
Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland

Deel 3: De afwatering van veengebieden

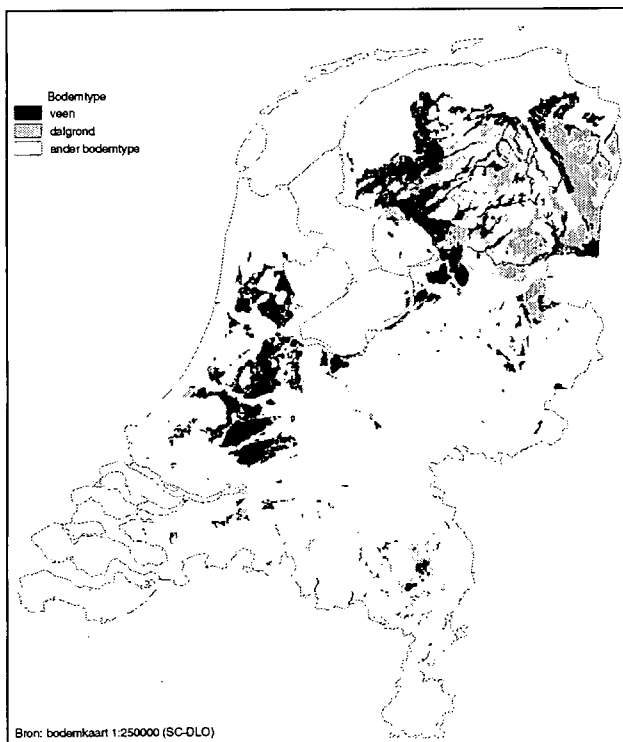
C.R. Meinardi
C.G.J. Schotten

Gebieden met veenbodems zijn ontstaan in een overgangszone tussen de zandgronden en de relatief hoog gelegen kuststreken. Het gevormde veen is gewonnen en de overblijvende plas- sen zijn later drooggemalen. Niet ontgonnen veengebieden liggen nu als hoge zones tussen diepe droogmakerijen. Veen ontstond ook in zandgebieden als de bodem slecht doorlatend was en de afvoer via het oppervlaktewater onvoldoende. De hoogveengebieden zijn afgegra- ven zodat de zandige bodem weer voor de dag kwam. Uit bepalingen aan de natuurlijke iso- topen (^2H , ^3H en ^{18}O) in het grondwater van huidige veengebieden blijkt dat de evapotranspi- ratie groot is en deels bestaat uit open water verdamping zodat de aanvulling van het grondwater relatief klein is. De aanvulling in veenkoloniale gebieden is vergelijkbaar met die van volledig zandige bodems. De concentraties aan isotopen in Laag-Nederland met een venige bodem geven aan dat het grondwater in de zandige aquifers eronder wordt aangevuld door lokaal water als in de verticaal verschillen in stijghoogte zijn ontstaan. In veel gevallen heeft deze aanvulling een relatief constante waarde van ca. 50 mm/jaar door een geringe variatie in de hydrologische randvoorwaarden. De rest van het neerslagoverschot wordt vooral in de wintermaanden oppervlakkig afgevoerd. Uitwerking van de beschikbare gege- vens met GIS leverde kaarten op van de grondwateraanvulling en de oppervlakkige afvoer in Nederland. Beschouwingen over de ontwatering van zand- en kleigebieden zijn opgenomen in begeleidende publicaties.

1 Vroegere en huidige veengebieden in Nederland

De stijging van de zeespiegel in het Holoceen heeft tot gevolg gehad dat recente afzettingen op een hoger niveau liggen dan eerder gevormde, meer landinwaarts gelegen bodems. De jonge kwelders in Groningen en Friesland liggen soms tot twee meter boven NAP en de duinen langs de westkust zijn nog hoger. Tussen de zandgronden en de kust ontstond een zone met gunstige omstandigheden voor veengroei. De afwatering verliep moeizaam door de lage ligging van het land en de afvoer van water door de bodem werd gehinderd door slecht doorlatende toplagen. In moerassen en broekbossen met een bodem van riet- en houtveen groeide veenmos (Sphagnum). De oevers van kreken en veenstromen in het gebied stonden

Kees Meinardi en **Kees Schotten** zijn werkzaam bij het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu te Bilthoven.



Figuur 1: Veenbodems in Nederland

onder de invloed van relatief eutroof water en daar bleven riet- en houtveen deel uit maken van het veenpakket. In de tussenliggende gebieden heersten oligotrofe omstandigheden zodat dikke pakketten veenmosveen konden ontstaan. De veengroei begon op veel plaatsen circa 5000 jaar geleden, in het Atlanticum. Vooral in Noord- en Zuid-Holland die van de zee gescheiden waren door duinen kon de vorming van veen ongestoord doorgaan. De veenlagen werden in die gebieden 4 tot 6 meter dik (iets meer dan de huidige diepte onder NAP van vele droogmakerijen). In Zeeland zijn grote gebieden met veenbodems verdwenen door inbraken van de zee. Ook in Noord-Nederland had de zee meer invloed. De ontwatering was beter en de veengroei bleef niet ongestoord, zodat de veenlagen daar dunner en meer gemengd van aard zijn. De kraggen en trilvenen die in open water zijn ontstaan (Van Wirdum, 1991) hebben bijzondere veenbodems. Voor beschouwingen over het neerslagoverschot en de aanvulling van het grondwater zijn ze minder relevant.

