

Geologie van Nederland, deel 3

Grondwater in Nederland

Onzichtbaar water waarop wij lopen

F.C. Dufour

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO - Delft

1998

Tekstadvies en tekstbewerking: Bureau Lorient, Leiden

Vormgeving: J.M. Rietstap, TNO, Delft

Druk: Van de Rhee, Rotterdam

Registratie:

© Dufour, F.C.

Grondwater in Nederland
Onzichtbaar water waarop wij lopen

ISBN: 90 - 6743 - 536 - 8

Trefwoorden:

Grondwater, hydrologie, hydrogeologie, regionale geologie, verdroging, milieu,
waterhuishouding, drinkwater.

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO - Delft.

1998

Niets uit deze tekst mag verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische weg of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de auteur.

Niets uit de gepresenteerde tekeningen mag verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt worden door middel van druk, fotokopie, microfilm, langs elektronische weg of op welke wijze dan ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de directie van Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.


Voorwoord

Er wordt in Nederland veel over water geschreven. Zoveel zelfs dat ‘Nederland, waterland’ een begrip is dat een ieder van ons kent. In dat begrip denken wij bijna altijd in de eerste plaats aan de zee, dijken, inpoldering, plassen, rivieren, dreigende overstromingen en de mogelijke vervuiling van deze wateren. Zo betreft dit begrip bijna altijd het water dat wij kunnen zien of zelfs voelen, het oppervlaktewater.

Grondwater, water ‘onder’ Nederland, wordt in de meeste publicaties echter slechts terloops genoemd. Deze ondergeschikte plaats in publicaties en in de publieke aandacht is echter in tegenspraak met het grote belang ervan. Immers het grondwater is de belangrijkste bron van drinkwater in ons land. Meerdere partijen zoals de drinkwatervoorziening, de industrie en de landbouw doen een intensief beroep op de beperkte hoeveelheid zoet grondwater. Recentelijk heeft ook de ernstige verdroging van de natte natuurgebieden ons duidelijk gemaakt dat het behoud van natuurwaarden afhankelijk is van voldoende grondwater van goede kwaliteit. Om deze beperkte voorraad ook voor de toekomstige generaties te behouden is een duurzaam beheer van het grondwater noodzakelijk. Inzicht in de processen die kwantiteit en kwaliteit van het grondwater beïnvloeden zijn voor dit duurzame beheer van groot belang. Het is de kennis en beheersing van deze processen die in de nabije toekomst prioriteit vragen. Zo zullen de consequenties van het steeds intensievere gebruik van bodem en ondergrond aandacht vragen in relatie tot de kwaliteit van het grondwater. Daarnaast is het van groot belang ons te realiseren dat door middel van het grondwater verspreiding van verontreinigde stoffen kan optreden. Dit maakt het noodzakelijk de effecten van grondwaterverontreiniging op bijvoorbeeld grondwateronttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening in kaart te brengen.

Al in 1948, bij de oprichting van het Archief van Grondwaterstanden door de Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO werd het belang van het landelijk gecoördineerd verzamelen en verwerken van grondwaterstandsgegevens ingezien. Hiermee werd de basis gelegd voor wetenschappelijk verantwoord grondwateronderzoek. Nu, bij het vijftigjarig bestaan van dit Archief, thans opgenomen in het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, blijkt dat dankzij dit Archief zowel theoretisch als praktisch georiënteerd geohydrologisch onderzoek vergemakkelijkt wordt.

Om complexe toekomstige aandachtspunten verantwoord voor te bereiden is het duidelijk dat naast kennis van het oppervlaktewater een algeheel inzicht in eigenschappen en voorkomen van het grondwater van cruciaal belang is. Met betrekking tot het grondwater beschikten wij tot op heden voornamelijk over nota’s gericht op het overheidsbeleid met betrekking tot water in het algemeen of over wetenschappelijke regionale studies. Ook over ingrijpende verschijnselen zoals de toenemende verdroging zijn talrijke publicaties verschenen. Een algeheel overzicht, in een relatief gemakkelijk toegankelijke stijl, was tot op heden niet beschikbaar. Met dit boek wordt deze lacune opgevuld. Met ‘Grondwater in Nederland’ wordt beoogd alle aspecten en voorkomende relaties met betrekking tot het grondwater in ons land zo zorgvuldig en zo volledig mogelijk te presenteren en te verklaren.



Prof. drs. R.F.M. Lubbers
Voorzitter Raad van Toezicht TNO

Dankwoord

Dit boek kwam tot stand dankzij aanmoediging, adviezen en hulp die ik van velen kreeg.

Dank ben ik verschuldigd aan degenen die in de eerste maanden bij het zoeken naar de juiste vorm naar mij geluisterd hebben en mijn ideeën op het juiste spoor gezet hebben.

W. Cramer, Ministerie van VROM, T.N. Olsthoorn, Gemeentewaterleidingen Amsterdam, H.L.M. Rolf, NV PWN Waterleidingbedrijf Noord-Holland, H.H.A. Teeuwen, Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland en J.J. de Vries, Vrije Universiteit Amsterdam.

Erkentelijk ben ik degenen die informatie voor mij geselecteerd hebben en mij deze hebben toegestuurd.

G.E. Achttienribbe, VEWIN, J.H.P. Baltissen, VEWIN, B.J. Bommelé, VEWIN, F.A.M. Claessen, RIZA, E. Dijkslag, RIVM, M. Dumont, NV Waterleiding Maatschappij Limburg, A.F.V. van Engelen, KNMI, J.H. Hoogendoorn, TAUW Water b.v., C. Hovenier, VEWIN, H.G. Huysentruyt, RIWA, P.K. Jellema, NITG-TNO, H.A. Jenner, Sep, R. Jilderda, KNMI, A.A.L. van Kessel, NV Nuon Water, A.M.G. Klein Tank, KNMI, K. Koehof, VEWIN, G.J. Leunk, Provincie Noord-Brabant, K.H. Poortema, VEWIN, U.J.G. Reulink, SEP, A.P. Stolk, RIVM, R.J. Stuurman, NITG-TNO, M. van der Valk, Provincie Utrecht, W. Visscher, NV Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant en Y. Vos, WZHO.

Dank ben ik ook verschuldigd aan collega's bij het NITG-TNO die mij met hun kennis geholpen hebben wanneer ik de correcte definiëring of formulering zocht.

W. van Dalfsen, J. Griffioen, J.A.M. van der Gun, J.P. Heederik, J.C. Hooghart, G.P. Kruseman, R.J. Stuurman en W. Zijl.

Mevrouw M.E. van Hoeken, NITG-TNO, wil ik graag bedanken voor haar hulp bij het zoeken naar literatuur.

Zeer veel dank ben ik hen verschuldigd die tijd vrijgemaakt hebben om gedeelten van het manuscript te lezen en van commentaar te voorzien.

C.A.J. Appelo, Vrije Universiteit Amsterdam, B.J. Bommelé, VEWIN, J.A. Boswinkel, NITG-TNO, M.J. van Bracht, NITG-TNO, J.M.J. Gieske, NITG-TNO, J.J. de Graeff, Hoogheemraadschap van Schieland, G.F.W. Herngreen, NITG-TNO, J.C. Hooghart, NITG-TNO, P. Huisman, T.U. Delft, G.F.J. Jeurissen, F.H. Kloosterman, NITG-TNO, C.R. Meinardi, RIVM, W.C. Reij, G.A. van der Schootbrugge, Corporate Communicatie TNO, H.H.A. Teeuwen, Rijkswaterstaat Directie Noord-Holland, R.L.M. Verhoeven, NITG-TNO, J.J. de Vries, Vrije Universiteit Amsterdam, A. Willemsen, IF Technology bv en A.A.F. van Woerkom, IF Technology bv.

In het bijzonder geldt mijn dank Hans Hooghart, Jos Rietstap en Leendert van der Ent. Hans Hooghart, afdeling public relations van het NITG-TNO, heeft mij voortdurend zodanig ondersteund en geïnspireerd dat dit boek ook daadwerkelijk tot stand gekomen is.

Jos Rietstap, sectie grafische vormgeving van het NITG-TNO, heeft de tekeningen en de opmaak verzorgd. Dankzij zijn vormgeving en presentatie is bereikt dat de tekst voortreffelijk verduidelijkt is.

Leendert van der Ent, Bureau Lorient te Leiden, dank ik voor zijn inspanning om de leesbaarheid van de tekst te verbeteren. Zijn adviezen bij de hoofdstuk- en paragraafindeling zijn van grote waarde geweest.

Bovendien is dank verschuldigd aan:

De directie van het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, voor het uitgeven van dit boek.

KIWA N.V. te Nieuwegein, voor toestemming om figuren over te nemen uit de publicatie: Stuyfzand, P.J., 1993, Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands.

Uitgeverij Editions Rodopi B.V. te Amsterdam, voor toestemming om figuren over te nemen uit de publicatie: Vries, J.J. de, 1994 (derde herziene druk), Inleiding tot de hydrologie van Nederland.

Uitgeverij Kluwer Academic Publishers te Dordrecht, voor toestemming om enkele figuren over te nemen uit de publicatie: Engelen, G.B. & F.H. Kloosterman, 1996, Hydrological Systems Analysis, Methods and applications.

Inhoudsopgave

Inleiding	vii
1 Enkele begrippen en hun samenhang	1
2 Hydrologische kringloop	15
2.1 Mondiaal	15
2.2 Nederland	17
3 Klimaat, klimaatverandering en waterhuishouding	19
3.1 Klimaat	19
3.2 Klimaatverandering	23
3.3 Waterhuishouding	26
4 Geologie van Nederland	29
4.1 De geologische tijdschaal	29
4.2 Mariene afzettingen	37
4.3 Fluviatiele afzettingen	37
4.4 Glaciale afzettingen en stuwwallen	41
4.5 Duinen	43
4.6 Invloed van de mens	46
5 Hydrogeologie van Nederland	51
5.1 Geologie en hydrogeologie	51
5.2 Hydrogeologische modellering en schematisering	54
5.3 Limburg	57
5.4 Het overige deel van Nederland	58
5.5 De totale hoeveelheid grondwater	60
6 Beweging van het grondwater	63
6.1 Beweging als uitgangspunt	63
6.2 Stromingspatronen	67
6.3 Zoete en zoute kwel	69
6.4 Menselijke invloed	73
7 Hydrochemie van het grondwater	77
7.1 Kwaliteitscontrole	77
7.2 Chloride	77
7.3 Calcium en magnesium	89
7.4 Methaan en ijzer	90
7.5 Hydrochemische verontreiniging	91
7.6 Sanering van verontreinigde bodems	107
8 Beschikbaarheid en gebruik van zoet grondwater	109
8.1 Beschikbaarheid	109
8.2 Gebruik en winning	112
8.3 Huishoudelijk watergebruik	116
8.4 Industrieel en ‘overig aangeleverd’ watergebruik	121
8.5 Agrarisch en particulier grondwatergebruik	124

8.6	Grondwatergebruik bij bronbemalingen en bij bodem- en grondwatersaneringen	132
8.7	Grondwatergebruik door de natuurlijke vegetatie en door waterstaatkundige maatregelen	132
8.8	Totaalbeeld van het grondwatergebruik	132
9	Winning, zuivering en prijs	137
9.1	Winning van grondwater door waterleidingbedrijven	137
9.2	Winning en zuivering van oppervlaktewater	143
9.3	Zuivering van grondwater	143
9.4	De prijs van het water	145
10	Grondwater als opslagplaats voor thermische energie	149
10.1	Koude-opslag	149
10.2	Warmte-opslag	150
11	Gevolgen van menselijk ingrijpen	153
11.1	Verdroging	153
11.2	Grondwateroverlast en vernatting	163
12	Grondwatergegevens	165
12.1	Waarneming en gegevensverwerking	165
12.2	Grondwatermeetnetten en informatiesystemen	165
13	Kennisontwikkeling over grondwater	171
13.1	Zoet/brak/zout-grensvlak bepaalt het onderzoek	171
13.2	Grondwaterstroming en modellen	173
14	Beleid en beheer en het daarmee samenhangend wettelijk kader	175
14.1	Het beleid betreffende de waterhuishouding	175
14.2	Het beheer van het grondwater	180
14.3	Het wettelijk kader	181
15	Toekomstige ontwikkelingen	189
	Noten en verantwoording (de noten zijn in de tekst in blauw aangegeven)	193
	Literatuur	209
	Lijst van tabellen	229
	Lijst van figuren	233
	Lijst van afkortingen	241
	Register	243
	Curriculum vitae	265

Inleiding

Dit boek is geschreven voor allen die meer over grondwater willen weten.

Zij zijn bijvoorbeeld:

- De vrijwillige waarnemer die 's ochtends vroeg, nog vóór hij of zij naar het werk gaat met het peillint de grondwaterstand opneemt. Al een paar jaar is er verwondering waarom de grondwaterstand blijft dalen.
- De terreinbeheerder die het niet ontgaat hoe de verarming van de plantengroei door recente maatregelen tot staan gebracht werd.
- De beheerder van het pompstation van een waterleidingbedrijf die bezorgd is omdat het ijzergehalte in het water blijft toenemen.
- De financiële directeur van hetzelfde waterleidingbedrijf die zich verantwoordelijk voelt voor de continuïteit van de drinkwaterleverantie.
- Het hoofd van de technische dienst van één van de Hoogheemraadschappen die zich afvraagt in hoeverre grondwater en oppervlaktewater elkaar beïnvloeden.
- De dijkgraaf die de vele belangen moet afwegen bij een beslissing over het peilbeheer.
- Het lid van Gedeputeerde Staten dat een beslissing op het gebied van de zorg voor het milieu moet nemen.
- Een beleidsmedewerker van de Stichting Natuur en Milieu die informatie zoekt over de hoeveelheid onttrokken grondwater.
- De journalist die in zijn artikel begrippen als porositeit, doorlatendheid en verdroging op de juiste manier wil gebruiken.
- De universitair docent aan de Landbouwwuniversiteit Wageningen die op de hoogte wil zijn van het gebruik van grondwater bij de opslag van thermische energie in de ondergrond.
- De student, aan de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen TU in Delft, die zich voorbereidt op het tentamen hydrologie.

En ongetwijfeld vele anderen.

Kortom het boek is geschreven voor degenen die belangstelling hebben voor de vele facetten met betrekking tot het grondwater, maar zelf in hun opleiding of werk niet in de gelegenheid zijn geweest kennis te nemen van deze facetten. De publicatie richt zich dus op een breed publiek. Dit is de reden dat ervoor gekozen is de verschillende onderwerpen op een illustratieve wijze te beschrijven. Daarnaast is ervoor gekozen de verschillende aspecten ook kwantitatief te omschrijven. Hiermee wordt beoogd de lezer zo nauwkeurig mogelijk te informeren over de hoeveelheden waarmee wij te maken hebben.

Hoewel geprobeerd is veel aspecten zo correct mogelijk te belichten pretendeert dit boek niet volledig noch een wetenschappelijke publicatie te zijn. De aandachtige lezer zal opmerken dat de kwantitatieve gegevens niet altijd met elkaar overeenstemmen. Dit is een gevolg van het feit dat sommige gegevens van verschillende bronnen afkomstig zijn.

Met het verschijnen van dit boek wil het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO het vijftigjarig bestaan van het Archief van Grondwaterstanden TNO op gepaste wijze onder de aandacht brengen.

De auteur hoopt met dit boek een bijdrage te leveren aan de kennis van het grondwater, dat zich onzichtbaar maar bepaald niet onkwetsbaar onder onze voeten bevindt.

1 Enkele begrippen en hun samenhang ¹

Grondwater is water dat zich in de ondergrond bevindt in ruimten die tussen vaste deeltjes, zoals zandkorrels, bestaan. Voor inzicht in de grondwaterproblematiek is kennis van de opbouw van de ondergrond van groot belang. Zonder deze kennis zijn aspecten als de stroming van het grondwater niet te begrijpen.

De bovenste honderden meters van het grootste gedeelte van de Nederlandse ondergrond bestaan uit een schijnbaar willekeurige opeenvolging van pakketten grind, zand, silt, veen en klei. De vaste delen van deze pakketten, de korrels of deeltjes, worden van elkaar gescheiden door poriën (ruimten). Indien deze **poriën** met water gevuld zijn (verzadigd), dan noemt men dit water **grondwater**.

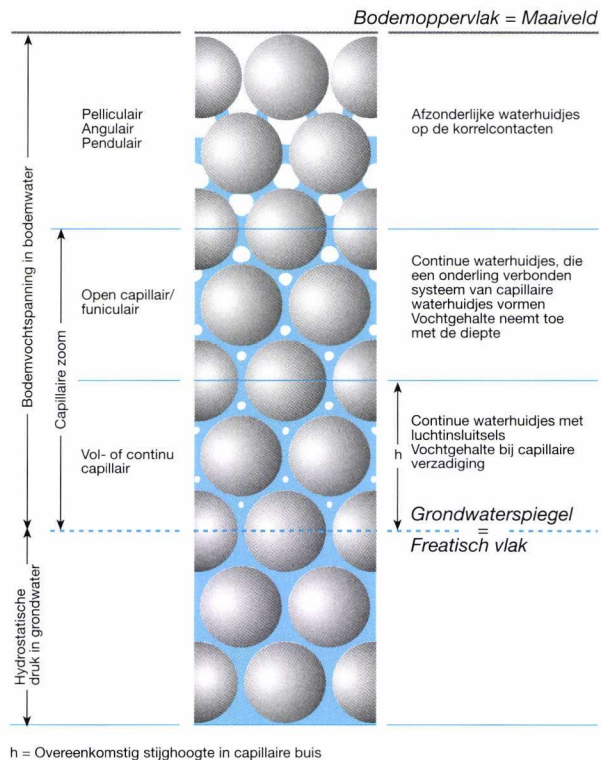
Het hoogste (bovenste) niveau van dit water wordt **grondwaterspiegel** of **freatisch vlak** genoemd (figuur 1.1). De zone beneden het freatisch vlak wordt **verzadigde zone** genoemd.

Dit freatisch vlak komt in Nederland relatief dicht onder het **maaiveld** (oppervlak) voor. De diepte van de grondwaterspiegel onder het maaiveld varieert van minder dan een meter, bijvoorbeeld in veen- en kleigebieden in het westen van het land tot meer dan zestig meter op de Veluwe en in Zuid-Limburg ². *Figuur 1.2* en *figuur 1.3* tonen de diepten van het freatisch vlak ten opzichte van NAP, zoals algemeen gebruikelijk, en ten opzichte van het maaiveld.

De zone boven het freatisch vlak, **onverzadigde zone** genoemd, is van groot belang voor de landbouw. Ook in die zone komt water voor. Dit, zogenaamde onverzadigde grondwater, ook wel **bodemwater** of **bodemvocht** genoemd, wordt door opzuigende krachten in de poriën, dus tegen de zwaartekracht in, vastgehouden. Als water aan het grondoppervlak de grond binnentreedt heet dit **infiltratie**. Ook de directe voeding van het grondwater door middel van bijvoorbeeld infiltratieputten wordt infiltratie genoemd. De neerwaartse beweging van water in de onverzadigde zone heet **percolatie**.

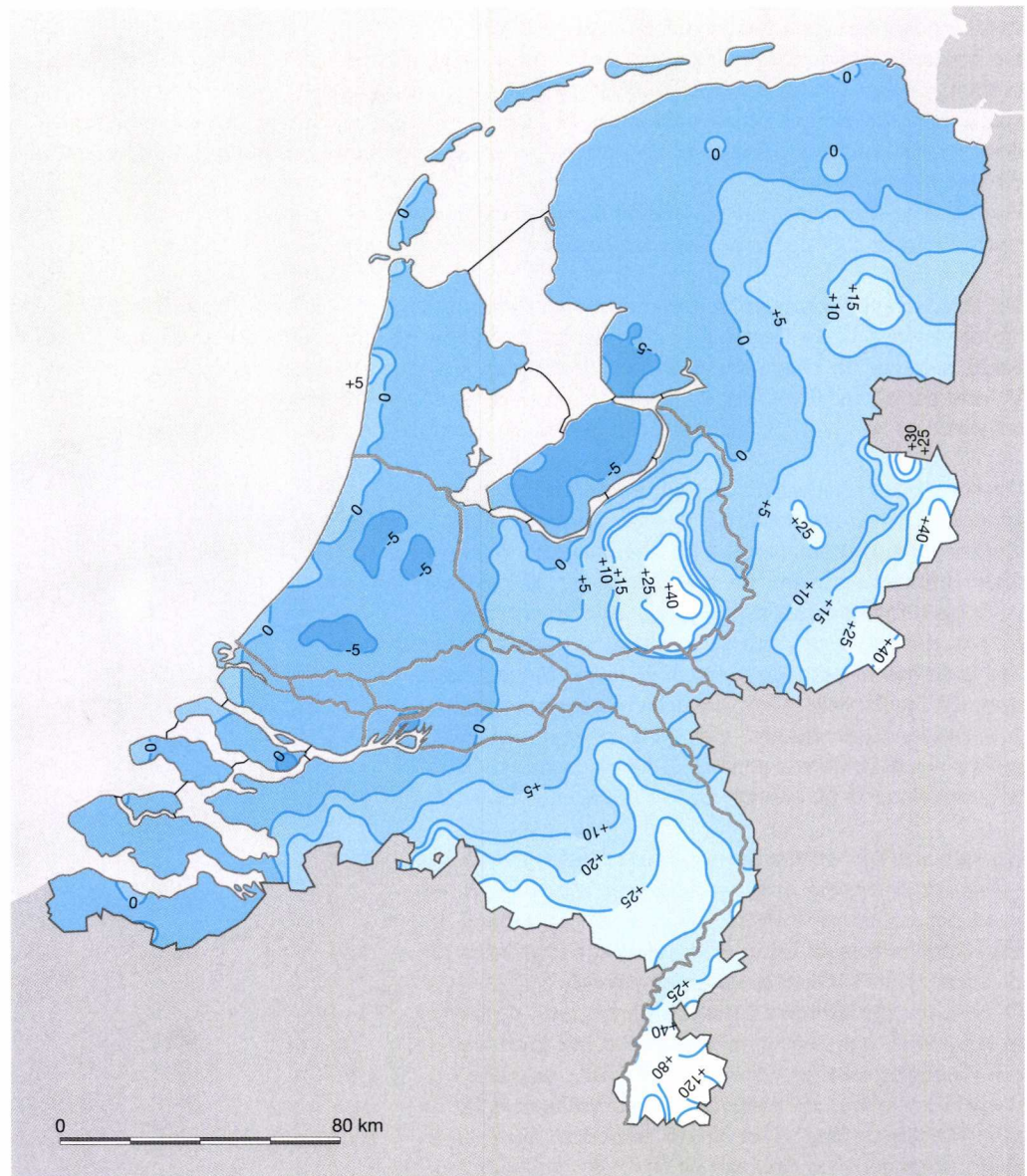
Grondwater komt niet alleen in Nederland voor maar is overal op de wereld in de ondergrond aanwezig. Soms komt het pas op grote diepte voor, zoals bijvoorbeeld in het Kufra bekken in Libië. Hier bevindt het grondwater zich meer dan 1500 m beneden maaiveld.

Deze publicatie hanteert naast een bovengrens, de grondwaterspiegel, ook een ondergrens voor het grondwater, een dieptebegrenzing. Deze grens wordt getrokken tussen water dat wel en water dat niet betrokken is bij de grondwaterstroming. Het water beneden deze grens neemt als regel geen deel aan de **hydrologische kringloop**. In de praktijk ligt deze dieptebegrenzing bij de **hydrologische basis**, in Nederland ook vaak aangeduid als **slecht doorlatende basis**. In de hydrogeologische kartering geeft deze grens aan tot welke diepte in een gebied het gedrag van het grondwater in beschouwing genomen wordt.



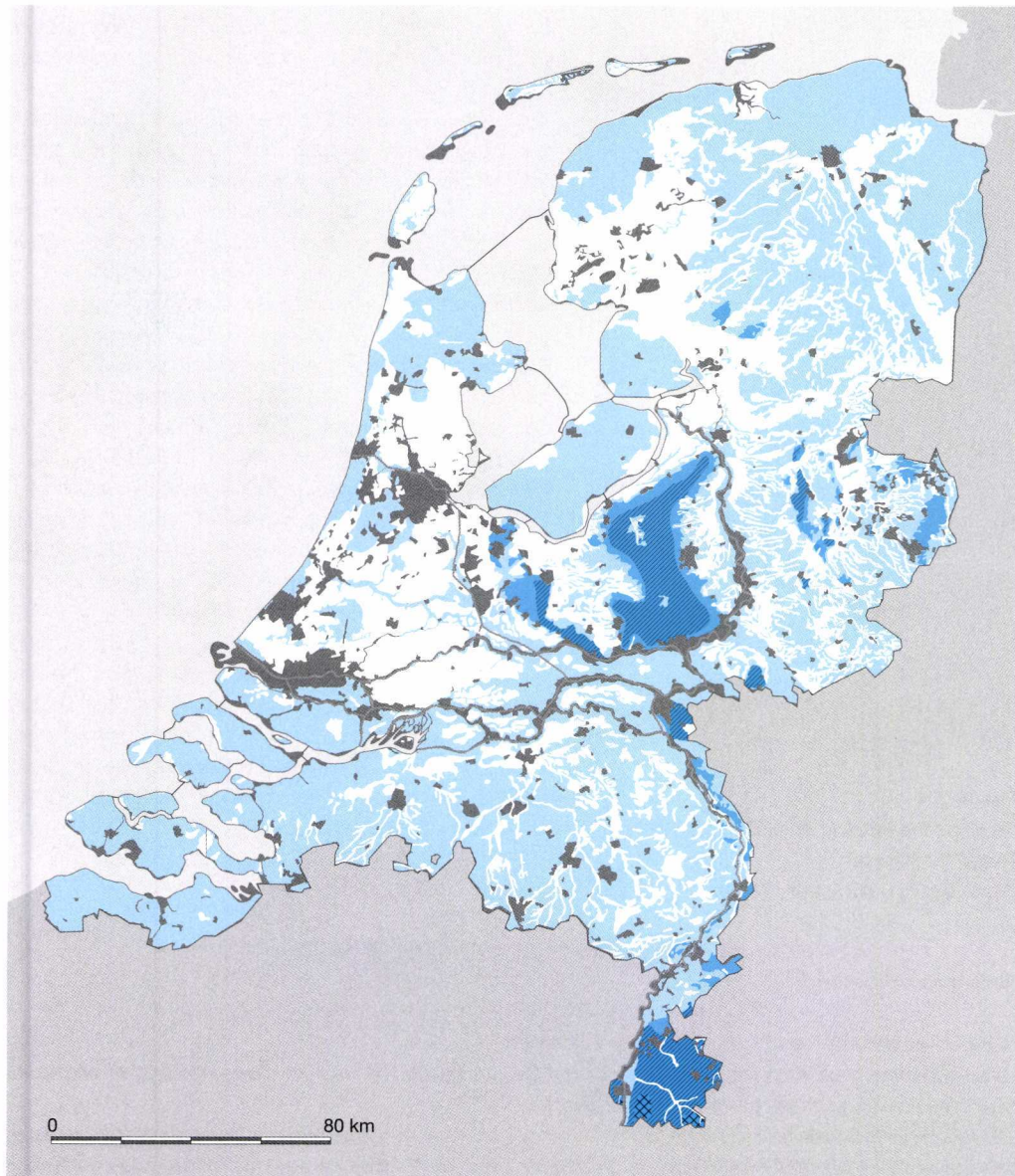
Figuur 1.1

De zones van capillair vocht en van grondwater in de bodem (Naar Pannekoek, A.J. & L.M.J.U. van Straaten, 1982)



— Lijn van gelijke diepte in meters t.o.v. NAP

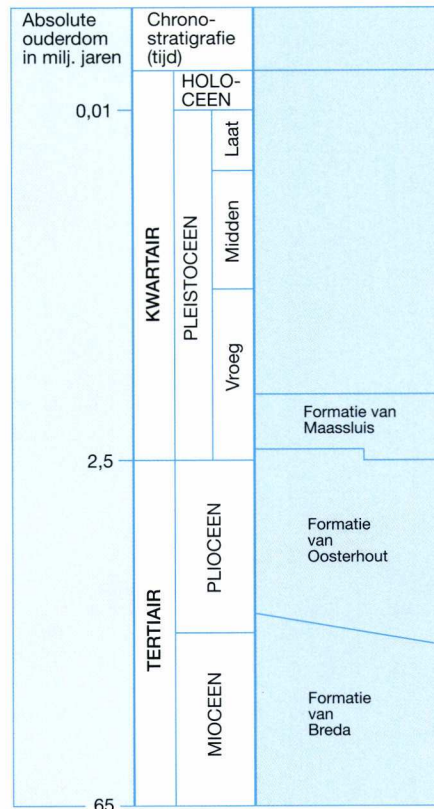
Figuur 1.2
Diepte freatisch vlak t.o.v. NAP d.d. 9 februari 1996
(Naar Sectie Grondwater Meetnetten, NITG-TNO)



Figuur 1.3

Diepte freatisch vlak t.o.v. maaiveld, gebaseerd op de gemiddelde laagste grondwaterstand
 (Naar Duijvenboden, W. van & A. Breeuwsma, e.a., 1987)

De kleilagen voorkomend in de overgang Basis Formatie van Maassluis (Onder Pleistoceen)-Top Formatie van Oosterhout (Boven Pliocene) worden in het westelijk gedeelte van Nederland als regel als de hydrologische basis beschouwd. In het oostelijk gedeelte worden de kleien in formaties van Tertiaire ouderdom als hydrologische basis genomen (figuur 1.4).



Figuur 1.4
Geologische indeling en tijdsindeling Boven-Tertiair en Kwartair
(Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)

De diepte van de onderkant van de Formatie van Maassluis varieert in Nederland van ongeveer 50 m beneden NAP in het meest zuidelijke gedeelte tot meer dan 500 m beneden NAP in het noordwesten (figuur 1.5).

De diepte van de hydrologische basis kan van plaats tot plaats verschillen. De diepte zal altijd afhankelijk zijn van de aard van de ondergrond ter plaatse, dus van de geologische omstandigheden die geleid hebben tot de specifieke opbouw van de ondergrond ter plaatse.

Onder dit grensvlak neemt het water dus geen deel meer aan de hydrologische kringloop. Dit diepere grondwater wordt ook wel **formatiewater** genoemd. De stroming van het formatiewater in de eerder genoemde kleiige afzettingen is zo gering dat deze in de meeste hydrogeologische beschouwingen mag worden verwaarloosd.

Op grote diepte heersen heel andere fysische condities dan op bijvoorbeeld 100 m diepte. Op 3000 m diepte bijvoorbeeld is de temperatuur plaatselijk meer dan 100 °C (figuur 1.6).

Op die diepte komen alleen vaste gesteenten zoals zandsteen, schalie of steenzout voor. Hier bestaat de mogelijkheid dat de poriën of spleten in het gesteente niet alleen met zout water gevuld zijn, maar ook met olie of gas. Dit formatiewater is van belang bij de winning van aardwarmte en als bijproduct bij de winning van olie of gas.

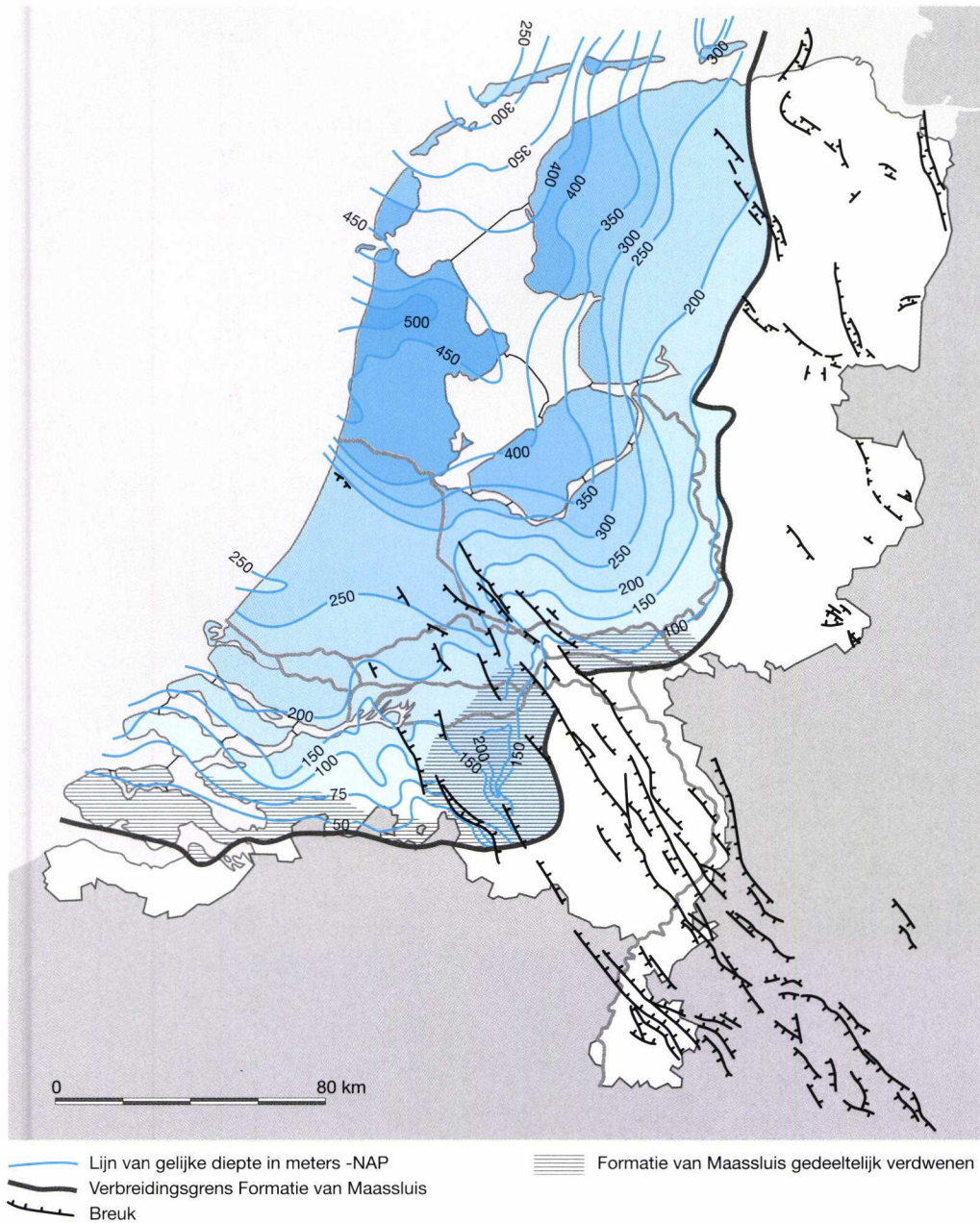
Andere nomenclatuur

Naast bovenvermelde benamingen bestaan er ook andere.

Vanuit een meer geologisch standpunt bezien wordt het grondwater wel naar herkomst ingedeeld in vier hoofdtypen: meteorisch, connaat, geregenereerd en juveniel.

Meteorisch water, zoals de naam zegt: afkomstig uit de atmosfeer, is dat gedeelte van het grondwater dat vanuit neerslag of vanuit het oppervlaktewater het grondwater voedt. Dit meteorisch water wordt nog onderverdeeld in **vadoos** en **diep** grondwater. Vadoos grondwater betreft het ondiepe grondwater dat aan een betrekkelijk kortdurende kringloop deelneemt, het diepe grondwater stagneert of beweegt langzaam. **Connaat water** is grondwater dat al tijdens de afzetting van het gesteente aanwezig was. Bij de overgang van sediment in gesteente, bijvoorbeeld bij de overgang van klei in schalie, wordt een groot gedeelte van dit connate water uitgedreven. **Geregenereerd water** is het water dat vrijkomt bij de nog verdergaande gesteentevorming, een proces waarbij de porositeit nog verder afneemt. **Juveniel water** komt vrij bij het uitkristalliseren van magma's in de aardkorst³.

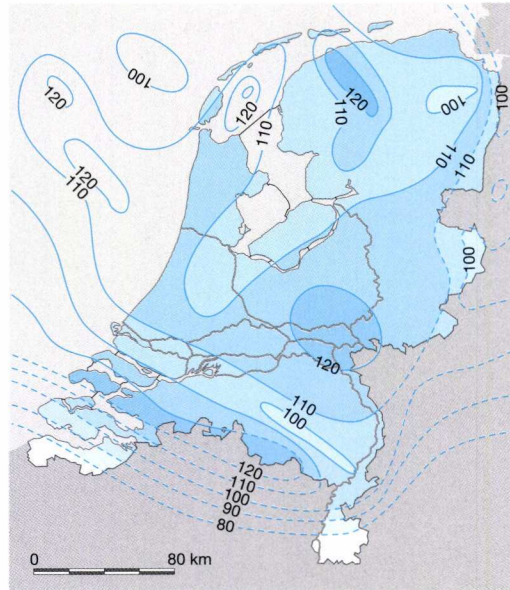
Een enkele maal wordt ook het begrip *fossiel water* gebruikt. Dit is een term voor grondwater dat, voorkomend in formaties beneden de hydrologische basis, op geen enkele wijze in verbinding staat met de grondwatersystemen die aan de *hydrologische kringloop* deelnemen. Het is, zoals connaat water, water dat aanwezig was tijdens de afzetting van het sediment.



Figuur 1.5.
 Voorkomen en diepte van de Formatie van Maassluis
 (Naar Doorn, Th.H.M. van, e.a., 1985)

Ondergrond en bodem

Om duidelijkheid te scheppen in de terminologie voor alles wat zich onder het Nederlandse maaiveld bevindt is het op zijn plaats het begrip *bodem* te definiëren. De Wet Bodembescherming uit 1986 hanteert de volgende definitie: Het vaste deel van de aarde met de zich daarin bevindende vloeibare en gasvormige bestanddelen en organismen. Hiermee wordt niet alleen de bovenste deklaag der aarde bedoeld maar tevens de immense ondergrond van die deklaag. Hoewel in theorie onbegrensd, wordt het begrip in de praktijk bepaald door de mate waarin de mens in staat is het vaste deel van de aarde te beïnvloeden ⁴.



Lijn van gelijke temperatuur in °C

Figuur 1.6.
Temperatuurverdeling in °C in de Nederlandse ondergrond op een diepte van 3000 m
(Naar Montfrans, H.M. van & E. Mot, 1984)

Het grondwater bevindt zich in poriën in de grond. Het poriëngehalte wordt uitgedrukt als een percentage van het totale volume. Het poriëngehalte of de **porositeit** wordt gedefinieerd als: het volume van de poriën gedeeld door het totale volume van de grond. In Nederland bestaat de grond voornamelijk uit niet geconsolideerde **sedimenten** ofwel afzettingsgesteenten, zoals zand, grind en klei. Deze sedimenten hebben een hoog gehalte aan poriën. Zand heeft bijvoorbeeld 30 - 40%, terwijl vaste, geconsolideerde gesteenten zoals zandsteen, schalie, gneiss of marmer in het algemeen een porositeit van minder dan 10% hebben.

Zoals uit *tabel 1* blijkt kunnen de verschillen in porositeit groot zijn. Zo kan de porositeit van een jonge Holocene klei in West-Nederland 90% zijn, terwijl die van een schalie slechts 10% is. Bij het geologische proces waarbij een klei omgezet wordt in schalie worden dan ook zeer grote hoeveelheden formatiewater uitgedreven.

Tabel 1 Porositeiten van verschillende sedimenten (gegevens uit Nederland* en uit U.S.A.**)

Type sediment (gesteente)	porositeit in %
Veen	60 - 85*
Slappe klei	50 - 70*
Vaste klei	35 - 50*
Zandige klei	20 - 50*
Löss	49**
Silt	46**
Duinzand	45**
Grof zand	39**
Fijnkorrelige zandsteen	33**
Kalksteen	30**

*Tysma, S., e.a., 1994.

**Morris, D.A. & A.I. Johnson, 1967

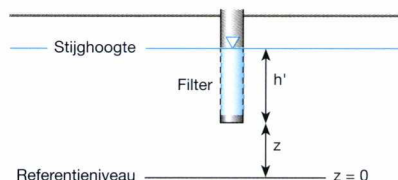
Vaste gesteenten komen ook in Nederland voor. In het westen van het land liggen deze echter zo diep (meer dan 1000 m beneden maaiveld) dat ze in die regio buiten beschouwing kunnen blijven. In het oosten (Twente) en in het zuiden (Limburg) komen geconsolideerde gesteenten al op een diepte tussen maaiveld en 500 m beneden maaiveld voor. Deze afzettingen zijn in die regio's van belang als grondwaterreservoir.

Naast de porositeit is de **doorlatendheid (permeabiliteit)** van de **grond** (gesteente) de bepalende factor voor de stroming van het grondwater. De doorlatendheid heeft als definitie: het vermogen van de grond (gesteente) om vloeistof of gas door te laten.

Ten behoeve van een formatiekarakterisatie wordt de term **doorlaatfactor** of **doorlaatcoëfficiënt** gebruikt. Zowel porositeit als doorlatendheid zijn afhankelijk van de opbouw van de ondergrond. Ze zijn afhankelijk van de samenstelling en het karakter van de **afzetting**, waarin het grondwater voorkomt. Bij een **hydrogeologische** indeling van de Nederlandse ondergrond zijn porositeit en doorlaatfactor de belangrijkste kenmerken van een laag.

De kwantitatieve definiëring van de doorlaatfactor is gecompliceerder dan die van de porositeit. De doorlaatfactor wordt gedefinieerd als: een maat voor het vermogen van grond om vloeistof of gas door te laten. De doorlaatfactor is gelijk aan de volumestroom door een eenheid van oppervlakte. De component van de stijghoogtegradiënt loodrecht op het oppervlak moet daarbij gelijk zijn aan één.

De **stijghoogte** is de hoogte ten opzichte van een referentievlak, tot waar het water opstijgt in een buis die in open verbinding staat met de atmosfeer aan de ene zijde en met het grondwater in een watervoerend pakket aan de andere zijde ⁶ (figuur 1.7).



Figuur 1.7
Stijghoogte van het grondwater
(Naar Vries, J.J. de, 1994)

Uitgedrukt in een mathematische formule ⁶:

$$h = h' + z$$

h = stijghoogte van het grondwater t.o.v. een willekeurig gekozen referentievlak = energieniveau = drukhoogte + plaatshoogte.

h' = hoogte van de waterkolom boven het beschouwde punt = drukhoogte.

z = plaatshoogte van het betreffende punt t.o.v. het gekozen referentievlak.

In de hydrogeologie wordt als eenheid van doorlaatfactor meestal de **meter per dag (m/dag)** (dimensie $L(\text{engte})/T(\text{tijd})$) gehanteerd. Deze doorlaatfactor wordt veelal aangegeven als de **k-waarde** van een watervoerende laag. Als regel wordt bij het gebruik van de k-waarde de lateraal (horizontaal) gerichte doorlaatfactor bedoeld. Indien de verticale component bedoeld wordt, wordt de doorlaatfactor als k_v aangegeven.

De hydrogeologie gaat uit van 'standaard' fysische condities, zoals zoet water met een temperatuur van 10 °C, onder normale hydrostatische druk en een standaard **viscositeit**.

Intrinsieke doorlatendheid is een grootheid die uitsluitend afhangt van de geometrische eigenschappen van het medium, zoals korrelverdeling bij een zand. De dimensie van deze intrinsieke doorlatendheid is L^2 .

De darcy

In de olie-industrie wordt als grootheid van doorlatendheid de permeabiliteit gebruikt, veelal uitgedrukt in de eenheid **darcy** (dimensie L^2). Doorlaatfactor en darcy zijn twee verschillende grootheden. Dit is een gevolg van het feit dat in de olie-industrie, waar men te maken heeft met zowel gassen als vloeistoffen van verschillende viscositeiten en dichtheden, een grootheid gedefinieerd is die onafhankelijk is van de fysische eigenschappen van de vloeistof (met name de viscositeit) in de betreffende afzetting.

Er bestaan conversies om permeabiliteit in darcy naar permeabiliteit in m^2 om te rekenen en vice versa, hierbij geldt $1 \text{ darcy} = 0,987 \times 10^{-12} \text{ m}^2 = 0,987 \mu\text{m}^2$ en $1 \mu\text{m}^2 = 1,01 \text{ darcy}$; het verschil tussen darcy en μm^2 is in de praktijk gewoonlijk te verwaarlozen ⁷.

Onder bepaalde voorwaarden kunnen permeabiliteit en doorlaatfactor ook geconverteerd worden. Als onder atmosferische druk, op 52 °N en zeeniveau bij een temperatuur van 10 °C een formatie een permeabiliteit van 1 darcy heeft, dan komt dit overeen met een doorlaatfactor van 0,640 m/dag ⁸. Omgekeerd is een doorlaatfactor van 1 m/dag onder dezelfde omstandigheden equivalent aan 1,56 darcy.

Tabel 2 geeft een aantal voorbeelden van k-waarden voor verschillende soorten afzettingen.

Tabel 2 k-waarden voor verschillende soorten afzettingen (gegevens uit U.S.A.)

Type materiaal	Doorlaatfactor in meter per dag
Grind (grof)	$10^3 - 10^4$
Grind (fijn)	$10^2 - 10^3$
Zand (grof)	5 - 10^2
Zand (fijn)	$10^{-1} - 5$
Silt	$10^{-2} - 10^{-4}$
Klei	$10^{-4} - 10^{-6}$

Water and Power Resources Service (ed.), 1981

Het zal duidelijk zijn dat de totale doorlatendheid van een laag afhankelijk is van de doorlaatfactor *en* van de dikte van de laag. Het product van deze twee wordt gedefinieerd als het **doorlaatvermogen** of de **doorlaatcapaciteit** van een laag. Mede onder invloed van de angelsaksische terminologie gebruikt men hiervoor ook het woord **transmissiviteit** (dimensie L^2/T). In Nederland wordt het doorlaatvermogen aangeduid als **kD-waarde**.

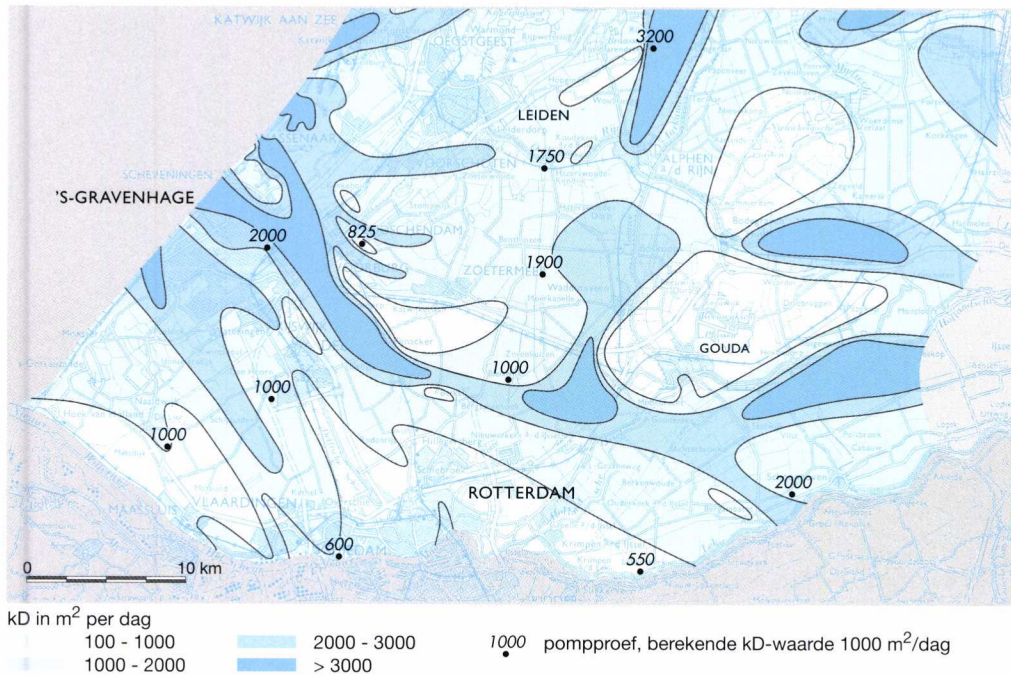
In tabel 3 wordt een aantal voorbeelden van kD-waarden weergegeven.

Tabel 3 Voorbeelden van kD-waarden

Formatie	Plaats (provincie) Nr. boring	Diepte in m beneden maaiveld (dikte in m)	kD-waarde in m^2 per dag
Tweede watervoerend pakket (Form. v. Oosterhout/ Breda?)	Kruiningen (Zeeland) 49C-38	40 - 105 (65)	600
Tweede watervoerend pakket (Form. v. Harderwijk)	Jutphaas (Utrecht) 38F-419	90 - 130 (40)	2000
Derde watervoerend pakket (Form. v. Urk / Harderwijk)	Zeijen (Drenthe) 12D-126	20 - 105 (85)	3300

Gun, J.A.M. van der, 1978 en Hoogendoorn, J.H., 1985 en Brouwer, G.K., 1987

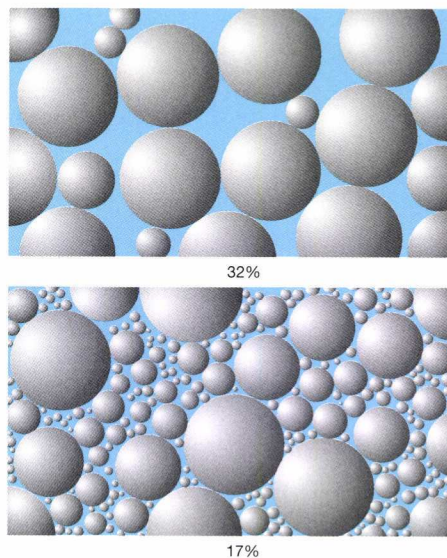
De kD-waarde van verschillende watervoerende lagen, ook wel watervoerende pakketten genoemd, kent grote verschillen. Ook binnen eenzelfde pakket kunnen grote verschillen optreden. Dit laatste laat *figuur 1.8* zien.



