pakket. Als gevolg van de omgeving verandert de hydrologische situatie in het winge-bied van kwel in infiltratie.

3.2 Stuwwalresten

In Gaasterland, bij Steenwijk, Onstwedde, en op nog enkele andere plaatsen komen betrekkelijk kleine stuwwalresten voor, waarvan de relatief hoge kernen als infiltratiegebieden fungeren. Zij vormen met de bijbehorende kwelgebieden zelfstandige grondwatersystemen. De grotere en hogere stuwwalresten van Gaasterland en Steenwijk weerspiegelen zich in de ondergrond doordat het zoet - zout grensvlak daar omlaaggedrukt is. Met circa 300 m - N.A.P. ligt deze grens zo'n 100 m dieper dan onder het aangrenzende Drents Plateau.



Figuur 4. Schematische voorstelling van de grondwaterstromingen op het Drents plateau. Naar werkgroep R.G.O.P.D., 1978.

3.3 Dekzandhoek

De dekzandhoek omvat het gebied ten oosten van het Drents Plateau. Het ligt lager dan het plateau en helt gelijkmatig naar het noorden. Wat de regionale grondwaterstroming betreft, is het op te vatten als een noordwaarts gericht doorstroomgebied, waarbij in het zuid-oosten infiltratie overheerst en in het noorden kwel. Alleen Westerwolde kent voldoende reliëf om lokale grondwaterstromingsstelsels tussen dekzandkoppen en beekdalen te veroorzaken.

Een belangrijk verschil met het Drents Plateau is het ontbreken van ondiepe keileem, alsmede een grotere dikte van de zandige afzettingen van de Formatie van Twente aan het oppervlak (fig. 1). In droogteperioden kan hierin de grondwaterspiegel aanzienlijk dalen indien geen aanvulling vanuit het oppervlaktewater plaatsvindt.

Ten oosten van het Hunze-dal valt in de ondergrond de wisselende dikte van de Formatie van Peelo op (fig. 1). In geulen bevat deze afzetting vaak potklei, waardoor onderbrekingen ontstaan in het watervoerende pakket.

3.4 Hoge zeekleigebied

In het zeekleigebied wordt het peil van het oppervlaktewater vrijwel uitsluitend kunstmatig gehandhaafd. Daarbij is in de kwelderwallen langs de waddenkust enige natuurlijke infiltratie van neerslagwater naar een ondiep watervoerend pakket mogelijk.

De maaiveldhoogte, en daarmee het streefpeil van de bemalingsgebieden, neemt in het zeekleigebied van noord naar zuid af. Dit betekent dat er ondiepe grondwaterstromingsstelsels ontstaan die in hun totaliteit van noord naar zuid zijn gericht en aldus het systeem van het hoge zeekleigebied vormen. In detail is het een stelsel dat zijn dynamiek ontleent aan het aan elkaar grenzen van polders met verschillende peilen.

Het ondiepe grondwater is in dit gebied zoet dankzij het neerslagoverschot. In droge jaren kan in de zomer evenwel verzilting van dit water optreden. Zout water bevindt zich op diepten van enkele meters tot een tiental meters. Dit water kan daar gelijktijdig met de vaste sedimenten terecht zijn gekomen. Enige toestroming van zout water vanuit de Waddenzee, onder het ondiepe grondwater door, is waarschijnlijk waar lage polders op niet al te grote afstand van de kust liggen. In fig. 3 zijn in Groningen enkele kwelvensters aangegeven, waar waddenzeewater volgens modelberekening tot dicht onder het oppervlak wordt aangetrokken. Verlaging van het

streefpeil in het deel van Groningen waar bodemdaling als gevolg van aardgaswinning optreedt, zal mogelijk enige toename van -zoute - kwel veroorzaken, vooral waar het afdekkend pakket niet slechtdoorlatend is (TAUW Infra Consult, 1986).

De zuidgrens van het hoge zeekleigebied valt ongeveer samen met de grens tussen zout ondiep grondwater in het noorden en zoet grondwater in het zuiden. Bij een gehalte van minder dan 150 mg Cl⁻ per liter spreekt men van zoet water. Het grensvlak duikt in de diepte weg in de richting van het Drents Plateau (fig. 1) en blijft vervolgens op circa 200 m diepte liggen. Het volgt daar bij benadering de grens tussen mariene Tertiaire en fluviatile Kwartaire afzettingen.