In de hoge gebieden van Nederland vond eveneens veengroei plaats in streken waar de afvoer van water hinder ondervond doordat de oppervlakkige afwatering moeizaam verliep en als de bodem niet in staat was om de vereiste hoeveelheid neerslag af te voeren. Een voorbeeld is Drenthe, waar de natuurlijke afwatering problemen ondervond doordat het centrale gebied afgesloten was door hogere randen (zoals de Hondsrug). De ondiepe bodem is bovendien op veel plaatsen slecht doorlatend door de aanwezigheid van keileem, glaciële kleien of lemige beekafzettingen. In Drenthe is (hoog)veen gevormd dat ongeveer 4 tot 5 m dik was en dat grotendeels bestond uit Sphagnum-veen. Uitgestrekte venen zijn gevormd langs de randen van Drenthe (Veenkoloniën), waar bovendien nog een extra hoeveelheid

kwelwater moest worden afgevoerd. Een tweede gebied waar op grote schaal veengroei plaats vond was de Peel op de grens van Brabant en Limburg. De bodem is daar zandig tot relatief geringe diepte, doordat de pleistocene afzettingen van de grote rivieren dun zijn, zodat het doorlaatvermogen voor water gering is. De waterlopen konden ook het overvloedige water niet afvoeren. De hele Peel was drassig in de winter maar vooral nabij de waterscheiding lagen moerassen waar veenpakketten ontstonden die dik genoeg waren om commercieel te ontginnen. Op meer plaatsen in het zandgebied waar de afvoer van water moeilijkheden ondervond of de toevoer extra groot was (kwel) werden veenlagen gevormd die geschikt waren om te worden afgegraven. Voorbeelden zijn het Vriezenveen in Overijssel en de omgeving van Veenendaal. Daarbuiten zijn nog talrijke kleinere voorkomens van veen ontstaan, zoals het klotterveen in de beekdalen van Noord-Brabant.

Veel vroegere veengronden zijn niet meer aanwezig, zoals in streken die als woldgebieden worden aangeduid in Groningen, als De Wouden in Friesland en als dorpsgebieden met het achtervoegsel woud in de provincies Noord- en Zuid-Holland. Veel land in die gebieden bezat een dun veendek (Roeleveld, 1974) dat niet is afgegraven, maar dat na de ontginning is verdwenen. De landbouw op veengronden is begonnen in de Middeleeuwen nadat omwonende boeren hadden ontdekt dat die bodems geschikt waren voor graanteelt als ze werden ontwaterd. Een bestaand patroon van kreken en geulen diende als basis voor de afwatering. In de kuststreken waar de bewoners eerder vooral op veeteelt waren aangewezen gaf deze mogelijkheid een extra bron van bestaan. De welvaart was echter tijdelijk doordat de daling van het maaiveld door afbraak van het veen opnieuw voor wateroverlast zorgde die niet met eenvoudige middelen was te verhelpen. Het gebruik van windmolens was een oplossing, maar nog veel ingrijpender was de winning van turf op grote schaal door graven en door uitbaggeren. Dat gebeurde ook in Holland waar de veenlagen veel dikker waren. Daar ontstonden grote waterplassen die later werden drooggemaakt om opnieuw voor landbouw te worden ingericht. De vroegere veenstromen en hun oevers liggen nu als hogere richels tussen de droogmakerijen.

Door grootschalige ontginning is het vroeger grote areaal aan hoogveen thans vrijwel verdwenen (Neijenhuis, 1973). Het hoogveen is laat afgegraven doordat een ingewikkelde infrastructuur nodig was. Toch was deze vorm van turfwinning in de zeventiende eeuw al in volle bloei. Het afgraven van veen is tot in de twintigste eeuw doorgegaan, zodat dikke pakketten met veenmos bijna volledig zijn verdwenen. Een rest is als organisch materiaal opgenomen in de zandige toplaag van de bodem (veenkoloniale dalgronden). De voor de dag gekomen zandige bodems worden ontwaterd door rechte waterlopen. De overgebleven veengebieden hebben bodems met rietveen, met bosveen of dunne lagen mosveen die niet aantrekkelijk waren voor turfwinning en die in stand zijn gebleven. Nu behoren ze tot de meest waardevolle natuurgebieden van Nederland (Fochteloër Veën, Nieuwkoopse Plassen).

De hydrologie van veengronden

Veen kan dus alleen ontstaan in een gebied waarvan de afwatering slecht is. Natuurlijke veengebieden worden gekenmerkt door het vrijwel ontbreken van waterlopen. Het open water verzamelt zich in plassen en poelen zonder zichtbare afwatering. In perioden van hevige regenval kunnen overstromingen optreden. Het wateroverschot uit veengebieden heeft vroeger in natte tijden de omringende gronden bedreigd. Om het in cultuur gebrachte land te beschermen zijn soms veendijken aangelegd. De slechte doorlatendheid van de

bodem moet bovendien de indringing van het neerslagoverschot tegengaan. De vorming van rietveen vindt plaats in een moerassige situatie en ook voor het ontstaan van broekbossen zijn drassige omstandigheden nodig. De aanvulling van het grondwater zal vrijwel nul zijn. De groei van veenmos vereist eveneens een natte bodem. Aannemelijk is gemaakt (De Bakker, 1982) dat zich geen veedek zal ontwikkelen indien de gemiddelde basisafvoer door het grondwater groter is dan ca. 75 mm/jaar. De verdamping in veengebieden zal ongeveer gelijk zijn aan die van open water.