Figuur 1.8
 Doorlaatvermogen van het bovenste watervoerend pakket in West-Nederland
 (Naar Werkgroep Midden West-Nederland, 1976)

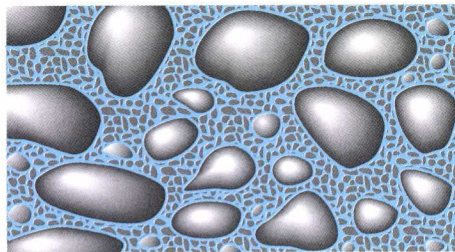
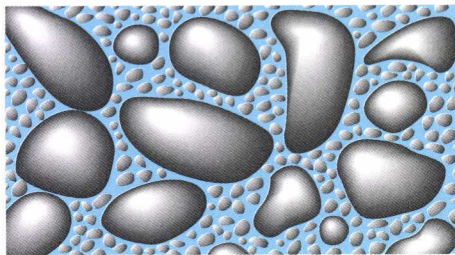
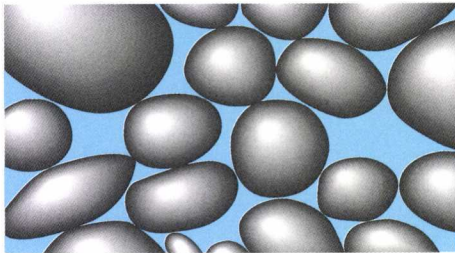
Porositeit en permeabiliteit zijn afhankelijk van factoren zoals: aard van het sediment (bijvoorbeeld zand of leem), de sortering van het sediment (*figuur 1.9*) en de korrelgrootteverdeling.

Hoewel sommige sedimenten een hoge porositeit kunnen hebben, is het bepaald niet vanzelfsprekend dat een grote permeabiliteit daarmee samengaat. Klei is het bekendste voorbeeld van een sediment dat een hoog poriëngehalte heeft, maar een zeer geringe permeabiliteit. Deze schijnbare tegenspraak wordt veroorzaakt door het feit dat vorm, afmetingen en onderlinge samenhang van de poriën een doorslaggevende rol spelen in de doorlatendheid van het betreffende sediment. *Figuur 1.10* illustreert de relaties tussen porositeit en textuur.



Figuur 1.9
 Porositeitsverschillen bij verschillende sortering
 (Naar Davis, S.N. & R.J.M. De Wiest, 1966)

Figuur 1.11 en *1.12* illustreren deze relatie in het bijzonder bij klei-afzettingen.



Goed doorlatende afzettingen, zoals grove zanden, krijgen de aanduiding **watervoerende laag** of **watervoerend pakket** of **aquifer**. Minder goed of slecht doorlatende afzettingen zoals kleiige zanden noemen wij een **slecht doorlatende laag (aquitard)**. Indien zeer slecht doorlatende afzettingen zoals een dik, ononderbroken pakket dichte kleien over een groot oppervlak aanwezig zijn, dan wordt deze laag als een **ondoortalende laag (aquiclude)** aangeduid. De hier beschreven indeling wordt toegepast bij het hydrogeologisch karteren van de Nederlandse ondergrond.

De classificatie nader beschouwd

De indeling in de vermelde drie soorten doorlatendheid van lagen is geen absolute, maar een relatieve. In een bepaalde regio kan een afzetting, zoals de Tegelen klei, als ondoortalend gekenmerkt worden, terwijl dezelfde klei in een andere regio als slecht doorlatend beschouwd wordt. Deze tegenstrijdigheid is een gevolg van de wijze waarop een bepaalde afzetting op een bepaalde plaats lithologisch ontwikkeld is (dikte, kleigehalte e.d.) en van de relatieve doorlatendheid ten opzichte van bovenliggende en/of onderliggende laag. Daarnaast is de typering afhankelijk van het karakter van een onderzoek. Indien een studie in een bepaald gebied voornamelijk gericht is op, of afhankelijk is van, de doorlatendheid in de bovenste meters onder maaiveld, dan zal een minder goed doorlatende laag daaronder, in het kader van een dergelijke studie, als ondoortalend, en plaatselijk als hydrogeologische basis, beschouwd worden.

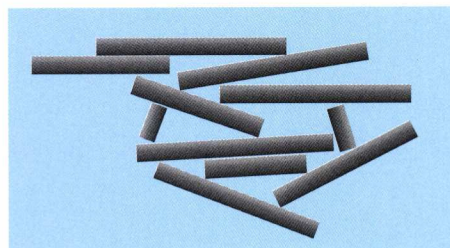
Figuur 1.10

*Relatie tussen porositeit en textuur
(Naar Meinzer, O.E., 1923)*

Zoals het doorlaatvermogen een maat is voor de (horizontaal gerichte) doorlatendheid van een bepaalde laag met een bepaalde dikte, zo heeft men ook de weerstand tegen stroming, en wel specifiek tegen de verticale stroming, een maat toegekend. Dit wordt de **verticale weerstand** of **c-waarde** genoemd.

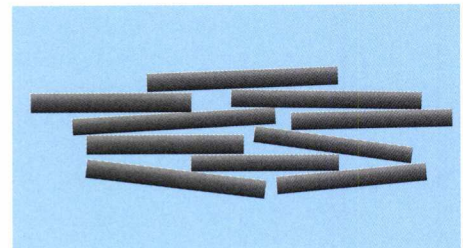
Als definitie van deze verticale weerstand geldt: de weerstand die een bepaalde laag (met een bepaalde dikte) biedt tegen een verticale grondwaterstroming.

Deze c-waarde wordt alleen toegekend aan slecht- of ondoortalende lagen zoals kleilagen. De c-waarde is te beschouwen als het product van laagdikte en de reciproke van de doorlaatfactor. Aangezien de dikte van de betreffende laag aldus in de c-waarde verdisconteerd wordt, is tijd de dimensie van de c-waarde, uitgedrukt in dagen ⁹.



Figuur 1.11

*Kleideeltjes in losse pakking, resulterend in een hoge porositeit en geringe permeabiliteit
(Naar Meinardi, C.R. & G.J. Heij, 1991)*



Figuur 1.12

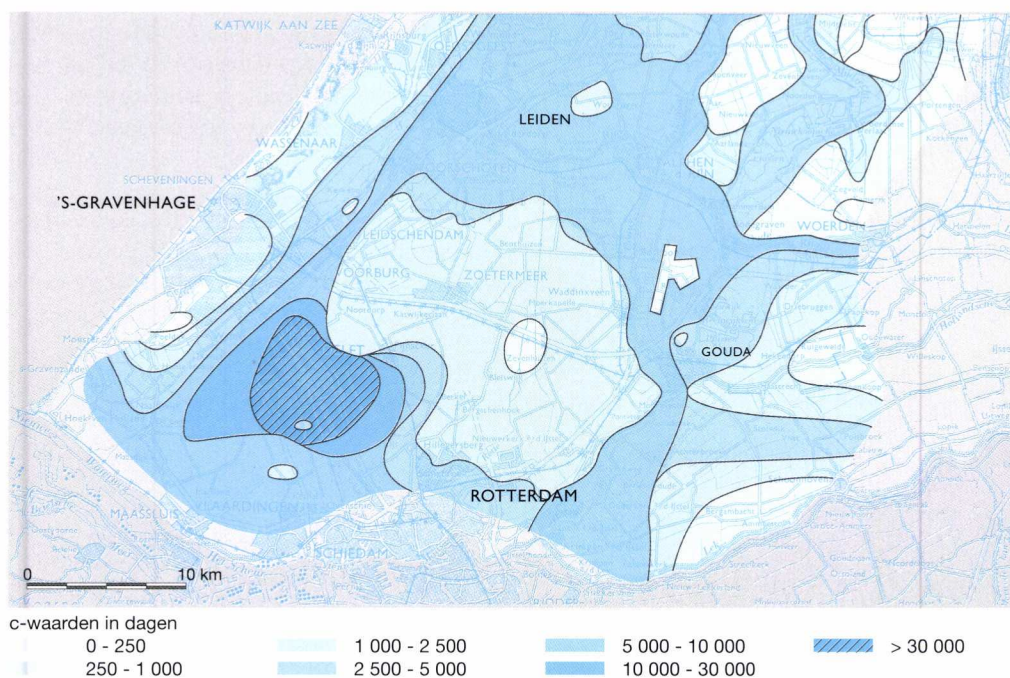
*Kleideeltjes in dichte pakking, resulterend in een lage porositeit en zeer geringe permeabiliteit
(Naar Meinardi, C.R. & G.J. Heij, 1991)*

Tabel 4 Voorbeelden van c-waarden voor verschillende soorten afzettingen

Formatie	Plaats (provincie) Nr. boring	Diepte in m beneden maaiveld (dikte in m)	c-waarde in dagen
Deklaag (Westland Form.)	Kruiningen (Zeeland) 49H-205	0 - 4 (4)	> 1500
Eerste scheidende laag (Kedichem klei)	Jutphaas (Utrecht) 38F-419	90 - 130 (26)	> 4000
Derde slecht doorlatend pakket (Tegelen klei)	Assen (Drenthe) 12D-93	110 - 135 (25)	1000 à 2000

Gun, J.A.M. van der, 1978 en Hoogendoorn, J.H., 1985 en Brouwer, G.K., 1987

Tabel 4 toont aan, dat de c-waarde van verschillende pakketten grote verschillen kent. Ook binnen een zelfde pakket kunnen grote verschillen optreden zoals ook uit *figuur 1.13* blijkt.



Figuur 1.13

c-waarden van het afdekkend pakket in West-Nederland

(Naar Werkgroep Midden West-Nederland, 1976)

Met betrekking tot de stroming van grondwater zijn ook infiltratie en kwel van groot belang. **Infiltratie** is het verschijnsel dat regenwater of rivierwater aan het oppervlak de grond intreedt. **Kwel** is het omgekeerde, dus het uittreden van grondwater aan het grondoppervlak in een veelal laag gelegen gebied.

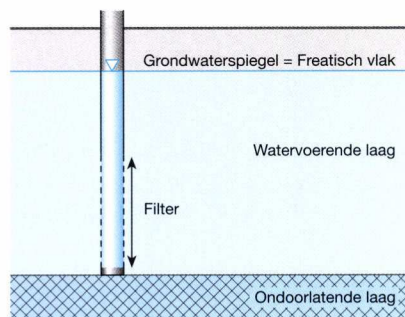
Infiltratie en kwel nader beschouwd

De definities van infiltratie en kwel kunnen nader gepreciseerd worden door bij infiltratie ook de aanvulling van water onder het grondoppervlak, die door middel van een slotenstelsel of buizenstelsel plaatsvindt, in acht te nemen. Ook de voeding van de verzadigde zone, die bijvoorbeeld door middel van kunstmatige infiltratieputten plaatsvindt, kan als infiltratie aangemerkt worden. Onder kwel wordt in het bijzonder verstaan het uittreden van grondwater onder invloed van grotere stijghoogten die zich voordoen buiten het beschouwde gebied. Dit uittreden kan onder meer direct aan het grondoppervlak gebeuren, in sloten, drains, of via capillaire opstijging.

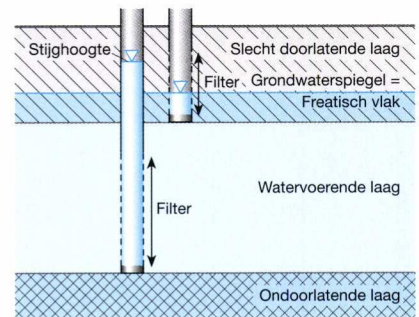
Het hydraulisch gedrag van het grondwater is mede afhankelijk van de situering van de aquifer. Indien de aquifer aan de bovenkant niet afgesloten wordt door een slecht- of ondoorlatende laag, wordt het grondwater in die aquifer **freatisch water** genoemd. Een dergelijke aquifer heet een **freatische aquifer** of **freatisch pakket**. In een dergelijk pakket staat het grondwater via de permeabele onverzadigde zone in open contact met de atmosfeer. De bovenbegrenzing van het grondwater in de verzadigde zone vormt het **freatisch vlak** (figuur 1.14). In deze situatie wordt het niveau van het grondwater ten opzichte van een referentievlak de **grondwaterstand** genoemd.

Indien de aquifer aan de bovenkant wel afgesloten wordt door een slecht- of ondoorlatende laag wordt het grondwater in die aquifer **semi-spanningswater** resp. **spanningswater** of **afgesloten grondwater** genoemd. Een dergelijke aquifer wordt een **gedeeltelijk afgesloten aquifer** resp. een **afgesloten aquifer** genoemd. Bij spanningswater treedt veelal het verschijnsel op dat het niveau van het grondwater (ten opzichte van een referentievlak in deze situatie stijghoogte genoemd) in een peilbuis hoger of lager is dan de freatische grondwaterstand (figuur 1.15).

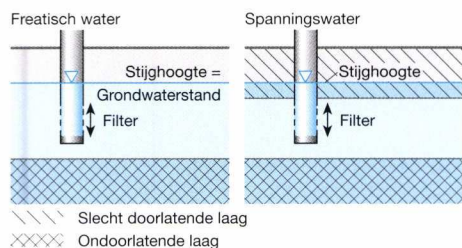
Ter verduidelijking: de hoogte tot waar het water in een open buis of put opstijgt bij freatisch water, valt samen met de grondwaterspiegel binnen de begrenzing van de aquifer. Bij spanningswater stijgt de waterspiegel in een put boven de bovenbegrenzing van de aquifer uit (figuur 1.16).



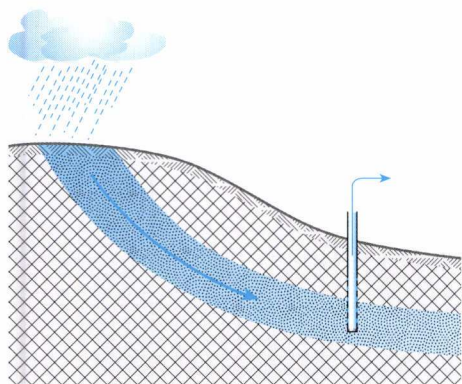
Figuur 1.14
Freatische aquifer
(Naar Kruseman, G.P., N.A. de Ridder & J.M. Verweij, 1990)



Figuur 1.15
Afgesloten aquifer
(Naar Kruseman, G.P., N.A. de Ridder & J.M. Verweij, 1990)


Figuur 1.16

Een waarnemingsput in spanningswater en in freatisch water (Naar Vries, J.J. de, 1994)


Figuur 1.17

Principe van de artesische bron
(Naar Freeze, R.A. & J.A. Cherry, 1979)

Wanneer het grondwaterniveau zelfs boven het maaiveld stijgt, spreekt men van **artesisch water** of van een artesische bron (figuur 1.17).

In Nederland komen artesische bronnen weinig voor omdat de hoogteverschillen van het maaiveld gering zijn.

Bergingscapaciteit en bergingscoëfficiënt

Door onder andere neerslag, verdamping, ontwatering door middel van sloten en onttrekking is de hoogte van het freatisch vlak ten opzichte van NAP niet constant in tijd. Hetzelfde geldt voor de stijghoogte van het grondwater in de diepere afgesloten aquifers. Ten gevolge van deze variaties verandert de hydrostatische druk in een freatische aquifer. Hierdoor verandert in een freatisch pakket ook de beschikbare poriënruimte. Deze beschikbare ruimte wordt de **bergingscapaciteit** van de aquifer genoemd. De dimensie van deze grootheid is L^3 . De bergingscapaciteit wordt ook wel gedefinieerd als 'het volume water dat geborgen kan worden tussen het streefpeil en het aanvaardbaar hoogste peil'. De mate waarin deze bergingscapaciteit afhankelijk is van de variatie in stijghoogte wordt de **bergingscoëfficiënt** (bergingsfactor) genoemd. De bergingscoëfficiënt is dimensieloos.

De chemische samenstelling of kwaliteit van het grondwater is van groot belang omdat alleen zoet en niet-verontreinigd grondwater voor menselijke consumptie geschikt is. Op basis van het gehalte aan chloride met name NaCl (keukenzout) wordt het grondwater in drie hoofdklassen ingedeeld: **zoet, brak en zout**. Het begrip **zoet/zout-grens** heeft in Nederland als regel betrekking op de **zoet/brak-grens**. Dit is de grens die aangehouden wordt als maximale chlorideconcentratie in water voor menselijke consumptie. Deze grens is gesteld op 150 mg Cl^-/l . De chemische samenstelling wordt zowel bepaald door de ontstaansgeschiedenis van de afzetting waarin het grondwater voorkomt als door de beïnvloeding door menselijk ingrijpen. Dit kan verontreiniging (bijvoorbeeld toename van het nitraatgehalte), verzilting (toename Cl^- -gehalte) of verzoeting (afname Cl^- -gehalte) tot gevolg hebben.

De waterleidingbedrijven houden als maat voor een hoeveelheid veelal de kubieke meter (m^3), 1000 liter, aan. In de meteorologie en landbouw is echter een aanduiding in mm gebruikelijk. Deze eenheid geeft bijvoorbeeld bij neerslag aan, hoe hoog het waterniveau zou stijgen als de neerslag zich gelijkmatig over het maaiveld zou verspreiden. In plaats van '1 mm' kan ook '1 liter per m^2 ' gelezen worden.

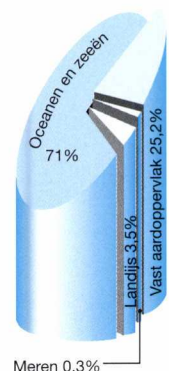
2 Hydrologische kringloop

2.1 Mondiaal

Het oppervlak van de wereld bestaat maar voor een klein deel uit land; het grootste deel van het oppervlak wordt ingenomen door water. Oceanen nemen niet minder dan 71% van het aardoppervlak in, meren en ijs nemen nog eens 3,8% van het aardoppervlak in. Al dit water en ijs beslaat tezamen een oppervlakte van ongeveer 380 mln km² (tabel 5 en figuur 2.1).

Tabel 5 Mondiale verdeling van vaste aarde (bodem) en water (Naar Nace, R.L., 1971)

Parameter	Oppervlakte in mln km ²	Percentage
Aarde (geheel)	510,101	100
Vast aardoppervlak	129,751	25,2
Oceanen en zeeën	361,000	71
Landijs	17,800	3,5
Meren	1,550	0,3



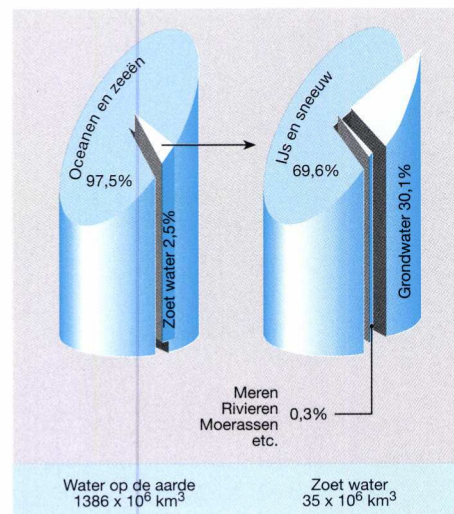
Geleerden schatten het totale volume aan water op de aardbol op 1386 miljoen km³. Hiervan is 97,5% opgeslagen in de vorm van zout water in zeeën, oceanen, in enkele binnenmeren en als brak of zout grondwater. De voorraad zoet water wordt geschat op 35 mln km³, dit is slechts 2,5% van de totale hoeveelheid water op aarde. Het zoete water is als volgt verdeeld: meer dan 69% in de vorm van ijs, 30% in de vorm van grondwater en minder dan 1% in de vorm van oppervlaktewater ¹.

Figuur 2.1
Mondiale verdeling van land en water
(Naar Nace, R.L., 1971)

Tabel 6 Mondiale verdeling van het zoete water

Vorm	Volume in mld. m ³	Percentage
Ijs	24 360 000	69,6
Oppervlaktewater	105 000	0,3
Grondwater	10 535 000	30,1
Totale hoeveelheid zoet water	35 000 000	100

Shiklomanov, I.A., 1991



Figuur 2.2
Mondiale verdeling van het zoete water
(Naar Shiklomanov, I.A., 1991)

Als we het water dat als ijs voorkomt buiten beschouwing laten, dan blijkt bijna 99% van de beschikbare hoeveelheid zoet water uit grondwater te bestaan.

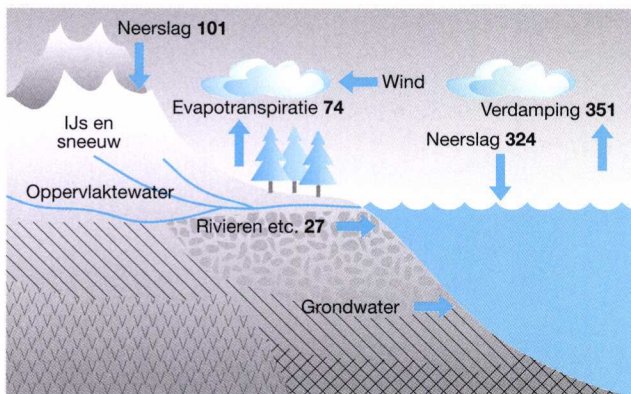
Tabel 7 Mondiale verdeling van het zoete water exclusief de hoeveelheid als ijs gebonden

Vorm	Volume in mld m ³	Percentage
Bodemvocht	16 500	0,155
Oppervlaktewater (meren, rivieren, beken)	93 120	0,875
Grondwater	10 530 000	98,97
Totaal	10 639 620	100

Shiklomanov, I.A., 1993

De kwaliteit van oppervlaktewater in meren, rivieren en beken is gedurende de laatste 50 jaar aanzienlijk verslechterd door verontreinigingen. Dit water is daarom in grote delen van de wereld niet meer voor consumptie beschikbaar. Hieruit blijkt het grote belang van het niet-verontreinigde grondwater, de bron die ons rest om te leven en te overleven.

Eén energiebron, de zon, houdt in combinatie met de zwaartekracht en de rotatie van de aarde de hele watermassa in beweging. Deze hydrologische kringloop draagt zorg voor een continue aanvulling, verplaatsing en afvoer van de hoeveelheid zoet water op aarde. In deze kringloop worden vier processen onderscheiden (figuur 2.3).

Hoeveelheden in 1000 km³ per jaar

Het zijn:

1. *Verdamping* (zowel op zee als op land).
2. *Verplaatsing* (in de vorm van waterdamp).
3. *Neerslag* (in de vorm van hagel, sneeuw of regen).
4. *Afstroming* (in de vorm van ijs, oppervlaktewater of grondwater).

Figuur 2.3

De hydrologische kringloop.

(Naar Davis, S.N. & R.J.M. De Wiest, 1966 en Meinardi, C.R. & G.J. Heij, 1991)

Tabel 8 Schatting van de hoeveelheid water, betrokken in de hydrologische kringloop op het mondiale landoppervlak

Proces	Hoeveelheid (gemiddelde per jaar)	
	in mld m ³	in mm = liter/m ²
Verdamping	74 000	545
Neerslag	101 000	750
Afstroming (ijs en oppervlaktewater)	27 000	205
Afstroming (grondwater)	Klein t.o.v. de oppervlaktewater-afstroming	

Meinardi, C.R. & G.J. Heij, 1991

Tabel 9 geeft de hoeveelheden als volumestroom, als jaarlijkse gemiddelde, verdeeld over het mondiale mariene oppervlak, het natte oppervlak van de aarde.

Tabel 9 Schatting hoeveelheid water, betrokken in de hydrologische kringloop op het mondiale mariene (aan zee gebonden) oppervlak

Stadium	Hoeveelheid (gemiddelde per jaar)	
	in mld m ³	in mm = liter/m ²
Verdamping	351 000	940
Neerslag	324 000	870
Instroming (ijs en oppervlaktewater)	27 000	70
Instroming (grondwater)	Klein t.o.v. de oppervlaktewater-instroming	

Meinardi, C.R. & G.J. Heij, 1991

2.2 Nederland

Voor Nederland geldt een oppervlakteverdeling zoals gepresenteerd in tabel 10:

Tabel 10 Verdeling droog en nat oppervlak in Nederland

Land	33 939 km ²	(82%)
Binnenwater (waarbij inbegrepen het IJsselmeer)	3 424 km ²	(8%)
Buitenwater (waarbij inbegrepen de Waddenzee)	4 163 km ²	(10%)
Totaal	41 526 km ²	(100%)

CBS (ed.), 1995 en Mondel. Meded. CBS d.d. 3/10/95

In deze publicatie zal als oppervlakte van Nederland de sommatie van 'land' en 'binnenwater' worden aangehouden. Dit totaal omvat 37 363 km². Dit betekent dat in presentatie van neerslag en verdamping als conversie 1 mm over het gehele land verdeeld overeenkomt met 37,363 mln m³. Zo is ook 1 mln m³ (neerslag of verdamping) gelijk aan 0,02676 mm (overeenkomend met 0,02676 liter/m²).

Tabel 11 Schatting hoeveelheid water in de hydrologische kringloop in Nederland ²

Proces	Hoeveelheid per jaar	
	in mln m ³	in mm = liter/m ²
Neerslag	29 591	792
Instroming van oppervlaktewater via grote rivieren	86 787	2 322
Verdamping	18 719	501
Uitstroming naar zee (als oppervlaktewater)	95 828	2 564
Restterm (gebruik)	1 831	49

Colenbrander, H.J., e.a., 1989 en gegevens KNMI. Rivierdebiet gecorrigeerd conform Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat Generaal Rijkswaterstaat, RIKZ - RIZA (ed.), 1994

Instroming en uitstroming van grondwater onder de landsgrenzen is in dit overzicht verwaarloosd. De hoeveelheid kan regionaal, zoals in de provincie Limburg, wel degelijk van belang zijn. Deze tabel geeft met het opnemen van de restterm (een hoeveelheid water die gebruikt of geborgen wordt), niet alleen een beeld van de hydrologische kringloop van Nederland maar ook van de waterbalans van Nederland.

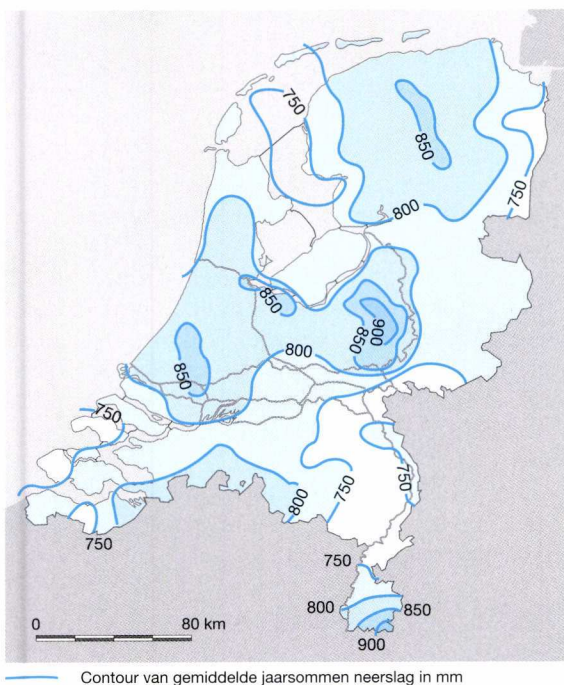
3 Klimaat, klimaatverandering en waterhuishouding

3.1 Klimaat

De aanvulling van het grondwater in Nederland is slechts voor een zeer gering percentage, zo'n 5%, afhankelijk van de aanvoer door de grote rivieren ¹. De werkelijk belangrijke factoren voor de aanvulling zijn neerslag en verdamping. Daarom is het van belang aandacht aan het klimaat te besteden.

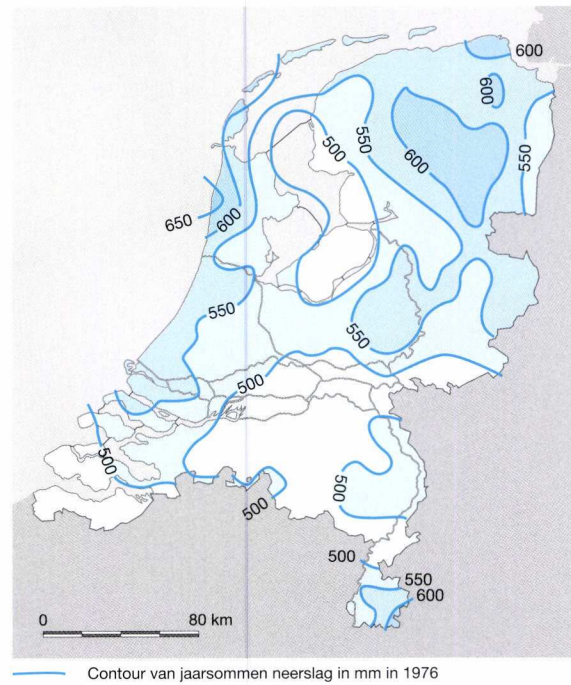
Nederland heeft een gematigd zeeklimaat. De gemiddelde maandtemperatuur schommelt tussen 2 °C in januari en 17 °C in juli. De gemiddelde neerslag bedraagt 792 mm per jaar (na verwerking van de jaarsommen tot en met 1994) ². Dit komt overeen met 29 591 mln m³. Voor het station De Bilt geldt thans als gemiddelde ongeveer 800 mm, met een variatie ³ van 388 tot 1189 mm per jaar.

Figuur 3.1 toont de geografische verdeling van de neerslag als gemiddelde jaarsom voor het tijdvak 1961 - 1990.



Figuur 3.1

Gemiddelde jaarsommen neerslag 1961 - 1990
(Naar Engelen, A.F.V. van, 1995)



Figuur 3.2

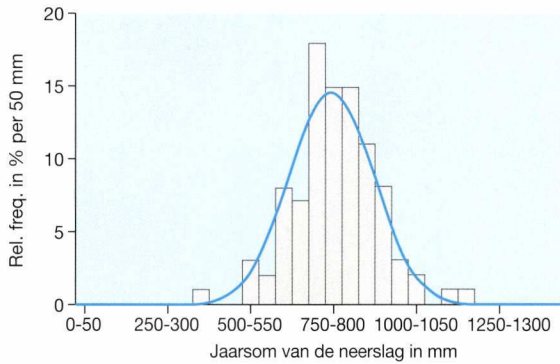
Jaarsommen neerslag in 1976
(Naar KNMI (ed.), 1994)

Figuur 3.2 toont de geografische verdeling van de neerslag als jaarsommen voor het uitzonderlijk droge jaar 1976.

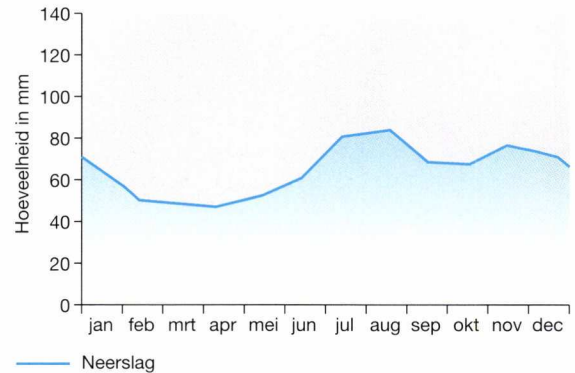
In 1976 bedroeg de jaarsom te De Bilt slechts 535 mm. In 1987, een relatief nat jaar, bedroeg de jaarsom te De Bilt 927 mm ⁴.

Bij een uitgesproken nat najaar, zoals in 1994, bedroeg de jaarsom te De Bilt 1023 mm ⁵.

Variaties van de neerslaghoeveelheid in de tijd kunnen weergegeven worden in een frequentieverdeling. Hiermee kan een indruk verkregen worden van de variabiliteit. Figuur 3.3 geeft de frequentie- of kansverdeling van de jaarsommen van de neerslag in De Bilt.



Figuur 3.3
Verdeling van de jaarsommen van de neerslag te De Bilt voor het tijdvak 1906 - 1995 (Naar Klein Tank, A.M.G., 1996)



Figuur 3.4
Gemiddelde neerslag per maand in Nederland (1951 - 1980) (Naar Colenbrander, H.J., e.a., 1989)

Tabel 12 Gemiddelde neerslag per maand in Nederland (1951 - 1980)

Maand	Gemiddelde neerslag in mm = liter/m ²
Januari	65
Februari	54
Maart	51
April	51
Mei	52
Juni	56
Juli	72
Augustus	84
September	77
Oktober	70
November	75
December	74
Totaal	781 *

* Dit getal wijkt af van bovenvermelde jaarsom omdat de berekening van deze jaarsom betrekking had op een andere periode dan de jaarsom in tabel 11.

Colenbrander, H.J., e.a., 1989

De verdeling van de gemiddelde neerslag over het jaar wordt weergegeven in *figuur 3.4* en in *tabel 12*.

Nederland heeft slechts een geringe variatie in de neerslaghoeveelheid gedurende het jaar. Anders gezegd: Nederland kent bijna geen seizoensgebonden neerslagpatroon.

Bovenstaande kwantitatieve gegevens hebben betrekking op gemiddelde waarden. In werkelijkheid kunnen zich grote verschillen voordoen, resulterend in plaatselijk extreem natte of extreem droge situaties. Een extreem natte situatie deed zich voor in de kop van Noord-Holland in de periode van 1 tot en met 19 september 1994, waar in die periode plaatselijk meer dan 230 mm regen gemeten werd. Als deze hoeveelheid vergeleken wordt met de regionale maandsommen voor De Kooy, nabij Den Helder, 191 mm en Hoorn 167 mm wordt ons duidelijk hoe bijzonder deze buien waren (*figuur 3.5*) ⁵.

In 1976 kende Oudenbosch in Noord-Brabant van 1 juli tot 31 augustus een extreem droge periode met maar 45,2 mm neerslag. Voor dit station geldt als gemiddelde voor deze periode 160,5 mm ⁶.

Droogte is niet aan de zomer gebonden, ook wintermaanden kunnen extreem droog zijn. In januari 1996 en januari 1997 viel respectievelijk een landelijk neerslag gemiddelde van 7 mm en 4 mm,

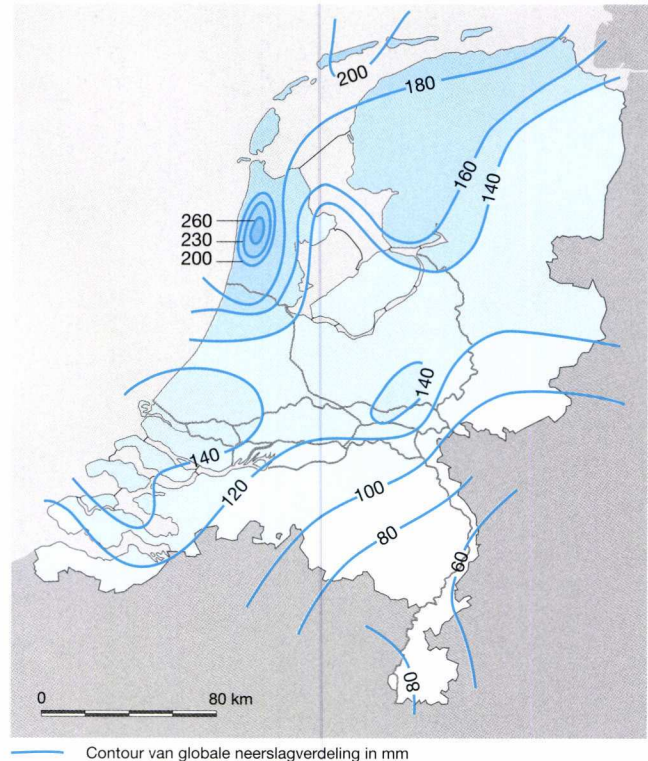
terwijl het langjarig gemiddelde voor januari 67 mm is. De extreem droge januarimaand 1996 is een onderdeel van de droge periode van juli 1995 tot en met april 1996. In De Bilt werd in

die periode een neerslag hoeveelheid van 339 mm gemeten, terwijl het langjarig gemiddelde voor deze periode aldaar 673 mm is. Nog nooit was in de twintigste eeuw een overeenkomstig tijdvak zo droog ⁷. Voor een inzicht in de jaarlijkse aanvulling van het grondwater is het netto neerslagoverschot, de neerslag minus de verdamping, belangrijker dan de neerslag alleen.

De verdamping is afhankelijk van meerdere factoren waarvan de meteorologische omstandigheden, de aard van de bodem en de vegetatie de belangrijkste zijn. Verschillende meteorologische factoren beïnvloeden de verdamping, bijvoorbeeld zonneschijn, windsnelheid en temperatuur.

Bij verdamping door een oppervlak dat met vegetatie bedekt is, spreken we van potentiële verdamping. Dit is de som van de potentiële bodemverdamping en de potentiële plantverdamping. De laatst genoemde verdamping is de verdamping die zou optreden indien de vegetatie doorlopend over voldoende water zou beschikken ⁸.

De gemiddelde jaarlijkse verdamping van een oppervlak met vegetatie, bijvoorbeeld gras, varieert in Nederland van 400 tot 525 mm. Voor bos, en met name voor naaldbomen, geldt een aanzienlijk hogere verdamping. Bij een vergelijking van de gevolgen van verdamping van loofbos en naaldbos is vastgesteld dat



Figuur 3.5

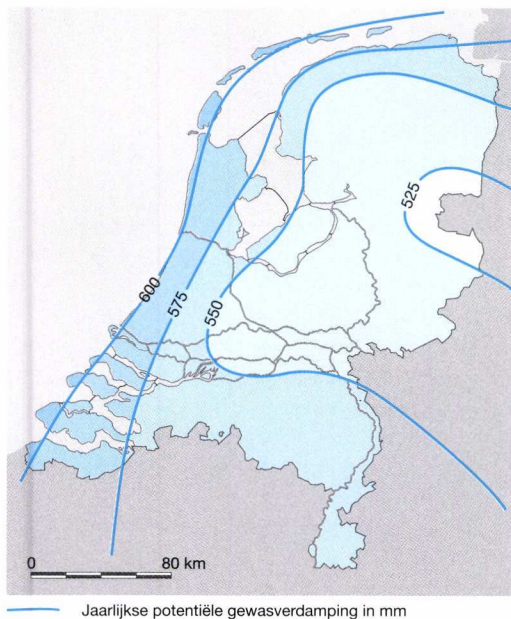
Globale neerslagverdeling in de periode 1 - 19 september 1994.

Bron: Meteoconsult (Naar Knip, K., 1994)

per jaar de grondwateraanvulling onder een loofbos 48 mm meer is dan onder een naaldbos ⁹. Bij dergelijke vergelijkingen moet overigens wel in acht genomen worden dat in de verdampingsomvang de dichtheid van het bos een minstens zo'n grote rol speelt als de aard van het bos. Een dicht loofbos heeft een aanzienlijk hogere verdamping dan een open naaldbos.

De verdamping is dus niet alleen afhankelijk van het type vegetatie, maar ook van het jaargetijde en van de plaats in Nederland (figuur 3.6).

De jaarlijkse verdamping voor open water is met 700 mm hoger dan van een oppervlak met vegetatie. Voor geheel Nederland, met inbegrip van 5000 km² open water, wordt voor de potentiële verdamping een jaarlijks gemiddelde van 501 mm aangenomen. In figuur 3.7 worden de variaties in de loop van



Figuur 3.6

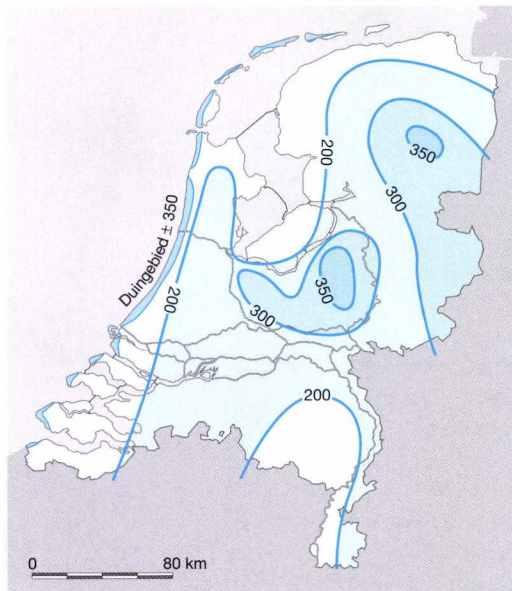
Jaarlijkse potentiële gewasverdamping voor grasland voor de periode 1961 - 1990 (Naar Meinardi, C.R., 1994)

het jaar van de potentiële verdamping en van de verdamping van open water weergegeven. *Figuur 3.8* geeft neerslag en beide verdampingcurves in één figuur weer. Winterperioden met een neerslagoverschot worden afgewisseld door zomerperioden met een verdampingsoverschot.

Het verdampingsoverschot in een bepaalde periode kan opgevat worden als een maat voor de heersende ‘droogte’. De gemiddelde jaarlijkse neerslag van 792 mm overeenkomend met 29 591 mln m³ ¹⁰ is groter dan de gemiddelde verdamping van 501 mm overeenkomend met 18 718 mln m³. Daarom kent Nederland een jaarlijks neerslagoverschot van gemiddeld 291 mm overeenkomend met 10 873 mln m³ ¹¹.

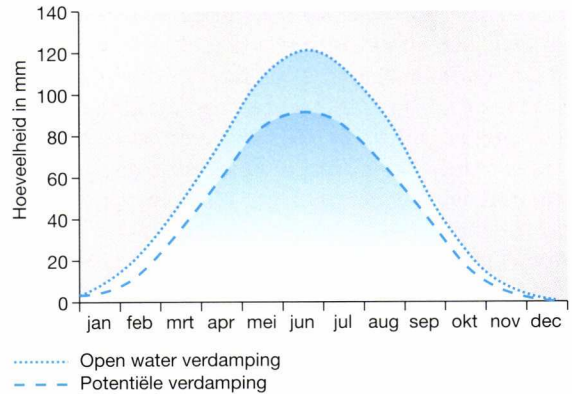
In *figuur 3.9* wordt de geografische spreiding van het neerslagoverschot voor Nederland weergegeven.

Figuur 3.10 geeft het verloop van het neerslagoverschot in De Bilt in de periode 1930 - 1991 weer.

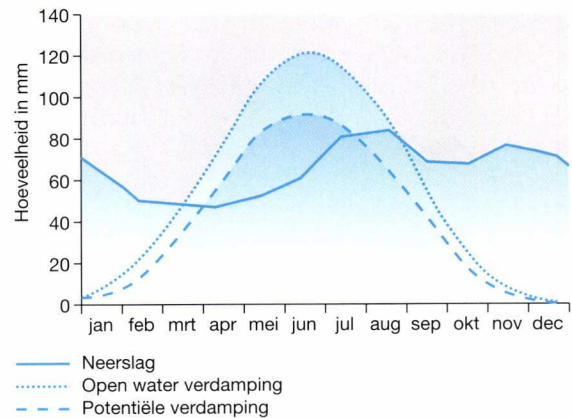


— Contour van de jaarsom van neerslag minus verdamping (neerslagoverschot) in mm

Figuur 3.9
Neerslagoverschot (Naar Vries, J.J. de, 1974 a)



Figuur 3.7
Twee typen verdamping
(Naar Colenbrander, H.J., e.a., 1989)



Figuur 3.8
Neerslag en verdamping
(Naar Colenbrander, H.J., e.a., 1989)

Hieruit blijkt dat er in de jaren 1960 - 1970 relatief grote neerslagoverschotten voorkwamen.

In de agrarische sector is voor het weergeven van de relatieve droogte een waarde ontwikkeld, die in een percentage aangeeft hoe vaak een dergelijke droogte voorkomt. Een 10% droog jaar is een jaar met een neerslagtekort, dat slechts éénmaal in tien jaar voorkomt. Sommige publicaties hanteren het begrip droogtegraad. Een droogtegraad van 10% is hetzelfde als een 10% droog jaar. Naarmate de droogtegraad lager is, is de opgetreden droogte ernstiger.

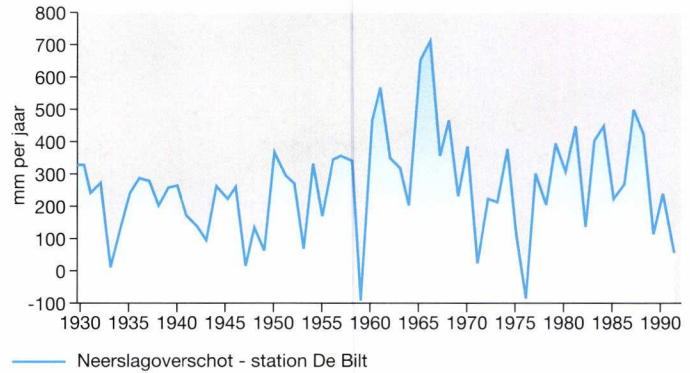
Bovendien is voor de landbouw niet zozeer het jaarlijks neerslagoverschot van belang, als wel de hoeveelheid vocht die ter beschikking staat tijdens het groeiseizoen. Tijdens dit groeiseizoen is er meestal sprake van een neerslagtekort. De planten

zijn in de zomerperiode voor hun vochtvoorziening over het algemeen dan ook aangewezen op een, in de winter en lente, opgebouwde bodemvochtvoorraad. Als het verschil tussen neerslag en verdamping niet vanuit deze bodemvoorraad gedekt wordt, dan is aanvulling van water door neerslag of door kunstmatige beregening noodzakelijk. De grootte van de benodigde aanvulling kan worden gezien als het potentiële vochttekort. Hieronder verstaan we het verschil tussen potentiële verdamping van kort gras verminderd met de in de betreffende periode gevallen neerslag en de vochtleverantie. Dat laatste is de bodemvoorraad samen met de capillaire opstijging door de grond ¹². Een uitzonderlijk droge lente en zomer zoals in 1976 leidt onherroepelijk tot gevolgen voor de vegetatie en de landbouw. De droogtegraad was in het jaar 1976 voor De Bilt niet meer dan 3,5%. De uitzonderlijke situatie wordt geïllustreerd aan de hand van een aantal figuren. *Figuur 3.11* geeft het neerslagtekort voor de periode april t/m augustus 1976.

Voor dezelfde periode geeft *figuur 3.12* een beeld van het potentiële vochttekort en *figuur 3.13* geeft een beeld van de droogteschade in 1976.

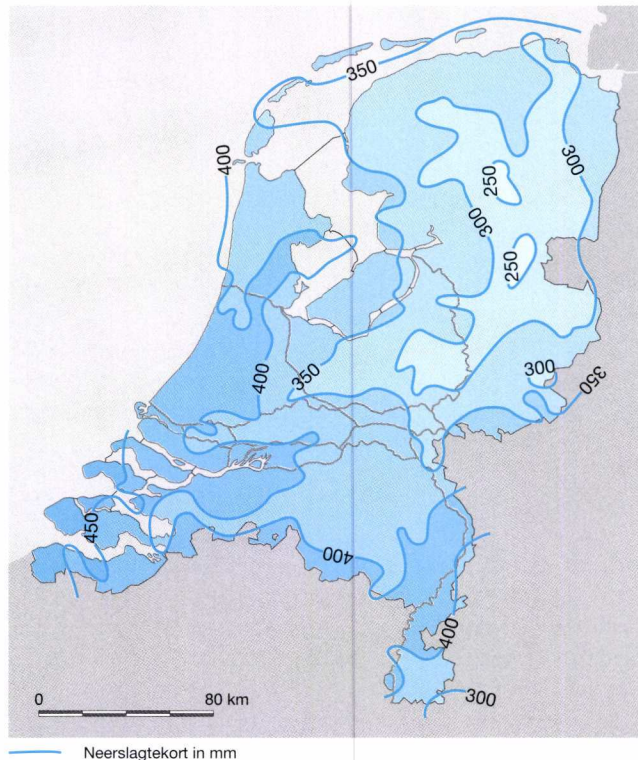
3.2 Klimaatverandering

In het kader van enerzijds de zorg om verdroging van natte natuurgebieden en anderzijds de voorspelde zeespiegelstijging en de dreigende overstromingen van Maas en Rijn in 1993/1994 en 1994/1995 is de vraag gerezen of er sprake is van een significante klimaatverandering. In tabel 13 zijn de statistische gemiddelden over perioden van 30 jaar weergegeven. Het blijkt dat de 'normaal' 1961 - 1990 beduidend natter is dan de 'normaal' 1931 - 1960. De laatste drie jaren (1992 - 1994) blijken nog natter te zijn dan de 'normaal' 1961 - 1990. Daarbij moet in acht genomen worden dat juist deze laatste zomers gemiddeld droger waren, hetgeen betekent dat de neerslag 's winters was toegenomen. Tevens blijkt dat de gemiddelde jaartemperatuur in de periode 1988 - 1994 ongeveer 1°C boven normaal lag. Dit is veel, de vier warmste jaren van deze eeuw traden op in deze periode. De klimaatmodellen zijn echter nog niet gedetailleerd genoeg om op grond van deze recente waarnemingen gefundeerde definitieve conclusies omtrent klimaatveranderingen te trekken ¹³.