3.5 Lage zeekleigebied

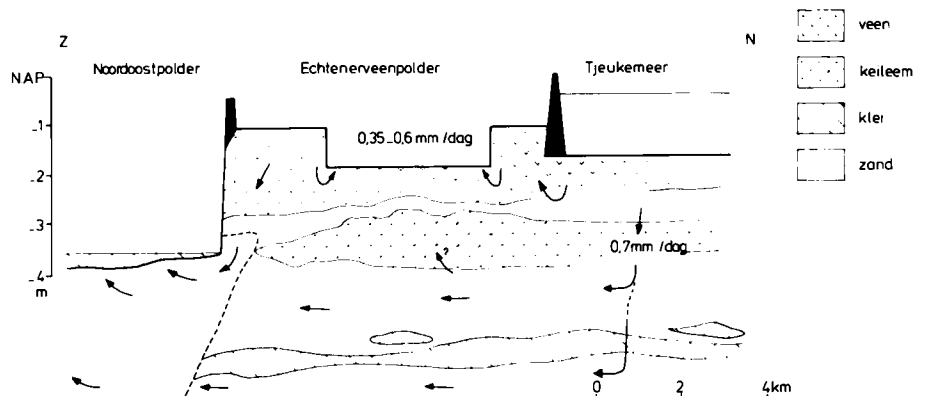
De grondwaterstromingsstelsels in het lage zeekleigebied worden bepaald door de tegenstelling tussen lage polders enerzijds en aangrenzende gebieden met een veel hoger waterpeil anderzijds. Deze stelsels missen het regionale stromingspatroon dat in het hoge zeekleigebied nog wel aanwezig was. In Oost-Groningen wordt een systeem gevormd door de jongere Dollardpolders en de verder landinwaarts gelegen diepere veenpolders; in Friesland door de boezemmeren en

de omringende lager gelegen polders. In de Noordoostpolder worden grondwaterstromingsstelsels van dit type gevormd door kwel in de polder en infiltratie vanuit het IJsselmeer aan de ene kant, en aan de andere kant door infiltratie vanaf het 'oude land'. Fig. 5 geeft een voorbeeld van dit laatste type, waarin de relatie tussen topografie, geohydrologie, en tussen stelsels op verschillende schaal wordt getoond.

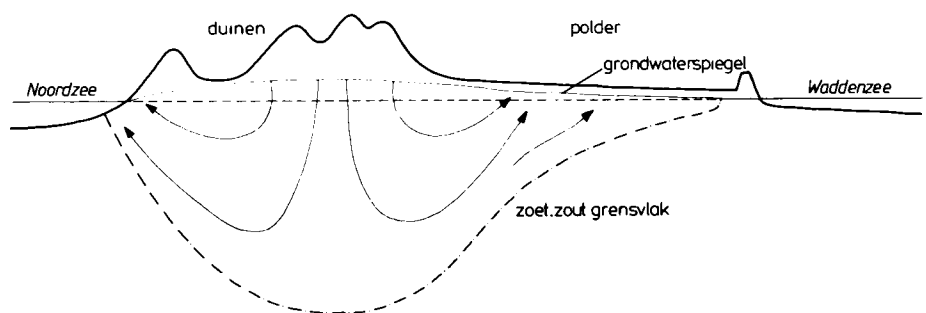
3.6 Waddeneilanden

Op de Waddeneilanden vormen de duincomplexen de kernen van zelfstandige grondwaterstromingsstelsels. Onder de duinen van de Waddeneilanden hebben zich zoetwaterlenzen ontwikkeld welke, om het hydrostatisch evenwicht te handhaven, een opbolling van de grondwaterspiegel te zien geven (fig. 6). Dit algemene beeld wordt gecompliceerd door de aanwezigheid van kleilagen, behorend tot de Westland Formatie, in de overwegend zandige ondergrond van de Waddeneilanden. Hierdoor kan vaak een ondiep en een diep watervoerend pakket worden onderscheiden, waarbij dit laatste meestal op een tiental meters beneden N.A.P. begint.

Kleinschalige hydrologische systemen op de waddeneilanden zijn met name de duinvalleien met de naastgelegen



Figuur 5. Grondwater in het gebied tussen het Tjeukemeer en de Noordoostpolder. Uit Broers, 1987.



Figuur 6. Schematische voorstelling van de zoetwaterlens onder een Waddeneiland. De verticale overdriving is ongeveer 25. Naar De Wit, 1987.

duinenrijen. De opbolling van de grondwaterspiegel maakt dat duinvalleien van nature erg nat zijn en soms ook open water hebben. De samenstelling van het water in de zoetwaterlens is over het algemeen kalkhoudend doordat het duinzand kalkrijk is afgezet. Ontkalking van bovenaf maakt het mogelijk dat ook ondiep kalkarm water voorkomt. In de natte duingebieden zijn daardoor in het ondiepe grondwater gradiënten te verwachten tussen kalkarm, kalkrijk en zout water.

4. Samenvatting en conclusies

In de geohydrologische opbouw van Noord-Nederland zijn in de regel twee watervoerende pakketten te onderscheiden, waarvan de voornaamste wordt gevormd door fluviatiele Pleistocene afzettingen van tientallen meters dikte. De basis van het geohydrologisch systeem ligt op ongeveer 200 m diepte. In het Holocene deel van Noord-Nederland is een slechtdoorlatend afdekkend pakket aanwezig. In het Pleistocene deel ligt op het Drents Plateau een discontinue, dunne slecht-doorlatende keileemlaag. Deze laag is er de oorzaak van dat het neerslagoverschot op het plateau voor het grootste deel ondiep naar de beekdalen wordt gevoerd en als oppervlaktewater het plateau verlaat.