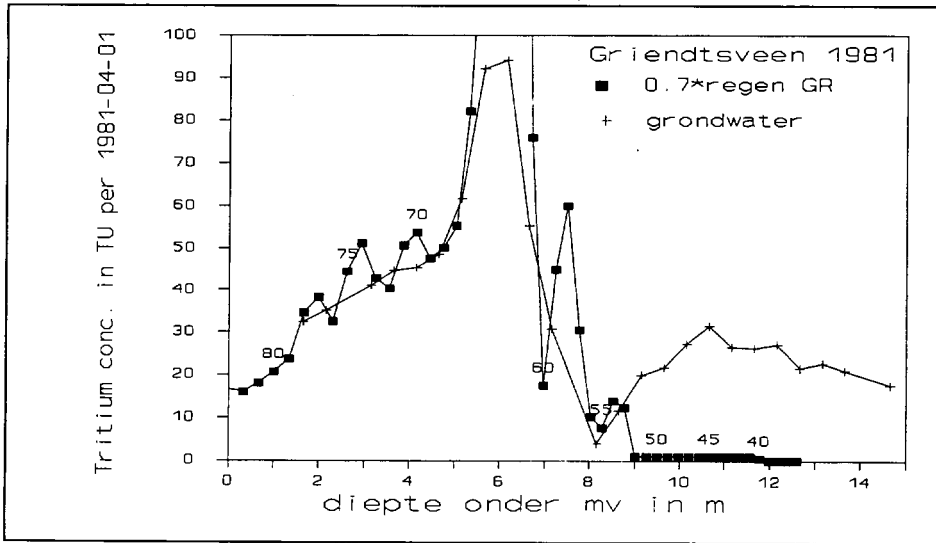
In het verleden is relatief weinig hydrologisch onderzoek in veengebieden gedaan, deels ook vanwege de slechte begaanbaarheid van de terreinen. Gebieden met een venige bodem krijgen thans meer aandacht bij het milieukundig onderzoek. Lokaal onderzoek heeft plaats gevonden in het Griendtsveen in de Peel en nabij Alphen aan de Rijn in een veenpolder. Ook is onderzoek uitgevoerd op een boerderij te Veendam, waar het hoogveen sinds lang is afgegraven. Een belangrijk onderdeel was de bepaling van de natuurlijke isotopen ^2H (deuterium), ^3H (tritium) en ^{18}O (zuurstof-18). De concentraties zijn bepaald in waarnemingsputten met veel kleine filters zodat profielen naar de diepte beschikbaar kwamen. Met de ^3H -profielen is het mogelijk de verticale snelheid van het ondiepe grondwater te bepalen. De concentraties van de stabiele isotopen ^2H en ^{18}O worden niet merkbaar beïnvloed door de transpiratie van planten (IAEA, 1981), maar wel door verdamping van open water. Concentraties in de infiltrerende neerslag worden in gebieden zonder open waterverdamming bijna ongewijzigd in het grondwater aangetroffen. De aanwezige seizoensvariatie (Mook, 1969) kan worden gebruikt om het ontbreken van winter- of zomerneerslag in het grondwater te bepalen. De gemiddelde waarde van ^{18}O is $-7,8\text{‰}$ (SMOW), met een variatie van $-6,5\text{‰}$ in de zomer tot -9‰ (SMOW) in de winter. De waarden leveren soms ook aanwijzingen op over een mogelijke open water verdamping door ze te vergelijken met de Meteoric Water Line (MWL) voor neerslag:

$$(^2\text{H}) = 8 \times (^{18}\text{O}) + 10$$

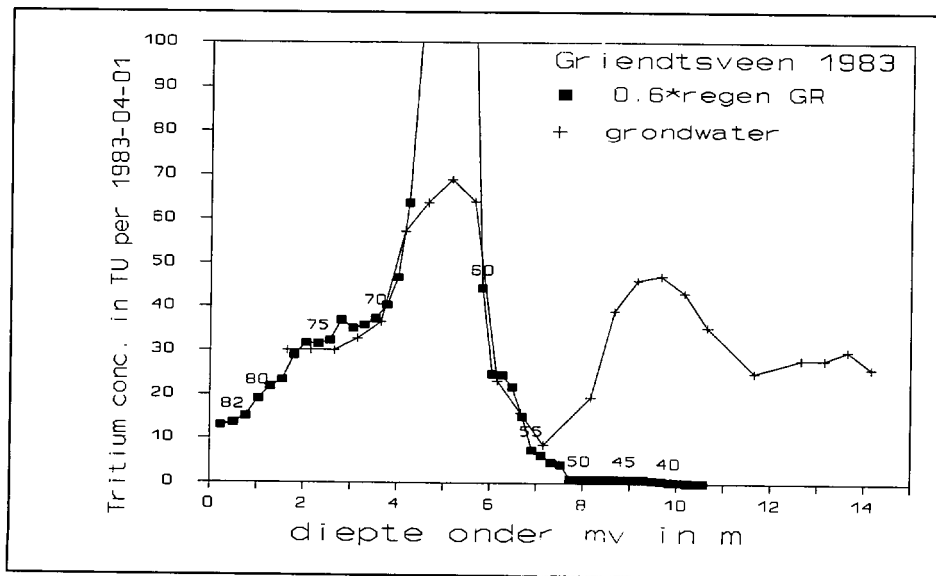
met (^2H) en (^{18}O) als waarden van de concentraties, in ‰ t.o.v. SMOW.

A *Het onderzoek te Griendtsveen*

Het Griendtsveen is nu een natuurgebied. De onderzochte locatie ligt in het land waarvan het veen is afgegraven naast een landbouwgebied dat eerder ontgonnen is. In het gebied wordt veengroei gestimuleerd door drassige condities te handhaven. Tweehonderd meter verder naar het oosten ligt het oorspronkelijke veen waarvan de afgraving wel is begonnen maar niet is afgemaakt, zodat een veengebied met grote plassen water overbleef. Het niveau van water en land ligt daar 2 tot 3 m hoger. In monsters uit een put zijn twee maal de ^3H -concentraties gemeten (Meinardi, 1994) in het grondwater (figuren 2 en 3). De interpretatie is gedaan volgens de methode aangegeven in (Meinardi e.a., 1998a).