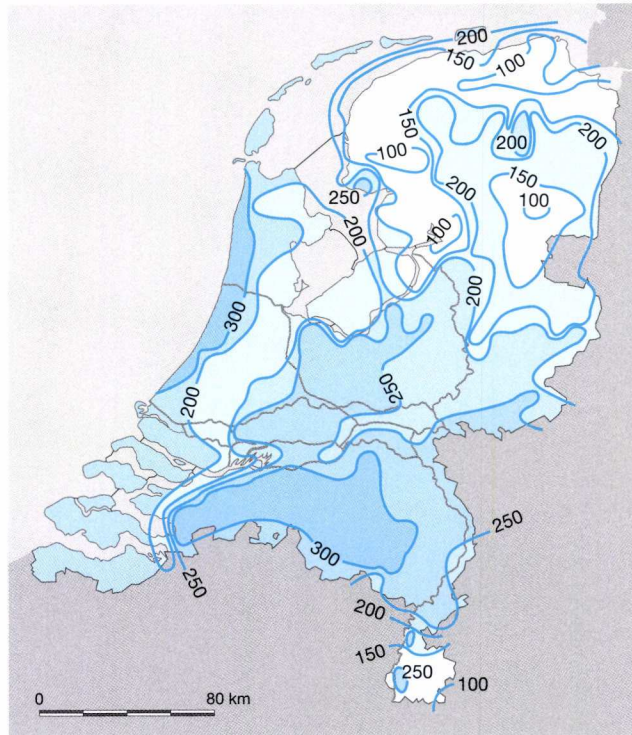
Figuur 3.10

Neerslagoverschot De Bilt 1930 - 1991
(Naar Kloosterman, F.H., e.a., 1993)

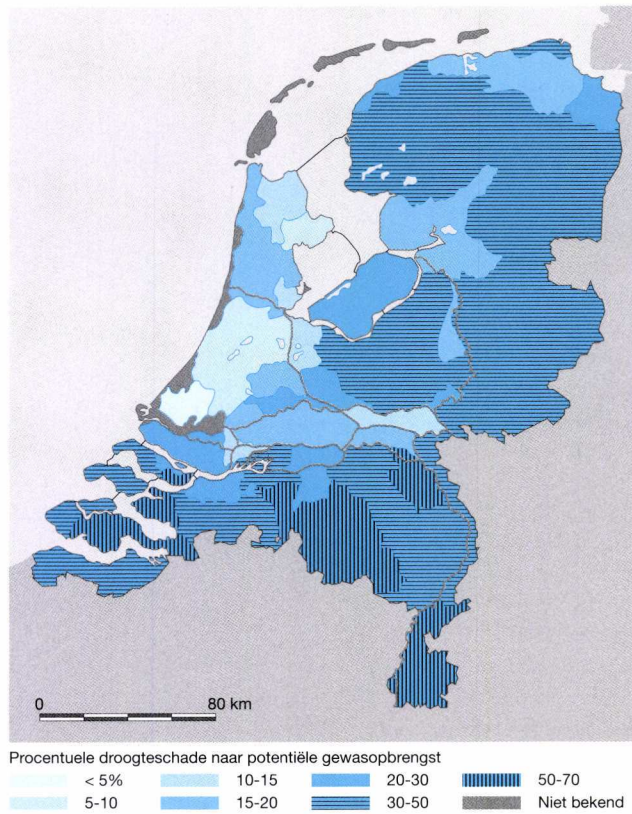


Figuur 3.11

Neerslagtekort in de periode april t/m augustus 1976
(Naar Boheemen, P.J.M. van & J.G.S. de Wilde, 1979)



Figuur 3.12
Potentiële vochttekort in de periode april t/m augustus 1976
(Naar Heijde, P.K.M. van der, 1978)



Figuur 3.13
Droogteschade in 1976
(Naar Ven, G.P. van de, e.a., 1986)

Tabel 13 Verloop van een aantal meteorologische grootheden te De Bilt over de periode 1931 - 1994

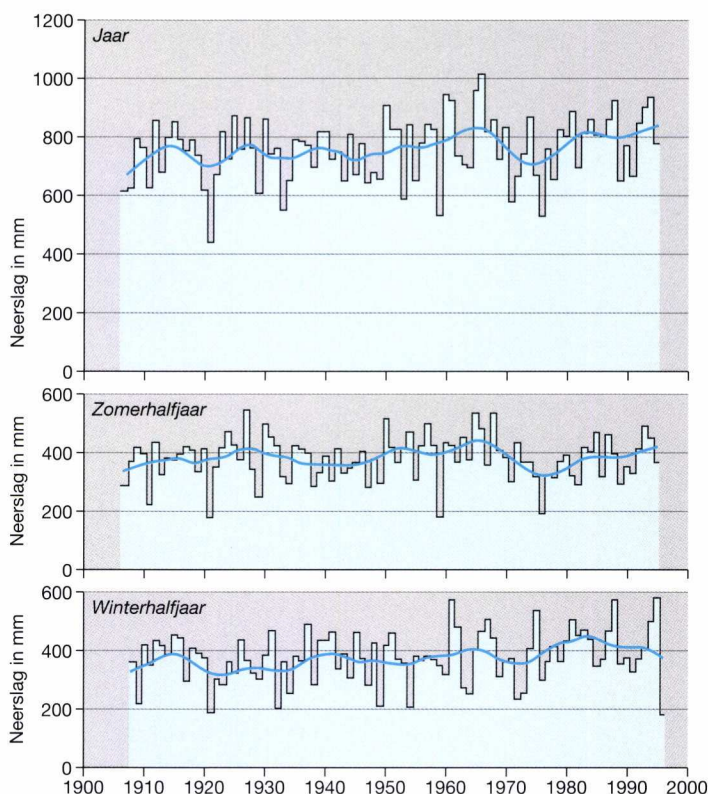
Periode	Neerslag (mm per jaar)	Duur neerslag (uren per jaar)	Temperatuur (jaarlijks gemiddelde in °C)	Zonneschijn (uren per jaar)
1931-1960	766	543	9,3	1572
1961-1990	803	604	9,4	1477
1988-1994	818	677	10,3	1533
1992	956	731	10,5	1604
1993	928	835	9,6	1494
1994	1036	863	10,6	1548

Gebaseerd op gegevens KNMI in Feddes, R.A., 1995

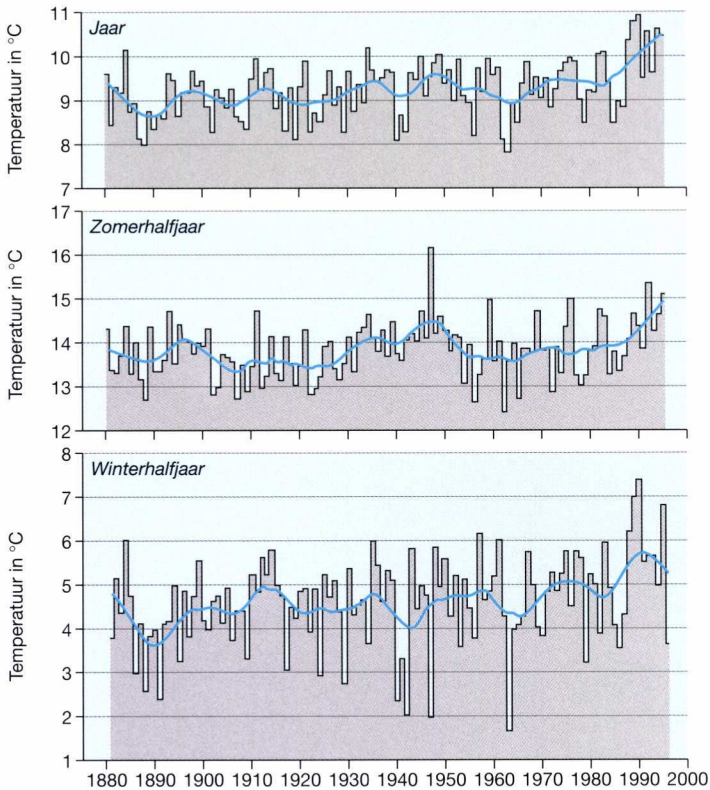
Met betrekking tot klimaatverandering, over een nog langere periode beschouwd, zijn zowel veranderingen in het neerslagpatroon als in de temperatuur markant (figuur 3.14 en 3.15).

Voorspellingen met betrekking tot temperatuur en neerslag kunnen gevonden worden in een KNMI-publicatie in het kader van de voorbereiding op de vierde Nota waterhuishouding. In die publicatie wordt ten opzichte van 1990 een temperatuuroptocht (jaarlijks gemiddelde) van 0,5 - 1 °C in 2050 en 1 - 4 °C in 2100 voorspeld. De winterneerslag zal in Nederland en in het stroomgebied van de Maas in 2050 met 6% en in 2100 met 12% toenemen ten opzichte van 1990. Ook de zomerneerslag zal toenemen, geschat wordt in 2050 met 1% en in 2100 met 2% ten opzichte van 1990. De regen zal in het zomerseizoen in kortere tijdsintervallen vallen, bovendien wordt voorspeld dat er een geringere ruimtelijke samenhang zal zijn. Dit betekent een toename in de zomer van lokale hevige stortbuien¹⁴. Met betrekking tot de Rijn wordt aangenomen dat door afname van het 's winters ingesneeuwd en permanent vergletsjerd oppervlak in de Alpen de smeltwaterbijdrage van de rivier zal afnemen ten opzichte van de regenwaterbijdrage. Dit zal tot gevolg hebben dat deze rivier in de nabije toekomst benedenstrooms grotere fluctuaties in debiet zal kennen. Bovenstrooms zal de rivier 's zomers lagere waterstanden dan in het verleden kennen. In de hoofdstukken 8 en 14 wordt hierop nader ingegaan.

Opvallend is wel dat deze voorspelde nattere winters niet overeenstemmen met de waargenomen droge winters van bijvoorbeeld 1995 - 1996 en 1996 - 1997¹⁵.

**Figuur 3.14**

Het neerslagpatroon in de periode 1907 - 1995/96 verkregen door middeling over 13 geselecteerde stations
(Naar Können, G.P. & W. Fransen (red.), 1996)



Figuur 3.15
 Temperatuurverloop in de periode 1880 - 1995/96 te De Bilt
 (Naar Können, G.P. & W. Fransen (red.), 1996)

Dit toont aan hoe ook bij voorspelling van verandering van gemiddelden de natuurlijke spreiding blijft. Bovendien toont het aan hoe voorzichtig klimaatvoorspellingen gehanteerd moeten worden.

Met betrekking tot de voorspelde zeespiegelstijging wordt door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat voor de periode 1998 - 2050 een minimum stijging van 10 cm en een maximum stijging van 30 cm aangehouden. De voorspelde bodemdaling in de diep liggende polders wordt voor dezelfde periode op minimaal 10 cm en maximaal 45 cm gesteld ¹⁶.

De gevolgen van de voorspelde zeespiegelstijging en van de bodemdaling op de diepte van het zoet/brak-grensvlak in het grondwater in West-Nederland zijn van groot belang. In paragraaf 4.6 zullen de oorzaken van bodemdaling toegelicht worden. In paragraaf 7.2 wordt nader ingegaan op de consequenties van de verwachte zeespiegelstijging.

3.3 Waterhuishouding

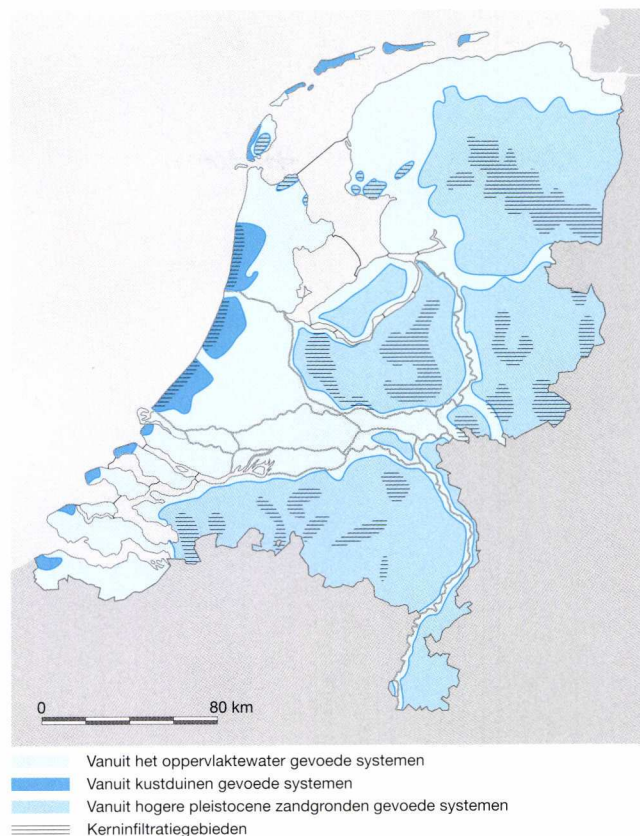
Een gedeelte van het neerslagoverschot wordt toegevoegd aan het oppervlaktewater en stroomt af naar zee of verdampt. De rest infiltreert in de grond, maar van dit water komt een groot deel

direct of indirect via drainage toch weer in het oppervlaktewater terecht. Een schatting leert, dat van de totale jaarlijkse neerslag van gemiddeld 792 mm slechts 70 mm, dat is nog geen 10%, uiteindelijk in de diepere ondergrond inzigt en in een aquifer wordt opgenomen ¹⁷.

Het is eigenlijk pas sinds 1955 - 1960 dat het gedeelte van de neerslag dat infiltreert tot dit geringe percentage is teruggebracht. In 1955 trad de Ruilverkavelingswet in werking. Door de uitvoering daarvan werden veel agrarisch-waterstaatkundige maatregelen uitgevoerd die leidden tot een versnelde drainage en peilverlaging. Voor Noord-Brabant wordt gemeld dat in 1994 niet meer dan 11% van de neerslag het grondwater bereikte ¹⁸.

De aanvulling van het grondwater vanuit het oppervlaktewater, met als belangrijkste bron de grote rivieren, is tot op heden nauwelijks onderzocht. Desondanks is er wel een schatting voor: de bijdrage wordt geschat op 30 mm (1121 mln m³) per jaar ¹. *Figuur 3.16* toont de verdeling van Nederland in gebieden waar vooral neerslag het grondwater voedt en de gebieden waar zowel neerslag als oppervlaktewater het grondwater aanvullen.

Al het geïnfilteerde water verblijft slechts tijdelijk in het grondwatersysteem. In Nederland vertoont het grondwaterniveau geen langdurige stijging. Dat betekent dat de geïnfilteerde aanvulling via winning, kwel en drainage weer verdwijnt. Het kan gebeuren via toevoeging aan het oppervlaktewater of voor een onbekend gedeelte via grondwaterstroming in de aquifers tot buiten de landsgrenzen. Jaarlijks wordt gemiddeld ongeveer 49 mm als restterm aan de waterbalans onttrokken ¹⁹. Deze hoeveelheid wordt kennelijk zowel onttrokken aan de infiltratie als aan het rivierwater.

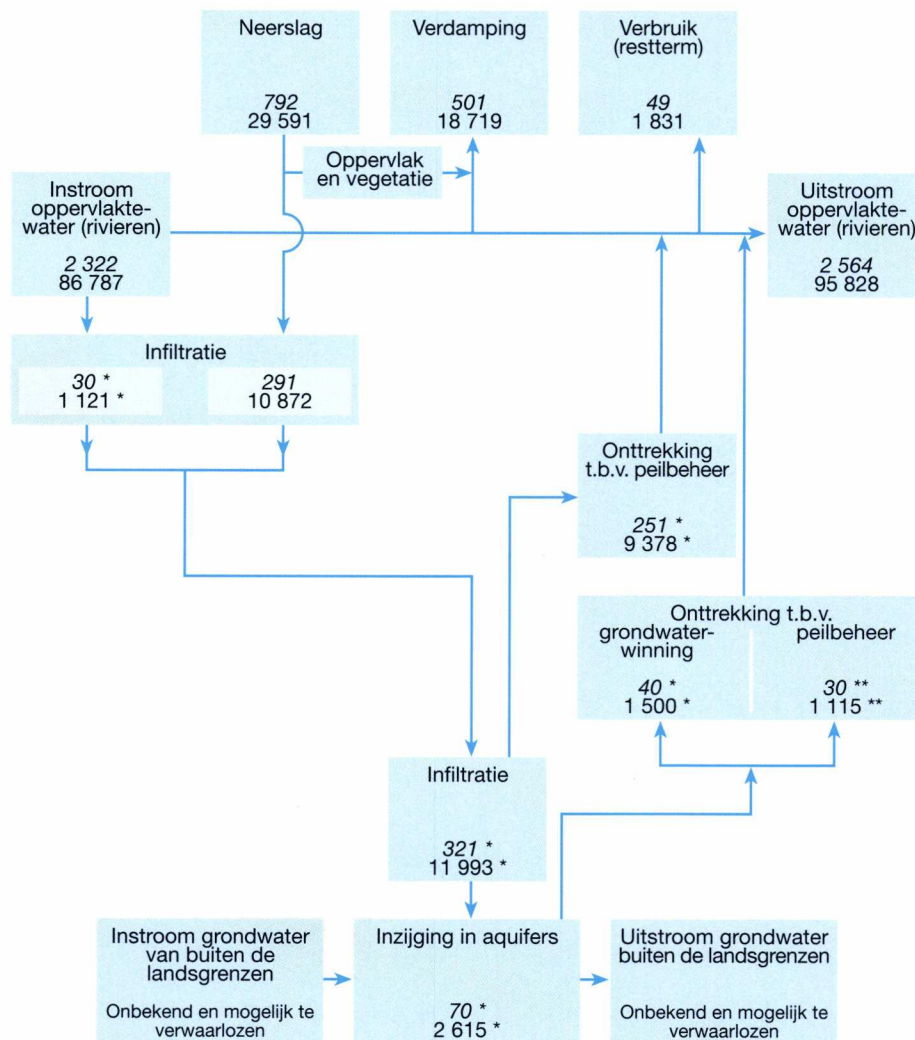


Figuur 3.16
Voeding van het grondwater (Naar Stuurman R.J., 1990)

Terughoudendheid is op zijn plaats bij de hantering van de getallen, want het gaat om schattingen. Een aantal componenten, zoals het in- en uitstromen van grondwater onder de landsgrenzen, is zelfs onbekend ²⁰. Ook de totale (polder)kwel, mogelijk gedeeltelijk infiltratiewater uit de Noordzee, kon niet kwantitatief bepaald worden. De hoeveelheid water die voor het peilbeheer aan de ondergrond onttrokken wordt en op het oppervlaktewater wordt geloosd, kan ook alleen maar geschat worden.

In een stroomdiagram zou de Nederlandse waterhuishouding er, op grond van het bovenstaande, uit kunnen zien zoals in *figuur 3.17* gepresenteerd.

Binnen het waterhuishoudkundig systeem zijn de bijdragen van de neerslag aan de oppervlaktewaterafvoer en van het oppervlaktewater aan de verdamping niet kwantitatief benoemd. Er is geen netto toename van de hoeveelheid grondwater in Nederland waar te nemen. Verschillende verschijnselen duiden juist op een mogelijke afname. Daarom mag geconcludeerd worden dat de hoeveelheid die in dit stroomdiagram als inzigging in de watervoerende lagen aangegeven staat (70 mm of 2615 mln m³) ook de minimale hoeveelheid is die onttrokken wordt.



- 40 Waarde in mm per jaar
- 1 500 Waarde in mln m³ per jaar
- * Ruwe schatting
- ** Ruwe schatting. Inclusief een onbekende hoeveelheid brak en mogelijk ook zout grondwater

Figuur 3.17

Kwantitatieve schatting van de huidige waterhuishouding van Nederland (schatting gebaseerd op recente neerslag- en afvoercijfers)

(Naar KNMI, naar Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Dir. Gen. Rijkswaterstaat, RIKZ - RIZA (ed.), 1994, naar Colenbrander, e.a., 1989 en naar Ministerie van VROM (ed.), 1994)

4 Geologie van Nederland

4.1 De geologische tijdschaal

In dit boek gaat de belangstelling vooral uit naar zoet grondwater, de grondstof voor drinkwaterwinning en voor watervoorziening in landbouw, veeteelt en industrie. Voor kennis van de hydrologie is kennis van de ondergrond nodig. Grondwater bevindt zich immers in poriën van los sediment of vast gesteente en in breuken in vast gesteente. In verband met de winning van grondwater is de doorlatendheid van de ondergrond van groot belang. Deze doorlatendheid hangt nauw samen met de geologie ter plaatse. Ook zout en brak grondwater komt in de formaties of afzettingen voor. De overgang van zoet naar brak is van belang, omdat die de grens aangeeft van het water dat wel en het water dat niet voor de drinkwaterwinning is te gebruiken. Ook deze overgang hangt nauw samen met de geologie ter plaatse ¹.

De geologische tijdschaal kent vier tijdperken of era's, van oud naar jong: het Precambrium, het Paleozoïcum, het Mesozoïcum en het Kenozoïcum.

Vooraf het jongste tijdperk - het Kenozoïcum - is bepalend voor de situatie van het grondwater in het grootste deel van Nederland.

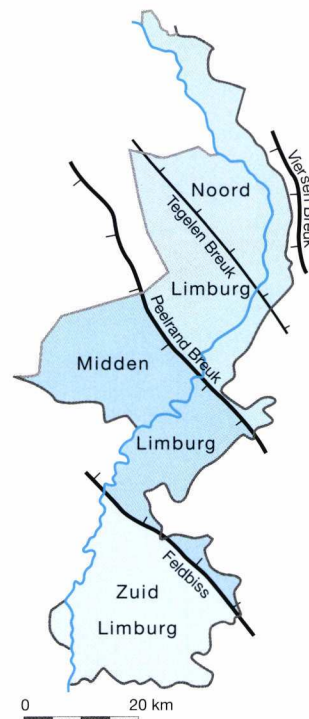
In de provincies Limburg en Overijssel zijn ook oudere afzettingen, en wel uit het jongste deel van het Mesozoïcum, voor de grondwaterwinning van belang ².

In deze provincies komen deze oudere afzettingen, behorend tot de periode van het Krijt, op relatief geringe diepte voor. In grote delen van de provincie Limburg zijn jongere formaties zelfs afwezig. De geologie wordt in deze provincie in grote mate beïnvloed door de aanwezigheid van noordwest-zuidoost verlopende breuksystemen (figuur 4.1). Zo wordt de provincie in drie gebieden ingedeeld.

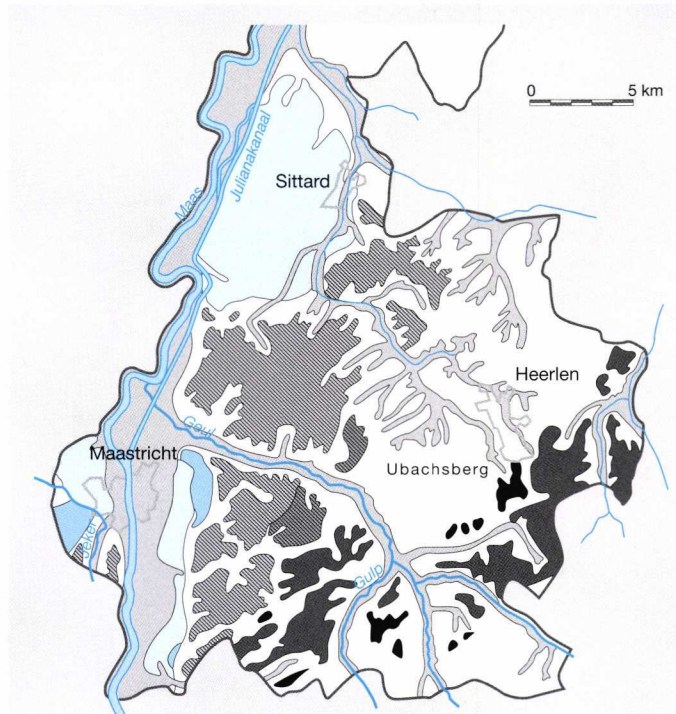
Vanouds waren de, aan de oppervlakte gelegen, uiterst permeabele Maasafzettingen, zogenaamde Maasterrassen, belangrijk als grondwaterreservoir. Figuur 4.2 geeft een overzicht van deze pakketten en de bijhorende lithostratigrafie (formatie-benoeming).

De geschiedenis van het Kenozoïcum begon zo'n 65 miljoen jaar geleden, terwijl het zoete water voorkomt in afzettingen die relatief recent gevormd zijn, gedurende de laatste 2,5 miljoen jaren. Het Kenozoïcum wordt onderverdeeld in twee perioden: het Tertiair en het Kwartair. Het Kwartair valt weer uiteen in twee tijdvakken, Pleistoceen en Holoceen. In figuur 4.3 wordt de tijdschaal van het Boven-Tertiair en van het Kwartair gepresenteerd.

Het begin van het Pleistoceen wordt gedateerd op ongeveer 2,5 miljoen jaar geleden. Het Holoceen begint ongeveer 10 000 jaar geleden. Pleistoceen en Holoceen worden onderverdeeld in 12 Etages. Deze tijdsindeling is voornamelijk gebaseerd op de vele klimaatwisselingen die optraden (figuur 4.4).



Figuur 4.1
De drie deelgebieden in de provincie Limburg
(Naar Rooijen, P. van, 1989)



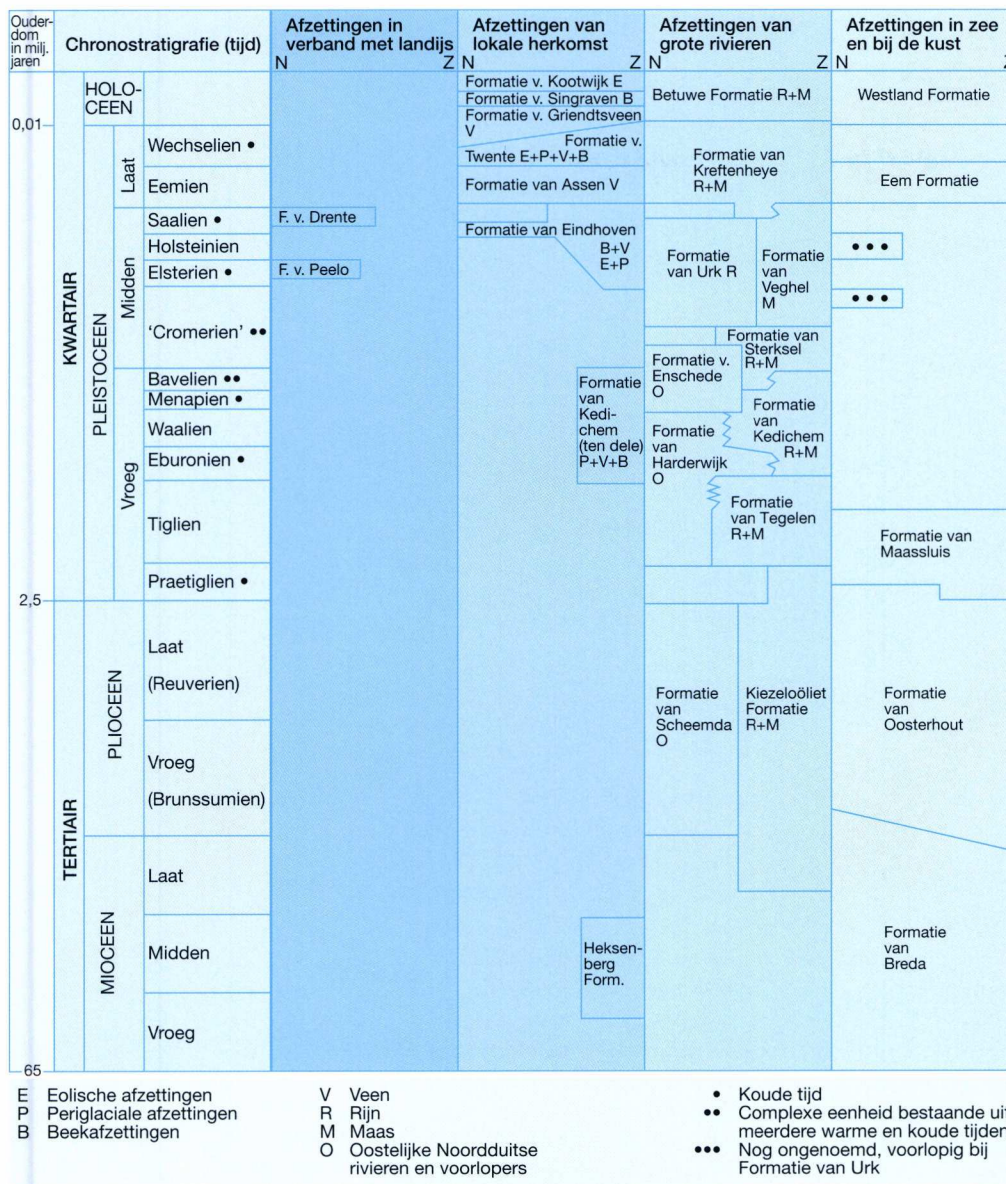
Lithostratigrafie	Correlatie	Lokale benaming
		Huidige riviervlakte en beekdalen Laagterras van de Maas
Formatie van Krefthenheye	↔	MIDDEN TERRAS
Formatie van Veghel	↔	
Formatie van Sterksel	↔	HOOGTERRAS
Formatie van Kedichem	↔	
Formatie van Tegelen	↔	Simpelveld terras
Kiezelooliet Formatie	↔	Kosberg terras

||||| Geen rivierafzetting bekend

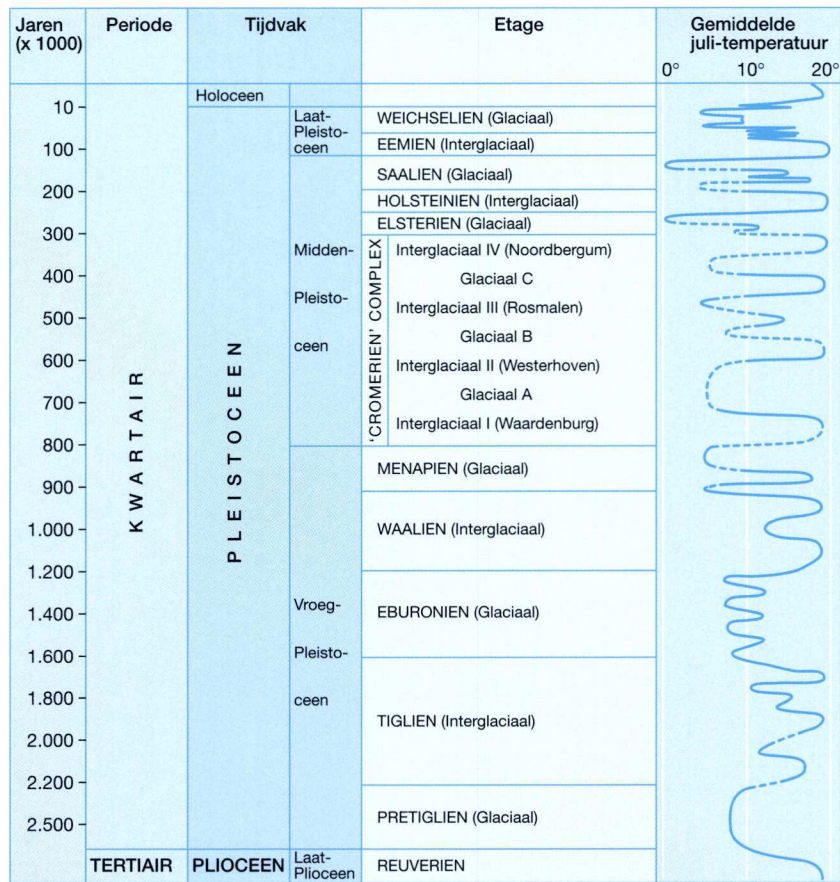
Figuur 4.2

Correlatie van lithostratigrafie en lokale benamingen van de Maasterrassen in Zuid-Limburg

(Naar Zagwijn, W.H. & C.J. van Staaldunin, 1975)



Figuur 4.3
 Indeling van het Boven-Tertiair en Kwartaair
 (Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)



Figuur 4.4
 Tijdsindeling van het Kwartair met bijbehorende klimaatcurve
 (Naar Zagwijn, W.H. en C.J. van Staaldunin, 1975)

Temperatuurdaling tijdens ijstijden of glacialen ging gepaard met het aangroei van de ijskappen en verlaging van de zeespiegel. Tijdens deze ijstijden bedekten ijskappen grote delen van het noordelijk halfrond. Temperatuurstijging leidde weer tot warmere perioden, interglacialen. Deze gingen samen met het afsmelten van de ijskap en een verhoging van de zeespiegel. De indeling is weergegeven in *figuur 4.4*.

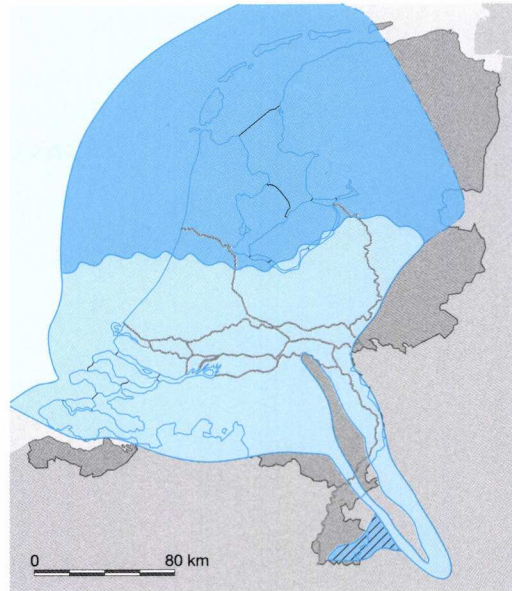
De *figuren 4.5 t/m 4.8* geven een beeld van de verdeling van land, zee en van de ligging van de grote rivieren ter plaatse van het huidige Nederland gedurende verschillende etages, overeenkomend met verschillende klimatologische perioden, van het Pleistoceen.



- Afzettingsgebied van de Noordzee
- Afzettingsgebied van de Rijn
- Afzettingsgebied van de Maas
- Afzettingsgebied van rivieren uit Noord-Duitsland

Figuur 4.5

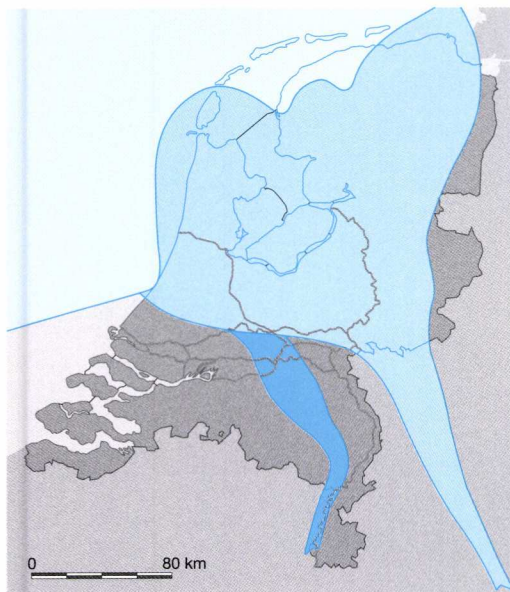
Afzettingsgebieden. Ongeveer 2,2 miljoen jaren voor Christus (Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)



- Afzettingsgebied van de Noordzee
- Afzettingsgebied van de Rijn
- Afzettingsgebied van de Maas
- Afzettingsgebied van rivieren uit Noord-Duitsland

Figuur 4.6

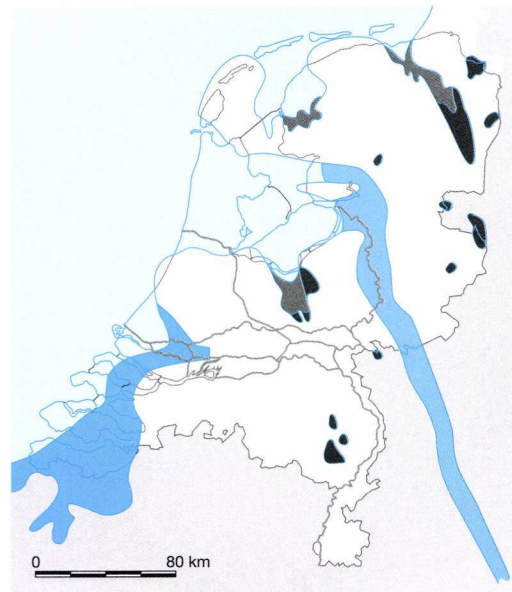
Afzettingsgebieden. Ongeveer 1,8 miljoen jaren voor Christus (Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)



- Afzettingsgebied van de Noordzee
- Afzettingsgebied van de Rijn
- Afzettingsgebied van de Maas

Figuur 4.7

Afzettingsgebieden. Ongeveer 400 000 tot 300 000 jaren voor Christus (Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)



- Afzettingsgebied van de Noordzee
- Afzettingsgebied van de Rijn
- Afz. gebied van de Maas, Schelde e.d.
- Kwelders en wadden
- Veen

Figuur 4.8

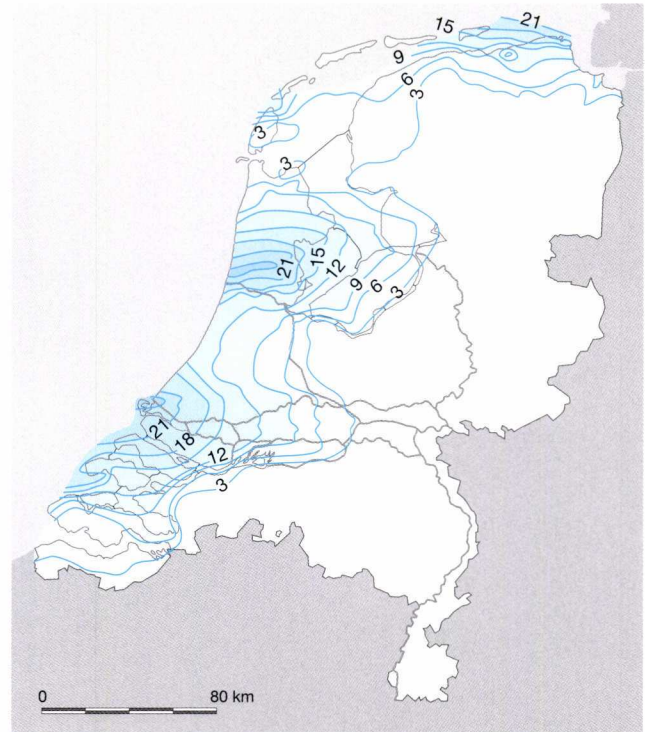
Afzettingsgebieden. Ongeveer 130 000 tot 110 000 jaren voor Christus (Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)

Een sub-arctisch klimaat kenmerkt het Pleistoceen. Het landschappelijk beeld van Nederland aan het eind van dit betreffende tijdperk kan beschreven worden als een oppervlakte bestaande uit uitgestrekte zandige afzettingen, lokaal afgewisseld met kleiige afzettingen gereleerd aan de ijsbedekking. Een dergelijk landschap zou ook een arctische woestijn genoemd kunnen worden. De kustlijn bevond zich ongeveer 250 kilometer ten noordwesten van de huidige kustlijn (figuur 4.9).

Het maaiveld van een groot gedeelte van West-Nederland lag in dat tijdperk aanzienlijk beneden het huidige NAP (figuur 4.10).



Figuur 4.9
Verdeling van land en zee aan het einde van het Pleistoceen, 7000 jaren voor Christus
(Naar Ven, G.P. van de, (red.), 1993)

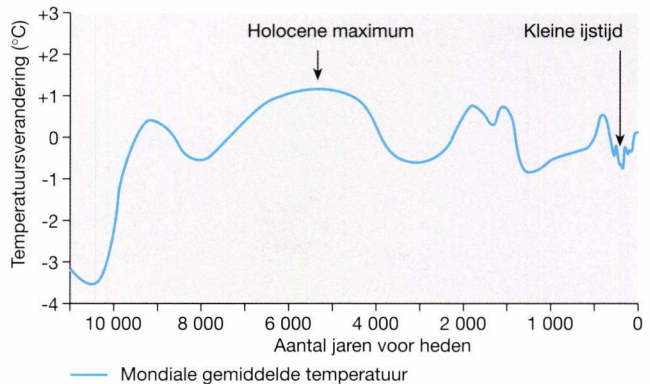


— Contour van bovenkant van Pleistocene afzettingen (basis Holoceen) in m -NAP

Figuur 4.10
Ligging van het maaiveld ten opzichte van NAP aan het einde van het Pleistoceen (Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)

Het Holoceen is het tijdvak waarin we nu leven. Dit tijdvak kenmerkt zich door een geleidelijke stijging van de temperatuur, resulterend in een relatief warm klimaat. De gevolgen hiervan zijn het afsmelten van landijs en een stijging van de zeespiegel (figuur 4.11 en 4.12).

Figuur 4.11
Mondiale temperatuurveranderingen in de laatste 12 000 jaar
(Naar Houghton, J.T., G.J. Jenkins & J.J. Ephraums, 1990)

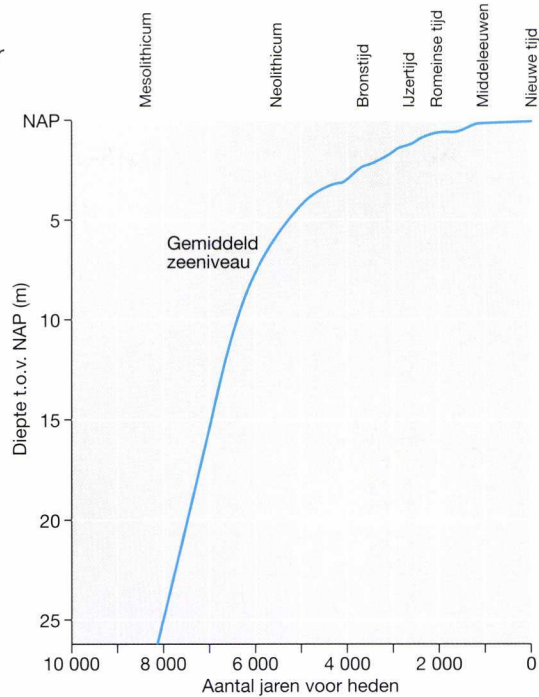


Figuur 4.12

Zeespiegelstijging gedurende de laatste 10 000 jaar
(Naar Zagwijn, W.H., 1991)

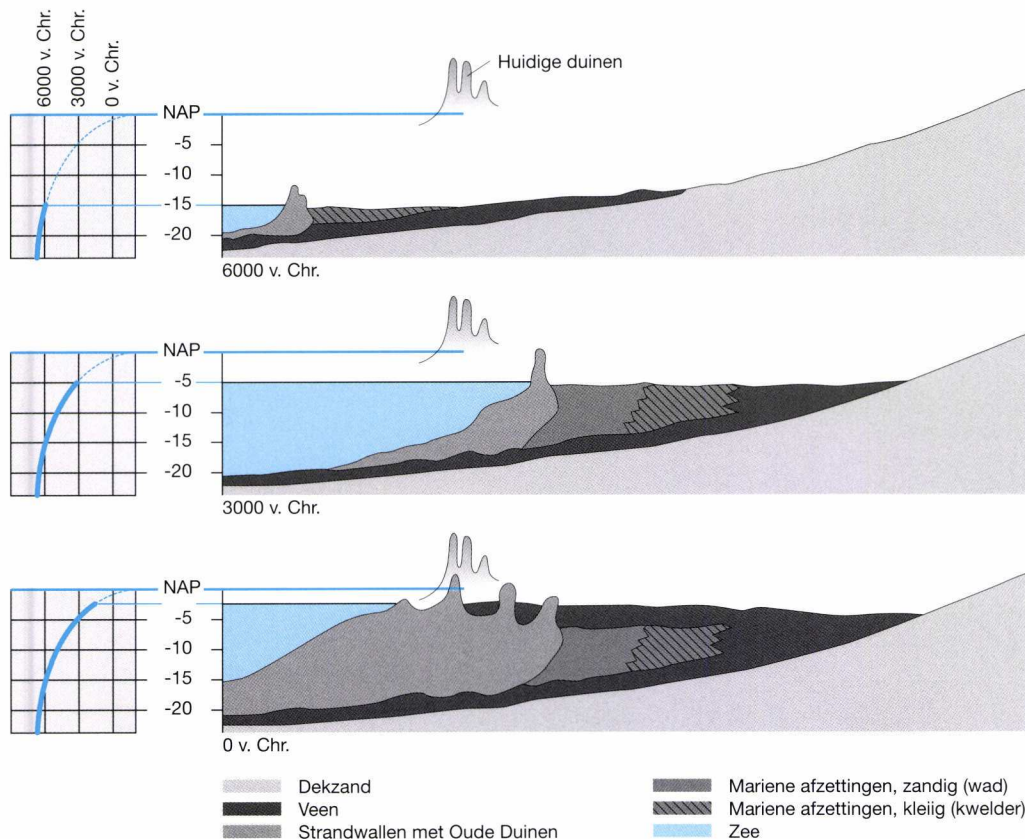
De zeespiegelstijging was in de periode van 7000 tot 2000 jaren vóór onze jaartelling met 20 meter aanzienlijk groter dan in de daaropvolgende periode met, tot op heden, een totale stijging van niet meer dan 4 meter (figuur 4.12).

De stijging van de zeespiegel heeft meerdere gevolgen gehad. De kustlijn verplaatste zich eerst naar het zuidoosten, daarna naar het oosten. Omstreeks 3000 voor Christus ontstonden de eerste duinen, oostelijk van de huidige duinen. In de periode nadien verplaatste de kustlijn zich naar het westen (figuur 4.13).

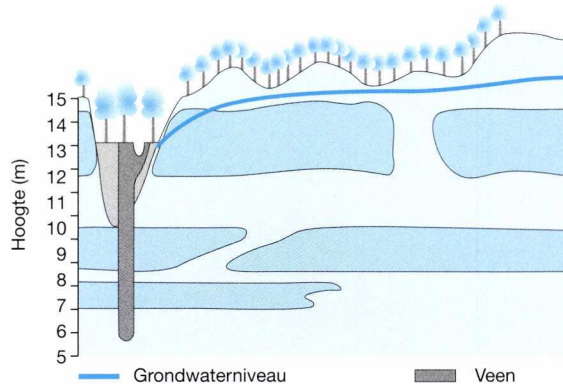


Figuur 4.13

Ontwikkeling van de duinenrijen in West-Nederland (Naar Ven, G.P. van de, (red.), 1993)

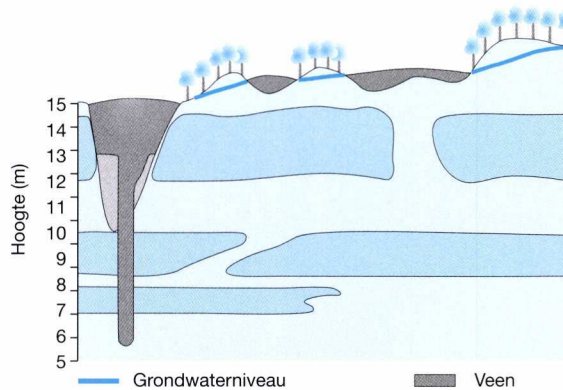


Minstens zo belangrijk was de stijging van het grondwaterniveau. Dit was eveneens een gevolg van de stijging van het zeeniveau. De bodem werd vochtiger en daarom vond aan de oppervlakte in uitgestrekte gebieden veenvorming plaats. Deze ‘vernatting’ strekte zich ver naar het oosten uit. Dientengevolge werden ook de, hogere, zandige Pleistocene gedeelten van Nederland natter. Dit resulteerde in eerste fase in een snel toenemende vegetatie in deze gedeelten gevolgd door moerasvorming. Na ingreep van de eerste bewoners werd het grondwaterniveau kunstmatig verlaagd (figuur 4.14 tot en met 4.16).



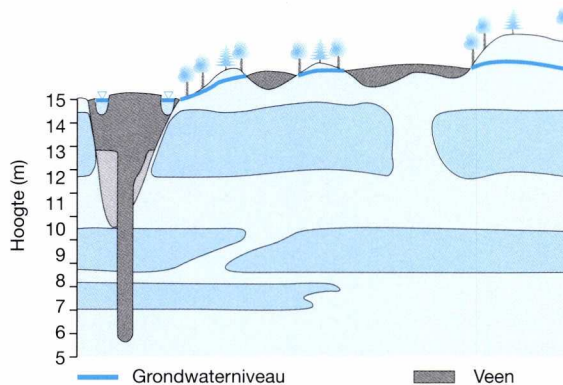
Figuur 4.14

Situatie 9000 v. Christus. Opvulling van beekdalen met veen. Toenemende vegetatie als gevolg van stijgend grondwaterniveau (Naar Stuurman, R.J., e.a., 1996 a)



Figuur 4.15

Situatie 6000 v. Christus. Verdere stijging van het grondwaterniveau veroorzaakt uitgestrekte moerasvorming. De afwatering neemt af (Naar Stuurman, R.J., e.a., 1996 a)



Figuur 4.16

Situatie 3000 v. Christus. Herstel van de afwatering, mogelijk als gevolg van een afname van de hoeveelheid neerslag en zeker als gevolg van het begin van landbouw op de hogere gronden (Naar Stuurman, R.J., e.a. 1996 a)

4.2 Mariene afzettingen

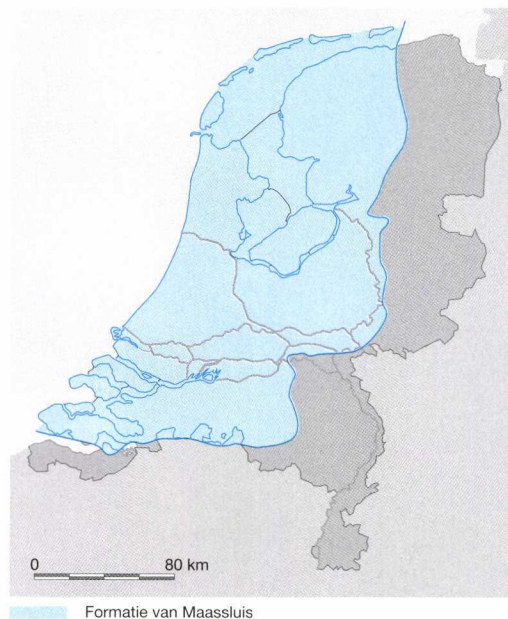
Het huidige Nederland was gedurende het Kwartair een kustgebied. Wisselingen in het niveau van de zeespiegel hadden invloed op het type afzetting. Bij een mariene transgressie, een hoge stand van de zeespiegel, drong de zee het land binnen. Hierbij ontstonden mariene afzettingen met zout of brak grondwater in de formaties.