Op het Drents Plateau zijn grondwaterstromingsstelsels op regionale schaal het duidelijkst te onderscheiden. Op deze regionale systemen zijn de stromingsstelsels van de beekdalen gesuperponeerd. Voorts zijn in het Pleistocene deel van Noord-Nederland ook nog de stelsels van de stuwwalresten en van het Oostgroninger dekzandgebied te onderscheiden. De

eerste zijn kleine, radiale systemen, het tweede is een over tientallen kilometers noordwaarts gericht systeem. In het Holocene deel van Noord-Nederland worden grondwaterstromingsstelsels voor een belangrijk deel bepaald door de polderpeilen. Een aanzienlijk gedeelte van dit gebied heeft zout water in de ondergrond. Dit wordt waarschijnlijk aangevuld door toestroming vanuit de Waddenzee. Een aparte plaats nemen de Waddeneilanden in doordat het geïsoleerde gebieden zijn welke grondwaterstromingsstelsels kennen die nauw samenhangen met de structuur van de duincomplexen en polders. Op kleinere schaal is binnen de duincomplexen de afwisseling van duinen en duinvalleien van belang. Behalve zout-zoet gradiënten komen in het ondiepe grondwater van de Waddeneilanden ook kalkrijk - kalkarm gradiënten voor.

Verantwoording

Dank is verschuldigd aan prof. dr. A.W.L. Veen voor zijn opmerkingen bij het concept van dit artikel.

Literatuur

- Bakker, T.W.M. (1984), Het Dwingelderveld. Deelrapport Geohydrologie. Staatsbosbeheer, Natuurmonumenten.
- Beukeboom, Th.J. (1976), The hydrology of the Frisian island, Rodopi, Amsterdam.
- Broers, H.P. (1987), Grondwaterstromingsstelsels in Zuid Friesland, Provincie Friesland, Limnologisch Instituut, Vrije Universiteit
- Colenbrander, H.J. (Ed.) (1986), Water in the Netherlands. TNO Committee on Hydrological Research, The Hague.

- Engelen, G.B. (1984), Hydrological systems analysis. A regional case study. Dienst grondwaterverkenning TNO, Delft
- Engelen, G.B., J.M.J.Gieske, S.O.Los (1989), Grondwaterstromingsstelsels in Nederland. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij /s-Gravenhage.
- Grootjans, A.P. (1985a), Changes in groundwater regime in wet meadows. Diss. Rijksuniversiteit Groningen
- Grootjans, A.P. (1985b), De invloed van ingrepen in de waterhuishouding op de verspreiding van moeras- en hooilandplanten. Laboratorium voor plantenoecologie, RUG, Haren.
- Langeweg, F. (eindred.) (1989), Zorgen voor morgen. Rijksinstituut voor volksgezondheid en milieuhygiene, Bilthoven
- Provinciaal bestuur van Friesland (1986), Grondwaterplan Friesland.
- Provincie Groningen (1987), Grondwaterplan provincie Groningen.
- Provincie Overijssel (1986), Grondwaterplan provincie Overijssel.
- TAUW Infra Consult B.V. (1986), Modelonderzoek toename kwel door bodemdaling. Deventer
- Technische Werkgroep Grondwaterplan (1985), Grondwaterplan Drenthe. Assen.
- Vries, J.J. de (1974), Groundwater flow systems and stream nets in the Netherlands. Diss. Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Werkgroep Regionaal Geohydrologisch Onderzoek in de Provincie Drenthe (1978), Regionaal geohydrologisch onderzoek in de provincie Drenthe. R.I.D., Voorburg.
- Wit, G.J. de (1987), Grondwaterkaart van Nederland. Waddeneilanden. Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Wit, N.H.S.M. de, W. Bleuten (1988), Ruimtelijke effecten van bemesting via ondiep grondwater in het Noordelijk Zandgebied en de Veenkolonien



KLEI

B. Van Heuveln

Een naam, afgeleid van een grondvorm klaija, hetgeen kleverig vocht betekent. Als we ons het blauwzwarte, weke stinkende slijk van het wad voor ogen halen, is de naam een goede karakteristiek voor het ongerijpt, vers aangevoerde zwavelhoudende bezinksel uit vele overspoelingen met de vloedstroom. Door het slijm van ontelbare kokkels en het aangepaste vastleggende vermogen van diatomeeën, blijft bij elke eb meer slijm achter dan met de ebstroom wordt afgevoerd. De klei heeft dan al een lange weg afgelegd, van Scandinavië naar het Duitse middelgebergte en terug met de Rijn naar de zee. Van steen tot mica.