Figuur 2: Tritium-gehalten 1981



Figuur 3: Tritium-gehalten 1983

diepte m	mini- filter	0-18 SMOW	H-2 SMOW
m. v.	1	-8.08	-54.1
	2	-7.96	
	3	-8.15	
	4	-7.89	
	5	-7.98	
	6	-7.35	
	7	-7.54	
5 m	8	-7.50	
	9	-7.16	
	10	-6.64	
	11	-6.56	-45.9
	12	-6.64	
	13		
	14	-6.76	
	15	-6.31	-45.1
	16	-6.23	
	17	-6.18	-43.0
10 m	18	-5.84	
	19	-5.71	-38.6
	20	-5.13	
	21		
	22		
	23	-5.51	-40.3
	24	-5.78	
	25	-5.48	-40.3
	26	-5.49	
15 m	27	-5.58	-39.6
	28		

Figuur 4: ^{18}O - en ^2H -data 1983 Griendtsveen

diepte m	grond- soort	mini- filter	H-3 TU	0-18 SMOW	H-2 SMOW
m. v.	veen	1	28.1	-6.60	-42.8
		2	30.1		
		3	28.7	-6.66	
5 m	klei				
10 m	leem	4	5.4	-5.65	
		5	4.7	-5.02	
		6	7.0	-5.85	
		7	<2	-5.13	
		8		-6.29	
		9		-6.03	
		10		-6.05	
		11		-5.02	
		12		-5.43	
		13		-6.10	
15 m	zand	14		-5.14	-43.7
		15		-5.23	
		16	<1.4	-5.16	-44.3
		17		-6.13	
		18		-5.28	-43.8
20 m	zand	19		-6.05	
		20		-5.88	-43.7
		21	<1.4	-5.11	-43.7
		22		5.02	
25 m	zand	23		-6.21	-44.2
		24		-6.12	
		25		R. P.	-43.8
		26		-6.23	
30 m	zand	27			
		28			
		29			
		30	<1.4		
	klei	31			

Figuur 5: ^2H , ^3H - en ^{18}O -data Alphen ad Rijn

De metingen leverden op voor $D = 30$ (dikte aquifer) en $p = 0,35$ (porositeit):

1981: $f = 0,70$ (grondwater in vergelijking tot regen te Groningen); $I_a/p = 0,33$ m/jaar (verticale stroming); $I_a = 0,115$ m/jaar (langjaarlijkse grondwateraanvulling);

1983: $f = 0,60$ (grondwater in vergelijking tot regen te Groningen); $I_a/p = 0,27$ m/jaar (verticale stroming); $I_a = 0,095$ m/jaar (langjaarlijkse grondwateraanvulling);

De regionale factor f is lager dan werd verwacht. Een vergelijking van lokale neerslag en die te Groningen leidt tot een factor $f = 1,20$. De monsters water zijn wat ^3H betreft dus lichter dan regenwater. Een mogelijke verklaring is dat de relatief 'zware' neerslag in de zomer nauwelijks bijdraagt aan de aanvulling van het grondwater in het natuurgebied. De neerslag in de zomer wordt grotendeels verwijderd door de evapotranspiratie van phreato-phyten, die zeer ondiep wortelen. Een effect van open water verdamping is minder waarschijnlijk aangezien die juist tot hogere concentraties in het grondwater zou leiden en hetzelfde geldt voor de oppervlakkige afvoer in de winter. De gemiddelde neerslag te Griendtsveen is 740 mm/jaar. Doordat bijna geen water oppervlakkig wordt afgevoerd zal de gemiddelde werkelijke verdamping ongeveer $E_a = 640$ mm/jaar zijn. De waarde is weinig lager dan de berekende gemiddelde open water verdamping die $1,25 \times E_r = 690$ mm/jaar is. Bij een doorgaande veengroei zal de doorlatendheid van de toplaag steeds minder worden, zodat de infiltratie kleiner wordt. Het is verleidelijk om dit verschijnsel in verband te brengen met het verschil in de metingen van 1981 en 1983 die inderdaad op een kleinere infiltratie in 1983 wijzen. Onder een diepte van 7 m zijn ^3H -concentraties waargenomen die afwijken van de interpretatie voor de hogere lagen. Vermoedelijk bestaat het grondwater onder de genoemde diepte uit water dat in het niet afgegraven hoogveen is ontstaan, dat door het peilverschil naar beneden is geïnfilteerd en daarna onder invloed van een regionale stroming vrijwel horizontaal naar het westen is gestroomd.

Deze interpretatie wordt ondersteund door de concentraties van de isotopen ^{18}O en ^2H die in 1983 zijn gemeten (figuur 4). Tot een diepte van ca. 3 m onder maaiveld zijn de ^{18}O -waarden lager dan overeen komt met de lokale regen ($-7,8\%$ t.o.v. SMOW). Dit duidt op een overheersing van de neerslag in de winter ('zware' zomerneerslag wordt verwijderd). Ook interessant zijn de waarden onder de diepte van m.v. -7 m, die relatief juist 'zwaarder' zijn dan de neerslag. Vergelijking met de Meteoric Water Line (MWL) wijst erop dat dit tenminste voor een deel een gevolg is van de verdamping van open water. De gemeten waarden liggen alle onder de MWL-lijn. Het diepere water is afkomstig uit het slechts deels afgegraven veen waar veel open water aanwezig is en waar nog steeds veenmos groeit.

Conclusie: In hoogveengebieden is de aanvulling van het grondwater gering door het optreden van een hoge evapotranspiratie en door open water verdamping.