Bij een transgressie raakten westelijke delen van het huidige Nederland onder water. In het Pleistoceen overschreden dergelijke transgressies driemaal de kustlijn van het tegenwoordige Nederland. Een voorbeeld van een afzetting die het gevolg is van een mariene transgressie is de schelphoudende fijnzandige Formatie van Maassluis uit het Vroeg-Pleistoceen. Zo is het duidelijk dat deze formatie voornamelijk in het kustgebied van West-Nederland voorkomt (figuur 4.17).

Het omgekeerde van transgressie is regressie. De zee verwijderd zich van het land door een verlaging van de stand van de zeespiegel. Hierbij vallen gebieden droog. Er kunnen terrestrische (aan land gebonden) afzettingen ontstaan met zoet grondwater in de formatie, afkomstig van neerslag of infiltrerend rivierwater.

Het Holoceen kenmerkt zich door mariene transgressies en door het ontstaan in de kuststreek, van slecht doorlatende formaties als mariene of brakwaterafzettingen, waaronder kleien. Deze werden later afgedekt door rijen duinen van verschillende ouderdom.

Elke transgressie en regressie gaat gepaard met een verandering in de aard van de afzetting. De stratigrafie, onderdeel van de geologie, bestudeert deze verschijnselen. Veelal wordt een afzetting genoemd naar de plaats waar hij aan de oppervlakte komt, een zogenaamde ontsluiting. Een afzetting kan ook de naam krijgen van een plaats waar hij in een boring als eerste is waargenomen. Zo werden Nederlandse plaatsnamen, zoals Maassluis, aan de benaming van Kwartaire afzettingen verbonden.

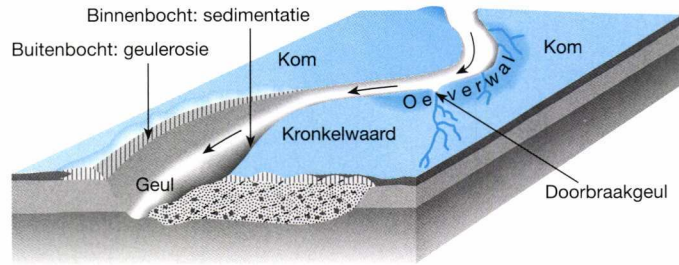


Figuur 4.17
Verbreiding van de Formatie van Maassluis
(Naar Staalduinen, C.J. van, e.a., 1979)

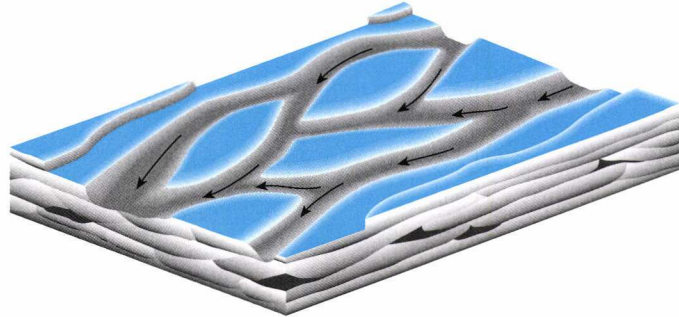
4.3 Fluviaale afzettingen

De afwisselingen in koudere en warmere perioden is ook terug te zien in de sedimentatie langs de rivieren. Een dergelijke rivierafzetting heet fluviaale afzetting. De klimaatschommelingen vonden hun weerslag in het debiet, het volume aan water per tijdseenheid, dat door de grote rivieren afgevoerd wordt. Warmere perioden kenden een groot debiet, koudere perioden een lager debiet.

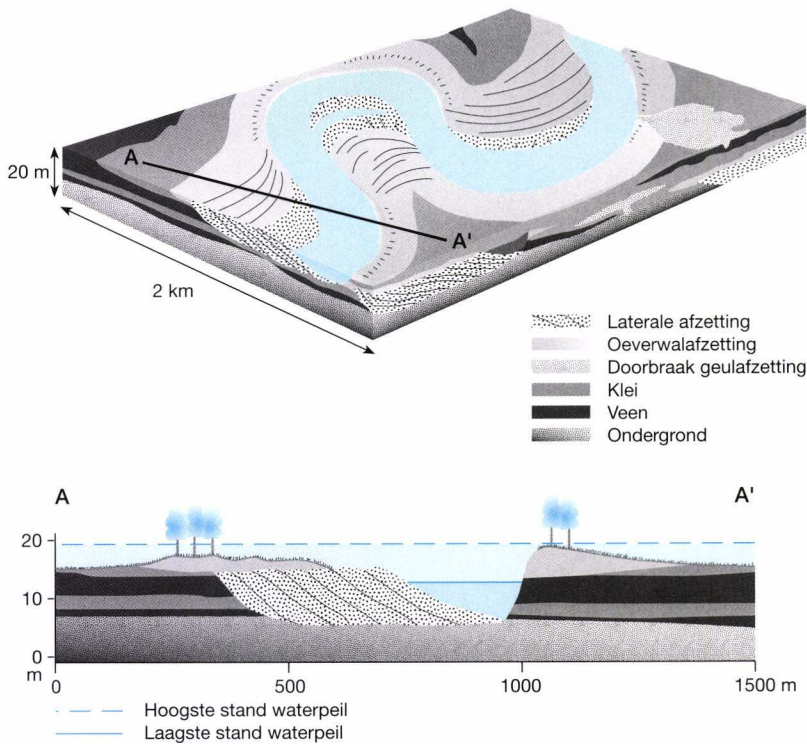
Tijdens koudere perioden werden langs de grote rivieren fijnere fracties afgezet, zoals fijn zand, silt en klei. Tijdens warmere perioden werden de afzettingen grover. In een delta-laagvlakte stromen de rivieren als regel langzaam, waarbij het bed zich soms seizoensafhankelijk enigszins verplaatst. Zo ontstaan meanders en zelfs vlechtwerken van waterstromen (figuur 4.18 en 4.19).



Figuur 4.18
Beeld van de afzettingen rond een meanderende rivier (Naar Duijvenbouden, W. van & A. Breeuwsma, e.a., 1987)



Figuur 4.19
Vlechtwerk van riviervtakkingen met het bijbehorende patroon van afzettingen (Naar Allen, J.R.C., 1970)

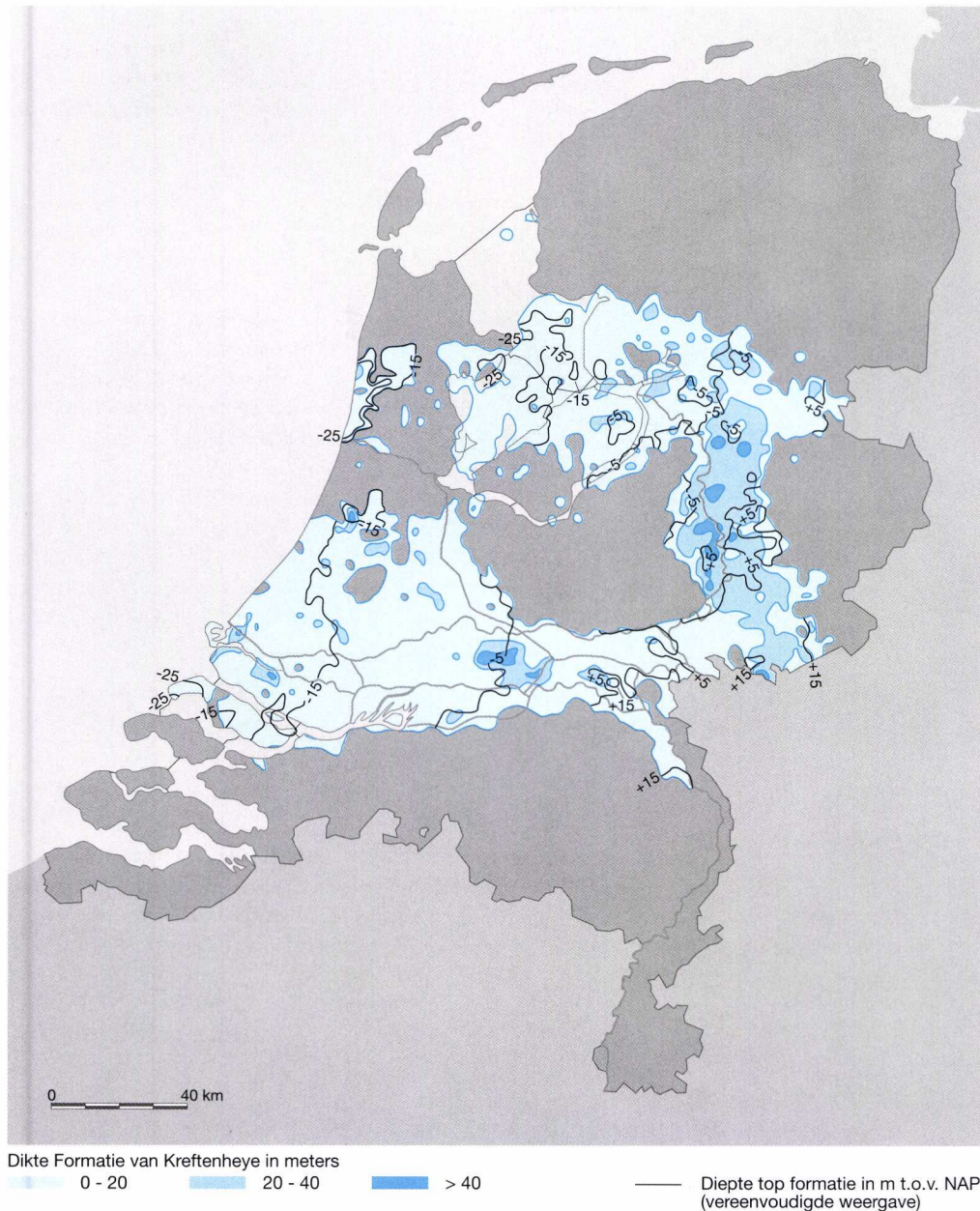


Figuur 4.20
Patroon van afzettingen bij meanderende rivieren in Nederland (Naar Weerts, H.J.T., 1996)

In relatie tot de stroomsnelheid ontstaan in de omgeving van de rivier verschillende soorten afzettingen, met elk hun eigen specifieke doorlatendheden (figuur 4.20).

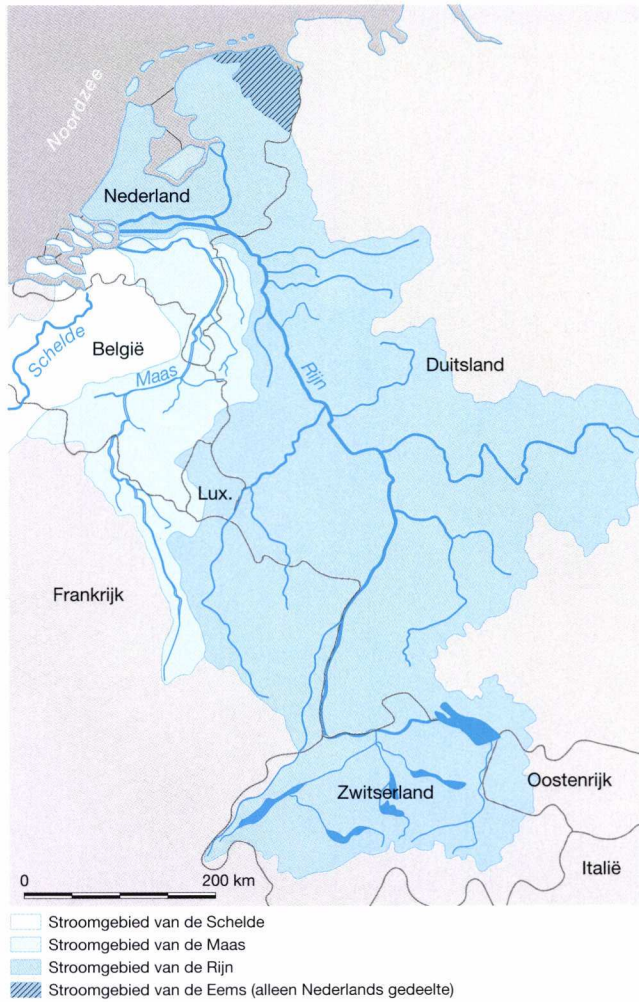
Pleistocene fluviatiele afzettingen kenmerken zich door een afwisseling van grovere en fijnere lagen. Er komen lateraal grote verschillen in dikte en doorlatendheid voor. Fluviatiele formaties komen niet over geheel Nederland voor, maar veelal slechts lokaal. Een groot aantal Pleistocene afzettingen bevat zoet water. Soms hebben ze een hoog doorlatend vermogen, wat deze afzettingen geschikt maakt voor grondwaterwinning. Een voorbeeld van een dergelijke Pleistocene fluviatiele afzetting is de Formatie van Kreftenheye bestaande uit grove zanden en fijn grind door Rijn en Maas afgezet in het Laat-Pleistoceen. De Formatie van Kreftenheye ligt daar, waar de grote rivieren zich in de tijd van afzetting van deze formatie bevonden. Naast doorlatendheid is ook dikte van een formatie een belangrijk aspect bij de beoordeling van een aquifer.

Figuur 4.21 toont de diktekaart van deze formatie. In deze figuur is bovendien de diepte van de bovenkant van deze formatie beneden NAP aangegeven.



Figuur 4.21

Diktekaart, met daarin aangegeven de diepte van de bovenkant t.o.v. NAP van de Formatie van Kreftenheye buiten de provincies Noord-Brabant en Limburg
(Naar Dijkshoorn, L. & H J.M. Pagnier, 1995)

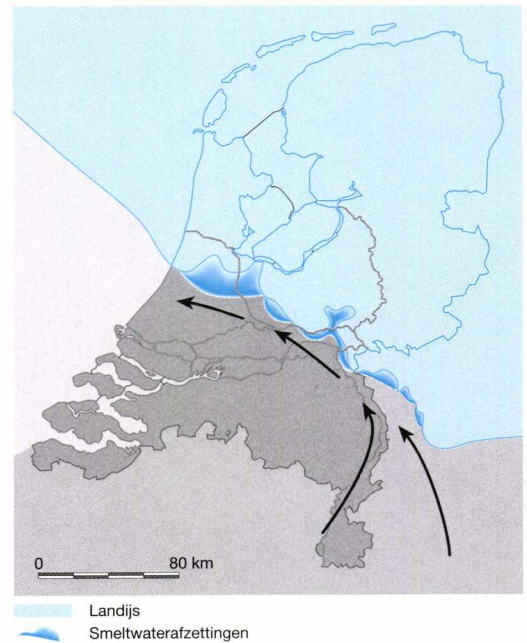


Figuur 4.22
 Stroomgebieden van de Nederlandse rivieren
 (Naar Ven, G.P. van de, e.a., 1986 en Colenbrander, H.J., e.a., 1989)

Het stroomgebied en het debiet van de Rijn was en is veel groter dan dat van Maas, Schelde en Eems (figuur 4.22). De Rijn-afzettingen zijn daardoor uitgestrekter en dikker dan die van de kleinere rivieren.

De klimaatwisselingen in het stroomgebied van de rivieren worden weerspiegeld in het type afzetting. Ten gevolge van het grotere stroomgebied van de Rijn en de relatie van deze rivier met wisselende vergletsjering van de Alpen, zijn de variaties in het debiet en in aard en dikte van de afzettingen van deze rivier het grootst. Ten gevolge van veranderingen in topografie vonden ook veranderingen in de loop van rivieren plaats. In het Pleistoceen werd de topografie van Nederland in grote mate bepaald door de bewegingen van het front van het landijs. Zo werd tijdens de Saale ijstijd de loop van IJssel, Rijn en Maas naar het zuiden verlegd door het, vanuit het noorden, oprukkende landijs (figuur 4.23).

Bij de aanvang van het Kwartair kende de ondergrond van het huidige Nederland meer reliëf dan nu. Daarom treedt er een verschil in dikte van het daarop afgezette pakket op. Figuur 4.24 geeft de diepte van de basis van de Kwartaire afzettingen, ten opzichte van NAP, weer.



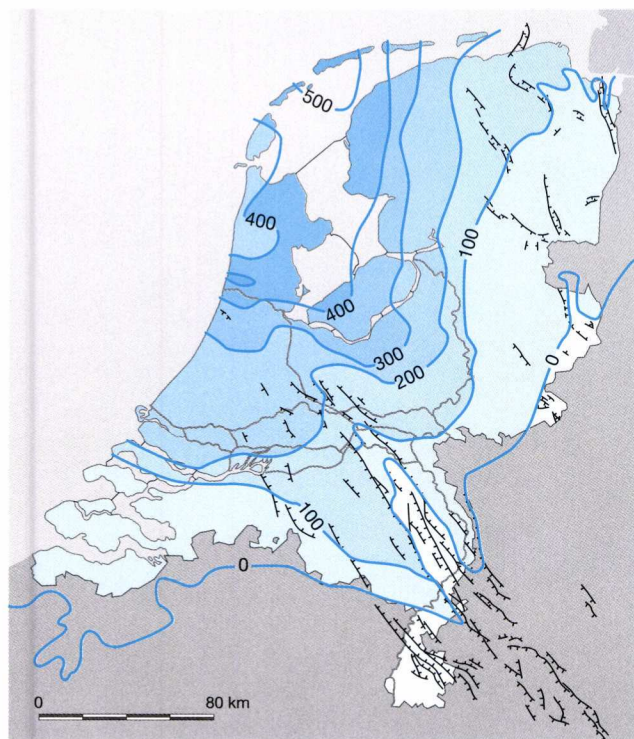
Figuur 4.23
 Verplaatsing van de loop van rivieren door het landijs
 (Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)

Latere tektonische bewegingen en periodes van erosie, die de periodes van afzetting afwisselden, zijn eveneens oorzaak van verschillen in dikte van de afzettingen. Deze invloeden en de daaruit voortvloeiende verschillen zijn vooral in het oosten en zuiden van Nederland aanwezig ³.

4.4 Glaciale afzettingen en stuwwallen

Wanneer het sediment door een gletsjer is afgezet heet dit een glaciaal sediment. Net als fluviaal sediment komen deze lokaal voor. Een voorbeeld is de Formatie van Peelo, bestaande uit zanden en dichte kleien (potklei) die zijn afgezet in het Midden-Pleistoceen. Deze formatie ligt op de plek waar gedurende de Elster-ijstijd het landijs zich bevond (figuur 4.25).

Voor de hydrogeologie van Nederland zijn stuwwallen belangrijke verschijnselen. Tijdens de grootste uitbreiding, gevolgd door terugtrekking van het landijs, in het Saalien 180 000 tot 130 000 jaar geleden, werd het zuidelijke front van het ijs gevormd door ijstongen. Periodiek bewogen deze zich vooruit of trokken zich terug (figuur 4.26 tot en met 4.29).

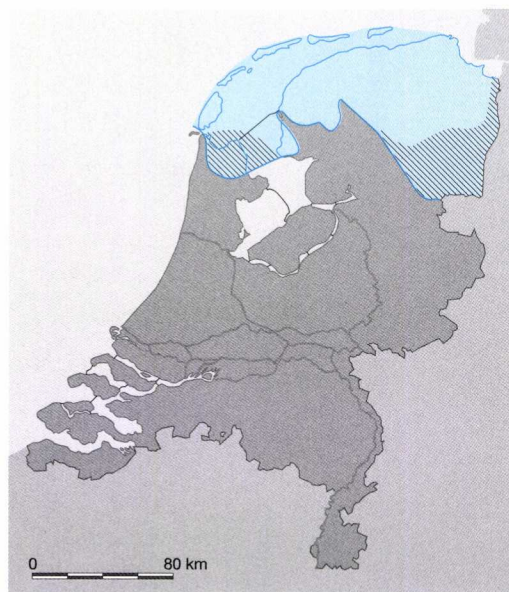


— Contour van gelijke diepte van de basis van het Kwartair in m -NAP
 - - - Breuk

Figuur 4.24

Diepte basis Kwartair

(Naar Staaldunin, C.J. van, e.a., 1979)

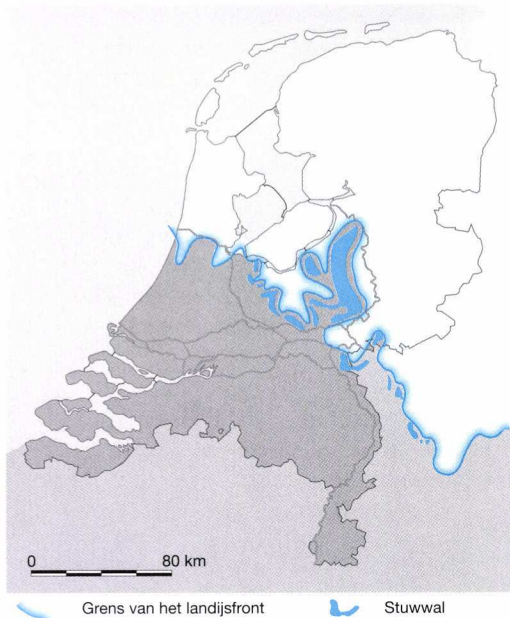


■ Formatie van Peelo
 ▨ Potklei afwezig

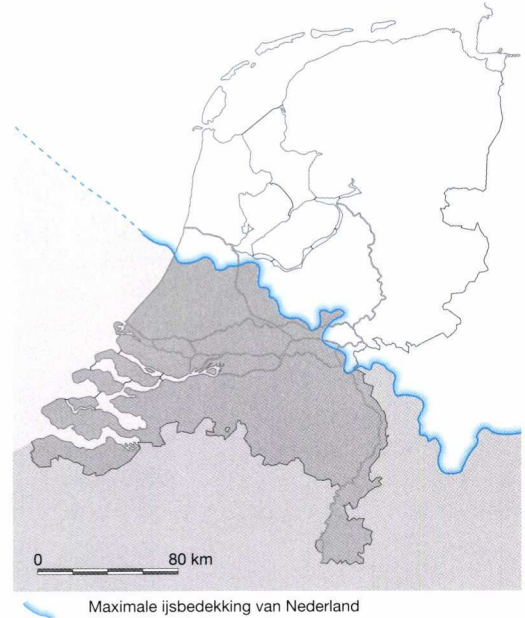
Figuur 4.25

Voorkomen van de Formatie van Peelo

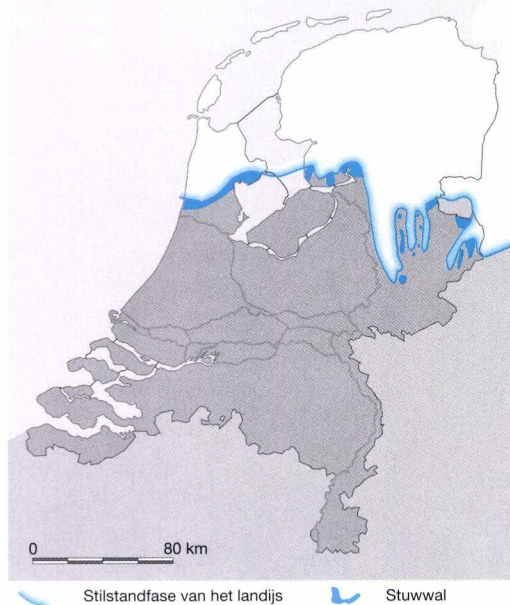
(Naar Staaldunin, C.J. van, e.a., 1979)



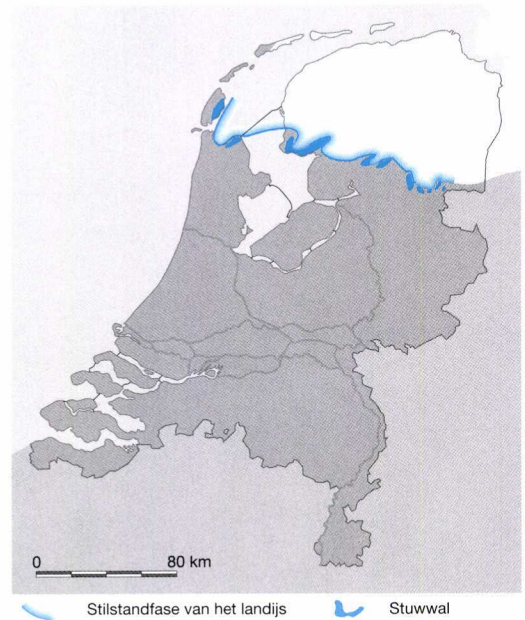
Figuur 4.26
 Verbreiding van het landijs. Fase waarbij de stuwwallen van de Utrechtse Heuvelrug, zuidelijke Veluwe en Montferland gevormd werden (Naar Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen, 1975)



Figuur 4.27
 Grootste verbreiding van het landijs in het Saalien (Naar Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen, 1975)

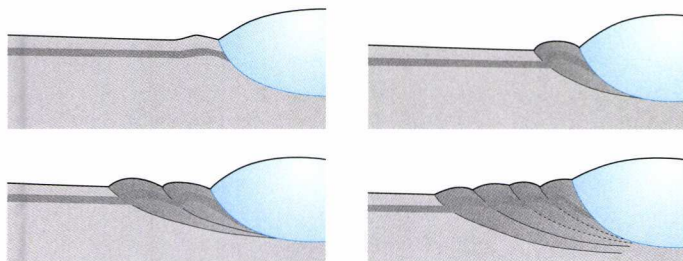


Figuur 4.28
 Terugtrekking afgewisseld met stationaire fasen van het landijs. Fase waarbij de stuwwallen in Oost-Nederland gevormd werden (Naar Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen, 1975)



Figuur 4.29
 Stilstand van het landijs tijdens verdere terugtrekking. Fase waarbij kleinere stuwwallen, zoals bij Steenwijk, gevormd werden (Naar Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen, 1975)

Vanwege de grote ijsmassa konden deze gletsjertongen grote hoeveelheden zand verplaatsen en opstuwten. Hierdoor ontstonden zandruggen, stuwwallen genoemd, met grote porositeit en permeabiliteit. Plaatselijk konden deze tot meer dan 100 meter boven de omgeving reiken (figuur 4.30).



Figuur 4.30
Vorming van een stuwwal
(Naar Gripp, K. 1964)

Figuur 4.31 geeft de ligging van de stuwwallen in Nederland weer. Het meest bekende voorbeeld van een dergelijke stuwwal is de Veluwe. Dit is een infiltratiegebied dat voor de Nederlandse grondwaterbeweging en grondwaterwinning van groot belang is.

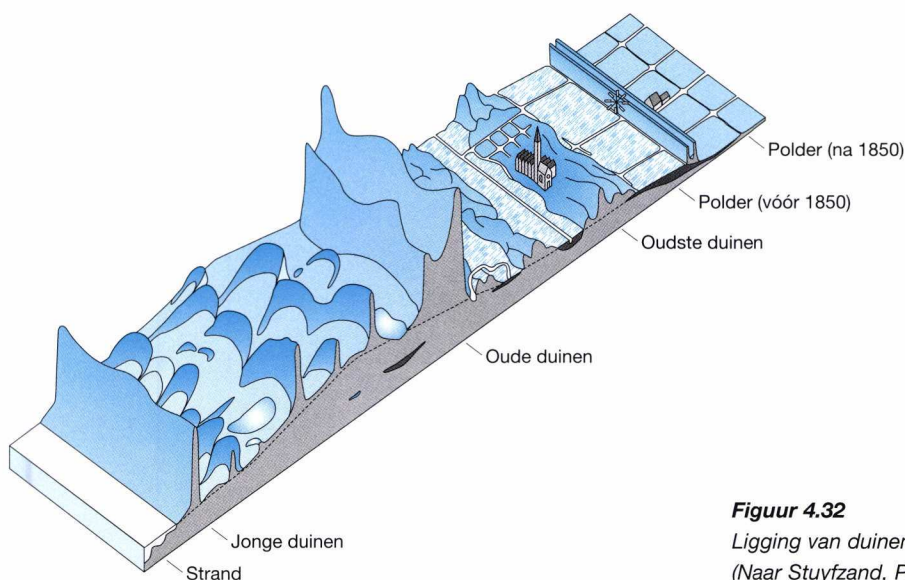


Stuwwal

Figuur 4.31
Voorkomen van stuwwallen
(Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)

4.5 Duinen

De zeeduinen die zich in het Holoceen vormden, zijn het belangrijkste zoet grondwaterreservoir in het westen van het land. Figuur 4.32 geeft de ligging van duinen en polders en de daarbij horende geografische begrippen in een vogelvluchtperspectief.



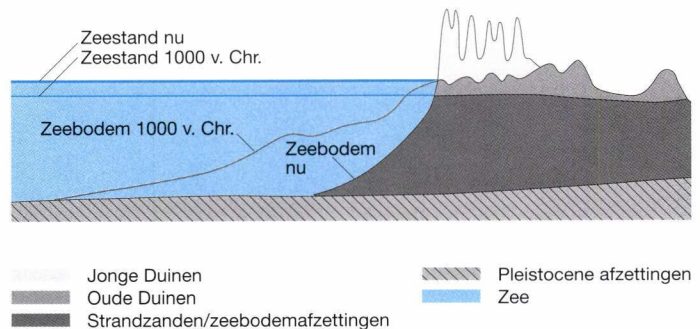
Figuur 4.32
Ligging van duinen en polders
(Naar Stuyfzand, P.J., 1993)

In het Holoceen bereikte de zee ongeveer 5500 jaar vóór onze jaartelling de nabijheid van de huidige kustlijn. Die bevond zich toen 15 meter lager dan het huidige NAP en westelijker dan de huidige kustlijn (figuur 4.33).



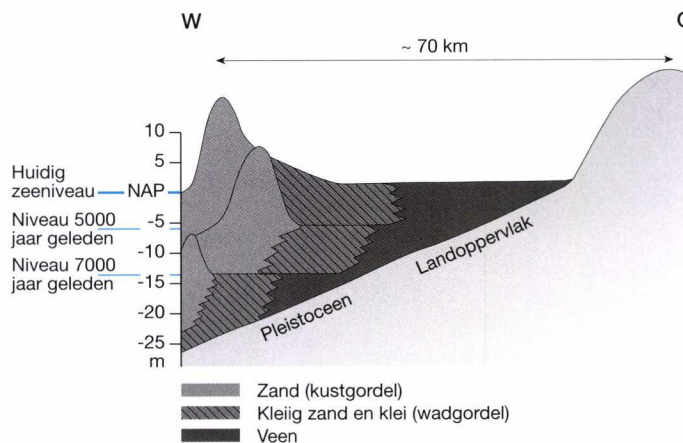
Figuur 4.33
Verdeling van land en zee ongeveer 5500 vóór Christus (Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)

Tot 3000 vóór Christus bleef de zeespiegel stijgen. De kustzone met wadden en kwelders verplaatste zich naar het oosten. Ten oosten van onze huidige duinen ontstonden toen de eerste, dus oudste, duinen. Aan het einde van die periode nam de stijging van de zeespiegel af en de kustwallen sloten zich aaneen. Op de mariene afzettingen ontstond veen. De kustlijn verplaatste zich vervolgens weer naar het westen. Nieuwe duinen ontstonden westelijk van de oudere duinenrij (figuur 4.32, 4.34 en 4.13).

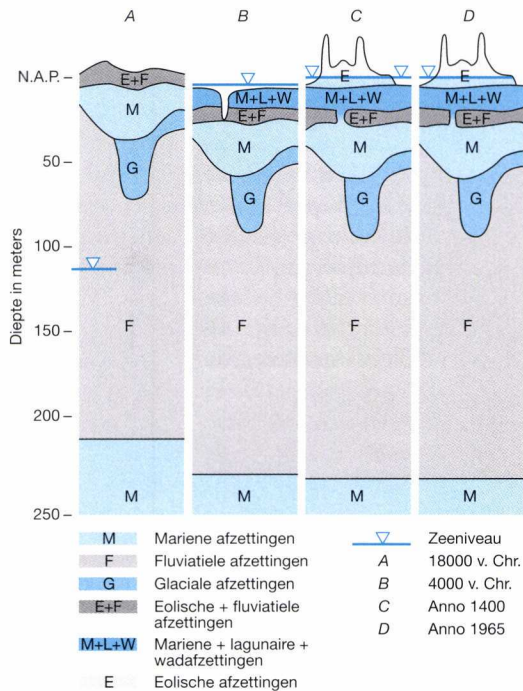


Figuur 4.34
Veranderingen in het profiel van de Nederlandse kust (Naar Zagwijn, W.H., 1991)

Dit heeft als resultaat een complexe opbouw van West-Nederland, waar zandige afzettingen vervingen met veen en met kleiige afzettingen. Figuur 4.35 illustreert dit.



Figuur 4.35
Verband tussen zeespiegelstijging, verplaatsing van de kustlijn en het type afzetting (Naar Zagwijn, W.H., 1991)



Figuur 4.36

Ontwikkeling van duinen en ondergrond gedurende de laatste 20 000 jaar (Naar Stuyfzand, P.J., 1993)

deze Holocene formaties zijn desondanks van groot belang. In de hydrogeologische kartering worden ze vaak deklaag genoemd. Deze formaties hebben een beschermende functie omdat ze afdichtend werken; bij een toenemende verontreiniging van zowel het oppervlaktewater als van de bodem is dit van grote betekenis.

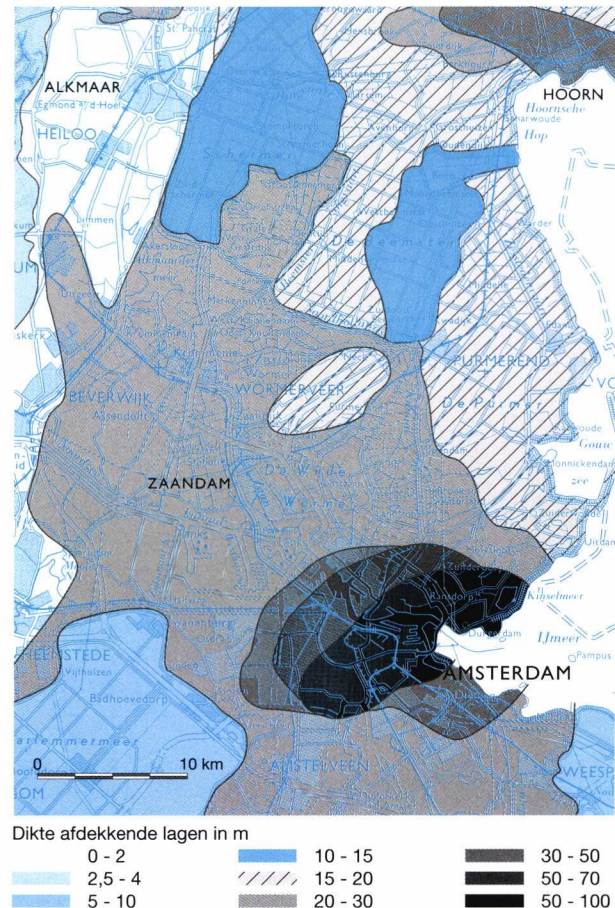
In het kader van een kartering van de kwetsbaarheid van het grondwater, gecoördineerd door het RIVM, werd in 1987 een rapport uitgebracht waarin de verbreiding en het hydrologisch karakter van de deklaag beschreven wordt.

Figuur 4.37, ontleend aan dit rapport, geeft als voorbeeld de dikte van de afdekkende lagen in de omgeving van Amsterdam weer.

Ook in die gedeelten van Nederland waar geen Holocene afzettingen voorkomen, zoals op de Veluwe, is toch een deklaag gedefinieerd. In deze regio's heeft het RIVM afzettingen met een relatief lage k_v -waarde, binnen het Pleistocene pakket, een afdichtende waarde toegekend en deze als deklaag benoemd (figuur 4.38).

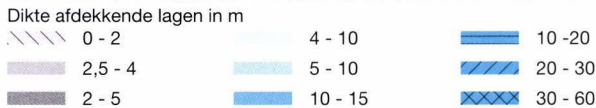
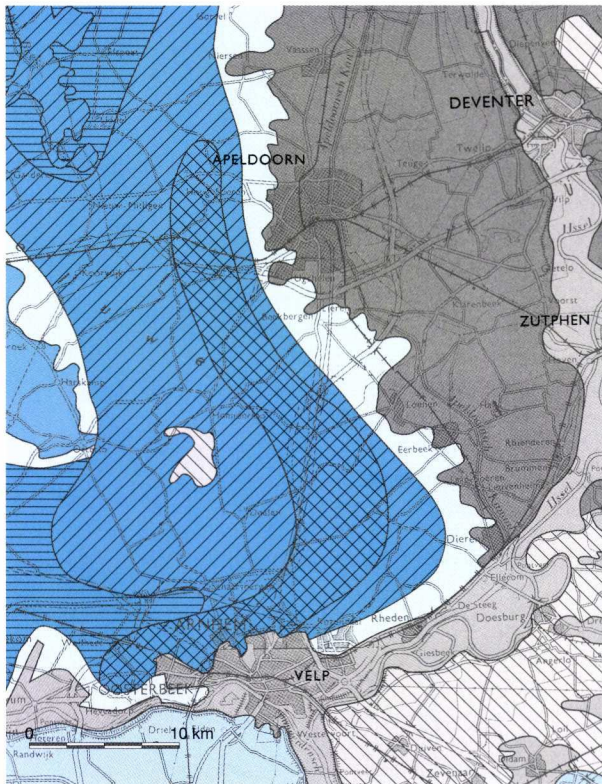
Figuur 4.36 geeft de ontwikkeling van de duinen en de daarbij behorende ondergrond gedurende de laatste 20 000 jaren weer. In werkelijkheid is de situatie aanzienlijk gecompliceerder. Dit is onder andere een gevolg van het feit dat de Nederlandse kustzone op vier plaatsen doorsneden werd waar de verschillende takken van Maas en Rijn in de Noordzee uitstroomden.

De onder en naast de duinen liggende Holocene afzettingen spelen weliswaar een grote rol in de oppervlaktewaterbeheersing, maar ten gevolge van de geringe doorlatendheid en de geringe zoetwaterreserve zijn deze formaties in de regel ongeschikt voor grondwaterwinning. De c-waarden van



Figuur 4.37

Dikte van afdekkende lagen in de omgeving van Amsterdam (Naar Duijvenbooden, W. van & A. Breeuwsma, e.a., 1987)



De laatste fase in de vorming van Nederland, die enkele eeuwen vóór Christus begon, werd opnieuw gekenmerkt door een landinwaartse verplaatsing van de kustlijn. Zeegaten zoals de Schelde-mond en de Waddenzee vormden zich en zijn tot vandaag blijven bestaan. Kustdoorbraken, vaak ten gevolge van stormvloed, zijn mede de oorzaak van het verloren gaan van grote stukken land en het ontstaan van een binnensee als de voormalige Zuiderzee.

4.6 Invloed van de mens

Door menselijk ingrijpen zoals het winnen van veen ten behoeve van turf, raken vanaf ongeveer achthonderd jaar geleden grote delen van West-Nederland verder geïnundeerd (figuur 4.39 en 4.40). Hiermee dreigden deze gedeelten voor altijd verloren te gaan.

Om deze dreigende situatie te keren, moest het proces van bescherming op gang komen. Civieltechnische ontwikkelingen zorgen voor de aanleg van dijken, inpoldering en bemaling. De mens drukt zijn stempel op de landschapvorming, op de oppervlaktewaterhuishouding

Figuur 4.38
Dikte van afdekkende lagen in de regio Arnhem - Apeldoorn (Naar Duijvenbooden, W. van & A. Breeuwsma, e.a., 1987)



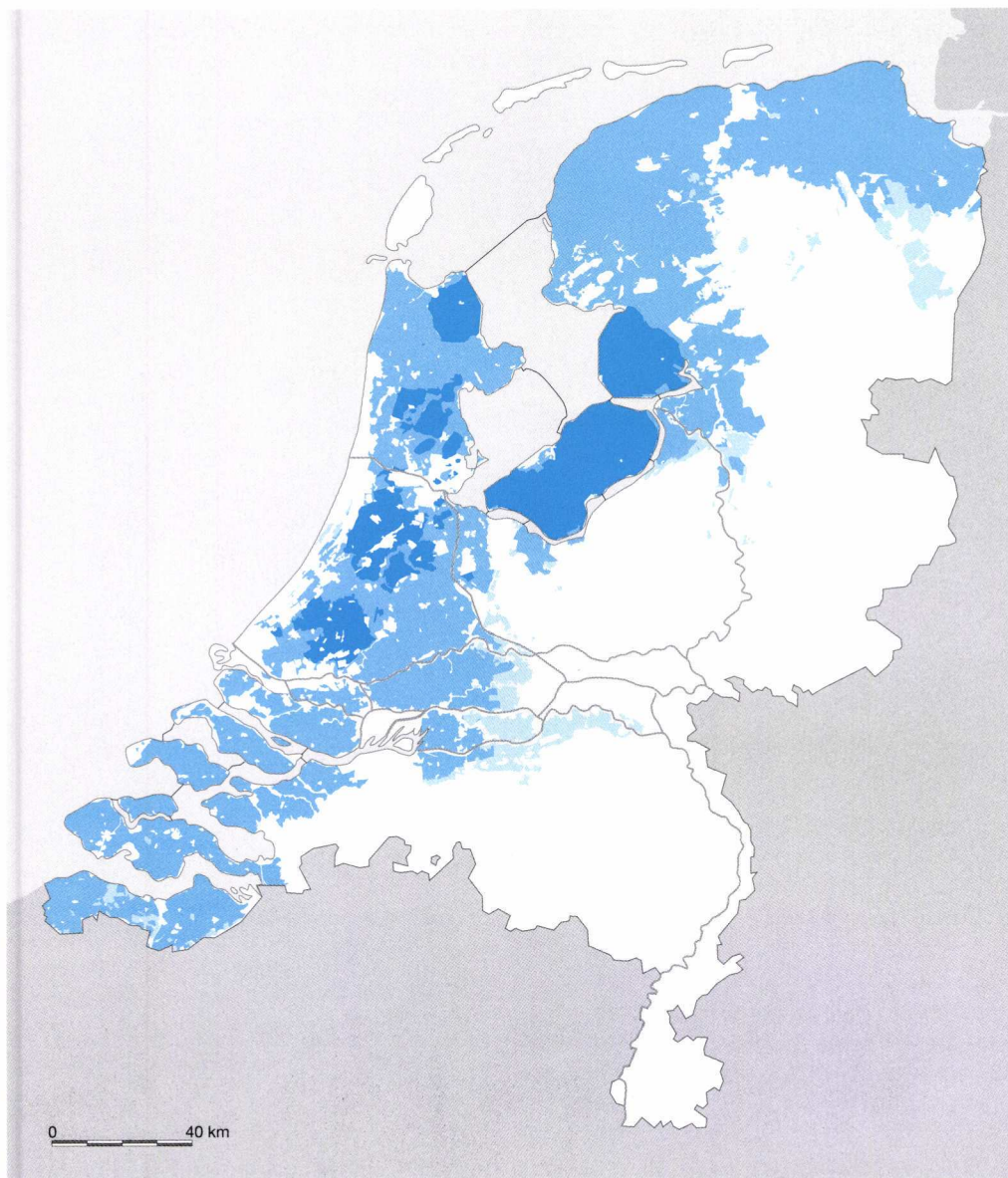
Figuur 4.39
Overzicht van geërodeerde gebieden mede ten gevolge van menselijk ingrijpen (Naar Zagwijn, W.H., 1991)



Figuur 4.40
Overzicht van de verdeling van land en zee rond 1500 (Naar Colenbrander, H.J., e.a., 1989)

en daardoor ook op de kwantitatieve verhouding tussen infiltratie en afstroming. Het evenwicht tussen zout indringend zeewater en zoet oppervlaktewater wordt daaropvolgend geleidelijk door de mens gecontroleerd en beheerst ⁴.

Zo wordt momenteel in een groot gedeelte van West-Nederland, met name in de polders, het oppervlaktewaterniveau en daarmee indirect ook het ondiepe grondwaterniveau kunstmatig op peil gehouden. Dit gebied wordt weergegeven in *figuur 4.41*.



Diepte van het oppervlaktewaterniveau in meters t.o.v. NAP

< -4 -4 - 0 0 - 10

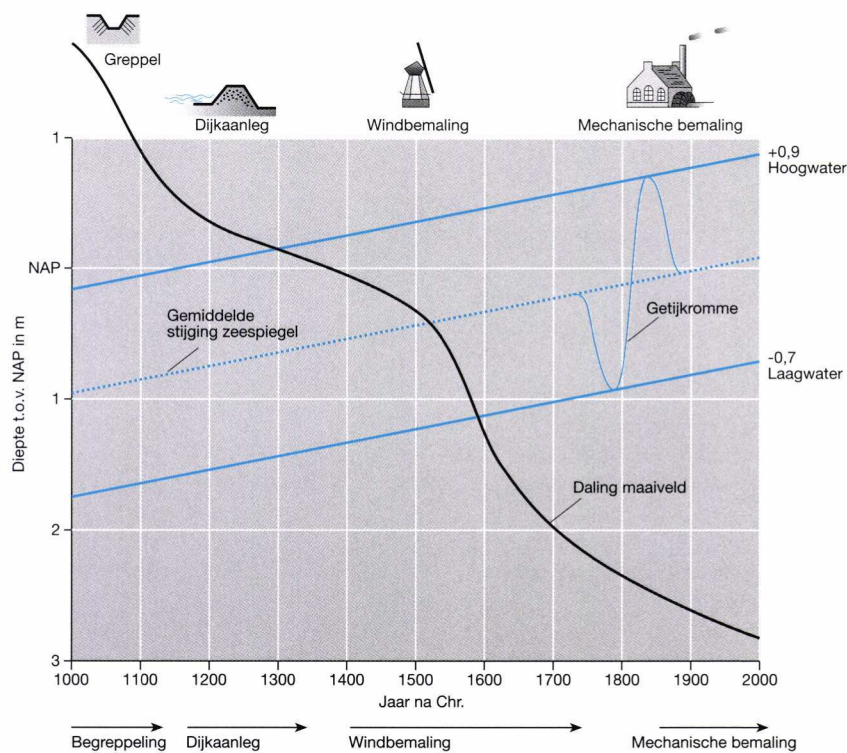
Figuur 4.41

Gebieden (polders) waar het oppervlaktewaterniveau kunstmatig beheerst wordt

(Naar Engelen, G.B. & F.H. Kloosterman, 1996)

Dit peilbeheer betreft voor het grootste deel van de tijd een ontwateringsproces, waardoor de natuurlijke grondwaterstand kunstmatig wordt verlaagd. Hierdoor kan de dikte van de bovenste aardlagen enigszins afnemen. Dit verschijnsel staat bekend onder de naam 'klink'. In Holocene klei-afzettingen wordt klink veroorzaakt door samendrukking, waardoor het poriënvolume wordt verkleind onder gelijktijdige uitdrijving van poriënwater (consolidatie).

In veengebieden waar de ontginning van het veen omstreeks het jaar 1000 begon, veroorzaakt grondwaterstandsverlaging bovendien een verschijnsel van langzame afbraak van het veen door oxidatie. Dit gaat gepaard met een aanzienlijke klink. Klink heeft bodemdaling tot gevolg, hetgeen leidt tot een verkleining van de afstand van het freatisch vlak tot het maaiveld. De reactie van de mens gaat dan meestal in de richting van een nog diepere ontwatering. Hiermee wordt een neerwaartse spiraal in gang gezet en gehouden (figuur 4.42). De hieraan verbonden problemen worden nog versterkt door stijging van het zeeniveau. In West-Nederland leidde dit tot bodemdalingen van 5 tot 15 mm per jaar ⁵.



Figuur 4.42

Schematische weergave van de maaiveldaling in veengebieden ten gevolge van ontwateringsmaatregelen van het oppervlakte- en grondwater (Naar Ven, G.P. van de, e.a., 1986)

In Friesland treedt in grote gedeelten van de veengebieden bodemdaling van 1 tot 12 mm per jaar op ⁶.

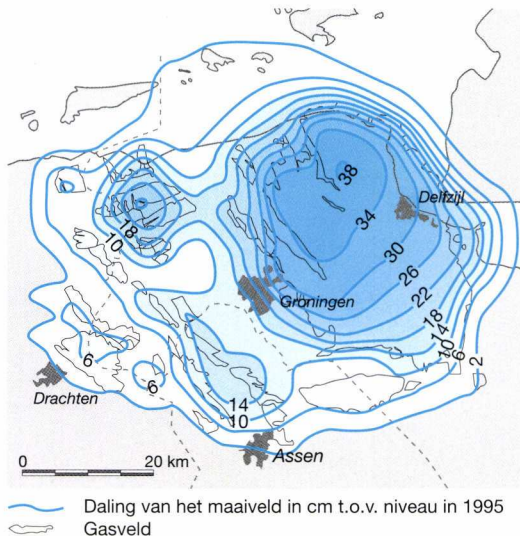
Ook grondwaterwinning heeft in beginsel daling van het maaiveld ten gevolge. Hierbij gaat het echter om zeer geringe dalingen die in Nederland, op enkele uitzonderingen na, aan het maaiveld nauwelijks waarneembaar zijn ⁷.