B De locatie bij Alphen aan den Rijn

De locatie te Alphen aan de Rijn ligt in een veenweide-polder (maaiveld op ca. NAP -2 m) op 2 km ten zuiden van de Oude Rijn. De waarnemingsput staat in een dijk die tussen de betrekkelijk smalle percelen grasland van de polder ligt. De toplaag van de bodem (figuur 5) bestaat uit een veenlaag waarin houtresten en resten van biezen zijn gevonden. Op een diepte van 3 m onder maaiveld ligt de top van een kleilaag die samen met de leemlaag eronder ongeveer 7 m dik is. Daaronder zijn Pleistocene zandlagen aanwezig. Het verschil in de stijghoogten tussen het freatische en het diepe grondwater bedraagt ongeveer 2 m en

de infiltratie naar de diepe aquifer is circa 0,09 m/jaar (ICW, 1976). In de onderzochte put zijn minifilters (figuur 5) geplaatst waaruit monsters zijn genomen voor de bepaling van de gehalten aan natuurlijke isotopen. De ^3H -concentraties voor 1983 tonen aan dat het grondwater in de veenlaag uit recente neerslag bestaat die enkele jaren daarvoor is geïnfiltriseerd. Het veen is blijkbaar doorlatend. Onder de klei zijn concentraties gemeten die aangeven dat het water in de jaren 1950 is geïnfiltriseerd. Uit de waarden volgt dat door de klei- en veenlaag een percolatie van water plaats vindt met een snelheid van $I_a/p = 0,3$ m/jaar. Voor $p = 0,35$ (schatting) leidt deze waarde tot een infiltratie van ca. $I_a = 0,1$ m/jaar.

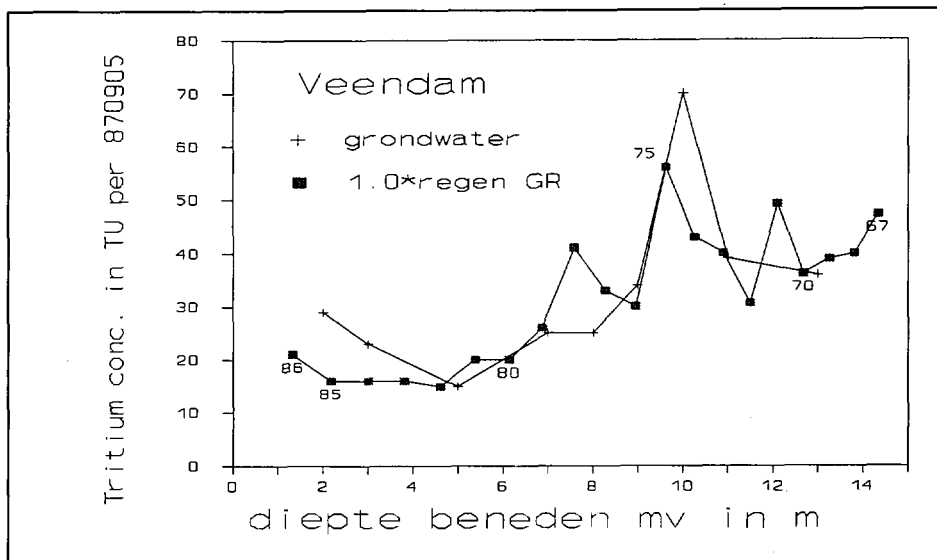
In Alphen is de meest uitvoerige serie metingen van concentraties aan de isotopen ^{18}O en ^2H in het grondwater (figuur 5) gedaan in 1983. De ^{18}O -concentratie in het veen is hoger dan die van de gemiddelde neerslag. De verhouding (^2H)/(^{18}O) voor het bovenste minifilter ligt echter op de Meteoric Water Line, zodat vermoedelijk geen open water verdamping is opgetreden. Gezien de vorm van de smalle dijk waarin de put is geplaatst is oppervlakkige afvoer (vooral in de wintermaanden) aannemelijk. De concentraties in het diepe water zijn nog hoger. Het is waarschijnlijk dat een deel van het overschot aan (winter)neerslag via oppervlakkige afstroming tot afvoer komt. De $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ -verhoudingen liggen echter onder de MWL. Klaarblijkelijk is (een deel van) het diepere water eveneens onderhevig geweest aan open water verdamping. Dit moet dus water zijn uit het dichte net van sloten en misschien van plassen op het land. Gezien de gemeten waarden is het waarschijnlijk dat de situatie tijdens de infiltratie vergelijkbaar was met de huidige. Het grondwater zal niet ouder zijn dan de droogmakerijen rond Hazerswoude, die de verschillen in stijghoogte hebben veroorzaakt, dus niet ouder dan ongeveer 250 jaar. De hoeveelheden van de oppervlakkige afvoer en de open water verdamping zijn niet nader te bepalen.

Conclusie: In de veenweidegebieden van West-Nederland wordt het grondwater in de onderliggende zandlagen op veel plaatsen gevoed door infiltratie van boven die een gevolg is van door bemaling ontstane verschillen in stijghoogte.

C Onderzoek in voormalige veengebieden

Het grondwater in Zuidwest-Drenthe is regionaal onderzocht op de samenstelling aan natuurlijke isotopen (^2H ; ^3H ; ^{13}C ; ^{14}C ; ^{18}O) door Oude Munnik (1986). Het diepe grondwater heeft een ouderdom van honderden, of zelfs duizenden jaren volgens de ^{14}C -concentraties. Het is geïnfiltriseerd vanuit de toenmalige venige moerasgebieden in centraal Drenthe. Dit diepe grondwater bleek volgens de waarden en de verhouding tussen de concentraties aan ^2H en ^{18}O steeds de kenmerken van open water verdamping te hebben. Het grondwater onder de afdekkende kleilaag in een diepe droogmakerij te Zuid-Holland (polder Zevenhoven), met een vermoedelijke ouderdom van duizenden jaren, bleek concentraties aan ^2H en ^{18}O te bevatten (Meinardi, 1983) die ook duiden op het effect van open water verdamping, vermoedelijk tijdens de infiltratie in een veengebied.

Op een boerderij te Borgercompagnie in de Veenkolonien van Groningen is de infiltratie van het neerslagoverschot onderzocht met ^3H -waarnemingen (Meinardi, 1994). De metingen in 1986 leverden op voor $D = 35$ m (dikte aquifer) en $p = 0,35$ (porositeit): $f = 1,0$; $I_a/p = 0,90$ m/jaar; $I_a = 0,315$ m/jaar (werkelijke grondwateraanvulling).