Bovendien hebben wij in bepaalde gedeelten van Nederland te maken met bodemdaling ten gevolge van aardgaswinning. Het betreft voornamelijk daling in de provincie Groningen en in geringere mate in Friesland en in de kop van Noord-Holland. De voorspelde bodemdaling boven het gasveld Slochteren wordt in *figuur 4.43* in beeld gebracht. In het centrum zou volgens de prognose in het jaar 2050 een daling ten gevolge van aardgaswinning van 38 cm plaatsgevonden hebben.

Dientengevolge stijgt in deze gebieden het grondwaterniveau ten opzichte van maaiveld. Door bemaling wordt het niveau weer tot het gewenste peil verlaagd. Dit kan gepaard gaan met toename van de zoutkwel ter plaatse.

Naast bovenvermelde mogelijke oorzaken van bodemdaling kan ook nog daling optreden ten gevolge van krimp. Dit is een fysisch proces, waarbij de bovengrond in dikte afneemt als gevolg van vochtonttrekking door verdamping via grond en gewas ⁸.

Al de hierboven beschreven oorzaken van bodemdaling kunnen bij ongelijkmatige zetting schade aan bouwwerken veroorzaken.



Figuur 4.43

Prognose van de bodemdaling als gevolg van aardgaswinning voor het jaar 2050 in de provincie Groningen (Naar Ministerie van Economische Zaken e.a. (ed.), 1995)

De beschreven processen van afzetting van formaties, verplaatsing - bijvoorbeeld door rivieren of door het landijs - en verdwijning bepalen het tegenwoordige beeld van de Nederlandse ondergrond en van de topografie van het maaiveld.

Dit tegenwoordige beeld van de afzettingen aan of dichtbij de oppervlakte wordt weergegeven in de vorm van de geologische kaart van Nederland. In vereenvoudigde vorm is de geologische overzichtskaart gepresenteerd in *figuur 4.44* ⁹.



- Pleistocene en oudere afzettingen aan of nabij het oppervlak
- Holoceen:**
- Veen en rivierafzettingen
- Oudere getijdeafzettingen (Afzettingen van Calais)
- Jongere getijdeafzettingen (Afzettingen van Duinkerke)
- Lagunaire afzettingen
- Oude Duinen en strandwallen
- Jonge Duinen

Figuur 4.44

Vereenvoudigde vorm van de geologische overzichtskaart met een overzicht van de Holocene afzettingen (Naar Zagwijn, W.H., 1991)

5 Hydrogeologie van Nederland

5.1 Geologie en hydrogeologie

Bij een geologische beschrijving ligt het accent op de ouderdom en op de aard en samenstelling van het gesteente van formaties. Bij grondwaterstudies of hydrogeologische studies ligt de nadruk daarentegen op een beschrijving van die formatie-eigenschappen die van invloed zijn op het grondwater en zijn bewegingen. De beschrijving wordt uitgewerkt in een hydrogeologische kartering. De kartering is gericht op het gebruik in het kader van grondwateronderzoek of -onttrekking. Bij een dergelijke hydrogeologische kartering is het daarom te doen om de volgende informatie:

- dikte en diepte van de watervoerende pakketten;
- dikte en diepte van de scheidende lagen;
- dikte van een eventueel voorkomende deklaag;
- diepte van het grensvlak tussen zoet en brak grondwater (150 mg Cl⁻/l);
- het chloridegehalte van het grondwater op verschillende dieptes;
- diepte van een slecht doorlatende basis, de hydrologische basis;
- de kD-waarde van een bepaald watervoerend pakket op een bepaalde plaats;
- stijghoogteverdeling binnen een bepaald watervoerend pakket;
- beeld van de bewegingspatronen.

Daarnaast, in verband met bemaling:

- ligging van polders en bijbehorende polderpeilen.

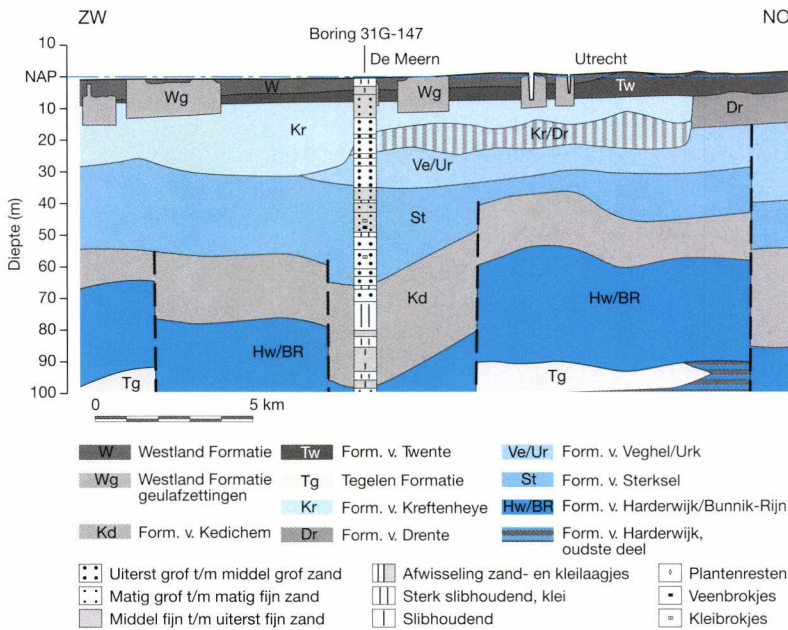
In Nederland worden deze gegevens als regel gepresenteerd in de vorm van kaarten met een schaal van 1 : 50 000 en met behulp van profielen. Die hebben veelal een horizontale schaal van 1 : 50 000 en een verticale schaal van 1 : 1000. De bijbehorende rapporten geven vaak additionele resultaten zoals c-waarden van slecht doorlatende lagen, de stijghoogteverdeling binnen bepaalde watervoerende pakketten en de chemische karakterisering van het grondwater.

Bij een hydrogeologische kartering worden de gewenste gegevens volgens specifieke methoden in het veld verzameld:

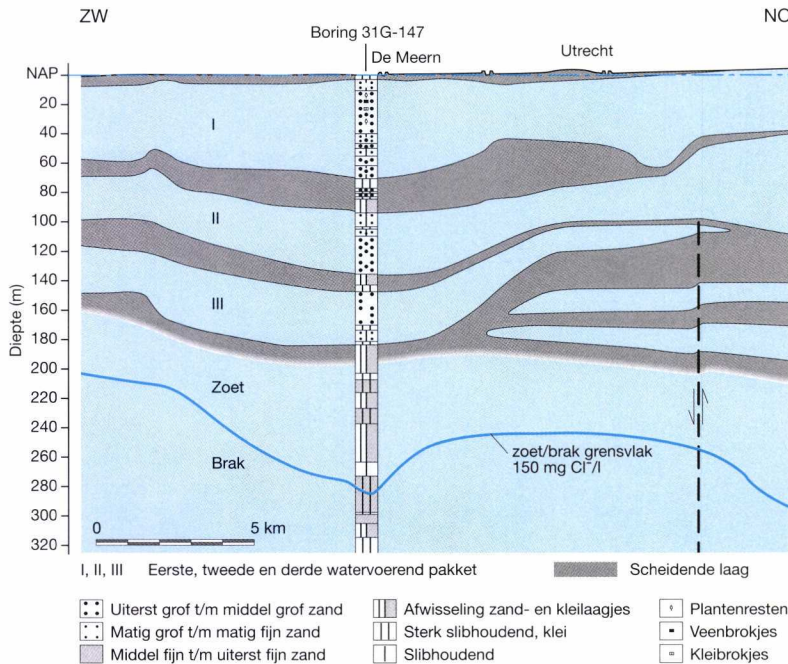
Tabel 14 Relatie verkregen gegevens en gebruikte methode

Verkregen gegevens	Gebruikte veldmethode
Opbouw van de ondergrond	Boormonsters, Fysische boorgatmetingen, Geoelektrisch veldonderzoek, Seismisch veldonderzoek ¹
Chemische samenstelling van het grondwater	Fysische boorgatmetingen, Watermonsters
Doorlaatvermogen (kD-waarde)	Put- en/of pompproeven
Weerstand tegen verticale stroming (c-waarde)	Pompproeven
Berging	Boormonsters, Put- en/of pompproeven





Figuur 5.1
Geologisch profiel over De Meern
(Naar Meene, E.A. van de, M. van Meerkerk & J. van der Staay, 1988)



Figuur 5.2
Geohydrologisch profiel over De Meern
(Naar Gun, J.A.M. van der, 1978)

Bij een kartering worden op alle kaarten en op alle profielen de plaatsen aangegeven waar veldgegevens verzameld zijn. TNO Grondwater en Geo-Energie ² heeft op deze wijze in de periode 1967 - 1989 heel Nederland hydrogeologisch in kaart gebracht ³.

Figuur 5.1 en 5.2 illustreren het verschil in de benadering van kartering tussen geologie en hydrogeologie. Het toont een zuidwest noordoost lopend geologisch profiel en het bijbehorende geohydrologisch profiel over De Meern in de provincie Utrecht.

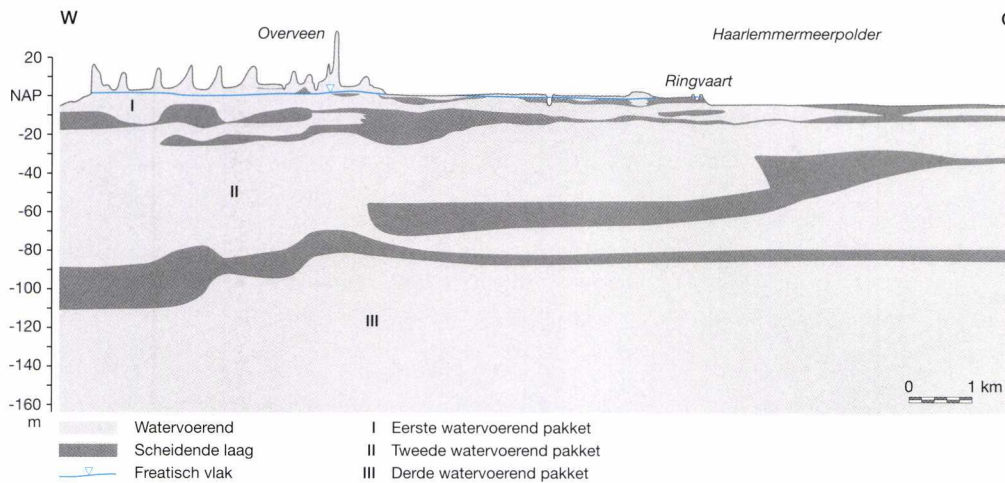
Het geologisch profiel maakt een vrij gedetailleerd onderscheid tussen de Formatie van Twente, de Formatie van Kreftehene en de Formatie van Sterksel. In dit profiel wordt bovendien in de boring 31G-147 aangegeven dat daar bijmenging van de Formaties van Kreftehene met Drenthe en van de Formatie van Veghel met Urk voorkomt. De geohydrologische kaart neemt al deze formaties samen. Op grond van het hydrogeologisch gedrag heet dit alles hier het eerste watervoerend pakket.

De eerste, dus de minst diepe, scheidende laag bestaat uit kleipakketten die in de Formatie van Kedichem voorkomen. Hier komt geologische en hydrogeologische kartering overeen. Wel valt op dat in het geologische profiel breuken aangegeven worden, terwijl de hydrogeologische kaart alleen maar dikteverschillen aangeeft.

Beneden de Formatie van Kedichem geeft het geologische profiel de aanwezigheid van de Formatie van Harderwijk met een bijmenging van zogenaamd Bunnik-Rijn materiaal. Het hydrogeologisch profiel benoemt deze zanden slechts als het tweede watervoerend pakket. Het geologisch profiel beperkt zich tot een diepte van 90 meter beneden het maaiveld. Het hydrogeologisch profiel geeft als regel informatie tot de hydrologische basis of tot het zoet/brak grensvlak, zoals ook in dit profiel (figuur 5.2) gebeurd is. In deze

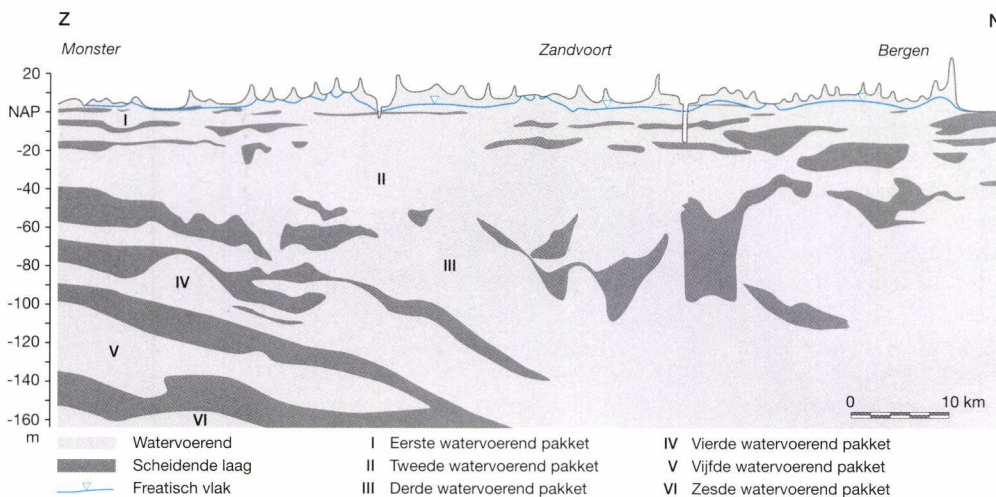
regio wordt de hydrologische basis gevormd door de kleiige afzetting in de Formatie van Maassluis op een diepte van 150-180 m beneden maaiveld. Het zoet/brak-grensvlak ligt hier nog dieper. Zoals al in hoofdstuk 1 beschreven is, komt de hydrologische basis in een groot gedeelte van Nederland globaal overeen met de kleihoudende afzettingen aan de basis van de Formatie van Maassluis. De dieptekaart: 'basis Formatie van Maassluis', *figuur 1.5*, geeft aldus voor een groot gedeelte van Nederland de diepte van de hydrologische basis. Daar waar deze formatie niet voorkomt, zoals in het oosten van het land, wordt de hydrologische basis gevormd door hydrologische begrenzingslagen, in de vorm van slecht doorlatende lagen, in oudere afzettingen.

Figuren 5.3 en 5.4 laten respectievelijk een west-oost en een zuid-noord profiel door het Hollandse duingebied zien. De profielen maken duidelijk dat in die streek de complexe geologische opbouw leidt tot een minstens zo complexe hydrogeologische weergave met een verdeling van goed en minder goed doorlatende lagen.



Figuur 5.3

West-oost profiel door het West-Nederlandse duingebied (Naar Stuyfzand, P.J., 1993)

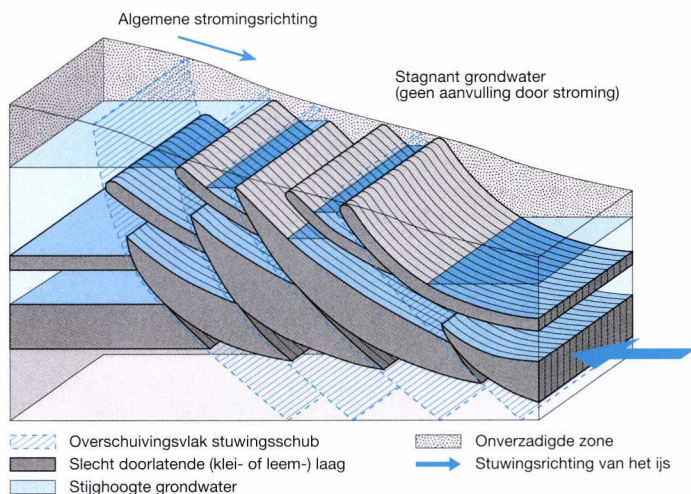


Figuur 5.4

Zuid-noord profiel door het West-Nederlandse duingebied (Naar Stuyfzand, P.J., 1993)

Een verschijnsel als het plaatselijk ontbreken van een kleiige afzetting in de Holocene Westlandformatie heeft invloed op het hydraulisch gedrag in het eerste (I) watervoerend pakket, wanneer daaraan grondwater wordt onttrokken.

Zoals al in hoofdstuk 4 is aangegeven hebben de stuwwallen weliswaar een regionale, maar wel een belangrijke betekenis in de grondwaterbeschouwingen van Nederland. Ten gevolge van de stuwung door het landijs zijn binnen de stuwwallen slechtdoorlatende lagen opgeschoven. Hierdoor ontstaan verschillen in stijghoogte binnen de stuwwal (figuur 5.5). Dit fenomeen geeft aan de stuwwallen een specifiek hydrogeologisch karakter.



Figuur 5.5

Vershil in grondwaterniveaus in een stuwwal
(Naar Ven, G.P. van de, e. a., 1986)

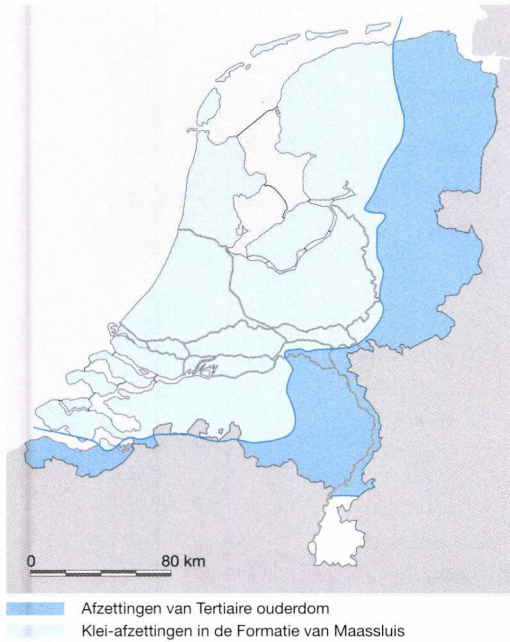
5.2 Hydrogeologische modellering en schematisering

Watervoerende pakketten en scheidende lagen zijn lateraal begrensd. De laterale verschillen kunnen al over enkele honderden meters aanzienlijk zijn. Een schematische indeling van de Nederlandse ondergrond van IJmuiden tot Ootmarsum in een aantal doorlopende watervoerende pakketten of in goed doorlatende, minder goed doorlatende of scheidende lagen is daarom niet mogelijk. De begrenzing is veelal het gevolg van, soms geleidelijke, verandering van bijvoorbeeld het kleigehalte. Deze veranderingen zijn een gevolg van de geologische ontwikkeling gedurende Pleistoceen en Holoceen. Deze complexiteit van de Nederlandse ondergrond brengt voor de hydroloog een aantal moeilijkheden met zich mee. Het geeft bijvoor-

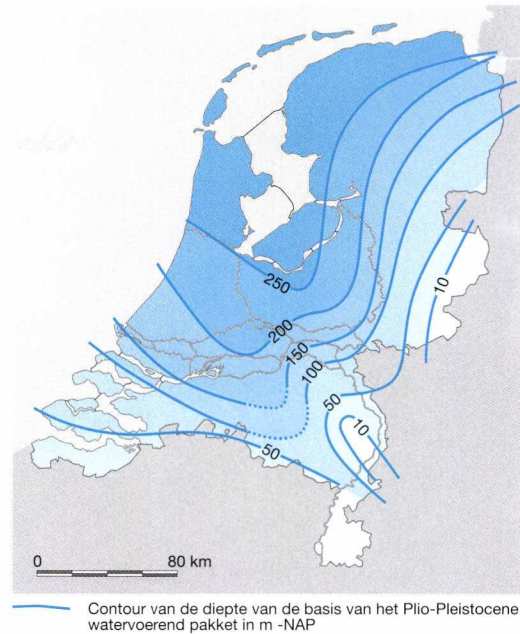
beeld complicaties bij het in detail modelleren van de ondergrond. Modelleren is een aantrekkelijke methode om voorspellingen te doen bij grondwater-gerelateerd onderzoek. Een model kan bijvoorbeeld de verlaging van het freatisch vlak of van de stijghoogte bij uitbreiding van een grondwaterwinning voorspellen. Ook kan door middel van modelleren de toekomstige verplaatsing van een verontreiniging in het grondwater onder invloed van grondwaterstroming, benaderd worden ⁴.

De modellen worden gebaseerd op een schematische indeling van de ondergrond in het betreffende gebied. Bepaalde hydrogeologische kenmerken, zoals de *kD*-waarde, worden daarbij over een bepaalde afstand als constant beschouwd. En dat is in Nederland riskant, gezien de complexe samenstelling van de bodem. Verificatie in het veld, bijvoorbeeld door middel van geofysische gegevens of gegevens uit boringen, blijft daarom van het grootste belang.

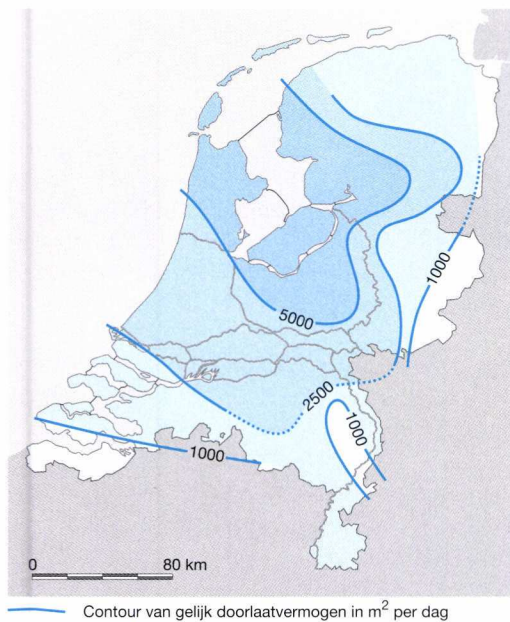
Schematische en vereenvoudigde weergaven van de hydrogeologische eigenschappen worden gebruikt om een globaal beeld te geven. De figuren 5.6 tot en met 5.9 zijn voorbeelden van een dergelijke schematische weergave. Deze weergaven zijn niet gelijk, dit als gevolg van verschillende inzichten van de auteurs. In deze figuren worden verschillende hydrogeologische kenmerken weergegeven.



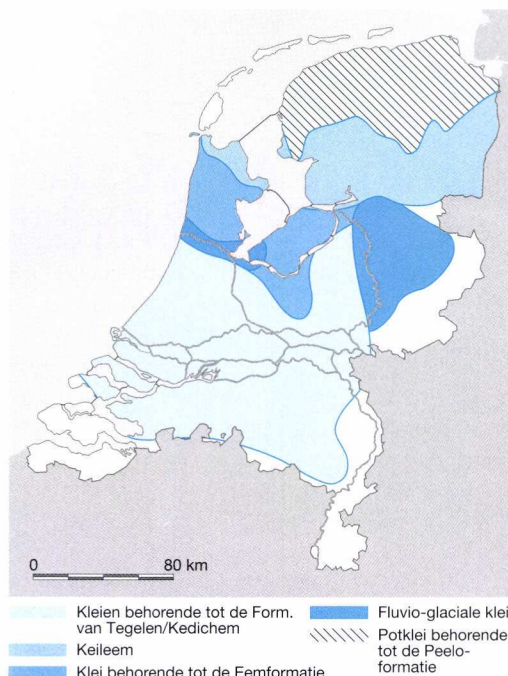
Figuur 5.6
Globale indeling van de slecht doorlatende basis (Hydrologische basis) naar aard en ouderdom (Naar Doorn, Th.H.M. van, e.a., 1985)



Figuur 5.7
Dikte van het Plio-Pleistocene watervoerend pakket, gepresenteerd als diepte van de basis van dit pakket (Naar Vries, J.J. de, 1974)

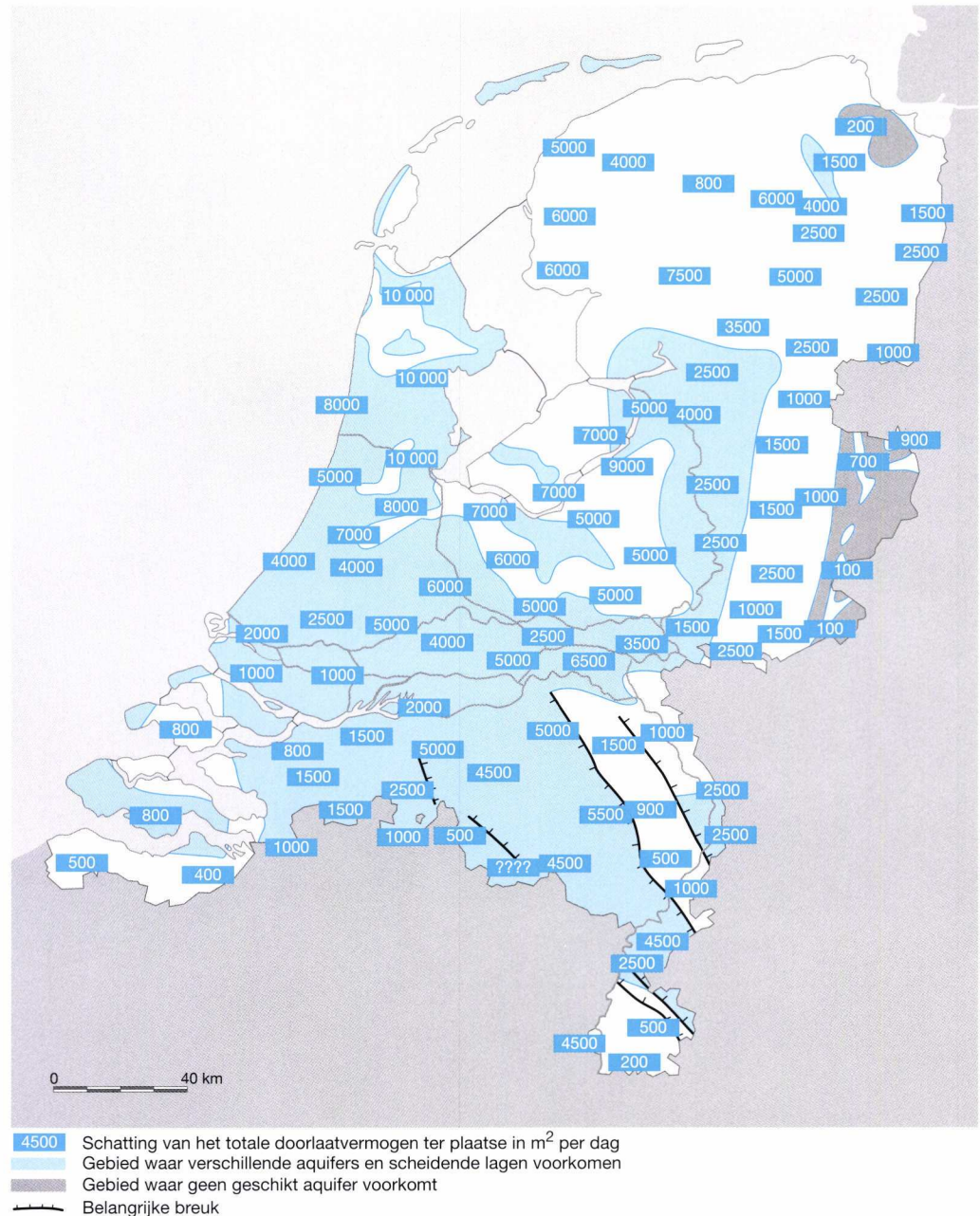


Figuur 5.8
Globaal patroon van het doorlaatvermogen van de Plio-Pleistocene pakketten (Naar Vries, J.J. de, 1974 a)



Figuur 5.9
Voorkomen van de belangrijkste slecht doorlatende, scheidende formaties (Naar Vries, J.J. de, 1974 a)

Met behulp van modellering is een landelijke, meer gedetailleerde kaart van het totale doorlaatvermogen van Nederland samengesteld zoals weergegeven in *figuur 5.10* ⁵.



Figuur 5.10

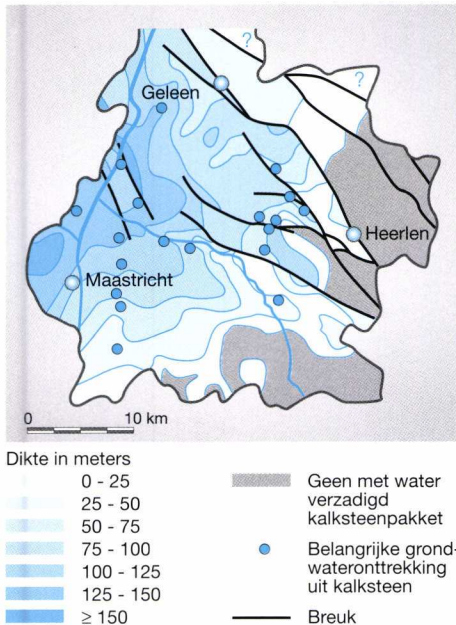
Globale totale doorlaatvermogen (Naar Meinardi, C.R./ U.N., 1991)

De voor de grondwaterwinning zo belangrijke stuwwallen zoals op de Veluwe, en de duinen blijven in bovenstaande schematisaties buiten beschouwing. Hun specifieke geohydrologische situatie rechtvaardigt dit.

5.3 Limburg

Niet alleen de geologie in Limburg verschilt aanzienlijk van de rest van Nederland, maar ook de hydrogeologie. Zoals reeds vermeld in hoofdstuk 4 (figuur 4.1) verdelen drie noordwest - zuidoost lopende breuksystemen de provincie in drie zones.

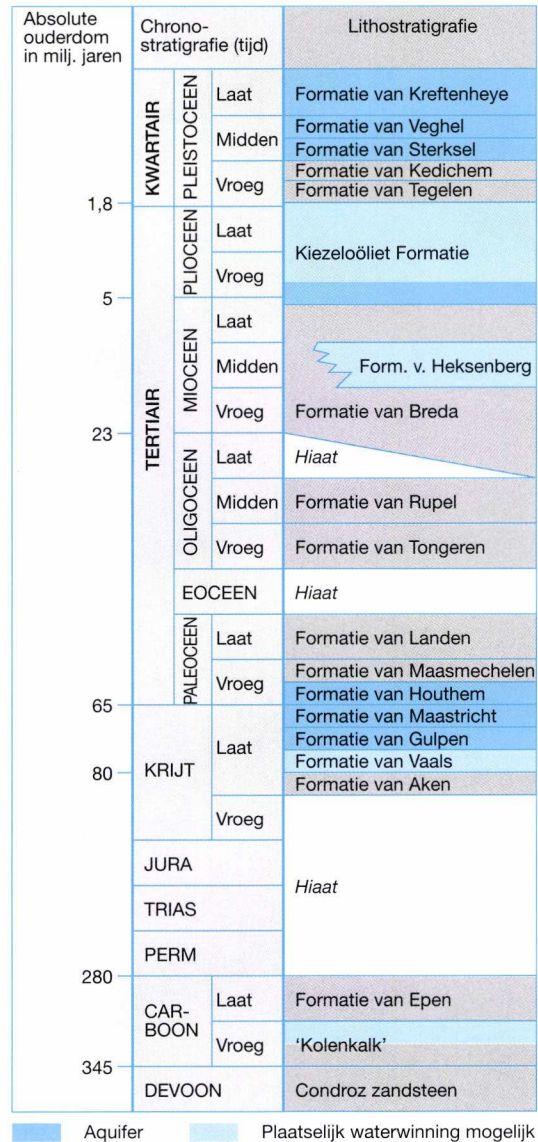
In het meest zuidelijke gebied wordt het grondwater voornamelijk gewonnen uit kalksteen, behorende tot de formaties van Houthem, Maastricht en Gulpen. Deze drie formaties behoren tot het vroegste Tertiair en het late Krijt (figuur 5.12). In figuur 5.11 wordt de dikte van dit kalksteenpakket gepresenteerd.



Figuur 5.11
Dikte van het, met grondwater verzadigde, kalksteen pakket in Zuid Limburg
(Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)

Met een ouderdom van 70 - 50 miljoen jaar zijn deze gesteenten een factor dertig ouder dan de afzettingen die in de rest van Nederland als aquifer aangemerkt worden. In Midden- en Noord-Limburg wordt het drinkwater voornamelijk gewonnen uit relatief diep gelegen formaties zoals zanden behorend tot de Kiezeloöliet Formatie van miocene en pliocene ouderdom.

Figuur 5.12 geeft een stratigrafisch overzicht van de formaties die in de provincie Limburg als aquifer van belang zijn.

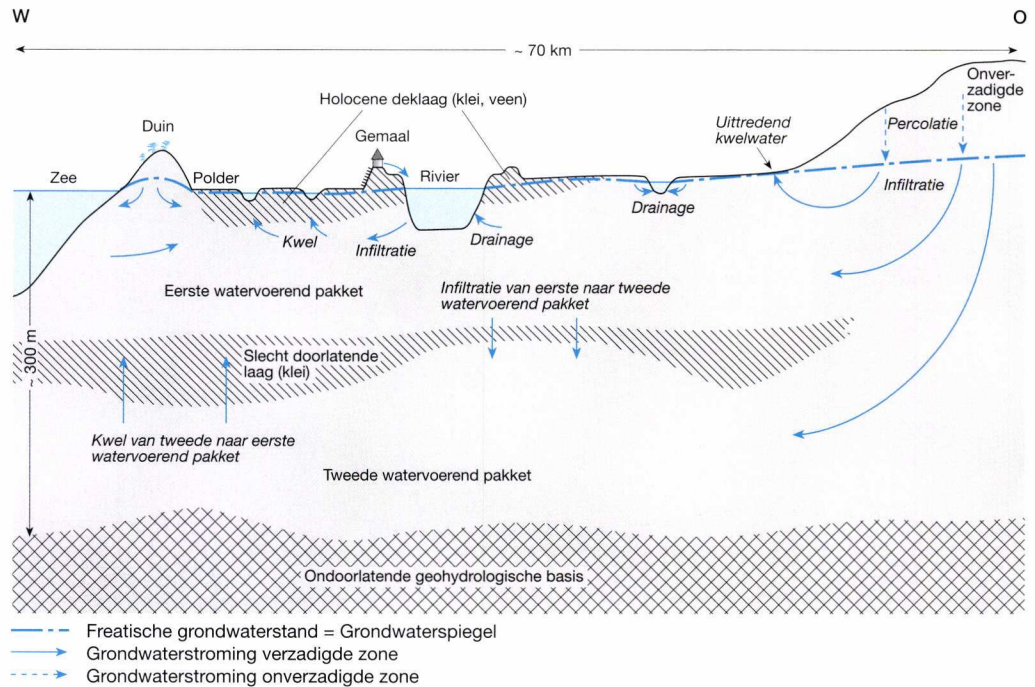


Figuur 5.12
De aquifers in de provincie Limburg
(Naar Rooijen, P. van, 1989)

In geheel Limburg wordt vanouds ook grondwater voor drinkwater en voor agrarische beregening gewonnen uit de veel jongere freatische Maasgrindpakketten. De kwaliteit van het water in deze pakketten wordt de laatste jaren ernstig bedreigd door verontreiniging. Het freatisch vlak ligt in grote delen van Limburg aanzienlijk dieper dan in de rest van Nederland. Zo is de diepte op enkele plaatsen op het Mergelland-plateau zelfs meer dan 50 m beneden maaiveld. De diepte varieert in Limburg ook meer dan elders. Dit is een gevolg van de combinatie van reliëf en doorlatendheid ⁶.

5.4 Het overige deel van Nederland

Onder 'overig deel' wordt verstaan Nederland met uitzondering van de provincie Limburg. Het westen van het land kent een specifieke geohydrologische situatie. In *figuur 5.13*, is in een west-oost profiel op een vereenvoudigde wijze weergegeven welke hoofd elementen en welke processen de hydrologie in West-Nederland bepalen.



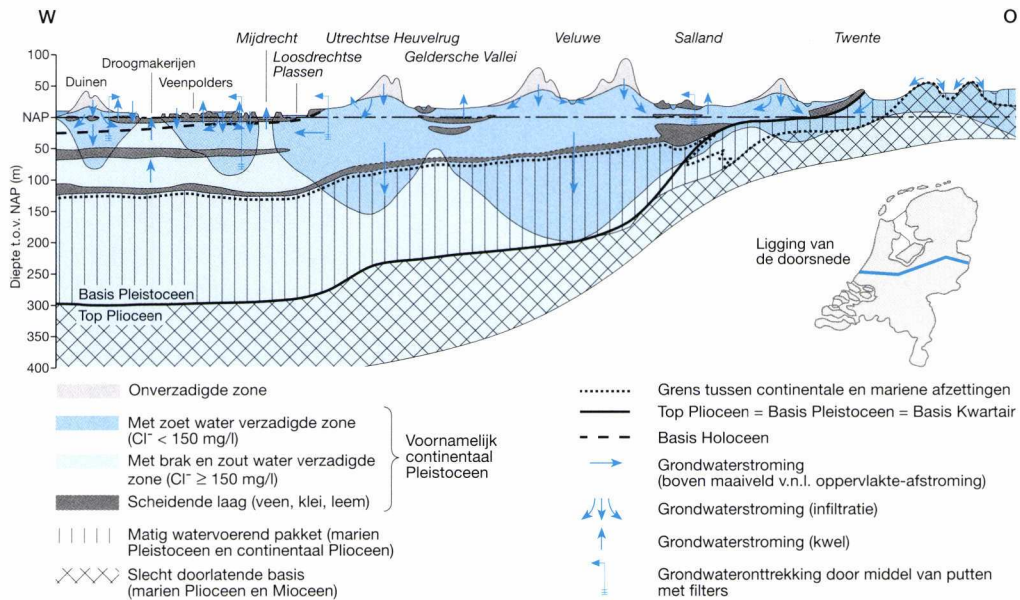
Figuur 5.13

Hydrologische situatie en processen in West-Nederland

(Naar NITG-TNO, gebaseerd op Provincie Utrecht (ed.), 1987)

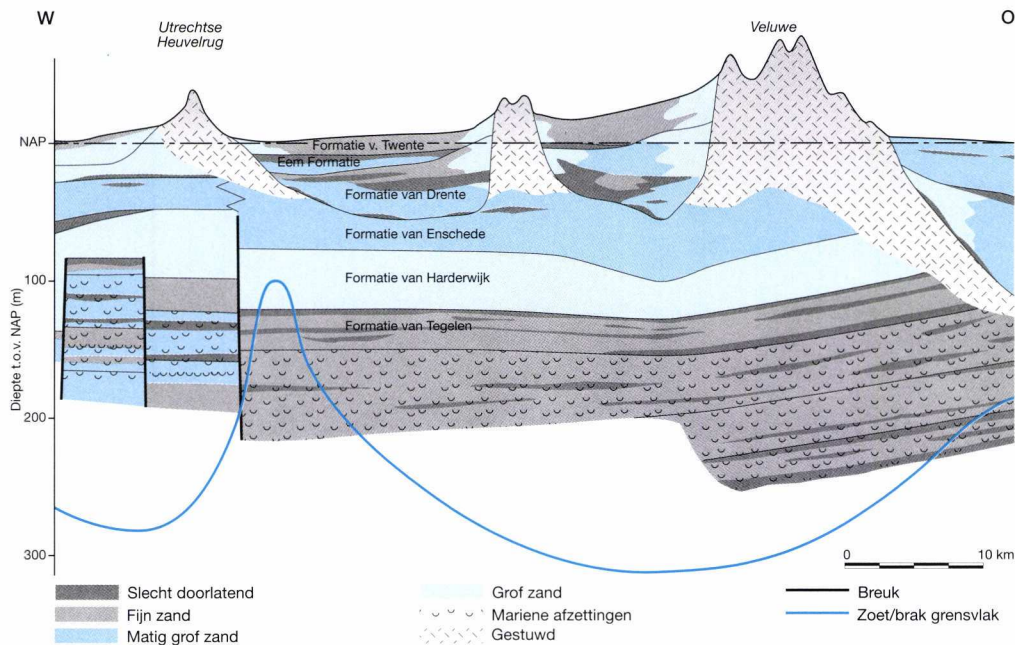
In werkelijkheid is de opbouw van de ondergrond gecompliceerder zoals uit *figuur 5.14* blijkt ⁷.

Deze voorstelling laat zien, dat langs de lijn van de kust tot Mijdrecht de bovenste 100-150 m kan worden ingedeeld in drie eenheden. Een bovenste Holocene deklaag bestaande onder andere uit duinen in het uiterste westen. Meer naar het oosten bestaat deze uit kleien en veen. Daaronder liggen een (eerste) watervoerend pakket, een scheidende laag en een tweede watervoerend pakket. Het bovenste watervoerend pakket is opgebouwd uit zanden die behoren tot de Formaties Sterksel, Urk en Kreftenheye. De scheidende laag wordt gevormd door de kleien van de Kedichem Formatie. Het tweede pakket bestaat uit zanden die behoren tot de Formatie van Harderwijk.



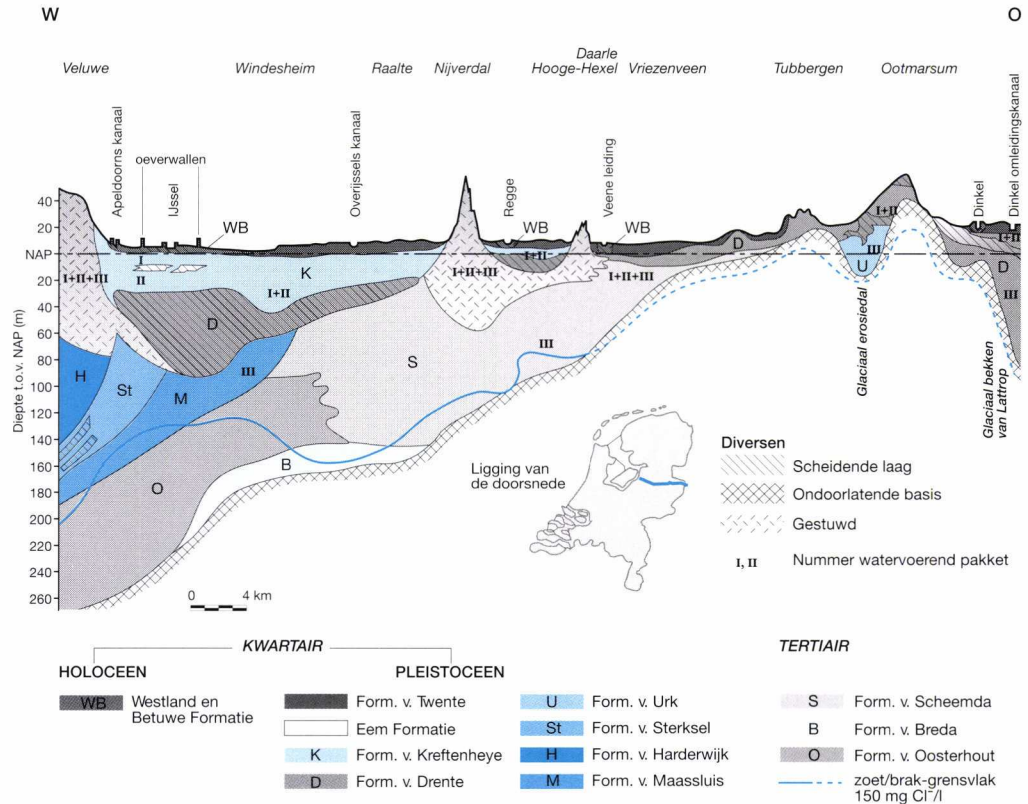
Figuur 5.14
 Geohydrologische doorsnede door Nederland (Naar Ven, G.P. van de, e.a., 1986)

Meer naar het oosten is het omhoogkomen van het grensvlak tussen zoet en brak grondwater onder de Gelderse Vallei markant. Deze vallei ligt tussen de twee infiltratiegebieden Utrechtse Heuvelrug en Veluwe. *Figuur 5.15* geeft deze situatie in detail weer.



Figuur 5.15
 Geohydrologische doorsnede door het gebied Utrechtse Heuvelrug - Veluwe
 (Naar Breeuwer, J.B. & S. Jelgersma, 1973)

In *figuur 5.14* is zichtbaar, dat formaties uit het Tertiair in het oosten van het land tot de potentieel winbare grondwaterreservoirs gerekend worden. *Figuur 5.16* toont meer in detail een profiel in het oosten van Nederland. Dit profiel geeft de, in deze streek bijzondere, hydrologische parameters aan.



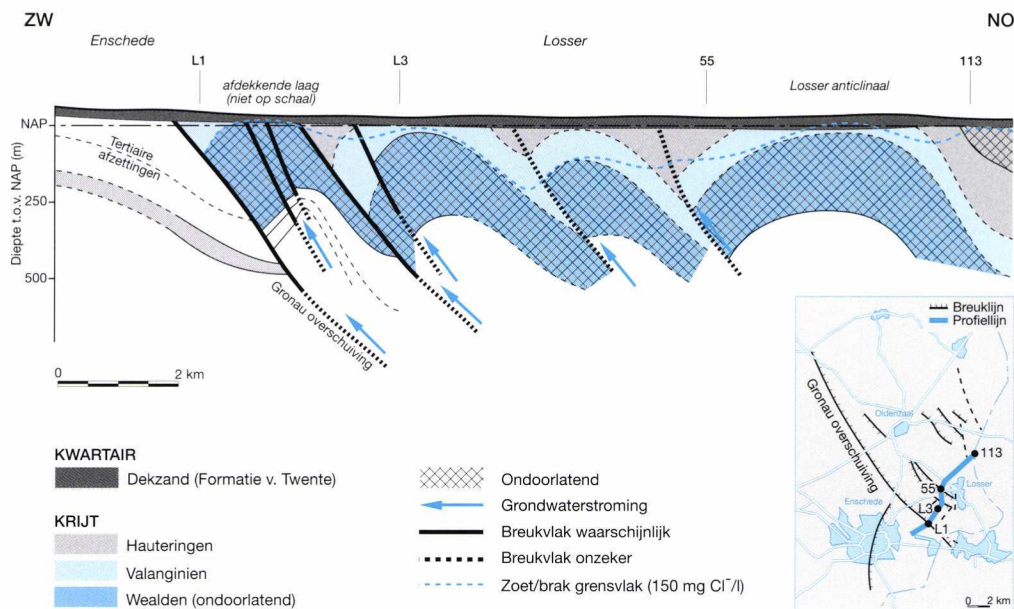
Figuur 5.16
 Geohydrologisch profiel in het oosten van Nederland
 (Naar Vermeulen, P.T.M., e.a., 1996)

Figuur 5.17 is een grootschalig detailprofiel van een gebied ten noordoosten van Enschede dat de potentiële aquifers behorende tot het Krijt weergeeft.

5.5 De totale beschikbare hoeveelheid grondwater

Als de porositeit van de Plio-Pleistocene zandpakketten en van het, met grondwater verzadigde, deel van de Holocene zeeduinen bekend zou zijn, dan zou op grond van een vereenvoudigde voorstelling van de Nederlandse ondergrond een globale berekening van de beschikbare hoeveelheid grondwater mogelijk zijn. In het verleden zijn hierover schattingen gedaan ⁸.

De vele lokale variaties ondergraven echter de betrouwbaarheid van een dergelijk getal. Bovendien is niet zozeer de totale beschikbare hoeveelheid grondwater van belang, maar de beschikbare hoeveelheid zoet grondwater. Nog belangrijker is de potentieel jaarlijks netto winbare hoeveelheid zoet grondwater. De winbare hoeveelheid is de hoeveelheid die jaarlijks



Figuur 5.17
 Geohydrologische opbouw Onder-Krijt zanden nabij Losser en Enschede
 (Naar Vermeulen, P.T.M., e.a., 1996)

ontrokken kan worden, zonder dat deze onttrekking onacceptabele gevolgen voor andere belanghebbenden in de omgeving heeft. Andere belanghebbenden zijn in dit verband zowel de natuurlijke vegetatie als eventuele andere verbruikers. In hoofdstuk 8 wordt hierop uitgebreid ingegaan.

6 Beweging van het grondwater

6.1 Beweging als uitgangspunt

In de klassieke geohydrologische benadering stond het begrip aquifer centraal en werd de ondergrond in vereenvoudigde schema's opgedeeld in goed en minder goed doorlatende lagen. In het verleden was men op het gebied van de beweging van grondwater voornamelijk geïnteresseerd in stroming in relatie tot winbare hoeveelheden zoet grondwater. Voorbeelden zijn beweging rondom winningen en stromingen die kwel van brak of zout water kunnen veroorzaken. Tegenwoordig is de belangstelling aanzienlijk verbreed. Zo is er bijvoorbeeld de zorg om het verplaatsen van verontreinigingen met het grondwater. Dit verklaart de recente grote aandacht voor de beweging van het grondwater.

Alles beweegt van een hoger naar een lager potentiaal-energieniveau. Zo verplaatsen vloeistoffen zich onder invloed van natuurlijke krachten als de zwaartekracht. Het is deze kracht die beken en rivieren in beweging houdt. De grondwaterstromingen in de Nederlandse ondergrond hangen daardoor tegelijkertijd samen met de geologie, de topografie en de ingrepen van de mens.

Vloeistof kan zich ook verplaatsen onder invloed van drukverschillen. De belangrijkste oorzaken van dergelijke drukverschillen zijn topografische hoogteverschillen, de relatie tussen neerslag en afvoer en drukverschillen rondom grondwateronttrekkingen (figuur 6.1).

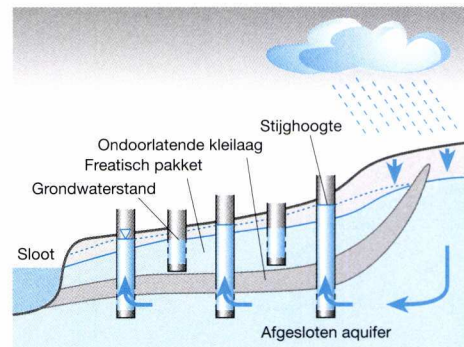
Grondwateronttrekking is een duidelijk voorbeeld van een kunstmatig geschapen drukverschil. Ook het pompen van vloeistoffen door pijpleidingen vormt hiervan een voorbeeld.

Voor een beter inzicht in die beweging en de daaraan verbonden processen was een ruimtelijke analyse van de grondwaterstroming nodig. Sinds 1985 is de benadering in de hydrogeologie mede gebaseerd op een systeem dat uitgaat van de beweging van het grondwater: het stromingssysteem¹.

Deze aanpak draagt de naam Hydrologische Systeemanalyse.

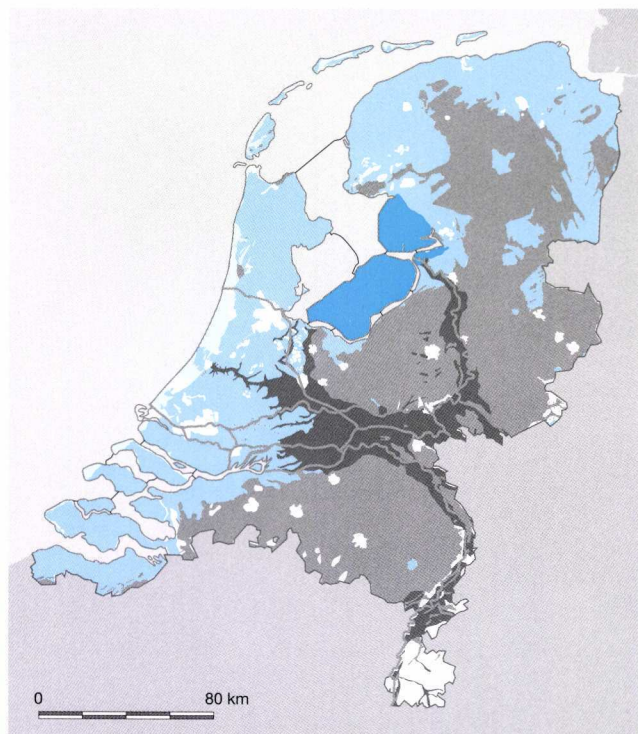
Als gevolg van deze benadering is in 1991 een Landelijk Hydrologische Systeemanalyse gestart. Deze analyse beoogt voor heel Nederland inzicht in de werking en de ruimtelijke configuratie van hydrologische systemen te geven. Op grond van de dimensies van grondwaterstromingsstelsels is een regionale indeling tot stand gekomen. Volgens deze indeling telt Nederland zes regio's:

1. Pleistocene voedingsgebieden met natuurlijke gravitatieve stromingsstelsels. Een voorbeeld hiervan zijn de stuwwalcomplexen zoals de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug.
2. Regio's waar semi-natuurlijke gravitatieve stromingsstelsels overheersen. Het betreft die gebieden waar de afvoer plaatsvindt door de grote rivieren of door kunstmatige drainage-systemen.
3. Hogere Holocene voedingsgebieden met natuurlijke gravitatieve stromingsstelsels, bijvoorbeeld duinen aan de kust.
4. Polders in West- en Noord-Nederland waarin het grondwaterstromingsstelsel reeds relatief lange tijd door bemaling bepaald wordt, zoals de droogmakerijen Beemster, Purmer en Haarlemmermeer.
5. De IJsselmeerpolders, waarin het grondwaterstromingsstelsel sinds de inpoldering door bemaling bepaald wordt.
6. Gebieden waar een kunstmatig grondwaterstromingsstelsel ontstaat zoals rondom winningsplaatsen van grondwater.



Figuur 6.1

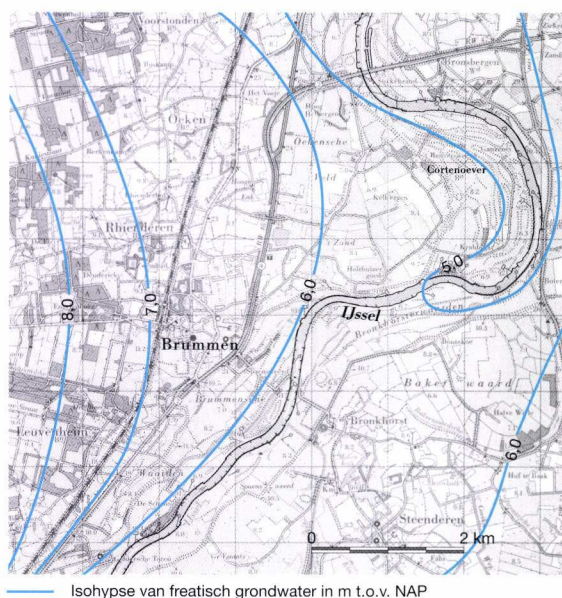
Stroming ten gevolge van drukverschillen



- Pleistocene voedingsgebieden
- Semi-natuurlijke gravitatieve stromingsstelsels
- Hogere Holocene voedingsgebieden
- Polders in West- en Noord-Nederland
- IJsselmeerpolders

Figuur 6.2

Regionale indeling op grond van grondwaterstromingsstelsels
(Naar Engelen, G.B. & F.H. Kloosterman, 1996)



De eerst genoemde vijf verschillende regio's worden weergegeven in *figuur 6.2*.

De systeemanalyse heeft de ideeën over grondwaterstroming beïnvloed en het inzicht daarin aanzienlijk verbeterd. Kenmerkend is het feit, dat in gebieden met een hoge grondwaterstand kleine variaties in topografie al een relatief grote invloed hebben op het aanwezige grondwaterstromingsstelsel ². Deze wijze van analyseren kan bijvoorbeeld het verband tussen kwantitatieve en kwalitatieve aspecten van een grondwatersysteem nader verklaren.

Voor bijvoorbeeld de aanpak van de verontreinigingsproblematiek blijkt deze indeling in grondwaterstromingssysteem van grote praktische waarde. Ook de stroming in, van en naar natuurgebieden staat de laatste jaren, mede in verband met de verdrogingsproblematiek, in de aandacht.

Figuur 1.2 in hoofdstuk 1 geeft de grondwaterstand in het eerste, minst diepe en veelal freatische, watervoerend pakket weer ten opzichte van NAP. De lijnen die de punten van gelijke grondwaterstand of gelijke stijghoogte verbinden zijn de zogenaamde (grondwater)isohypsen. Daarom heet een dergelijke kaart een isohypsenkaart. Aangezien de grondwaterstand of stijghoogte met de tijd verandert, is een isohypsenbeeld aan een bepaald moment gebonden. Zo'n grondwaterisohypsenkaart behoort altijd bij een bepaalde aquifer. Die binding aan een aquifer maakt een isohypsenkaart ook geografisch gebonden. Het is bij grondwaterstudies één van de meest essentiële informatiebronnen, aangezien uit het verloop van de isohypsen als regel de stroomrichting van het grondwater in de betreffende aquifer bepaald kan worden. Het grondwaterstromingspatroon wordt aangegeven door middel van stroomlijnen die loodrecht op de isohypsen staan ³.

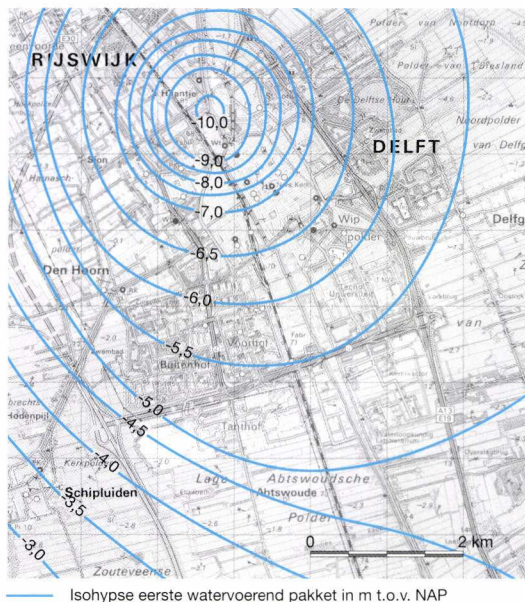
Figuur 6.3 is een voorbeeld van een grondwaterisohypsenpatroon in een natuurlijke situatie. De drainerende invloed van de IJssel op het freatisch grondwater komt duidelijk in beeld.

Figuur 6.3

Isohypsen van het freatisch grondwater nabij Brummen (provincie Gelderland) op 28 augustus 1978
(Naar Aelmans, F.G., 1983)

Figuur 6.4 toont de grondwaterisohypsen in de omgeving van Delft in een onnatuurlijke situatie. Dit patroon wordt immers volledig bepaald door grote industriële onttrekkingen.

Tijdens het stromen verliest het grondwater energie door de wrijving van het water langs gesteentekorrels. Deze bewegingsenergie wordt omgezet in warmte, die echter onmeetbaar gering is. Dit stijghoogteverlies of energieverlies per eenheid van afstand is de hydraulische gradiënt. Door het verband tussen de hydraulische gradiënt en de stroomsnelheid voor laminaire stroming vast te leggen in een mathematische vergelijking ontstond de Wet van Darcy. Deze vergelijking vormt de basis van bijna alle berekeningen die uitgevoerd worden bij de bestudering van grondwaterstroming.



Figuur 6.4

Isohypsen van de stijghoogte van het grondwater in het eerste watervoerend pakket nabij Delft (provincie Zuid-Holland) op 28 augustus 1979, gecorrigeerd naar zoetwaterstijghoogten op 25 m -NAP (Naar Boswinkel, J.A. & I.L. Ritsema, 1984)

De wet van Darcy nader beschouwd

Henry Darcy kwam in 1856 langs experimentele weg tot het volgende inzicht: *figuur 6.5.*

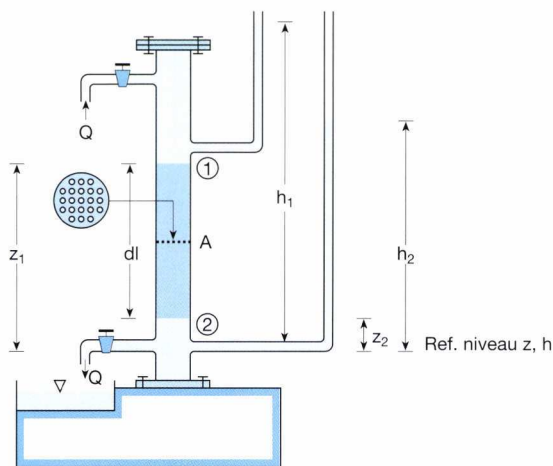
$$Q = KA (h_1 - h_2)/dl$$

- Q = volume water per tijdseenheid (debiet) [dimensie L³/T]
- K = constante. Afhankelijk van het doorstroomde materiaal [dimensie L/T]
- A = totale oppervlak loodrecht op de stroming [dimensie L²]
- (h₁ - h₂) = stijghoogteverschil over de beschouwde lengte van de sedimentkolom. [dimensie L]
- dl = beschouwde lengte van de sedimentkolom [dimensie L]

Een voorbeeld:

Als voorbeeld het stromingspatroon bij een grondwaterwinning (putstroming) ³:

Veronderstel een waterwininput, in een horizontaal, homogeen en isotroop medium (bijvoorbeeld een zandlaag) waar een hoeveelheid Q per tijdseenheid aan het grondwater onttrokken wordt en waar al het water aangevoerd wordt van buiten het gebied rondom de put met straal R (figuur 6.6).



Figuur 6.5

Opstelling om de wet van Darcy te demonstreren (Naar Davis, S.N. & R.J.M. De Wiest, 1966)

Bij figuur 6.6³:

$Q = 2\pi r k D \frac{dh}{dr}$ (hier is de richting van stroming tegengesteld aan de positieve r richting)

Integratie tussen de grenzen $r=r_1 : h=h_1$ en $r=r_2 : h=h_2$ levert:

$$h_1 - h_2 = \frac{Q}{2\pi k D} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}$$

hieruit volgt dat voor de verlaging van de stijghoogte s op een afstand r tot de put geldt:

$$s = \frac{Q}{2\pi k D} \cdot \ln \frac{R}{r}$$

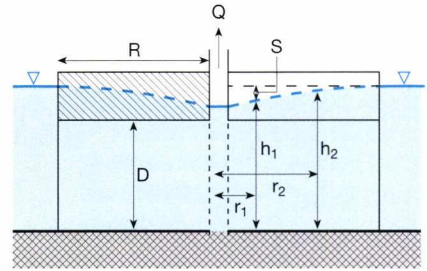
s = verlaging [dimensie L]

Q = debiet [dimensie L^3/T]

kD = doorlaatcapaciteit [dimensie L^2/T]

R = afstand tussen put en dichtstbij liggende punt waar ten gevolge van de onttrekking geen verlaging optreedt = maximale invloedssfeer van de onttrekking op de stijghoogte [dimensie L]

r = afstand tussen put en punt waar de verlaging bepaald moet worden [dimensie L]



Figuur 6.6

Radiale stroming naar een put in het centrum van een cirkelvormig eiland (Naar Vries, J.J. de, 1994)

Deze benadering vindt zijn toepassing bij de bepaling van verlagingen van het freatisch vlak en eventueel daaruit volgende verdroging rondom grondwaterwinningen. Nog belangrijker is de toepassing bij de bepaling van de kD -waarde van een bepaalde aquifer. Deze kD -waarde wordt berekend uit de verlaging s op een afstand r van een put waarin onttrekking plaatsvindt. Een dergelijk veldexperiment om de kD -waarde te bepalen wordt een pompproef genoemd.

Kwelsnelheid in polders

Het volgende rekenvoorbeeld³ geeft enig inzicht in de snelheid waarmee de kwel in de polders omhoog komt:

Veronderstel een gemiddelde dikte D van 15 m van de deklaag met een verticale doorlaatfactor k_v van 10^{-3} tot 10^{-2} m/dag. Een gemiddeld stijghoogteverschil Δh tussen het polderwater en het grondwater van 0,5 m en een gemiddelde porositeit n van 40% van de deklaag, het Holocene pakket.

Conform de wet van Darcy geldt voor de snelheid waarmee kwelwater omhoog komt:

$$V_k = \Delta h k_v / n D \quad [\text{dimensie } L/T] \quad (\text{in m/dag})$$

Hieruit volgt dat in deze situatie de snelheid waarmee de kwel omhoog komt, V_k , $8 \cdot 10^{-5}$ tot $8 \cdot 10^{-4}$ m/dag (0,08 tot 0,8 mm/dag) bedraagt.

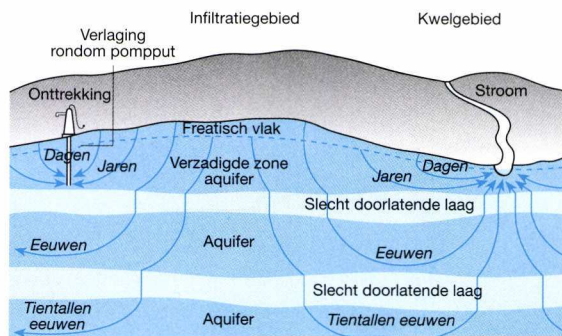
Dit betekent dat het kwelwater, afkomstig uit het Pleistocene pakket, na een periode van 50 tot 500 jaar het maai-veld bereikt³.

Ter vergelijking: De snelheid van de 'natuurlijke horizontale grondwaterstroming' zoals die in de Centrale Slenk nabij Eindhoven in het eerste watervoerend pakket (Formatie van Sterksel) voorkomt, is $7 \cdot 10^{-2}$ m/dag (25 m/jaar). In de diepere formaties aldaar, bijvoorbeeld in het tweede watervoerend pakket (grofzandig niveau in de Formatie van Tegelen), bedraagt de snelheid niet meer dan orde grootte $8 \cdot 10^{-3}$ m/dag (7 m/jaar)⁴.

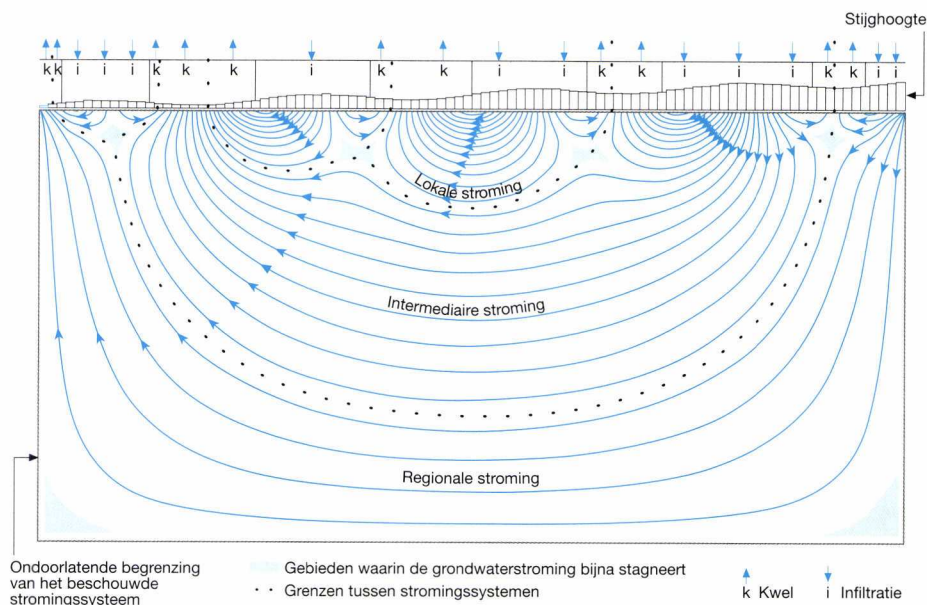
6.2 Stromingspatronen

Figuur 6.7 toont hoe in één regio op hetzelfde moment verschillende stromingspatronen bestaan, met elk hun eigen tijdsduur.

Uit deze figuur wordt duidelijk dat de scheidende invloed van een slecht doorlatende laag afneemt als de tijd, waarover het stromingsproces beschouwd wordt, toeneemt. Een meer abstracte presentatie levert het beeld van figuur 6.8.



Figuur 6.7
Verschiede stromingspatronen in één regio
(Naar Tóth, J., 1995)



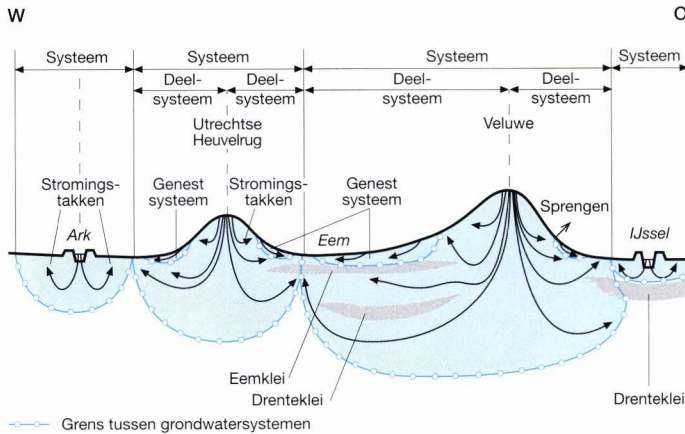
Figuur 6.8
Onderscheiden stromingspatronen (Naar Engelen, G.B & F.H. Kloosterman, 1996)

De figuur toont drie stromingspatronen:

- lokale stroming
- intermediaire of sub-regionale stroming
- regionale stroming.

Bij lokale stroming verbinden de stroomlijnen het veelal hoog gelegen infiltratiegebied met de dichtbij gelegen kwelgebieden. Deze zijn veelal laag gelegen. Bij intermediaire stroming verbinden de stroomlijnen eenzelfde infiltratiegebied met meerdere kwelgebieden. Deze kwelgebieden zijn van elkaar gescheiden. Intermediaire stromingspatronen bevinden zich onder lokale stromingen.

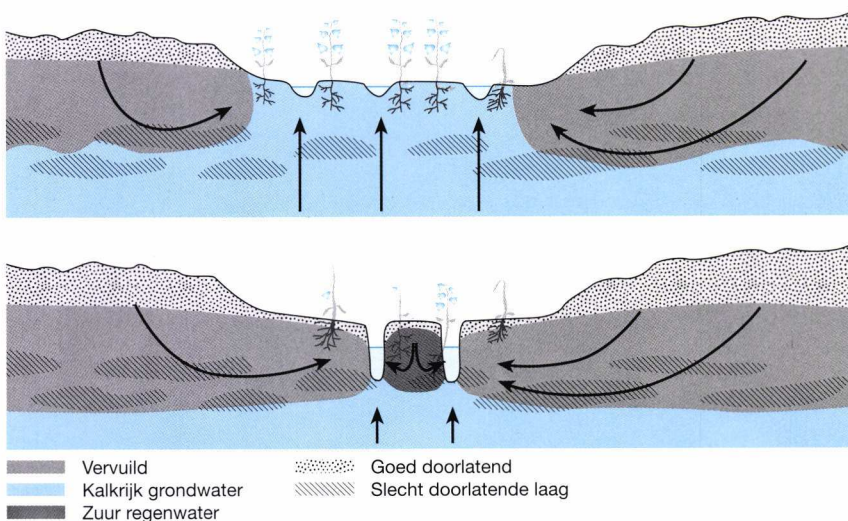
Regionale stroming is de grootste schaal waarop stroming in een bepaald gebied kan voorkomen. Alle andere voorkomende stromingspatronen bevinden zich boven het regionale stromingspatroon. De stroomlijnen van een regionaal stromingspatroon ontstaan op het regionaal hoogst gelegen infiltratiegebied en eindigen in het laagste kwelgebied van de regio. Het belang van lokale stromingspatronen is groter naarmate de hoogteverschillen groter zijn en naarmate de verticale doorlatendheid groter is. Dit gegeven verklaart waarom in Nederland, met zijn geringe hoogteverschillen, juist de intermediaire en regionale stromingspatronen van dominant belang zijn ⁵. *Figuur 6.9* illustreert dit met een profiel over de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe.



Figuur 6.9
West-oost doorsnede over de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe ter illustratie van de structuur van regionale systemen en geneste ondiepe lokale systemen (Naar Kloosterman, F.H., e.a., 1993)

Deze systeemanalyse verbetert het inzicht in en de benadering van meer complexe problemen die samenhangen met grondwaterstroming. Veranderingen in de grondwaterstromen kunnen namelijk verstrekkende gevolgen hebben. In een (sub-regionaal) grondwaterstromingspatroon kunnen, bijvoorbeeld door ingrepen van de mens, veranderingen in de stijghoogte van het grondwater optreden. Daardoor kan met name in kwelgebieden de verhouding tussen de bijdragen van de ondiepe en diepe grondwaterstroming veranderen. Dit resulteert in veranderingen in de chemische samenstelling van het kwellend grondwater, gevolgd door veranderingen in de biotoop in de kwelzone.

Zo is in West-Brabant ten westen van Ossendrecht geconstateerd dat, ten gevolge van diepe grondwaterwinning, stijghoogteverschillen tussen de diepe en ondiepe aquifers afnamen. Hierdoor nam de kwelintensiteit van de diepe component af. Vervuild grondwater uit de ondiepe aquifer kan hierdoor versneld het kwelgebied binnendringen. Dit heeft in deze situatie tot gevolg dat het kalkgehalte in het kwelwater langzaam afneemt. Dit heeft belangrijke gevolgen voor de plantengroei ter plaatse ⁶ (*figuur 6.10*).



Figuur 6.10
Verlaging van de diepe grondwaterpiegel veroorzaakt wijziging van de grondwaterstroming met het gevolg dat verontreinigd grondwater uit de ondiepere aquifer het kwelgebied binnenstroomt. Lokaal infiltreert op deze wijze meer zuur regenwater (Naar Stuurman, R.J. & J.L. van der Meij, 1994)

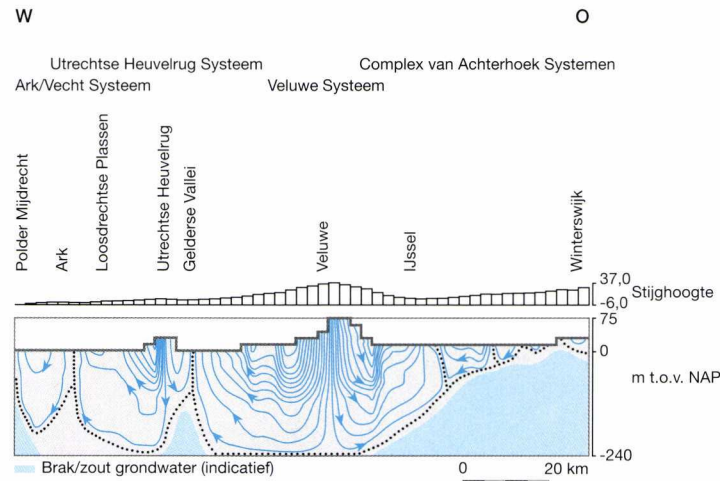
De systeemanalyse heeft eveneens de indeling in infiltratie- en kwelgebieden nader kunnen preciseren en kwantificeren.

Een meer grootschalig stromingsstelsel, waarbij kwel en infiltratie het systeem beheersen, wordt op basis van de systeemanalyse weergegeven in *figuur 6.11*.

Op deze doorsnede zijn infiltratie- en kwelgebieden in hun onderlinge relatie in een deel van Nederland in beeld gebracht.

Recente studies leggen grote nadruk op het verband tussen herkomst, stroming, verblijftijd en chemisch karakter van het grondwater. Deze factoren beïnvloeden de hydrochemische samenstelling van het grondwater in een bepaalde regio.

Studies over de beweging van het grondwater maken onder meer gebruik van de kennis van de ouderdom van het grondwater. De bepalingen van herkomst en verblijftijd gebeuren met behulp van isotopenonderzoek of isotopenhydrologie.



Figuur 6.11

Schematische weergave van een grootschalig stromingsstelsel (Naar Engelen, G.B., J.M.J. Gieske & S.O. Los, 1989)

Isotopenonderzoek

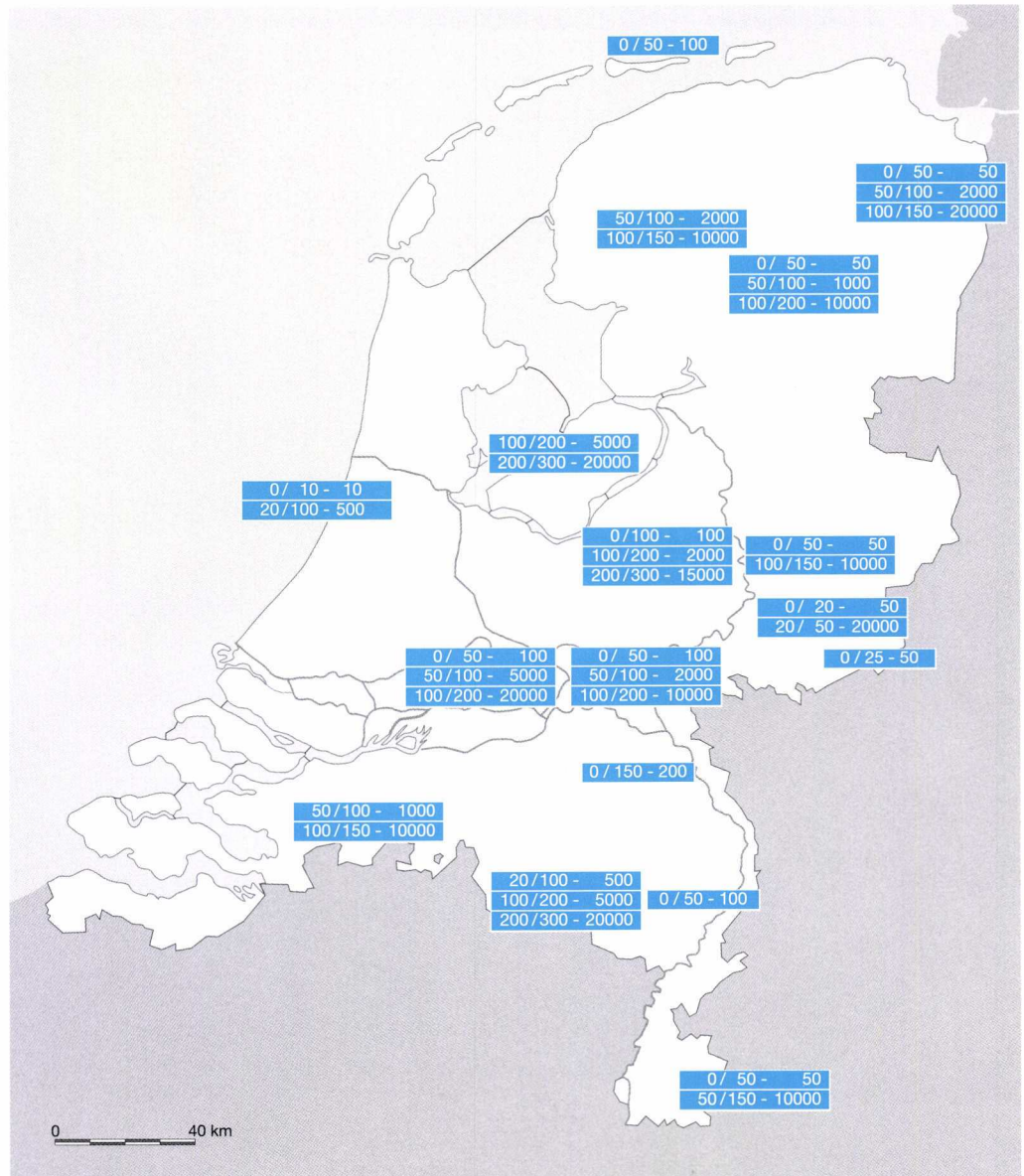
Elk water heeft een eigen karakteristieke isotopen 'familie', te beschouwen als een vingerafdruk van het betreffende grondwater. Aan het aardoppervlak worden voortdurend radioactieve isotopen gevormd. Dit gebeurt voornamelijk ten gevolge van de instraling van zonlicht. De isotopen worden in de tijd afgebroken. Dit heet ook wel radioactief verval. Indien het radioactieve verval van één of meerdere isotopen bepaald kan worden, kan daarmee een uitspraak over de ouderdom van het water gedaan worden.

Eén van de bekendste isotopen is koolstof-14 of C14. Het CO₂ in de lucht dat de koolstof-14 isotoop bevat, wordt door de neerslag geabsorbeerd. Bepaling van de C14 isotoop in het grondwater geeft informatie over de tijd die verstreken is sinds het water de invloedssfeer van de bovenlucht verlaten heeft. Hiermee is de verblijftijd in de ondergrond bekend. De C14 methode wordt voornamelijk toegepast bij de bepaling van de ouderdom van grondwater in diepe gesloten bekkens, ofwel fossiel water ⁷.

Een algemeen en globaal inzicht in de ouderdom van het grondwater, veelal gebaseerd op ouderdomsbepaling aan de hand van isotopenonderzoek, in verschillende aquifers wordt weergegeven in *figuur 6.12*.

6.3 Zoete en zoute kwel

Kwel is bij uitstek een effect van de beweging van grondwater. Zoute kwel is één van de oorzaken van blijvende zoutbelasting van grond- en oppervlaktewater in het westen van Nederland. De beweging van dit binnendringende zoute water vraagt zowel uit een agrarische optiek als uit het oogpunt van milieubescherming de aandacht. In *figuur 6.13* worden de belangrijkste bepalende grootheden van de kwel in West-Nederlandse polders aangegeven.



Het systeem bestaat uit:

0/ 50 - 50	Deklaag tot 50 m dikte, gemiddelde leeftijd 50 jaar
50/100 - 1000	Subaquifer van 50 tot 100 m, gemiddelde leeftijd 1000 jaar
100/200 - 10000	Subaquifer van 100 tot 150 m, gemiddelde leeftijd 10 000 jaar

Figuur 6.12

Ouderdom van het grondwater in verschillende aquifers. Ouderdom vastgesteld op basis van isotopenonderzoek (Naar Meinardi, C.R. / U.N., 1991 en Meinardi, C.R., 1986)

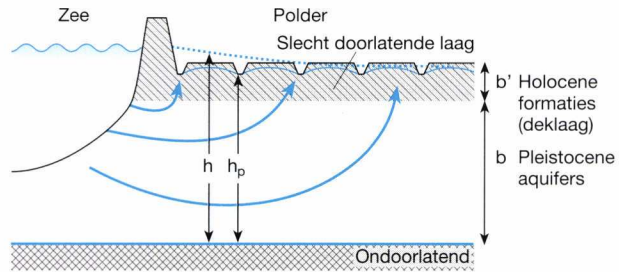
$$kwel = (h - h_p)/c \text{ (dimensie: L/T)} \quad (\text{figuur 6.13})$$

- h = stijghoogte grondwater in onderliggende pakket
- h_p = stijghoogte oppervlaktewater of grondwater-spiegel (polderpeil)
- c = hydraulische weerstand

De formule geeft aan dat de kwel toeneemt als de hydraulische weerstand van de Holocene deklaag afneemt, terwijl de overige omstandigheden gelijk blijven.

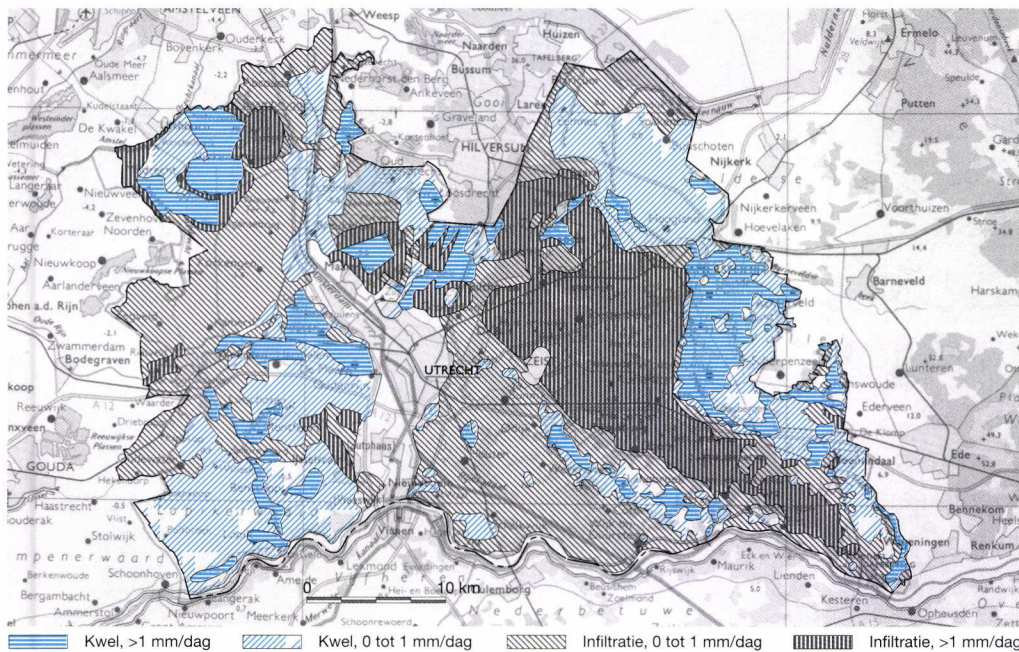
Wanneer menselijk ingrijpen de dikte van de deklaag aantast, leidt dit tot meer zoute kwel. De turfwinning uit het verleden vormt hiervan het duidelijkste en misschien meest schadelijke voorbeeld. Zandwinningsputten en de winning van ondiep methaangas uit het Holocene pakket zijn recentere voorbeelden van activiteiten die ten koste gaan van de beschermende functie van de deklaag. Ook een verdere verlaging van het polderpeil, zoals die de laatste jaren met name in het belang van de landbouw is doorgevoerd, draagt bij tot een toename van de kwel.

Kwel is overigens niet per definitie brak of zout. Er zijn ook gebieden in Nederland waar zoet water, dat gebruikt kan worden voor de drinkwatervoorziening, aan de oppervlakte komt. Een voorbeeld hiervan leveren de polders rondom de Loosdrechtse plassen, terwijl het ook in de Gelderse Vallei en in Salland voorkomt ⁸. Deze gebieden hebben gemeen dat zij zich op relatief geringe afstand van hoger gelegen infiltratiegebieden zoals de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe bevinden. *Figuur 6.14* geeft de ligging en onderlinge relatie van de kwel- en infiltratiegebieden in de provincie Utrecht.



Figuur 6.13

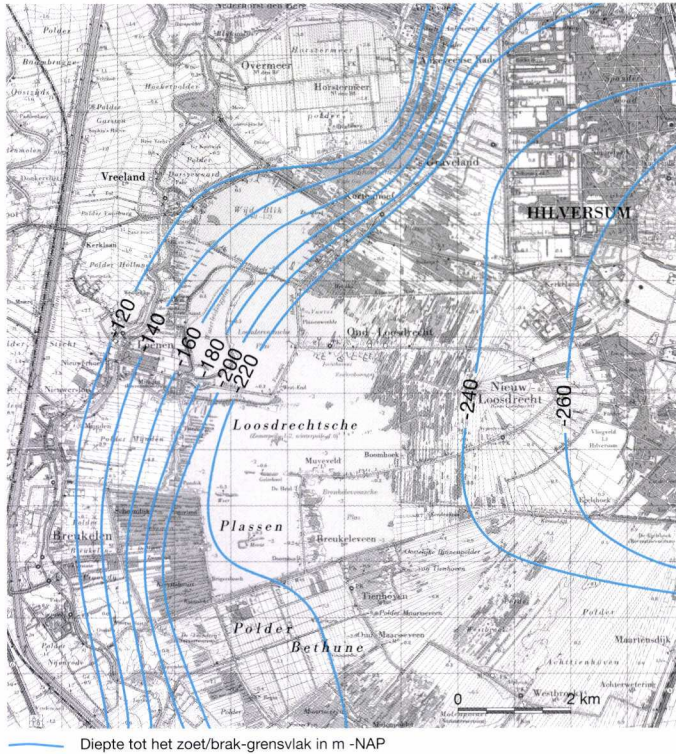
Verloop van de stijghoogte h van het diepe grondwater in een polder in de situatie met kwel onder de dijk (Naar Vries, J.J. de, 1994)



Figuur 6.14

Kwel- en infiltratiegebieden in de provincie Utrecht

(Naar Dienst water en milieu, Prov. Utrecht (ed.), 1994 en Valk, M. van der, 1994)



Figuur 6.15
Diepliggend zoet/brak-grensvlak ten gevolge van diepe kwel in het gebied van de Loosdrechtse Plassen (Naar Gun, J.A.M. van der, 1978)

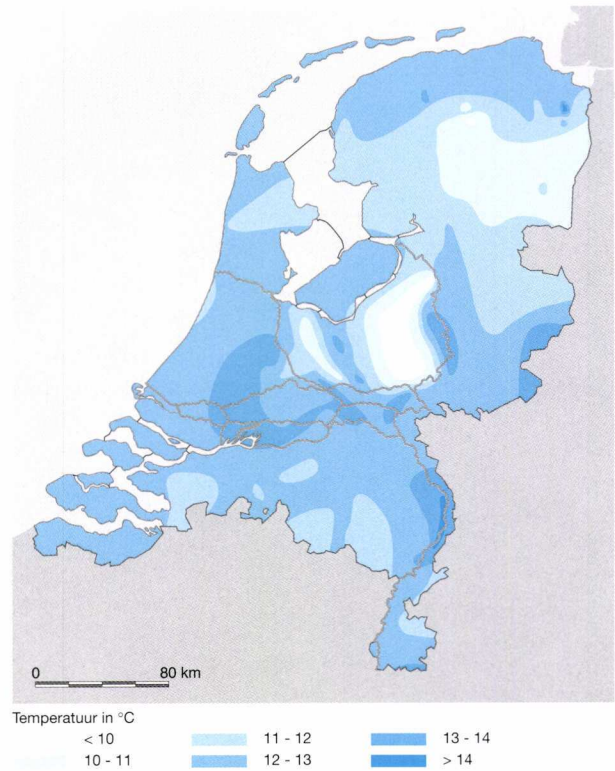
regenwater dat het warmere grondwater verdringt. In de omgeving van Winschoten is een hoge temperatuur-anomalie waargenomen. Dit is een gevolg van een relatief ondiep liggende zoutkoepel. Daardoor wordt in dit gebied warmte uit de diepere ondergrond door het goed warmtegeleidend steenzout naar een ondieper niveau gebracht. Voor de relatief hoge temperatuur ten noorden van Venlo is nog geen sluitende verklaring gevonden ¹¹.

Figuur 6.16
Temperatuur van het grondwater in de Nederlandse ondergrond op een diepte van 125 m -mv (Naar Dalfsen, W. van, 1983)

Uit *figuur 6.15* blijkt dat in de omgeving van de Loosdrechtse Plassen het zoet/brak-grensvlak tot de relatief grote diepte van 240 tot 220 meter beneden NAP reikt.

Het grote verloop van het verschil tussen polderpeil en stijghoogte in de Bethunepolder, ten zuiden van de Loosdrechtse Plassen, wijst op een aanzienlijke zoete kwel van 15 mm per dag ⁹. Deze kwel stelt de Gemeentewaterleidingen Amsterdam in staat hier sinds 1930 jaarlijks 33 mln m³ zoet water te winnen, waarvan ongeveer 25 mln m³ ten behoeve van de drinkwatervoorziening gebruikt wordt. De resterende 8 mln m³ wordt in de Loosdrechtse plassen ingebracht ¹⁰. Infiltratie en kwel worden ook in kaart gebracht door een weergave van de temperatuur van het diepe grondwater. In *figuur 6.16* wordt de temperatuurverdeling op een diepte van 125 m beneden maaiveld weergegeven.

De ondergrond van de infiltratiegebieden Utrechtse Heuvelrug en Veluwe heeft een lagere temperatuur dan de omgevende kwelgebieden. Dit is een gevolg van infiltrerend, relatief kouder,

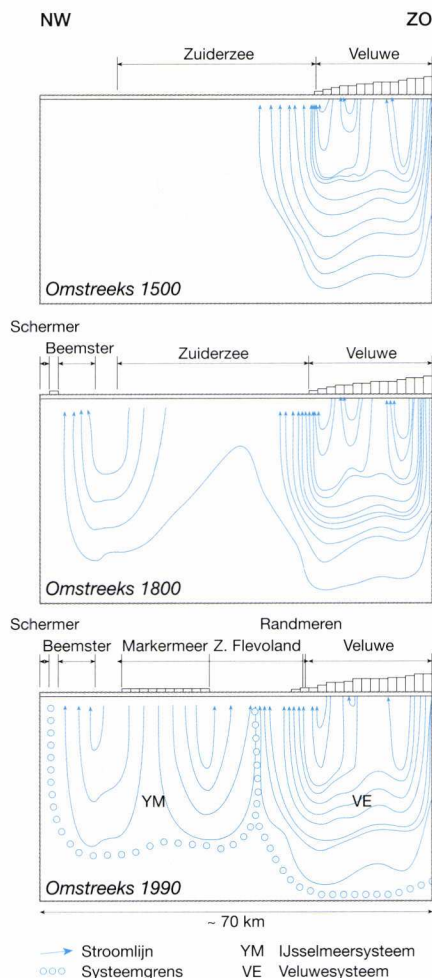


6.4 Menselijke invloed

De aantasting van de Holocene deklagen is niet het enige menselijke ingrijpen dat een effect heeft op het beheer en de bescherming van het grondwater. De systeemanalyse maakt het mogelijk om ook andere gevolgen van menselijk ingrijpen aanschouwelijk te maken. De inpoldering van de voormalige Zuiderzee oefent invloed uit op de bewegingsrichting van het grondwater in de omliggende gebieden (figuur 6.17).

Een ander voorbeeld van menselijk ingrijpen is de uitgebreide winning van zoet grondwater in de West-Nederlandse duingebieden¹². Ten gevolge van deze winning werd de diepte van het zoet/brak-grensvlak beïnvloed (figuur 6.18).

In het zuidoosten van Nederland is de groot-schalige grondwateronttrekking voor de bruinkool-winning nabij Jülich in Duitsland verantwoordelijk voor grote verlagingen. In gigantische dagbouw-groeven wordt niet minder dan 90 miljoen m³ grondwater per jaar onttrokken¹³ (figuur 6.19).

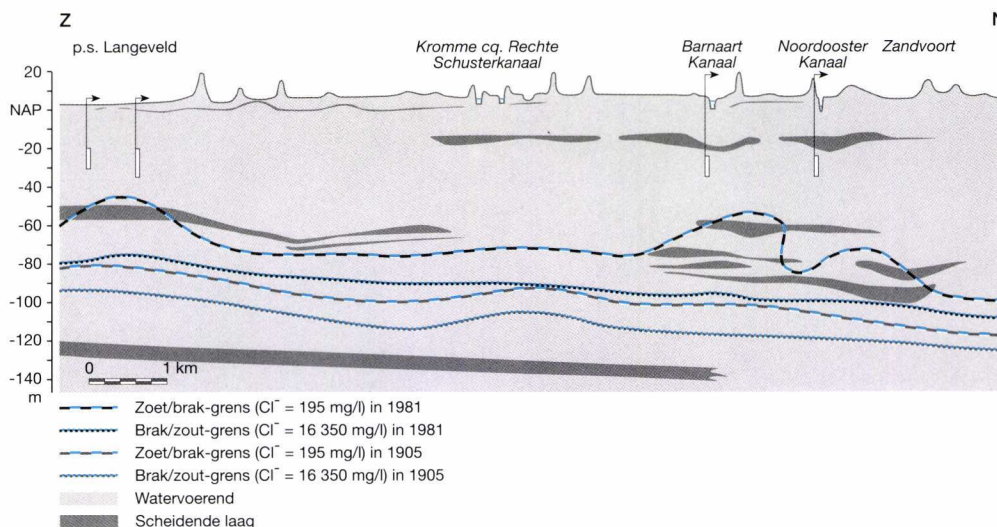


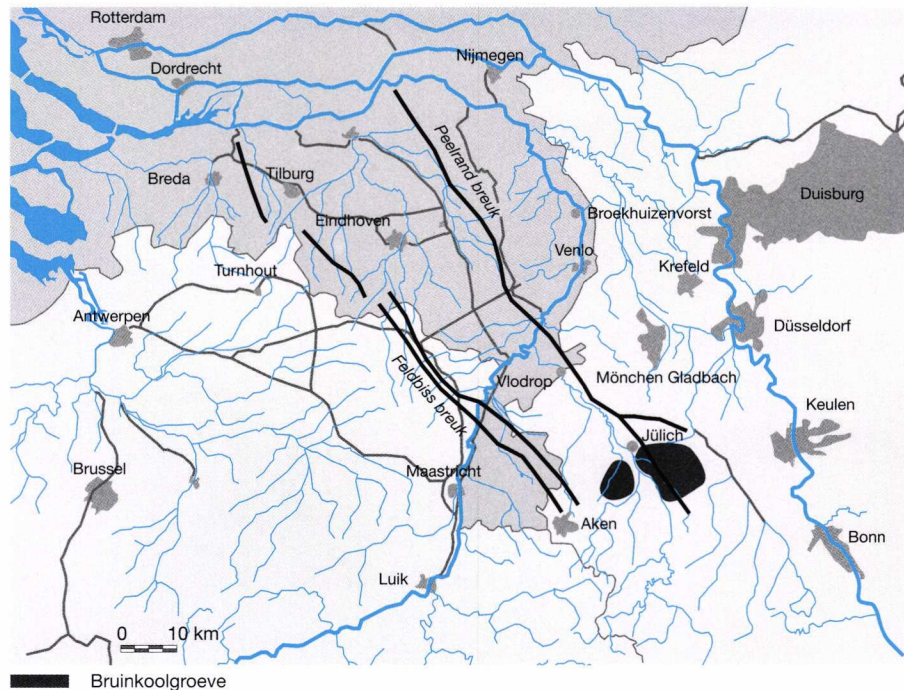
Figuur 6.17

De ontwikkeling van het stromingspatroon in het gebied van de voormalige Zuiderzee en in de randgebieden. Duidelijk is de invloed van de inpoldering op het stromingspatroon (Naar Engelen, G.B. & F.H. Kloosterman, 1996)

Figuur 6.18

Verplaatsing en verdikking van de overgangszone tussen het grondwater met een chloridegehalte van 195 mg/l Cl⁻ en 16 350 mg/l Cl⁻ in de periode 1905 - 1981 in het gebied ten zuiden van Zandvoort. In deze illustratie is de zoet/brak-grens niet zoals gebruikelijk op 150 mg/l Cl⁻ maar op 195 mg/l Cl⁻ gesteld (Naar Stuyfzand, P.J., 1993)





Figuur 6.19

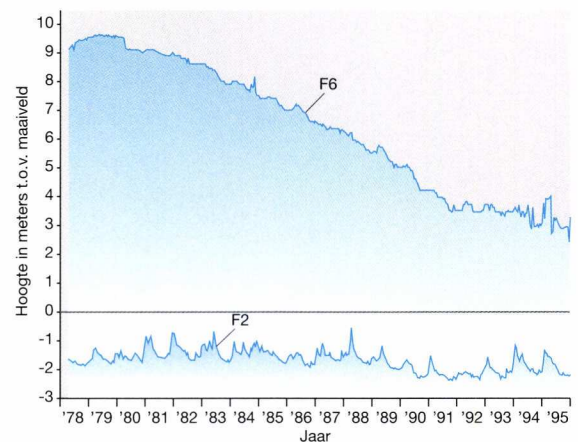
Locatie van de bruinkoolwinning in het Duits - Nederlandse grensgebied (Naar Stuurman, R.J., 1996)

Mede door deze onttrekkingen nabij Jülich daalde de stijghoogte in de periode van 1983 tot 1992 in de diepe watervoerende pakketten in Limburg plaatselijk meer dan vijf meter ¹⁴.