Figuur 6: ³H-data Veendam

Het landgebruik is gras en een berekening van het gemiddelde neerslagoverschot op basis van meteorologische gegevens levert op dat $P - Er = 800 - 540 = 260$ mm/jaar. De KNMI referentie-gewasverdamping is dus 55 mm/jaar groter dan de werkelijke verdamping die uit de ³H-metingen volgt. Dit komt goed overeen met een reductie van de verdamping van 75 mm/jaar volgens de HELP-tabellen (1987).

Conclusie: De aanvulling van het grondwater in gebieden waar hoogveen is afgegraven is vergelijkbaar is met de aanvulling in gebieden met een zandige bodem.

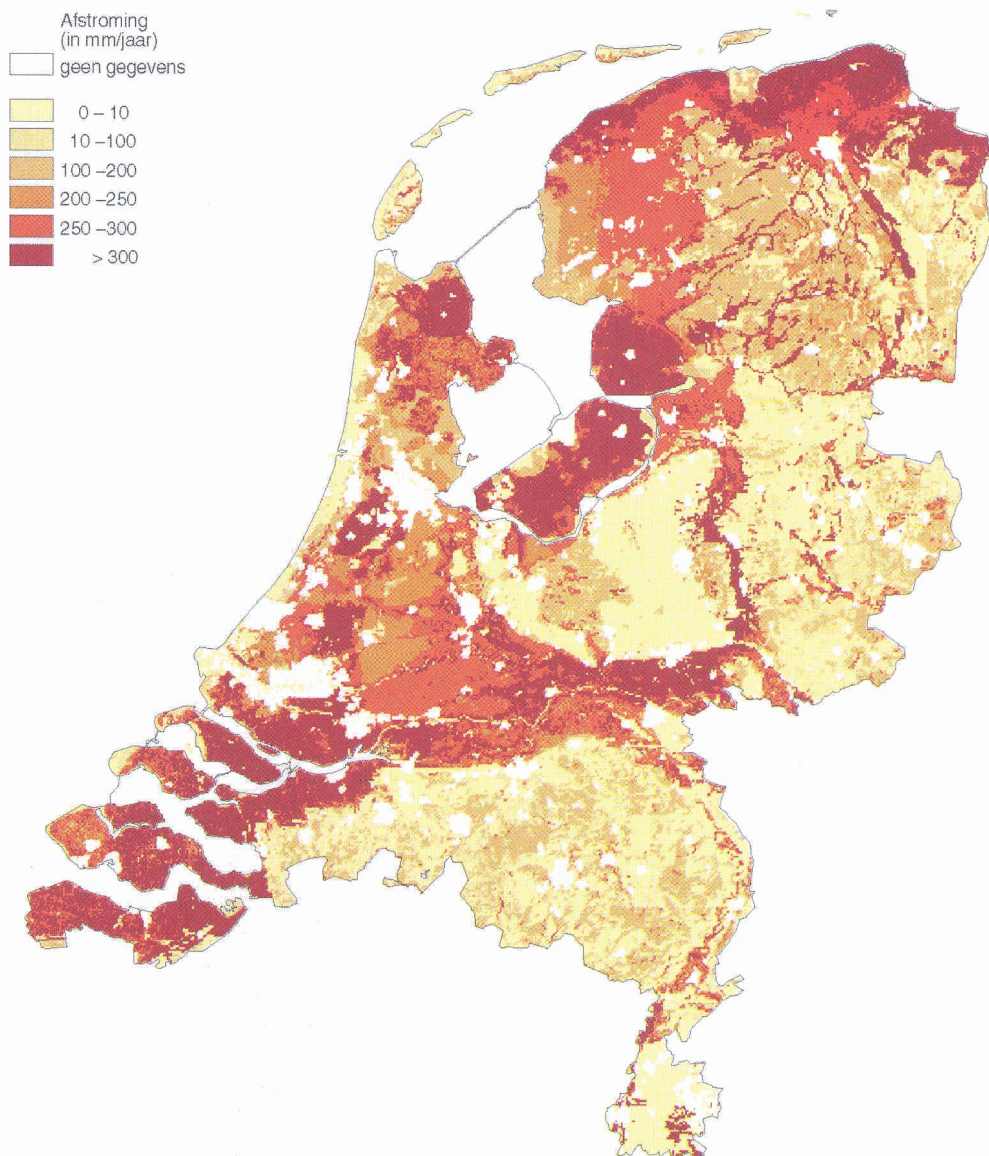
De huidige aanvulling van het grondwater in veengebieden

De grote arealen hoogveen in en aan de rand van de zandgebieden zijn nu vrijwel geheel afgegraven. Wat overbleef zijn uitgestrekte veenkoloniale gebieden met een overwegend zandige bodem (dalgronden). De toplaag bevat meestal veel organisch materiaal en soms een dunne veenlaag. Landbouw is de voornaamste vorm van landgebruik. De bepaling van het neerslagoverschot en van de grondwateraanvulling kan op dezelfde wijze gebeuren als bij de overige zandgebieden. Enkele kleinere gebieden met nog steeds een venige bodem zijn thans een natuurgebied (Fochteloër Veem, Zwartemeer, Griendtsveen). Hun areaal is relatief klein. Aangehouden is dat de verdamping in veengebieden gelijk is aan de open