Figuur 6.20 geeft van een put in Vlodrop de twee tijdstijghoogtereeksen (filter 2 en filter 6) ten opzichte van maaiveld weer ¹⁵.

In de betreffende put stijgt het niveau in het filter 6 van het derde watervoerend pakket boven het niveau van het eerste uit. Dit betekent dat het derde watervoerend pakket spanningswater bevat. Opvallend is de vermindering van de daling na 1992. Dit verschijnsel wordt ook in andere waarnemingsfilters in het oostelijk gedeelte van de Centrale Slenk, geconstateerd. Dit duidt op het ontstaan van een evenwicht.

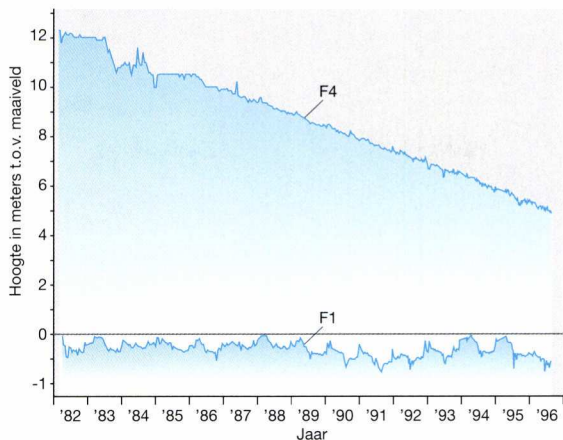
De Centrale Slenk is een gebied in Noord-Brabant begrensd door twee NW-ZO lopende breuksystemen. Deze stabilisatie van de stijghoogte in de regio is echter geen wetmatigheid. In een put bij Broekhuizen, buiten de Centrale Slenk, bleef de stijghoogte in het diepe pakket (filter 4) ook na 1992 dalen (figuur 6.21) ¹⁶.



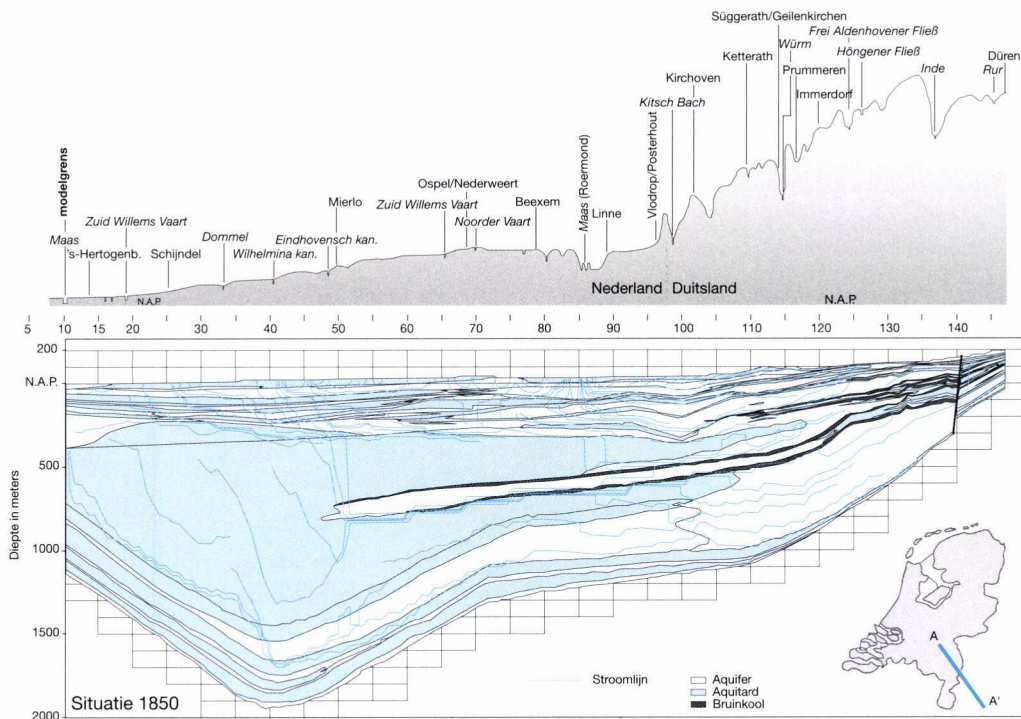
Figuur 6.20

Tijdstijghoogtereeksen in de put 60E P 0017 te Vlodrop (Archief van Grondwaterstanden, NITG-TNO, Delft)

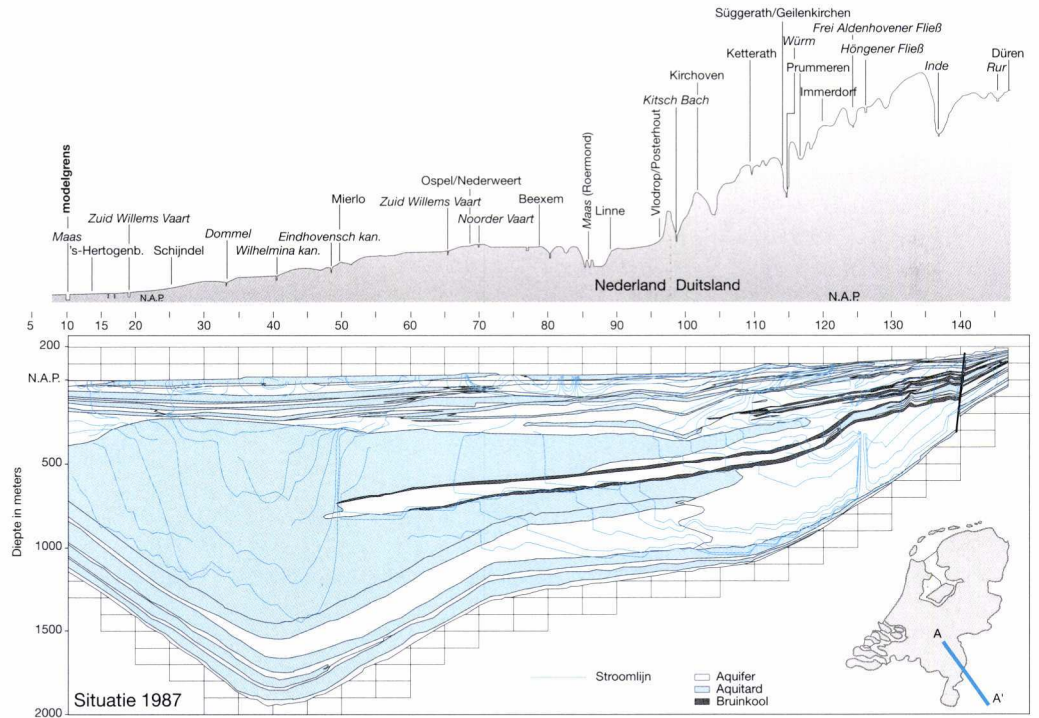
Deze gigantische grondwaterwinning veroorzaakt in combinatie met de toegenomen onttrekkingen in Noord-Brabant ook een verandering in de richting van de stroombanen in deze regio. Bij een simulatie van de situatie voor respectievelijk 1850 en 1987 ontstaan de twee beelden zoals in *figuur 6.22 en 6.23* weergegeven.



Figuur 6.21
Tijdstijghoogtereeksen in de put 52E P 0137 nabij Broekhuizenovorst
(Archief van Grondwaterstanden, NITG-TNO, Delft)



Figuur 6.22
Stromingslijnen in een profiel in het Duits - Nederlandse grensgebied.
Situatie vóór het begin van de diepe ontwatering ten behoeve van de bruinkoolwinning
(Naar Stuurman, R.J., e.a., 1996 b)



Figuur 6.23

Stromingslijnen in een profiel in het Duits - Nederlandse grensgebied.

Situatie na enige jaren diepe ontwatering ten behoeve van de bruinkoolwinning

(Naar Stuurman, R.J., e.a., 1996 b)

7 Hydrochemie van het grondwater

7.1 Kwaliteitscontrole

De hydrochemische kwaliteit van het grondwater is doorslaggevend voor de vraag of het water gebruikt kan worden en zo ja, voor welk doel. De Nederlandse waterleidingbedrijven bewaakten daarom bij de winning van grondwater vanouds de kwaliteit van het opgepompte water. Om de nodige controle uit te voeren, beschikken de waterleidingbedrijven over de mogelijkheid het grondwater in de aquifer, ook buiten de pompputten, te bemonsteren en vervolgens in het laboratorium te onderzoeken. De monsternamen gebeuren vaak in waarnemingsputten door een watermonster te nemen in een buis met een inwendige doorsnede van minimaal 27 mm. Deze 'filterbuis' heeft over een gedeelte dat zich in de aquifer bevindt een filter waardoor het water vanuit de aquifer de buis kan binnengaan.

In het begin van de jaren zeventig ontwikkelde de Dienst Grondwaterverkenning TNO, in samenwerking met het bedrijf De Regt Special Cable, een nieuwe manier voor de bewaking van het chloridegehalte van het grondwater. Hierbij gebruikt men een 26-aderige kabel met op vaste plaatsen 13 elektrodenparen. De kabel staat bekend als 'zoutwachter-kabel'. De kabels worden direct na het gereedkomen van de boorwerkzaamheden in het boorgat geïnstalleerd. Door een weerstandsmeting aan de kabelkop, die aan de oppervlakte blijft, kan de elektrische weerstand tussen verschillende elektrodenparen worden gemeten. Deze weerstand is maatgevend voor het geleidingsvermogen van het omgevende grondwater. Dit is op zijn beurt weer een maat voor het Cl^- -gehalte. Ook voor het monitoren van grondwatervervuiling bij vuilstortplaatsen of voor het volgen van waterbewegingen bij infiltratie van water in een aquifer wordt deze methode toegepast.

Als de kabel geïnstalleerd is wordt deze meetopstelling ook wel 'permanente elektrode-opstelling' genoemd ¹.

7.2 Chloride

In Nederland was het chloridegehalte (Cl^-) lange tijd de enige, en in ieder geval de belangrijkste, hydrochemische component die in acht genomen werd. Dit gehalte werd daarom voorheen gehanteerd als criterium voor de drinkwaterkwaliteit.

Een eenvoudige indeling naar het chloridegehalte verdeelt het grondwater in Nederland in vier hoofdcategorieën.

Tabel 15 Hydrochemische indeling op basis van chloridegehalte

Type	Chemisch karakter
Zoet en niet-verontreinigd	< 150 mg Cl^- per liter
Zoet en verontreinigd*	< 150 mg Cl^- per liter met componenten zoals nitraten, organische verbindingen, zware metalen enz.
Brak	150 - 1000 mg Cl^- per liter.
Zout**	> 1000 mg Cl^- per liter.

* Verontreiniging van brak of zout water komt wel voor, maar is uit het oogpunt van grondwaterwinning door de waterleidingbedrijven van ondergeschikt belang.

** Ter vergelijking: het Cl^- -gehalte van Noordzeewater komt overeen met ongeveer 19 000 mg/l.

De norm van 150 mg Cl⁻ per liter is een subjectieve, West-Europese grens, gerelateerd aan de menselijke consumptie in dit deel van de wereld. De World Health Organisation (WHO) stelt deze op 250 mg Cl⁻ per liter. In sommige ontwikkelingslanden moet echter wel een grens van 600 mg Cl⁻ per liter geaccepteerd worden, omdat er in de wijde omgeving geen zoeter water beschikbaar is. Deze grens ligt zelfs hoger dan de maximale waarde van 400 mg Cl⁻ per liter die Nederland hanteert voor het drinkwater van het vee.

De kwaliteitsnorm zoet/brak wordt aldus in Nederland gerelateerd aan 150 mg Cl⁻ per liter.

In de hydrogeologische omstandigheden in de Nederlandse ondergrond wordt het chloridegehalte bepaald door de geologische ontstaansgeschiedenis van de verschillende afzettingen en door de daaropvolgende hydrologische beïnvloeding van deze afzettingen.

Zo wordt het Eem interglaciaal (figuur 4.4) (130 000 tot 110 000 jaar geleden) gekenmerkt door een laatste invloedrijke transgressie, waarbij een aanzienlijk gedeelte van het huidige Nederland door het zoute zeewater bedekt werd. Figuur 7.1 geeft een beeld van de kustlijn in die periode.

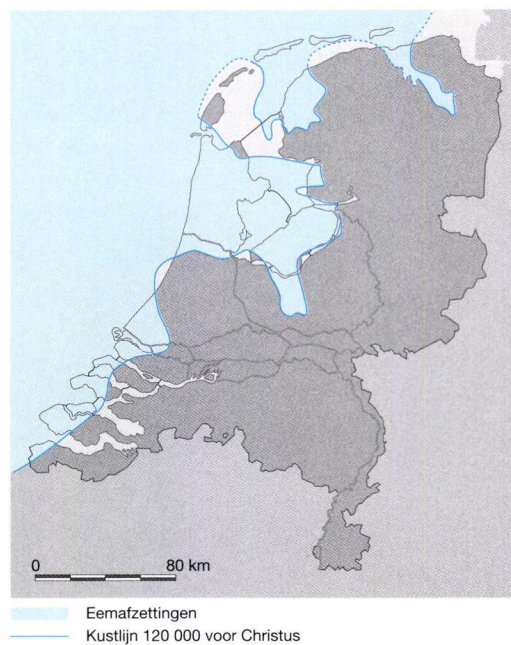
In die gebieden waar de zee was binnengedrongen, was tijdens dit Eem interglaciaal sprake van verzilting van de bodem en van de daaronder liggende aquifers. Het verzilte grondwater in de formaties ter plaatse kan in een latere fase weer door zoet regen- of rivierwater vervangen zijn. Op die plaatsen ontstond daarom een uiterst grillig patroon van afwisselend zoet, brak en zout water ². Figuur 7.2 en figuur 7.3 geven het huidige diepteverloop van het zoet/brak-grensvlak weer. Dit vlak ligt zowel onder de duinen, de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe als in de Centrale Slenk uitzonderlijk diep.

Op de Veluwe, net als de Utrechtse Heuvelrug een typisch infiltratiegebied, verklaart de aanwezigheid van stuwwallen met een hoge doorlaatfactor en een sterke verticale stromingscomponent de diepe ligging van dit grensvlak. Hierdoor kan uitspoeling van zout water door zoet regenwater plaatsvinden.

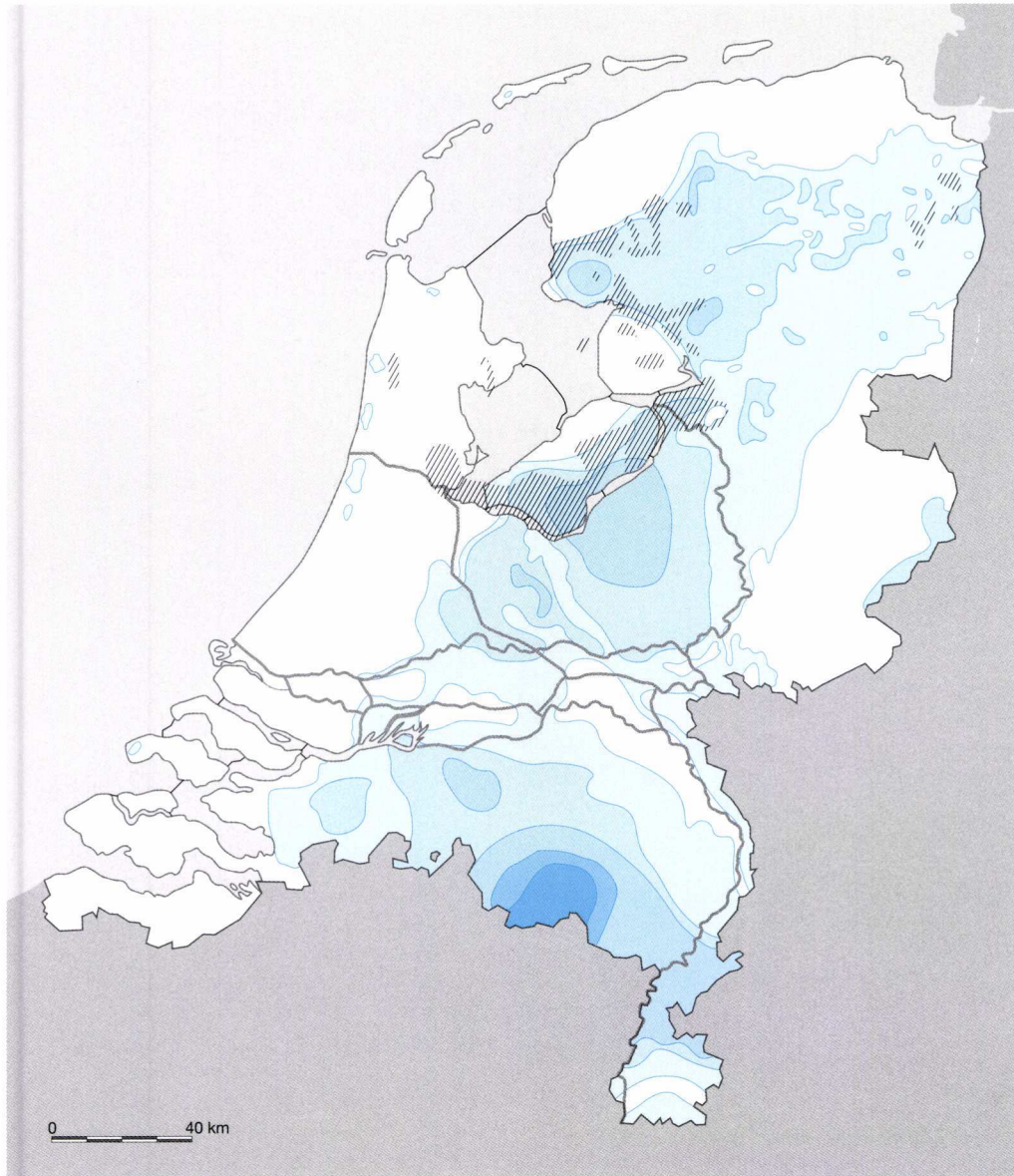
De grote hoeveelheid zoet water in de Centrale Slenk vindt zijn oorsprong in het feit dat dit ook tijdens het Pleistoceen al dalende gebied bijna zonder onderbreking opgevuld werd met fluviatiele afzettingen ³.

De geringe diepte van het grensvlak in de Gelderse Vallei is ook opvallend. De verklaring hiervan ligt in het hydrologische systeem van de beide infiltratiegebieden waar de Gelderse Vallei tussen ingeklemd ligt ⁴ (figuur 7.4).

In de Hollandse duinen hebben zich markante hydrologische verschijnselen voorgedaan ⁵. Door een hoge doorlaatfactor en porositeit is hier natuurlijke infiltratie van zoet water mogelijk. Dit verklaart maar voor een deel de diepe ligging van het grensvlak onder de duinen. Het tweede deel van de verklaring ligt in het verschil in soortelijke massa: het lichtere zoete water drijft op het zwaardere zoute water zoals een ijsberg in zee drijft ⁶. Door dit verschil in soortelijke massa en ten gevolge van het neerslagoverschot in de duinen is het mogelijk dat



Figuur 7.1
Kustlijn in het Eem-interglaciaal
(Naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985)



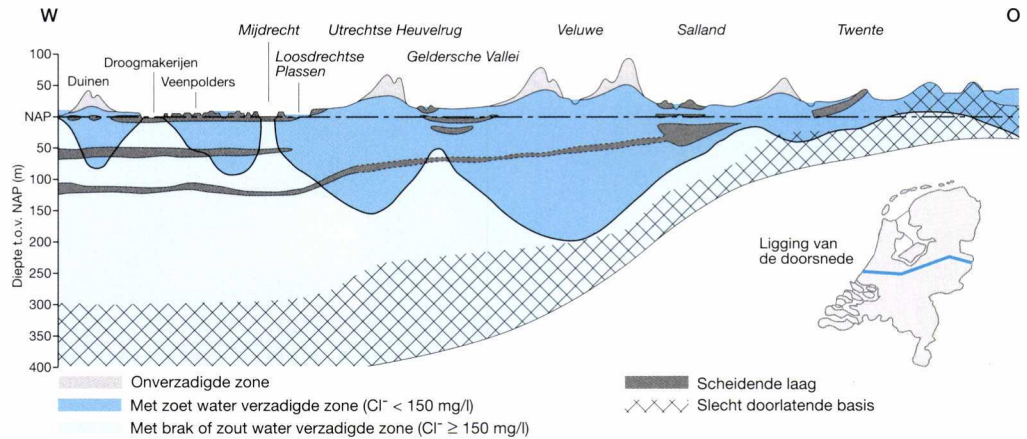
Diepte in meters t.o.v. NAP

< 100	300 - 400	Gebieden met inversie (d.w.z. brak/zout water boven zoet water)
100 - 200	400 - 500	
200 - 300	≥ 500	

Figuur 7.2

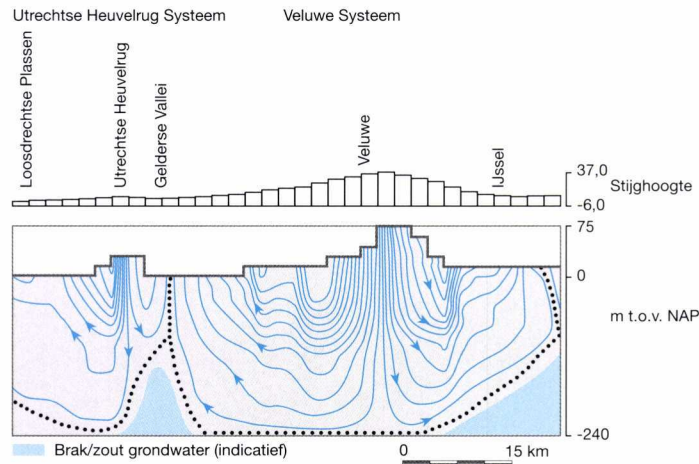
Diepte van het zoet/brakgrensvlak, overeenkomend met 150 mg Cl⁻ per liter
(Naar Boswinkel, J.A., 1981)

het freatisch vlak in de duinen boven het zeeniveau komt te liggen. Door deze grotere stijghoogte dringt het zoete water in de ondergrond en verdringt het zoute water. De infiltratiediepte wordt bepaald door het verschil in soortelijke massa van de twee vloeistoffen. Ook het hoogteverschil tussen het referentievlak, het zeeniveau, en de hoogte van het freatisch vlak in het zandlichaam is hiervoor mede bepalend ⁶. In *figuur 7.5* wordt dit verschijnsel duidelijk gemaakt.



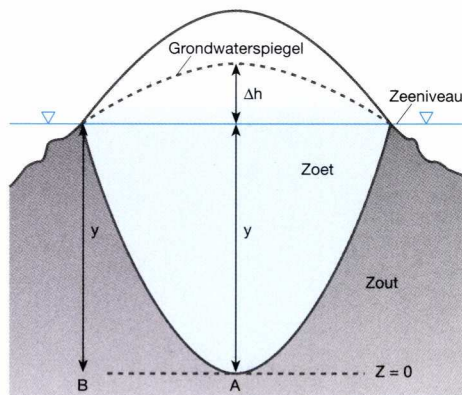
Figuur 7.3

Diepte van het zoet/brak-grensvlak in een west-oost geohydrologische doorsnede van Nederland (Naar Ven, G.P. van de, e.a., 1986)



Figuur 7.4

Grondwaterstromingspatroon tussen Utrechtse Heuvelrug en Veluwe met als veronderstelling een voeding van 200 mm/jaar op de Utrechtse Heuvelrug (Naar Engelen, G.B., J.M.J. Gieske & S.O. Los, 1989)



Figuur 7.5

Zoetwaterlens in een zoutwateromgeving zoals zich voordoet bij een eiland in zee (Naar Vries, J.J. de, 1992)

Bij figuur 7.5:

Indien geen stroming plaatsvindt geldt voor de punten A en B de volgende situatie ⁷:

potentiaalhoogte zoet water in A: $(y + \Delta h)r_f$

potentiaalhoogte zout zeewater in B: $y r_s$

In de punten A en B heerst evenwicht waaruit volgt:

$$(y + \Delta h) r_f = y r_s \quad (r_s = \text{dichtheid van zeewater, } r_f = \text{dichtheid van zoet water})$$

Hieruit volgt: $y = \Delta h r_f / (r_s - r_f)$

Voor zeewater geldt: $r_s = 1,023$, voor zoet water geldt: $r_f = 1,000$

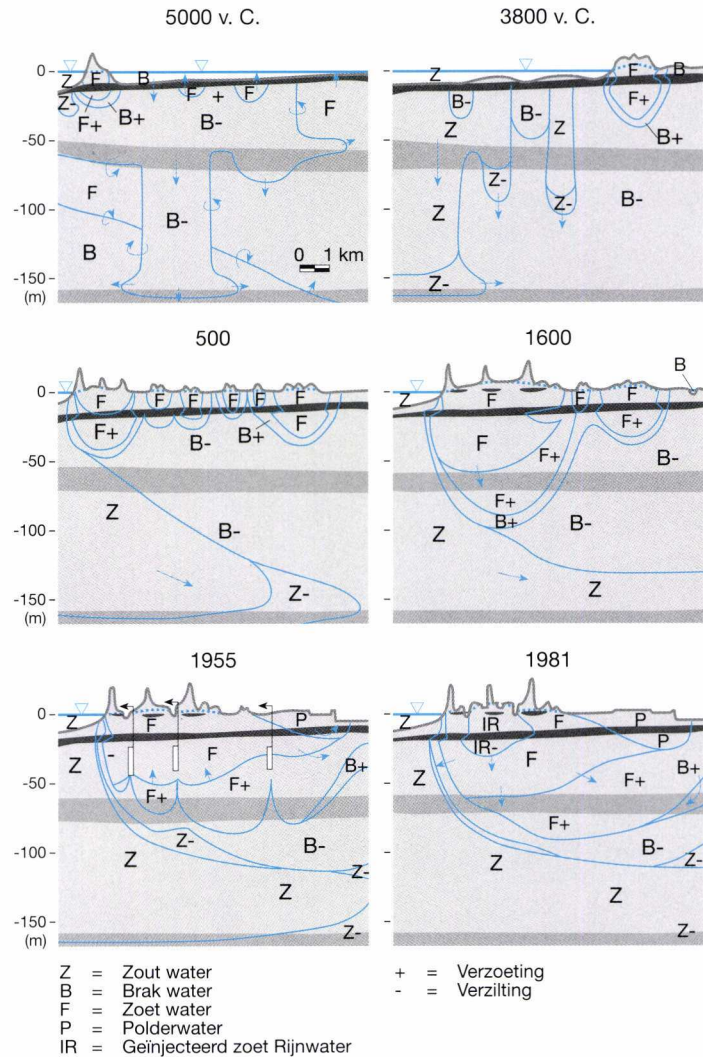
waaruit volgt dat $y = 43,5 \Delta h$

Deze vergelijking en het daarmee samenhangende verschijnsel staat bekend onder de naam Ghijben-Herzberg-relatie.

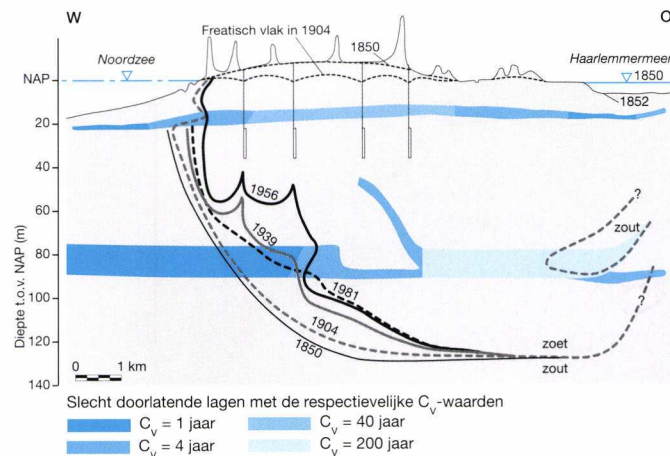
Recentelijk is duidelijk geworden dat in werkelijkheid het zoetwaterlichaam minder diep reikt dan uit de berekening zou volgen ⁸. Hiervoor zijn twee verklaringen. Zo is er ten gevolge van het stromen van het grondwater geen sprake van een evenwichtssituatie. Daarnaast zijn de duinen in Nederland niet gevormd als één homogeen zandlichaam.

De dynamiek van het zoet/brak-evenwicht in de duinen is nog altijd een punt van aandacht. *Figuur 7.6* geeft de ontwikkeling van het zoet/brak/zout-evenwicht weer, in relatie tot zowel het ontstaan van de duinen in de laatste 7000 jaar als tot de inpoldering en onttrekkingen van recente datum. In de figuur wordt aangegeven waar verzoeting (+) en waar verzilting (-) heeft plaatsgevonden.

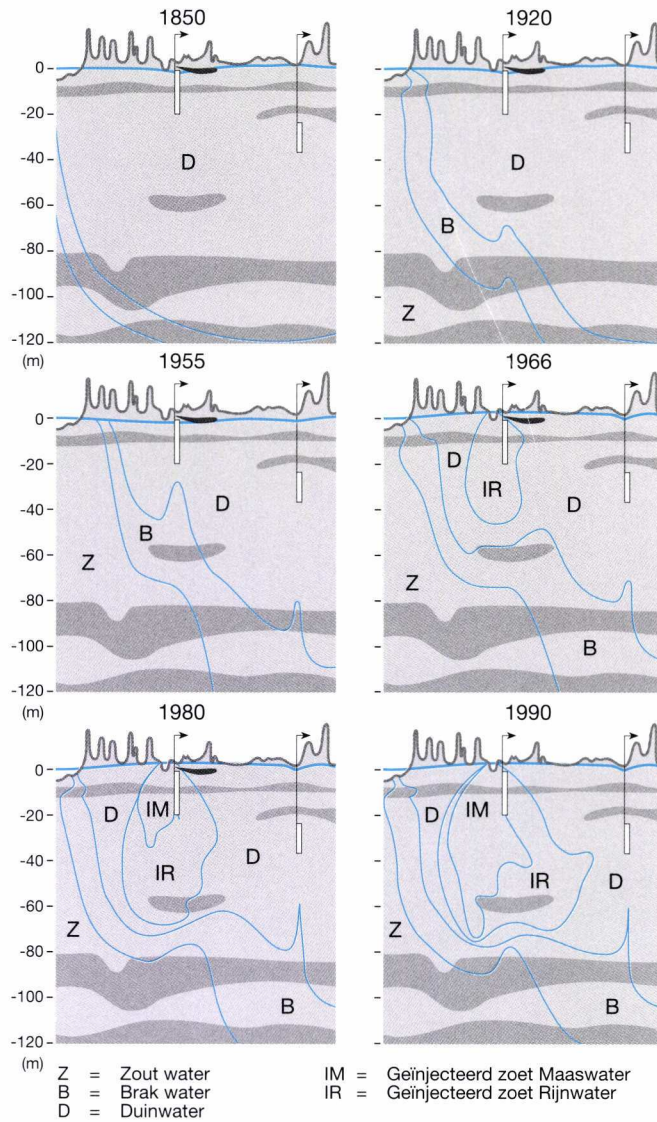
Figuur 7.7 geeft een doorsnede door het duingebied ten zuiden van Zandvoort aan Zee. Hier is gedetailleerd weergegeven hoe een grensvlak, in dit geval 8250 mg Cl⁻/l isohaline ⁹, zich in de periode 1850 tot en met 1981 verplaatste. Deze bewegingen werden veroorzaakt door verschillende factoren die het zoet/brak-evenwicht beïnvloedden.



Figuur 7.6
Geologische en hydrochemische ontwikkeling in het duingebied Haarlem - Hillegom in West-Nederland (Naar Stuyfzand, P.J., 1993)

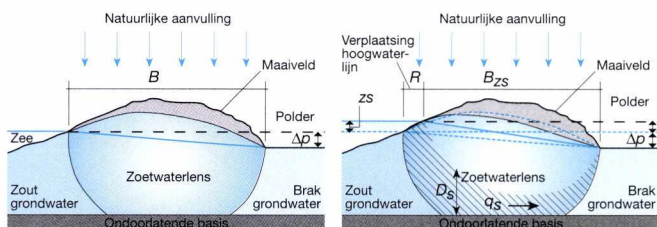


Figuur 7.7
Verplaatsing van de isohaline 8250 mg/l in de periode 1850 - 1981 in de duinen ten zuiden van Zandvoort (Naar Stuyfzand, P.J., 1993)



Figuur 7.8

De invloed van injectie van rivierwater op het zoet/brak/zout-grensvlak in de periode 1956 - 1990 in het duingebied Meijendel nabij 's-Gravenhage
(Naar Stuyfzand, P.J., 1993)



Zo was de invloed van de inpoldering van de Haarlemmermeer, beëindigd in 1852, groot. Om de nieuwe polder te creëren, moest zoveel water worden weggepompt, dat zout water vanuit de Noordzee werd aangetrokken. Dit proces gaat tot vandaag de dag door.

De vrijwel onbegrensde onttrekking van zoet water door de waterleidingbedrijven in de periode van 1903 tot en met 1955 oefende eveneens invloed uit. Deze werd gevolgd door een periode van begrensde onttrekking, gecombineerd met infiltratie, opslag en terugwinning van voorgezuiverd rivierwater in de periode na 1955 ⁸.

De invloed van de kunstmatige infiltratie van rivierwater op het zoet/brak-evenwicht in de duinen wordt geïllustreerd in *figuur 7.8*.

In verband met mogelijke klimaatverandering kan een eventuele zeespiegelstijging invloed hebben op het zoet/brak-evenwicht in het grondwater in de Nederlandse kustgebieden. *Figuur 7.9* illustreert hoe de afmeting van de zoetwaterlens of zoetwaterbel in duingebieden afneemt bij een stijging van het zeeniveau, indien er sprake is van een freatisch pakket.

Bij *figuur 7.9*:

$$q_s = kD_s (\Delta p + SLR) \times (1/B_{zs})$$

q_s = instroom van zout grondwater beneden de zoetwaterlens (dimensie: $L^2 T^{-1}$)

kD_s = gemiddelde transmissiviteit van de aquifer tussen de slecht doorlatende basis en de zoetwaterlens (dimensie: $L^2 T^{-1}$)

Δp = verschil in hoogte tussen M.S.L. (zeeniveau) en het grondwaterniveau in het pakket aan de landzijde van de duinen (laaggelegen gebied) (dimensie: L)

B_{zs} = B-R = breedte van de duinen na de stijging van het zeeniveau (dimensie: L)

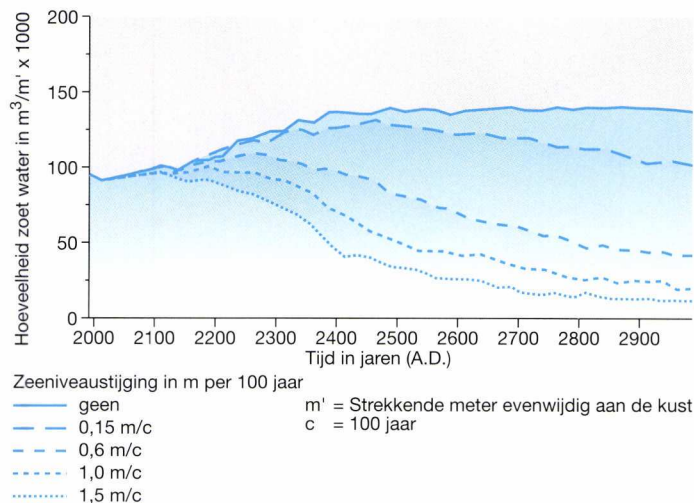
B = breedte van de duinen vóór de stijging van het zeeniveau (dimensie: L)

R = verplaatsing landinwaarts van de hoogwaterlijn na de stijging van het zeeniveau (dimensie: L)

Figuur 7.9

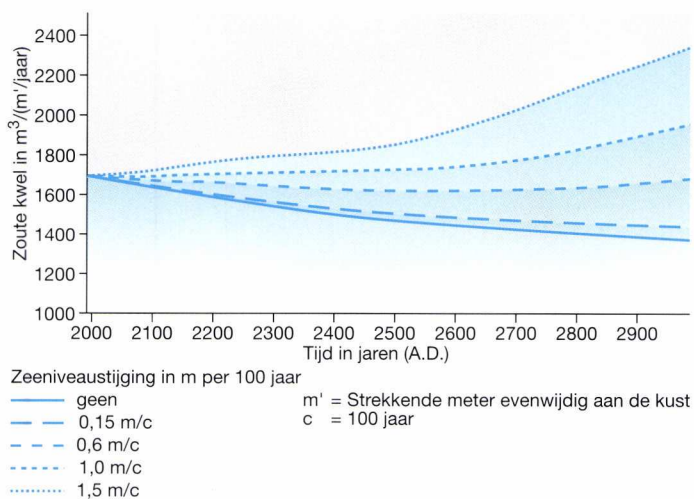
Instroom van zoutwater (q_s) onder een zoetwaterlens als gevolg van zeespiegelstijging
(Naar Oude Essink, G.H.P., 1996)

De formule en bijbehorende figuur zijn een kwantitatieve illustratie van de reductie van de omvang van de zoetwaterlens in de duinen. Blijkbaar zal in een freatisch pakket toename van zoutwaterintrusie een onherroepelijk en blijvend gevolg zijn bij stijging van het zeeniveau. Oude Essink maakte modellen die deze ontwikkeling voor vijf verschillende scenario's in beeld brengen (figuur 7.10).



Figuur 7.10

Reductie van de omvang van de zoetwaterlens in de West-Nederlandse duinen in de komende duizend jaar bij vijf verschillende scenario's van zeeniveaustijging (Naar Oude Essink, G.H.P., 1996)



Figuur 7.11

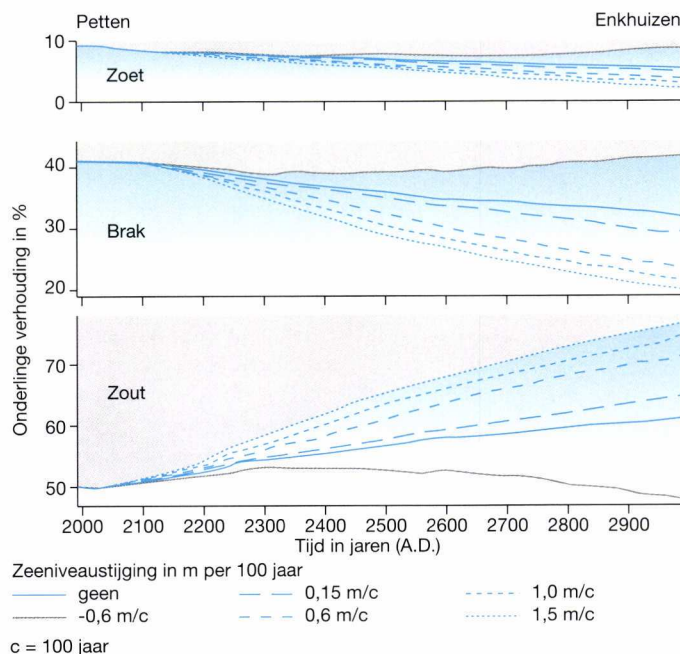
Hoeveelheid zoute kwel in de Haarlemmermeerpolder in de komende duizend jaar bij vijf verschillende scenario's van zeeniveaustijging (Naar Oude Essink, G.H.P., 1996)

Ook werd gesimuleerd hoe zoute kwel door de slecht doorlatende Holocene deklaag zich bij deze vijf scenario's zal ontwikkelen.

Dit wordt weergegeven in figuur 7.11.

Een zeespiegelstijging zal niet alleen effect hebben op de hydrochemie in de regio's onder of nabij de duinen, maar ook in regio's op grotere afstand van de kustlijn. De weergave in een profiel loodrecht op de kust, van Petten naar Enkhuizen, vertoont de tendens van toenevende verzilting bij verschillende scenario's. Zelfs bij een gelijkblijvend zeeniveau zal de hoeveelheid zoet en brak water nog afnemen ten opzichte van de hoeveelheid zout water (figuur 7.12) ¹⁰.

Een simulatie voor een diepte van 15 m -NAP geeft aan, dat een zeespiegelstijging ook resulteert in een verzilting van de West-Nederlandse polders (tabel 16).



Figuur 7.12
Ontwikkeling van de verhouding zoet - brak - zout in de komende duizend jaar zonder zeeniveaustijging en bij vijf verschillende scenario's van zeeniveaustijging (Naar Oude Essink, G.H.P., 1996)

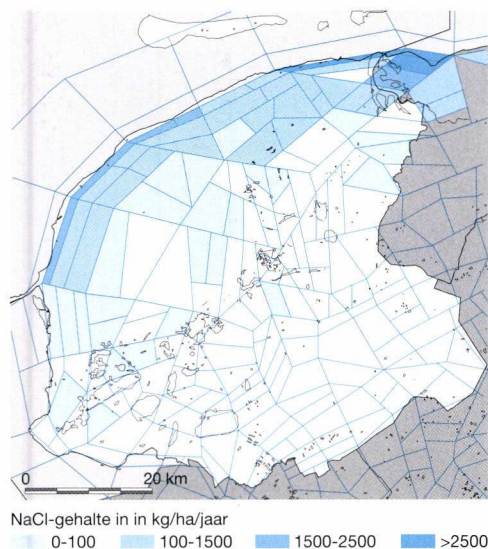
Tabel 16 Toename chloridebelasting bij stijging zeeniveau

Plaats in het profiel loodrecht op de kust (lengte profiel)	Chloridebelasting in 1990 in 10 ³ ton Cl ⁻ /jaar	Toename chloridebelasting in het jaar 2090 indien het zeeniveau niet stijgt t.o.v. 1990. In 10 ³ ton Cl ⁻ /jaar en in %	Toename chloridebelasting in het jaar 2090 indien het zeeniveau 0,6 m stijgt t.o.v. 1990. In 10 ³ ton Cl ⁻ /jaar en in %
Haarlem (25 km)	112,7	+42,7 (+38%)	+45,6 (+40%)
Delft (15 km)	9,8	+14,5 (+149%)	+31,5 (+324%)

Oude Essink, G.H.P., 1996

Een toename van de chloridebelasting op het oppervlaktewater bij zeespiegelstijging doet zich ook in de provincies Friesland en Groningen voor. Bij deze provincies speelt bovendien de bodemdaling een rol. Modelberekeningen geven voorspellingen voor de provincie Friesland. Op een enkele plaats zou bij een totale zeespiegelstijging van 0,30 meter in de komende vijftig jaar na het jaar 2047 zelfs een zoutbelasting, vanuit het eerste watervoerend pakket, op het oppervlaktewater van meer dan 2500 kg/ha/jaar kunnen voorkomen ¹¹ (figuur 7.13). Hierbij is de bodemdaling nog buiten beschouwing gelaten.

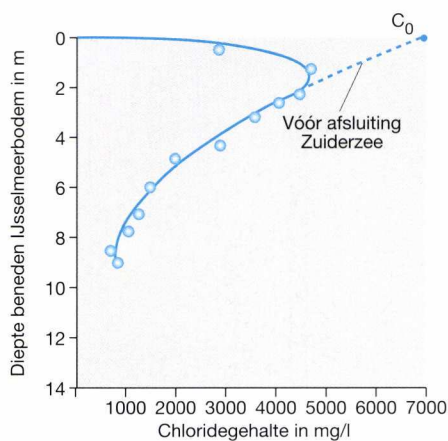
In het zo typisch Nederlandse kustgebied speelt de mogelijke verzilting van de ondergrond bij mariene inundaties een belangrijke rol. Wel is het opmerkelijk dat de transgressies die de Zuiderzee deden ontstaan de onderliggende Pleistocene formaties nauwelijks verzilt hebben.



Figuur 7.13

Berekende extra zoutbelasting in de provincie Friesland na 2047 (in kg NaCl/ha/jaar) vanuit het eerste watervoerend pakket op het oppervlaktewater bij een totale zeespiegelstijging van 30 centimeter in de periode 1997 - 2047 (Naar Minnema B. & J.L. van der Meij, 1997)

Vanuit de Zuiderzee is slechts tot op een diepte van ongeveer tien meter zout door diffusie in de onderliggende lagen gedrongen ¹². Na de afsluiting van de Zuiderzee is het chloridegehalte in de bovenste bodemlagen afgenomen (figuur 7.14).



Figuur 7.14

Verticaal chlorideprofiel beneden de voormalige Zuiderzeebodern (Naar Vries, J.J. de, 1994)

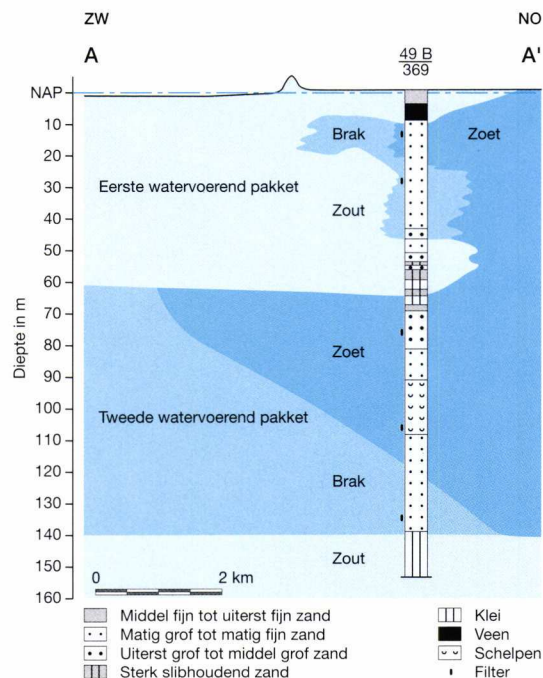
Bij tijdelijk inundaties, zoals de St. Elizabethsvloed in 1421 of de watersnoodramp in 1953, vond in de toenmalige bovenste bodemlagen verdringing van zoet grondwater door zout water plaats. De verzilting van de diepere pakketten bleef bij deze recente inundaties echter zeer beperkt.

Het voorkomen van zoet water onder brak of zelfs zout water kan één van de gevolgen van een dergelijke inundatie zijn. Gebieden met dit verschijnsel noemt men inversiegebieden. In figuur 7.2 zijn de inversiegebieden in Nederland weergegeven. Na het droogleggen van de geïnundeerde gebieden volgde veelal een periode van verdringing van het zoute water door zoet regenwater. De effectiviteit van dit proces is afhankelijk van de hoeveelheid neerslag, maar ook van het vermogen van het zoete water om in de bodem door te dringen ¹³ en van het drukverschil. In Zeeland komen veel slecht doorlatende Holocene deklagen voor en ligt het landoppervlak nauwelijks hoger dan de zeespiegel. Hier zal verzoeting dus maar heel langzaam gaan.

Bij de Zeeuws - Noord-Brabantse kust kan op kleinere schaal vervingering van zoet en zout grondwater plaatsvinden. Als voorbeeld wordt hier in figuur 7.15 en 7.16 het hydrogeologische beeld van de ondergrond ten zuidwesten van Halsteren in het westen van de provincie Noord-Brabant afgebeeld. Hier is in het eerste watervoerend pakket een grillig patroon van zoet, brak en zout water te zien. Het is een gevolg van transgressies en regressies gedurende de laatste 20 000 jaar ¹⁴.



Figuur 7.15
Ligging van het profiel A - A' in de regio Bergen op Zoom - Halsteren (Naar Dufour, F.C., 1978)



Figuur 7.16
Vervanging van zoet - brak en zout grondwater in de regio Bergen op Zoom - Halsteren (profiel A - A' van figuur 7.15) (Naar Dufour, F.C., 1978)

Naast verzilting van het grondwater door transgressies in het verleden treedt met name in West-Nederland ook verzilting van het grond- en oppervlaktewater op ten gevolge van zoute kwel. Grondwater vanuit diepere, verzilte aquifers komt omhoog en vergroot de zoutbelasting in ondiepere aquifers en aan de oppervlakte. Daarnaast is de aanvoer van zout water door de grote rivieren en vanuit zee via sluizen de belangrijkste oorzaak van verzilting van het oppervlaktewater ⁶ (figuur 7.17).

De zoute kwel is vaak een gevolg van menselijk ingrijpen, zoals het bemalen van de polders of de winning van grondwater (figuur 7.18 en tabel 17).