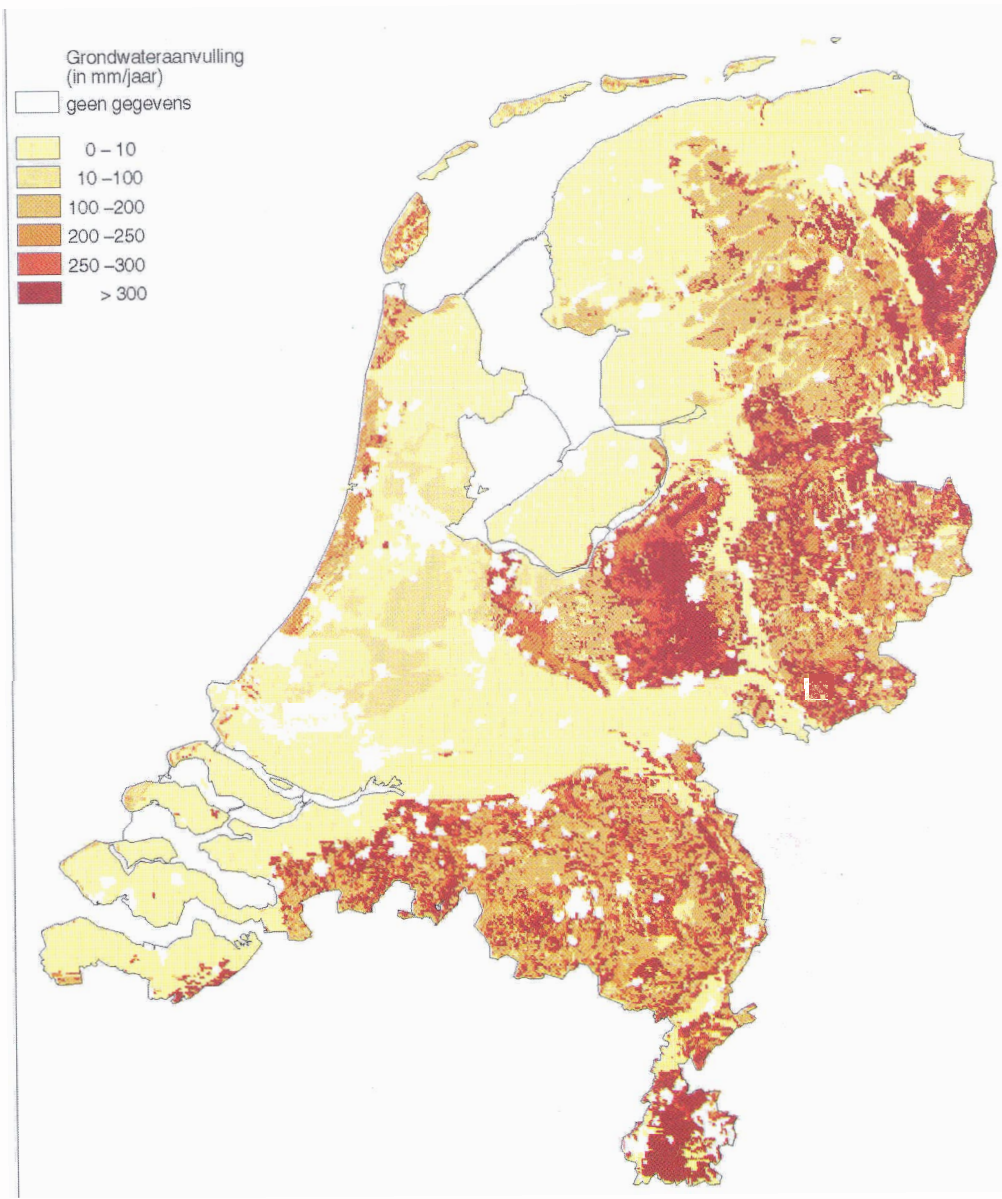
water verdamping ($1,25 \times E_r$). Het neerslagoverschot wordt vrijwel geheel oppervlakkig afgevoerd. Soms zal een klein deel van de neerslag in de bodem infiltreren.

De nog aanwezige veengebieden in het lage deel van Nederland kunnen worden ingedeeld in de noordelijke veengebieden (Groningen, Friesland en Overijssel) en in het Hollands-Utrechtse veengebied. Het landgebruik in deze gebieden is overwegend grasland en soms natuurgebied. De veengebieden in het noorden liggen vaak relatief laag ten opzichte van de omgeving. Afvoer van het neerslagoverschot via het grondwater is niet goed mogelijk. Ze zullen eerder een bepaalde hoeveelheid kwelwater ontvangen uit de hogere gebieden ernaast. De aanvulling van het grondwater vanuit de lokale neerslag zal bij benadering nul zijn in de noordelijke veengebieden. Het overschot aan neerslag zal oppervlakkig worden afgevoerd. In veengebieden zijn inderdaad nog veel en goed onderhouden greppels en ook soms drainbuizen aanwezig in de percelen. De grootte van het neerslagoverschot is gelijk aan neerslag min de werkelijke verdamping van gras. In droge jaren is het mogelijk dat tekorten aan vocht in de bodem zullen leiden tot een reductie van de verdamping (HELP-tabel, 1987). De verdamping kan toenemen als gevolg van de verdamping van open water uit het vaak dichte slotenstelsel. In eerste benadering is de gemiddelde werkelijke gewasverdamping gelijk gesteld aan de referentie-gewasverdamping E_r van het KNMI. In natuurgebieden zal de werkelijke verdamping E_a eerder gelijk zijn aan de open water verdamping, zodat bij benadering geldt: $E_a = 1,25 \times E_r$.

De Hollands-Utrechtse veengebieden liggen juist relatief hoog ten opzichte van de diepe droogmakerijen die in de naaste omgeving aanwezig zijn. De Ablasserwaard vormt een uitzondering. Het land ligt daar lager dan het peil in de omringende rivieren en het gemiddelde overschot aan neerslag zal vrijwel geheel oppervlakkig worden afgevoerd. Voor de overige delen van het westelijk veengebied geldt een situatie die vergelijkbaar is met de toestand zoals hiervoor besproken voor de polder te Alphen aan den Rijn. Mogelijke reducties in de verdamping als gevolg van vochttekorten zullen opwegen tegen een extra open water verdamping vanuit sloten. Het gemiddelde neerslagoverschot zal in het gehele westelijk veengebied bij benadering gelijk zijn aan de neerslag min de referentie-gewasverdamping volgens het KNMI. De aanvulling van het grondwater mag niet worden verwaarloosd. Door bemaling van droogmakerijen zijn verschillen in stijghoogte ontstaan tussen het freatische en het diepere grondwater met als gevolg dat in de naastliggende veengebieden infiltratie optreedt van ongeveer 50 mm/jaar. Dit geldt voor veel veenpolders in Noord-Holland (ICW, 1982) en in centraal Zuid-Holland (ICW, 1976). Dat er geen grote variatie in de waarden optreedt komt doordat er een zekere regelmaat zit in de peilen van het open water, die een belangrijke factor zijn voor het optreden van infiltratie. Het polderpeil in de diepe droogmakerijen is meestal ongeveer NAP -5 m, in veenpolders handhaaft men peilen van rond NAP -2 m en het peil van het boezemwater ligt vaak op ongeveer NAP. Het is daarom een redelijke aanname om voor de gemiddelde infiltratie in de veenpolders van West-Nederland een waarde van 50 mm/jaar aan te houden. Op lokaal niveau zijn er uitzonderingen op deze regel.



Figuur 7: Gemiddelde waarden van de oppervlakkige afvoer in Nederland in 1961–1990



Figuur 8: De aanvulling van het grondwater in Nederland, gemiddeld over 1961-1990

Oppervlakkige afvoer en grondwateraanvulling in geheel Nederland

Waarden voor het neerslagoverschot in Nederland zijn gegeven in figuur 10 in (Meinardi e.a., 1998a). Op basis van de veronderstellingen over de afvoer van het neerslagoverschot in de zand- en leemgebieden, de kleigebieden (Meinardi e.a., 1998b) en de veengebieden (het voorgaande) kunnen langjaarlijkse gemiddelden worden bepaald van de oppervlakkige afvoer (figuur 7) en de grondwateraanvulling (figuur 8) in Nederland. Voor de bepalingen is gebruik gemaakt van een Geografisch Informatie Systeem, waarin gegevens over bodem en grondwater en landbedekking aanwezig zijn en waarmee berekeningen kunnen worden uitgevoerd. Het uitgangspunt voor de zand- en leemgebieden is dat het neerslagoverschot gelijk is aan de grondwateraanvulling, tenzij de situatie nabij maaiveld aanleiding geeft tot het optreden van oppervlakkige afvoer. Voor de klei- en veengebieden is het juist andersom. Het gehele neerslagoverschot zal oppervlakkig worden afgevoerd behalve als de situatie nabij maaiveld tot een aanvulling van het grondwater leidt. Kort samengevat:

- a In zandgebieden en in veenkoloniale gebieden is de aanvulling van het grondwater gelijk aan het neerslagoverschot min de oppervlakkige afstroming: $I = P - E_a - R$; De hoeveelheid van de oppervlakkige afvoer is een functie van grondwatertrap en ondiepe kleilagen in de bodem;
- b In de klei- en veengebieden is de aanvulling van het grondwater $I = 0$, behalve als een dunne afdekkende laag op zand ligt. Als de dikte van de deklaag kleiner is dan 1 m, is als eerste benadering aangehouden dat $I = 0,5 \times (P - E_a)$, elders is $I = 0$;
- c In veengebieden is de aanvulling van het grondwater $I = 0$, behalve in de provincies Utrecht, Noord-Holland en centraal Zuid-Holland, waar in eerste benadering een infiltratie naar de aquifers van $I = 50$ mm/jaar is aangehouden; het overige deel van het neerslagoverschot wordt oppervlakkig afgevoerd.

Literatuur

- Bakker, H. de (1982)** Soils and their geography; in: De Bakker and Van den Berg (red) Proceedings symposium on peat lands below sea level, ILRI publicatie 30, Wageningen.
- HELP-tabel (1987)** Invloed van de waterhuishouding op de landbouwkundige productie; Rapport Werkgroep HELP-Tabel, Mededelingen Landinrichtingsdienst nr 176.
- IAEA (1981)** Stable Isotope Hydrology: Deuterium and Oxygen-18 in the Water Cycle; IAEA technical report series 210, Wenen.
- ICW (1976)** Hydrologie en waterkwaliteit van Midden West-Nederland; Regionale Studies nr 9, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- ICW (1982)** Kwaliteit van grond- en oppervlaktewater in Noord-Holland benoorden het IJ, Regionale Studies nr 16, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, Wageningen.
- Meinardi, C.R. (1983)** Groundwater recharge in the Rhine Fluvial Plain; in: *Zeitschrift deutschen geologischen Gesellschaft*, nr 134, pag 581-611.
- Meinardi, C.R. (1994)** Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands; proefschrift Vrije Universiteit, Amsterdam, Rapport nr 715501004, RIVM, Bilthoven.

- Meinardi C.R., G.A.P.H. van den Eertwegh en C.G.J. Schotten (1998)** Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland: Deel 2: De ontwatering van de kleigronden; in: *Stromingen*, jrg 4, nr 4, pag 5–19.
- Meinardi, C.R., C.G.J. Schotten en J.J. de Vries (1998)** Grondwateraanvulling en oppervlakkige afstroming in Nederland: Langjaarlijkse gemiddelden voor de zand- en leemgebieden; in: *Stromingen*, jrg 4, nr 3, pag 27–41.
- Mook, W.G. (1979)** Isotopen-hydrologie, Syllabus VU Amsterdam.
- Neijenhuis, F. (1973)** Hoogveen in Nederland, een verdwijnend landschapstype?; in: *Natuur en Landschap*, pag 99–126.
- Oude Munnik, J. (1986)** Isotopenonderzoek Zuidwest-Drenthe; Afstudeerverslag VU.
- Roeleveld, W. (1974)** The Groningen coastal area, proefschrift Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Wirdum, G. van (1991)** Vegetation and hydrology of floating rich-fens, proefschrift Universiteit van Amsterdam.