Tabel 17 Interne zoutbelasting van Midden West-Nederland in 1000 kg chloride per jaar

Bron	Rijnland	Delfland	Schieland	Amstelland	totaal	%
Neerslag	5 145	2 100	1 050	1 100	9 395	4,4
Afvalwater	10 633	18 950	140	3 000	32 723	15,5
Gladheidsbestrijding	3 000	1 200	600	900	5 700	2,6
Bemesting	1 422	461	308	400	2 591	1,2
Kwel	75 781	5 738	14 051	55 000	150 570	72,0
Methaangas	7 145	-	1 758	234	9 137	4,3
Totaal	103 126	28 449	17 907	60 634	210 116	100,0

Werkgroep Midden West-Nederland, 1976 a

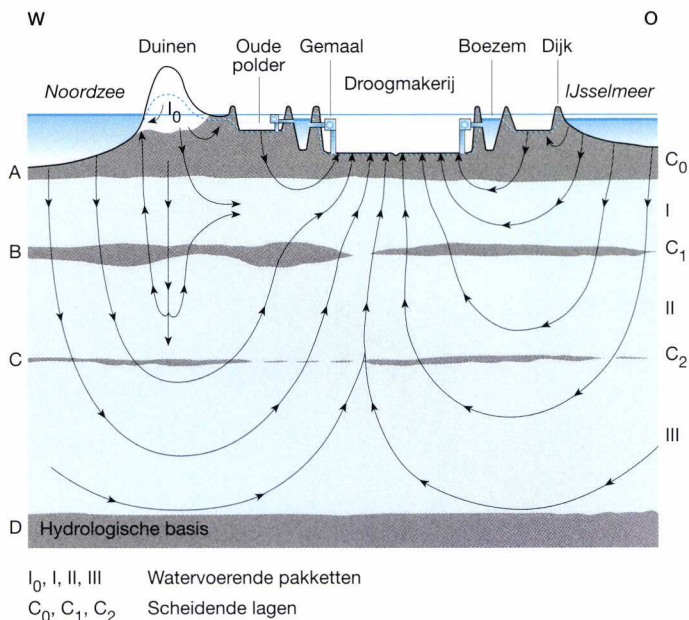


Chloride-iongehalten in mg/l
 < 300 500 - 1000 2000 - 5000
 300 - 500 1000 - 2000 > 5000

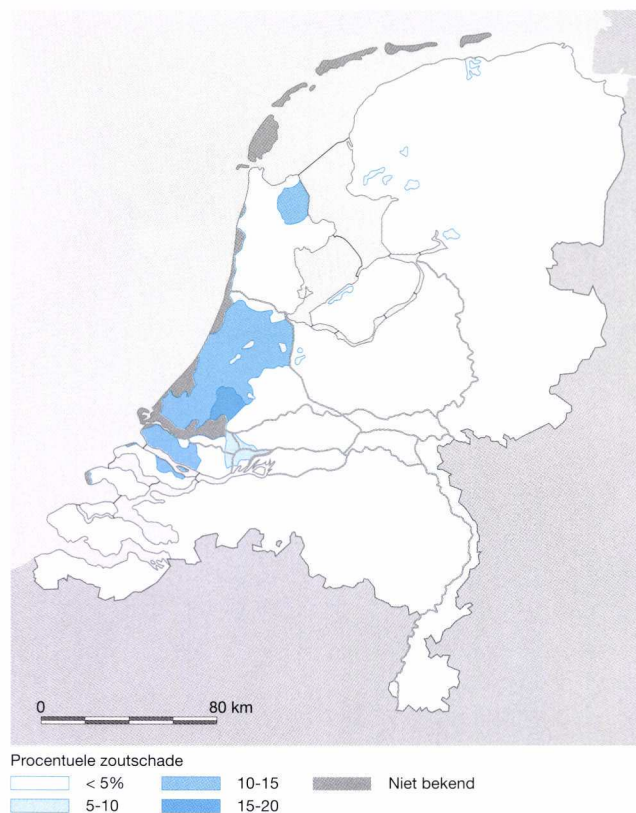
Figuur 7.17
 Verziltig van het oppervlaktewater in een gemiddeld jaar
 (Naar Vries, J.J., de, 1994)

De zoutbelasting door kwel bedraagt, volgens bovenstaande tabel, in Midden West-Nederland 72% van de totale zoutbelasting. Landbouw en veeteelt verdragen slechts een beperkte verziltig van het polderwater. Er is daarom een grote uitspoelingsbehoefte, maar uitspoeling is afhankelijk van de beschikbare hoeveelheid zoet water en dientengevolge van de neerslag. Daarom is verziltig in droge zomers, zoals in 1976, een probleem (figuur 7.19).

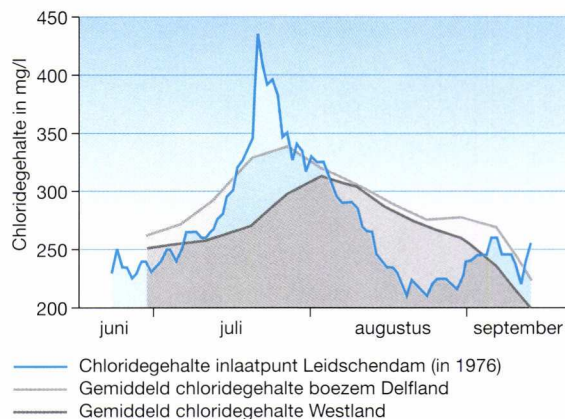
De uitzonderlijke verziltig in de droge zomer van 1976 wordt ook duidelijk geïllustreerd in de samenstelling van het boezemwater van het Hoogheemraadschap Delfland in die zomermaanden (figuur 7.20).



Figuur 7.18
 Schema van de grondwaterstroming in de ondergrond van West-Nederland
 (Naar Cultuurtechnische vereniging (ed.), 1988)



Figuur 7.19
Zout schade in 1976 uitgedrukt als verliespercentage van de gewasopbrengst bij optimale watervoorziening (Naar Ven, G.P. van de, e.a., 1986)

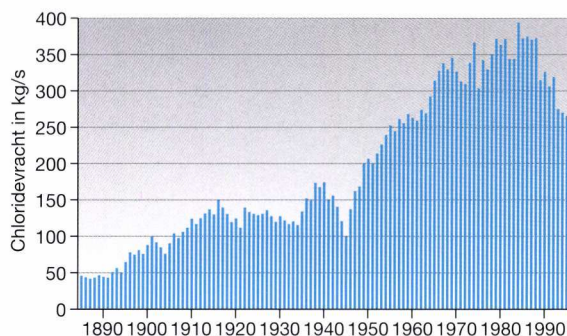


Figuur 7.20
Chloridegehalte van het oppervlaktewater in Delfland in de zomer 1976 (Naar Heijde, P.K.M. van der, 1978)

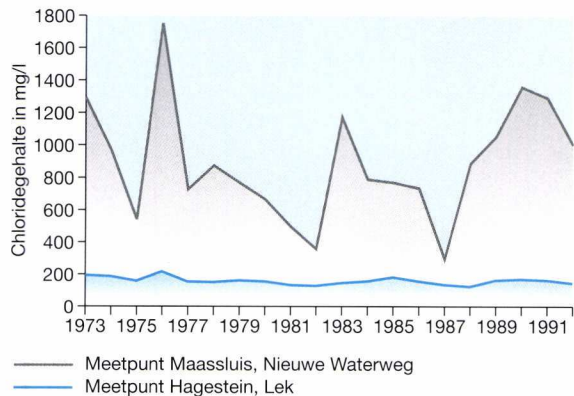
Hoewel de natuurlijke infiltratie van rivierwater waarschijnlijk minder dan 5% aan de aanvulling van het grondwater bijdraagt, is het rivierwater in ieder geval een belangrijke component in de oppervlaktewaterhuishouding van ons land. Bovendien wordt ongeveer een derde van het drinkwater uit oppervlaktewater verkregen. Het zoutgehalte van de grote rivieren betekent dus bovenal een zoutbelasting voor de drinkwaterbedrijven die rivierwater als bron gebruiken. De ontwikkeling van de chloridevracht in de Rijn is daarom een factor van betekenis (figuur 7.21). Uit deze ontwikkeling blijkt, dat de totale hoeveelheid chloride die ons land binnenkomt sinds het recordjaar 1984 geleidelijk afneemt ¹⁵.

Ook het binnendringen van zeewater langs de grote rivieren in het westen is een belangrijke factor in het proces van verzilting van het oppervlaktewater. In droge zomers zoals die van 1976 is het chloridegehalte van de rivieren aanzienlijk hoger (figuur 7.22 en tabel 18).

De hiervoor geschetste problematiek van verzilting van het oppervlakte- en grondwater in mariene kustgebieden is uiteraard niet tot Nederland beperkt ¹⁶.



Figuur 7.21
Jaargemiddelde van de chloridevracht van de Rijn (in kg Cl⁻ per seconde) aan de Duits-Nederlandse grens in de periode 1885 - 1996. De chloridevracht wordt berekend uit het product van het chloridegehalte (gebaseerd op dagverzamelmonsters) en het debiet (Naar RIWA (ed.), 1997 en RIWA (ed.), 1993)

**Figuur 7.22**

Chloridegehalte in Lek en Nieuwe Waterweg in de periode 1973 - 1992 (Naar Hoogeveen, P.M.T.C., 1994)

Tabel 18 Chloridegehalte in Lek en Nieuwe Waterweg in mg/l gemeten in steekmeters

Jaar	Lek Meetpunt Hagestein	Nieuwe Waterweg Meetpunt Maassluis
1973	192	1293
1974	190	973
1975	162	544
1976	220	1757
1977	157	731
1978	154	877
1979	165	772
1980	159	670
1981	137	500
1982	132	361
1983	150	1176
1984	160	792
1985	185	773
1986	160	738
1987	139	299
1988	128	889
1989	167	1056
1990	173	1362
1991	167	1295
1992	144	999

Hoogeveen, P.M.T.C., 1994

7.3 Calcium en magnesium

Naast het chloridegehalte is de hardheid van het water al heel lang een kwaliteitsaspect.

Grondwater neemt door circulatie in bodem of gesteente ionen, zoals Ca^{2+} en Mg^{2+} op of geeft ze af. Hierdoor verandert de samenstelling van het grondwater onder invloed van de chemische samenstelling van de bodem. De mate waarin de samenstelling van het grondwater verandert, is mede afhankelijk van de verblijfsduur.

Het kalkgehalte, of beter geformuleerd de concentratie van Ca^{2+} en Mg^{2+} -ionen, bepaalt de hardheid.

Een hoge concentratie van meer dan $2,5 \text{ mol/m}^3$, betekent hard water en een concentratie van minder dan 1 mol/m^3 maakt dat we van zacht water spreken. De hardheid wordt veelal uitgedrukt in °D = Duitse graden, waarbij $1 \text{ °D} = 10 \text{ mg CaO per liter}$.

Tabel 19 Hardheidsindeling van het Nederlandse water in Duitse graden

Soort water	Hardheid in °D
zeer zacht	0 - 4
zacht	4 - 8
matig hard	8 - 12
vrij hard	12 - 18
hard	18 - 30
zeer hard	> 30

Cultuur Technische Vereniging (ed.), 1988

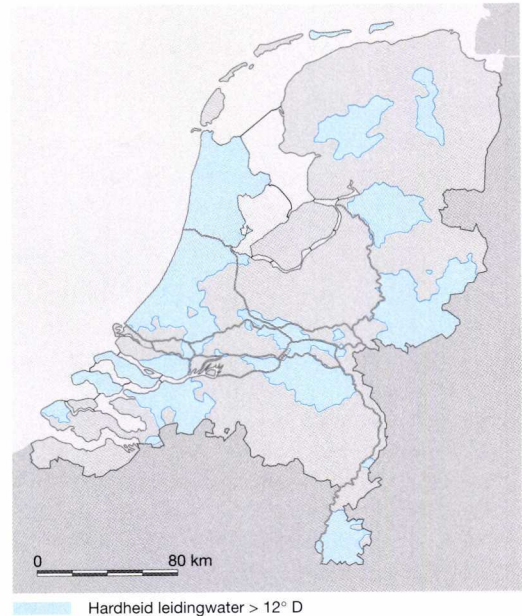
Ten gevolge van het verschil in kalkgehalte tussen formaties vertoont de hardheid van grondwater in sommige gebieden op bepaalde diepten over een kleine afstand grote verschillen. Dit verschil in kalkgehalte hangt samen met het milieu waarin de formatie is afgezet: mariene formaties hebben als regel een hoger kalkgehalte dan fluviatiele formaties. Brak of zout grondwater is meestal relatief hard. Hetzelfde geldt voor sterk verontreinigd grondwater. In het verontreinigde eerste watervoerend pakket onder de stad Utrecht komen relatief hoge hardheden boven 5 mol/m^3 voor.

Als grondwater vanuit een fluviatiele afzetting een mariene binnendringt, zal de aan het sediment verbonden kalkhoeveelheid op die overgang wijzigen. Dientengevolge zal de chemische samenstelling en daarmee samenhangend de hardheid van het water wijzigen ¹⁷.

De hardheid in het grondwater wordt ook beïnvloed door het topografisch hoogteverschil. Bij een relatief groot hoogteverschil vindt een grotere uitspoeling door kalkarm regenwater plaats. Zacht grondwater wordt daarom vooral aangetroffen in aquifers die gevoed worden vanuit hoger gelegen Pleistocene zandgronden als de Veluwe en de Hondsrug. In de lager gelegen Pleistocene delen of in de zoete Holocene delen van Nederland varieert de hardheid van het grondwater tussen 1 en 3 mol/m^3 . Dit zijn veelal de landbouw- of veeteeltgebieden.

In gebieden met venige bodems en hoge grondwaterstanden kan de hardheid tot boven 3 mol/m^3 oplopen.

De hardheid van het grondwater wordt weerspiegeld in het drinkwater. Nederland valt zo uiteen in een gebied met een hardheid van het drinkwater boven en beneden 12°D (figuur 7.23).



Figuur 7.23
Hardheidskaart (Naar Berbee, R.P.M., 1990)

7.4 Methaan en ijzer

Methaan

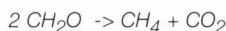
Al in de tweede helft van de negentiende eeuw werd in Midden West-Nederland in het diepe grondwater methaangas (CH_4) aangetroffen. Ook in andere regio's komt methaangas voor. Het KIWA heeft in de periode 1985 tot en met 1990 via enquêtes bij waterleidingbedrijven de plaats en hoeveelheid van methaanrijk grondwater in kaart gebracht (figuur 7.24).

Alle grondwaterwinningen tot een diepte van 400 meter beneden maaiveld zijn hierin meegenomen.

Bij het aanboren zorgt methaanrijk water voor hoog opspuitende waterkolommen, zoals bij doorboring van het zogenaamde basisveen in Friesland al op een diepte van zes tot twaalf meter beneden NAP kan worden ervaren. Het methaangas hoopt zich namelijk direct onder de bovenliggende slecht doorlatende laag op en staat dientengevolge onder druk ¹⁸.

Methaangas in grondwater heeft een biogene oorsprong. Bacteriën breken in een anaëroob milieu organische stof af en produceren daarbij methaan.

De vereenvoudigde bruto reactie van deze 'methanogenese' is:



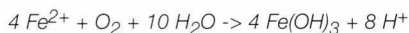
De bron, het CH_2O , is waarschijnlijk afkomstig uit klei- of veenlagen.

IJzer

Oxidatie van ijzerionen is één van de belangrijkste oorzaken van putverstopping in pompputten in Nederland.

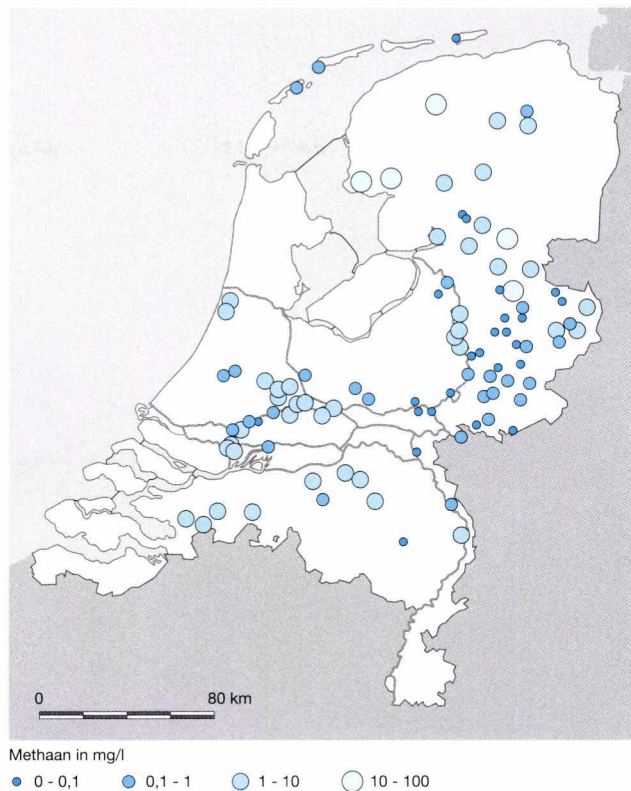
Het treedt op als freatisch, relatief zuurstofrijk grondwater in contact komt met dieper, zuurstofarm grondwater dat ferro-ionen bevat ¹⁹.

De chemische reactie gaat als volgt:



Het ontstane $\text{Fe}(\text{OH})_3$ is onoplosbaar indien het water niet-zuur is ($\text{pH} > 5$). Dit onoplosbare Ferri hydroxide veroorzaakt verstopping in de omstorting (het grindpakket rondom het filter) en in het filter van de pompput zelf.

De aanwezigheid van zogenaamde ijzerbacteriën in de omstorting versnelt de oxidatie van de Ferro-ionen. Een toenemende verstopping veroorzaakt een verlaging van de stijghoogte in de pompput. Hierdoor komt nog meer zuurstofrijk water in contact met het diepere grondwater: dit versterkt de verstopping.



Figuur 7.24

Methaanconcentratie in het grondwater op 100 winplaatsen in de periode 1984 - 1992 (Naar Stuyfzand, P.J., e.a., 1994)

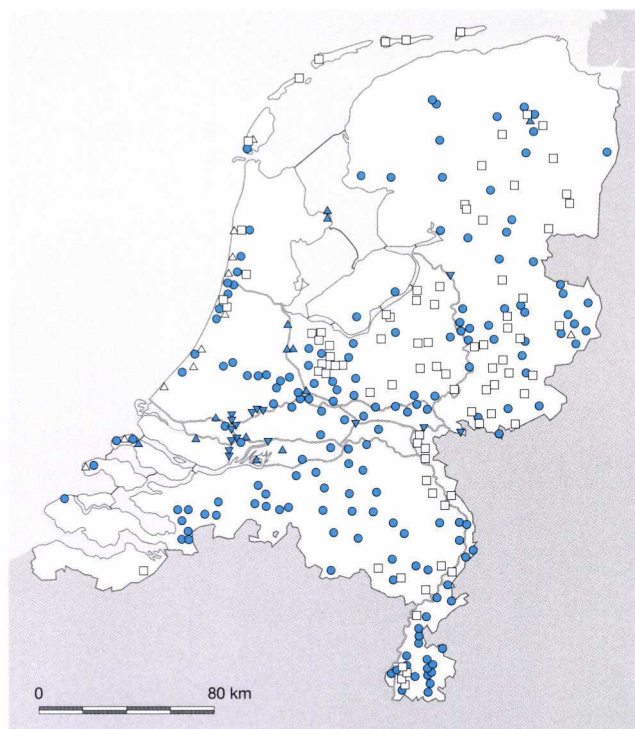
7.5 Hydrochemische verontreiniging

Algemeen

Na 1970 werd de chemische verontreiniging van het zoete grondwater geleidelijk aan een onderwerp van zorg, studie en regelgeving. Het is tegenwoordig noodzakelijk complexe normen te hanteren voor de classificatie van de grondwaterkwaliteit. In nieuwe normstellingen wordt naast de chlorideconcentratie ook die van nitraten, fosfaten, kalium- en natriumionen opgenomen ⁸. Ook met organische microverontreinigingen en bestrijdingsmiddelen wordt tegenwoordig in kwaliteitsnormering rekening gehouden ²⁰.

De ruim 220 grondwaterwinplaatsen in Nederland zijn geclassificeerd op grond van hun kwetsbaarheid voor verontreiniging. De verontreiniging van grondwater is een gevolg van de opname van schadelijke stoffen die zich in de bodem bevinden. Het transport in de bodem vindt plaats door het indringen van regenwater, door het indringen van rivierwater, door het indringen van stilstaand oppervlaktewater en door het indringen van water afkomstig van de kunstmatige beregening.

De kwetsbaarheid van een grondwaterwinning is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van een slecht doorlatende kleilaag boven de aquifer. Het meest kwetsbaar zijn de ongeveer zeventig



- △ Winning infiltraat
- ▲ Winning oppervlaktewater
- ▼ Winning oevergrondwater
- Freatische grondwaterwinningen
- Grondwaterwinning uit diepere watervoerende pakketten

Figuur 7.25

Locatie en type grondwaterwinplaatsen
(Naar Mülschlegel, J.H.C., 1991)

winplaatsen waar een dergelijke beschermende kleilaag ontbreekt, de zogenaamde freatische grondwaterwinningen.

Deze freatische grondwaterwinningen vertegenwoordigen bij elkaar bijna een kwart van de totale landelijke drinkwatervoorziening. *Figuur 7.25* geeft hiervan een overzicht.

Om vast te stellen of er sprake is van een dreigende situatie, zoals bij overbemesting, zijn er kwaliteitsnormen en -doelstellingen vastgelegd.

Tabel 20 Kwaliteitsdoelstelling voor stikstof in zoet grondwater

Totaal stikstof	mg N/l	mg NO ₃ ⁻ /l
Grenswaarde	< 11,3	< 50
Streefwaarde	< 5,6	< 25

RIVM (ed.), 1991

Deze kwaliteitsdoelstelling is noodzakelijk omdat een te grote concentratie nitraat in het drinkwater schadelijk voor de gezondheid kan zijn. Door reductie kan nitraat (NO₃⁻) omgezet worden in nitriet (NO₂), dit proces kan in de menselijke maag plaatsvinden. Met name bij zuigelingen vormt nitriet een gevaar vanwege verbinding met de haemoglobine in het bloed. Hierdoor stagneert het zuurstoftransport door het

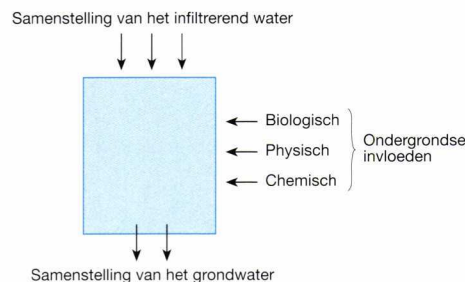
bloed. Nitriet kan ook verbinding aangaan met amines waarbij nitrosamines gevormd worden. In een te grote concentratie zijn deze stoffen schadelijk voor de gezondheid ²¹.

Fosfaat is ook in relatief grotere concentraties niet schadelijk voor de mens. Een te hoge fosfaat belasting is echter wel schadelijk voor het milieu (eutrofiëring).

Figuur 7.26 geeft schematisch weer welke factoren de hydrochemie van het grondwater beïnvloeden.

Met het verloop van de tijd verandert de samenstelling van de voedende componenten, neerslag en rivierwater. Er ontstaat een relatie tussen samenstelling van het grondwater, de oorsprong van het water, het hydrochemisch milieu en de ouderdom. Deze benadering vindt ook zijn weerklank in de hydrochemische indeling zoals die door P.J. Stuyfzand is geïntroduceerd ⁸.

Tabel 21 en 22 geven voor de neerslag een overzicht van de relatie tussen hydrochemie en plaats. Uit deze tabellen wordt duidelijk dat de samenstelling van het regenwater in Nederland niet overal hetzelfde is. Dit geldt met name voor het chloridegehalte. Dit wordt ook geïllustreerd in *figuur 7.27*.



Figuur 7.26

Factoren die de hydrochemie van het grondwater beïnvloeden (Naar Meinardi, C.R., 1976)

Tabel 21 Relatie chemische samenstelling van de neerslag - plaats van de neerslag voor de kustnabije regio

Chemische component	Concentratie in het regenwater op diverse afstanden van de Noordzeekust in mg/l		
	440 m	3000 m	4800 m
Cl ⁻	16	7,5	4,0
SO ₄ ²⁻	5,6	4,3	4,6
HCO ₃ ⁻	3,7	2,6	2,6
NO ₃ ⁻	≈1	≈1	≈1
Ca ⁺⁺	2,5	1,7	1,7
Mg ⁺⁺	1,7	1,2	1,0
Na ⁺	7,9	3,9	2,0
K ⁺	-	-	-
NH ₄ ⁺	0,5	0,5	0,5

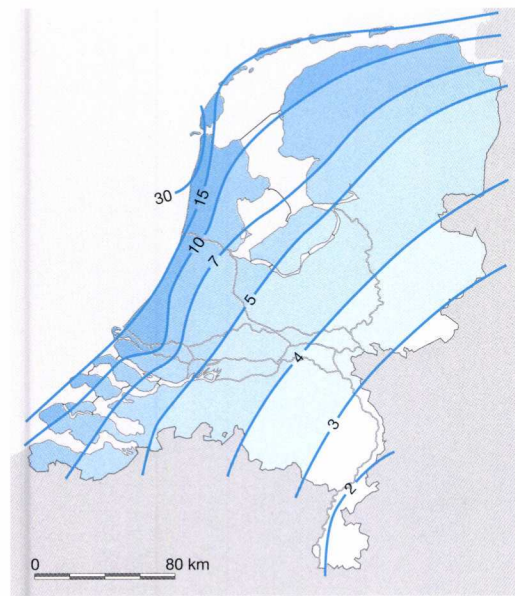
Meinardi, C.R., 1976

Tabel 22 Relatie chemische samenstelling van de neerslag - plaats van de neerslag langs een west-oost lijn over Nederland

Chemische component	Concentratie in het regenwater op drie locaties in mg/l		
	Leiduin	De Bilt	Eibergen
Cl ⁻	10,9	5,6	2,9
SO ₄ ²⁻	4,6	4,6	4,4
HCO ₃ ⁻	-	-	-
NO ₃ ⁻	2	2,5	2,5
Ca ⁺⁺	0,5	0,3	0,2
Mg ⁺⁺	0,7	0,4	0,2
Na ⁺	6	3,1	1,7
K ⁺	0,3	0,2	0,2
NH ₄ ⁺	0,8	1,6	2,1

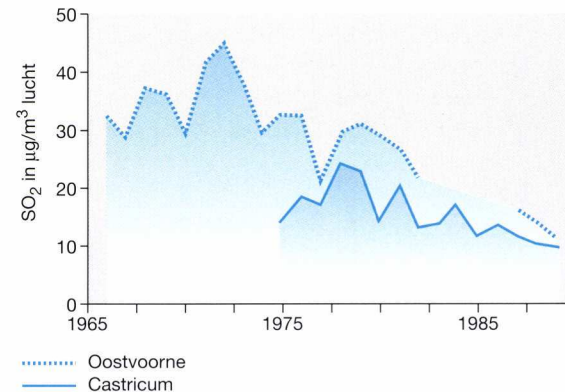
Naar Aben, J.J.M., e.a., 1995

Van een groot aantal van bovenvermelde componenten in het regenwater zijn de concentraties niet alleen plaats- maar ook nog tijdsafhankelijk. Dit kan bijvoorbeeld het gevolg zijn van een industriële activiteit die in een bepaalde periode schadelijke rookgassen voortbrengt. Dit wordt geïllustreerd in *figuur 7.28*.



Contour van gelijke chlorideconcentratie in mg/l

Figuur 7.27
Chlorideconcentratie in neerslag
(Naar Appelo, C.A.J., 1988)



Figuur 7.28
Variatie van de SO₂-concentratie in de lucht ten gevolge van verandering in de industriële SO₄-uitstoot op twee locaties in de periode 1965 - 1986
(Naar Stuyfzand, P.J., 1993)

De Stuyfzand-classificatie

Sinds kort wordt door een groot aantal hydrogeologen de hydrochemische indeling voor het grondwater van P.J. Stuyfzand gehanteerd. Voorheen bestonden er verschillende typering en weergaven. De meest gebruikte zijn de Stiff-, Piper- en Schoeller-diagrammen. Deze hebben alle drie gemeen dat het presentatiemethodes zijn om de ionenconcentraties zó weer te geven, dat een classificatie in typen grondwater mogelijk wordt ²¹.

De indeling van Stuyfzand is gebaseerd op een classificatie van elk grondwatermonster in vier kenmerkende componenten, ook wel vier niveaus genoemd. De indeling wordt in tabel 23 gepresenteerd.

Tabel 23 De Stuyfzand-classificatie

Niveau	Chemisch kenmerk (criterium)	Aantal onderverdelingen
Hoofdtype	Chloridegehalte	8
Type	Totale hardheid, ook wel alkaliteit genoemd: HCO ₃ ⁻ (voornamelijk Ca en Mg)	9
Subtype	Gebaseerd op overheersende kation en/of anion	27
Klasse	Een parameter gebaseerd op de sommatie van Na, K en Mg gecorrigeerd voor een bijdrage van zeezout	3

Stuyfzand, P.J., 1986, Stuyfzand, P.J., 1989 en Stuyfzand, P.J., 1993

De onderverdelingen:

Het chloridegehalte dat het hoofdtype bepaalt, varieert van 0 - 5 mg/l Cl⁻ (groep 1) tot meer dan 20 000 mg/l Cl⁻ (groep 8).

De totale hardheid wordt onderverdeeld volgens een 2-log-schaalverdeling, waarbij het HCO₃⁻-gehalte varieert van < 31 mg/l (groep 1) tot meer dan 3905 mg/l (groep 9).

De onderverdeling in 27 subtypen vindt plaats op basis van het procentuele aandeel van hoofdbestanddelen in de som der kationen en anionen. In deze classificatie hoeft het kation of anion met de meeste meq/l niet altijd de naam van het subtype te bepalen. In de onderverdeling kunnen relatief bijzondere watertypen, ook bij een niet-dominante aanwezigheid van het kenmerkende bijzondere anion of kation, toch als zodanig benoemd en herkend worden.

De onderverdeling in één van de drie klassen gebeurt op basis van een nieuwe parameter: de som van Na, K en Mg in meq/l gecorrigeerd voor een bijdrage van zeezout. Afgekort: $[Na + K + Mg]$ gemeten - 1,061 Cl⁻. De factor 1,061 is gelijk aan $[Na + K + Mg]/Cl^-$ in meq/l voor gemiddeld oceaanoewater.

De belangrijkste voordelen van het gebruik van deze Stuyfzand-classificatie zijn:

- toepasbaarheid op chemisch uiteenlopende watermilieus;
- een betere identificatie van onder andere kationuitwisseling en de effecten van verzuring en overbemesting;
- een grotere wetenschappelijke gebruiksvriendelijkheid.

Met 8 hoofdtypen, 9 typen, 27 subtypen en 3 klassen zou het theoretisch maximum aantal watertypen meer dan 5000 bedragen. In de natuur komen zoveel watertypen niet voor. Het maximaal aantal is beperkt tot een paar honderd. In Nederland zijn er maximaal zeventig typen grondwater ²³.

Bodemverontreiniging

De bodemverontreiniging, de belangrijkste oorzaak van de verontreiniging van grondwater, kent twee hoofdoorzaken. In de eerste plaats kunnen schadelijke stoffen neerslaan vanuit de lucht. Maar ook directe toevoeging aan de bodem door menselijke activiteiten komt voor. Ook verontreiniging vanuit vervuilde waterbodems, zoals voorkomen in het Ketelmeer, worden tot deze tweede categorie gerekend ²⁴.

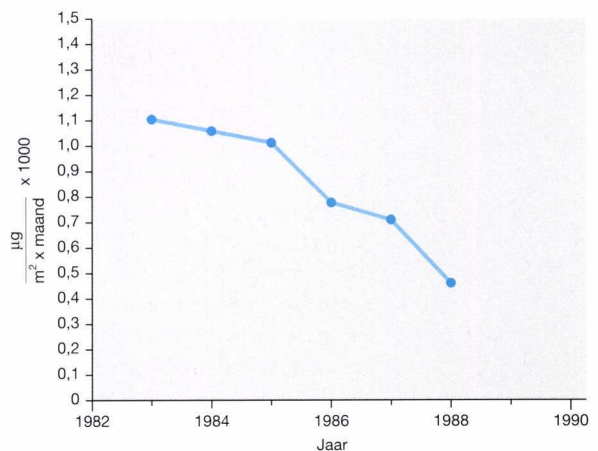
Het kan hier zowel gaan om diffuse verontreiniging als om lokale verontreiniging. Diffuse verontreiniging vindt bijvoorbeeld plaats door verspreiding van meststoffen en van bestrijdingsmiddelen. Bij lokale verontreinigingen valt te denken aan lekkage van opslagtanks en het dumpen van afval.

Tot de eerstgenoemde categorie, de depositie van stoffen uit de lucht, behoort onder andere de emissie van het wegverkeer, waaronder lood en PAK (Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen). Deze stoffen komen in de uitlaatgassen van verbrandingsmotoren voor. Via neerslag komen deze stoffen of in het oppervlaktewater of op het maaiveld. Deze emissies komen voornamelijk in en rondom de stedelijke gebieden voor. Aangezien sinds 1980 op grote schaal loodvrije benzine geïntroduceerd is en in 1986 het maximum loodgehalte van benzine verlaagd is tot 0,15 g/l, is de depositie van lood aanzienlijk gedaald. *Figuur 7.29* geeft dit weer. Dit is een voorbeeld van een effectieve milieubescherpende maatregel.

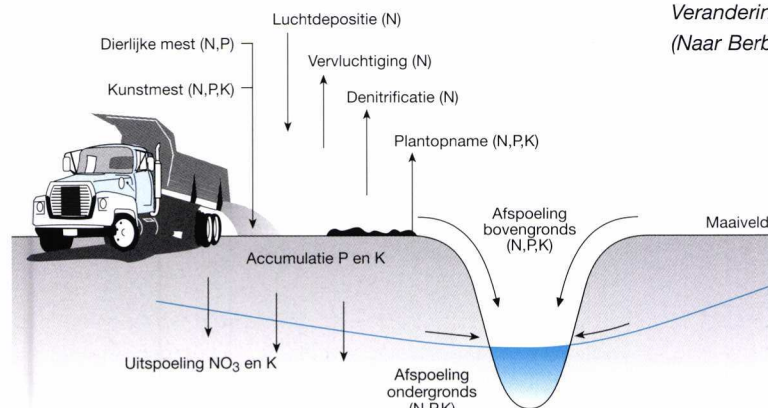
Diffuse verontreiniging

De schaal van de tweede categorie, de diffuse verontreiniging is aanzienlijk groter dan die van lokale verontreiniging. In grote delen van Nederland betekent de diffuse verontreiniging een bedreiging voor de grondwaterwinning. De belangrijkste bron van diffuse verontreiniging ten gevolge van menselijke activiteiten is de overbesteding, ook wel vermesting of eutrofiëring, van de Nederlandse bodem. Deze vermesting is het gevolg van het niet in evenwicht zijn van de stofbalans van plantenvoedingsstoffen zoals stikstof (N), fosfor (P) en kalium (K). Toevoer naar bodem, grondwater en oppervlaktewater is hierbij groter dan de afvoer via de gewassen.

Figuur 7.30 illustreert de processen die een rol spelen bij de vermesting van bodem, oppervlaktewater en grondwater.

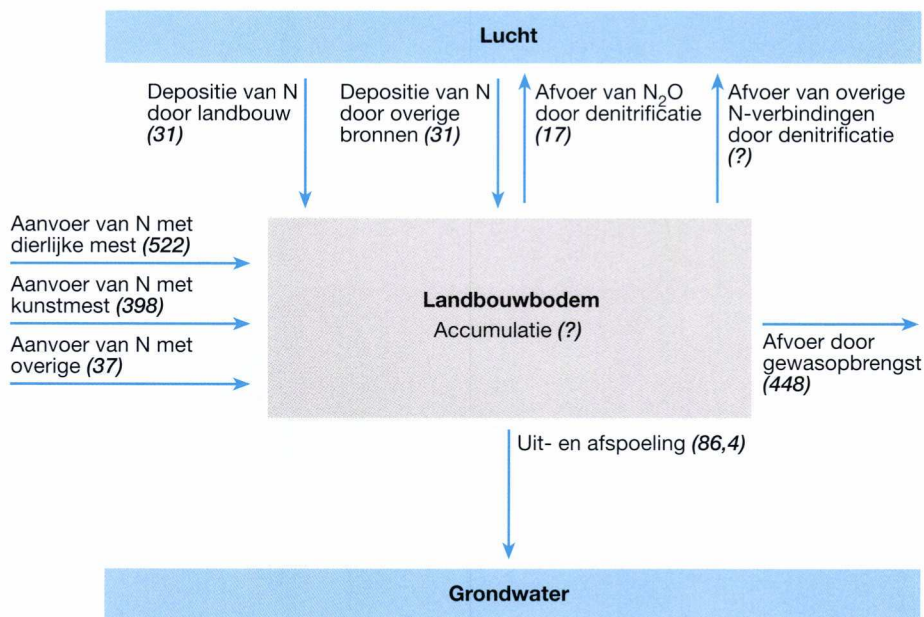


Figuur 7.29
Verandering in de depositie van lood
(Naar Berbee, R.P.M., 1990)



Figuur 7.30
Schematische weergave van de processen die een rol spelen bij vermesting
(Naar Langeweg, F. (red.), 1988)

Een kwantitatief beeld van de stikstofstromen van en naar landbouwbodems geeft een inzicht in de zeer grote hoeveelheden waarmee wij te maken hebben (figuur 7.31).



Hoeveelheden (xx) in miljoenen kilogram N in één jaar

Figuur 7.31

Stikstofstromen van en naar landbouwbodems in 1995

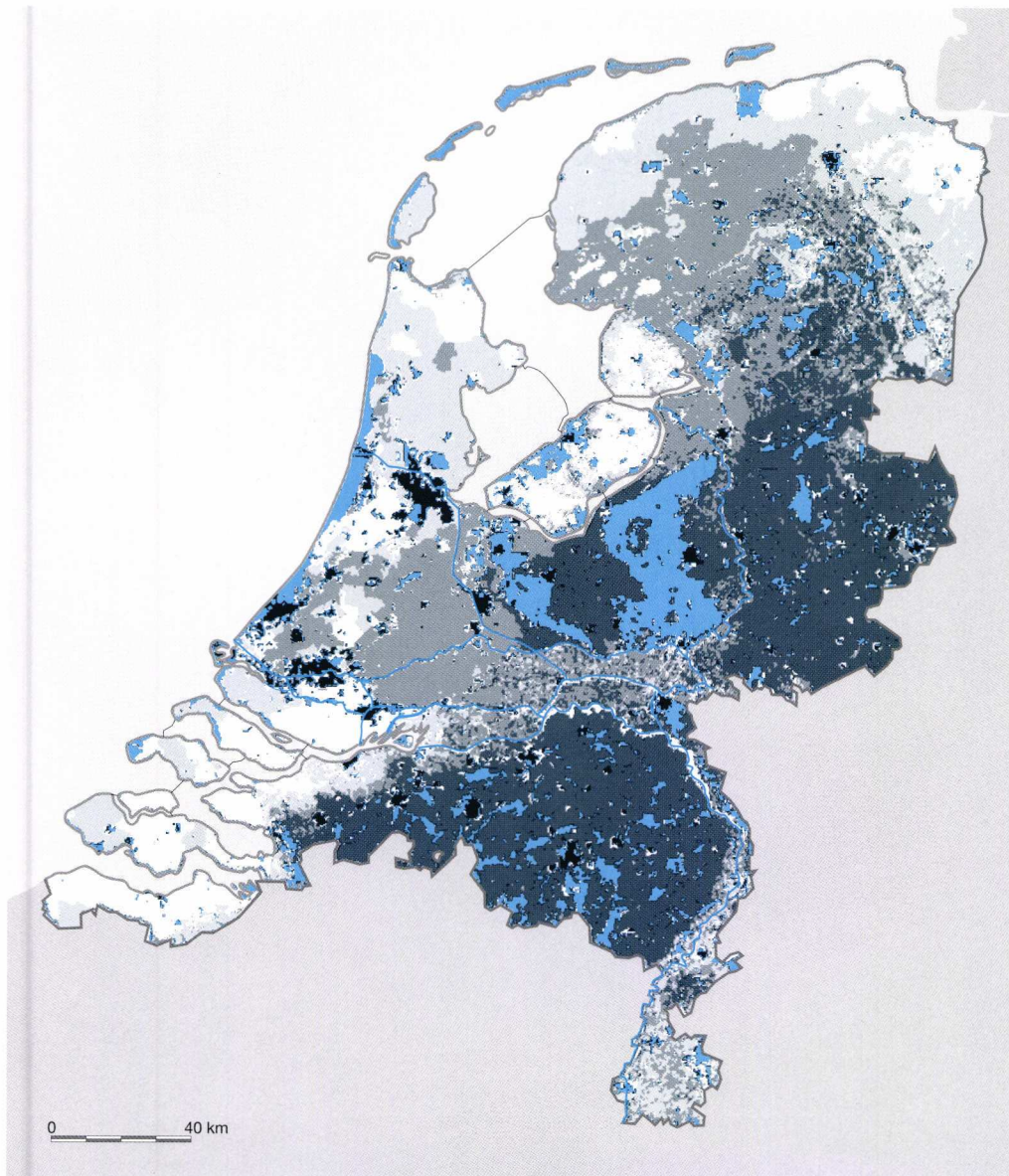
(Naar Draaijers, G.P.J., e.a., 1997)

Terugdringing van de vermisting in landbouw en veeteelt moet daarom prioriteit krijgen in het beleid en de uitvoering daarvan. In 1986 bereikte de mestproductie haar hoogtepunt met de excretie van 713 mln kg stikstof en 273 mln kg fosfaat. In 1990 was deze uitstoot gedaald tot 567 mln kg stikstof en 222 mln kg fosfaat²⁵. Deze daling is voornamelijk het gevolg van een kleiner aantal melkkoeien en een verlaging van het fosfaatgehalte in het voer met 5%.

Het gedrag van nitraat en fosfaat in bodem en grondwater is zeer verschillend. Nitraat is mobiel; het spoelt gemakkelijk uit naar het grond- en oppervlaktewater.

Fosfaat wordt daarentegen voor een groot gedeelte in de bodem opgeslagen. *Figuur 7.32 en 7.33* illustreren de verspreiding van fosfaat en stikstof in de Nederlandse landbouwgrond in 1989.

Ten gevolge van overheidsmaatregelen daalde in de periode 1985 - 1994 de emissie van stikstof naar de landbouwbodem met 16%. Zonder mestbeleid en melkquotering zou de N-emissie in 1994 ruim 40% hoger geweest zijn. Dit verschil was het gevolg van een (netto) reductie van de omvang van de rundveestapel, besparing op het kunstmestgebruik en het onderwerken van dierlijke mest (*figuur 7.34*). Dit verplichte onderwerken verlaagt weliswaar de NH₃-emissie naar lucht, maar leidt uiteraard wel tot een toename van de N-emissie naar de bodem en dus naar het grondwater. Dit effect werd vanaf 1992 substantieel en bedroeg in 1994 ruim 60 mln kg N. Boeren werd daarom dan ook geadviseerd dit, voor de kwaliteit van het grondwater zo schadelijke, effect te compenseren door extra op N-kunstmest te besparen. Dit heeft tot 1995 niet plaatsgevonden²⁶.



Kilogram P₂O₅/ha

< 100

100 - 125

125 - 150

> 150

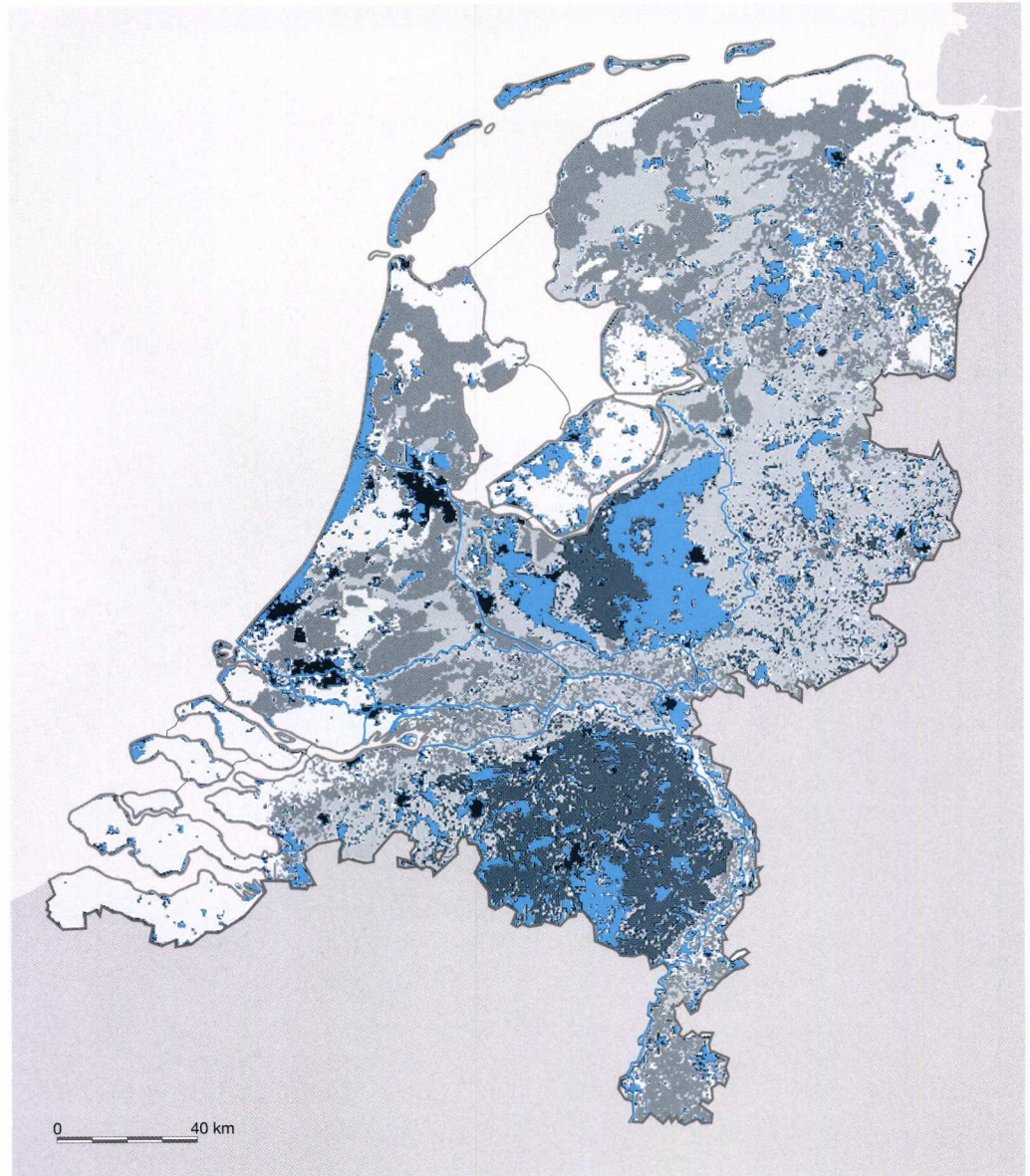
Bos en natuurterreinen

Stedelijk gebied

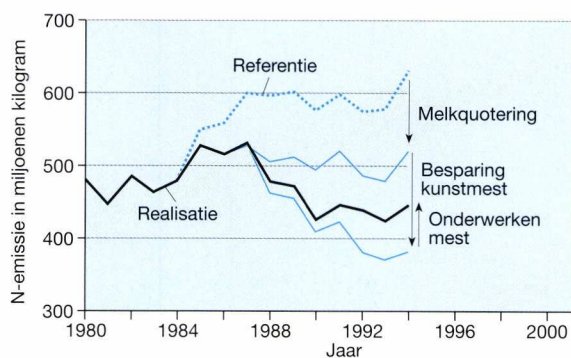
Figuur 7.32

Fosfaatbelasting van landbouwgrond in 1989 in kg P₂O₅ per hectare

(Naar RIVM (ed.), 1991)



Figuur 7.33
Stikstofbelasting van landbouwgrond in 1989 in kg N per hectare
(Naar RIVM (ed.), 1991)



Figuur 7.34

Ontwikkeling van de N-emissie naar landbouwbodem
(Naar RIVM (ed.), 1995)

Over de verspreiding op landelijke schaal van verontreinigingen in het grondwater is tot op heden weinig gepubliceerd. RIVM-publicaties zoals van E.J. Pebesma & J.W. de Kwaadsteniet, van H.F.R. Reijnders of van G. van Drecht zijn in deze bronnen van informatie.

Figuur 7.35 en 7.36 tonen een indicatie van de verspreiding van de componenten fosfaat en nitraat in het grondwater in het dieptebereik 5 tot 17 m beneden maaiveld ²⁷.

In het diepe grondwater wordt in het algemeen zelden nitraat aangetroffen. Aangenomen wordt dat het uitgespoelde nitraat tijdens het transport naar de diepere lagen door denitrificatie wordt omgezet naar gasvormige verbindingen. Denitrificatie treedt op door de aanwezigheid van reducerende verbindingen zoals pyriet en organische stof. Deze verbindingen komen meer voor bij ondiepe grondwaterstanden, waardoor de nitraatconcentratie lager is ²⁸. Door de samenhang van de nitraatconcentratie met de diepte van de grondwaterspiegel is de hoogteligging van een gebied een belangrijke factor voor het al of niet optreden van denitrificatie. Voor zandgronden die hoog gelegen en zwaar bemest zijn wordt dan ook verwacht dat de nitraatconcentraties in het grondwater zullen stijgen omdat de nitraatbelasting aan het oppervlak is toegenomen. Tegelijkertijd zijn de grondwaterstanden door grondwateronttrekkingen en waterstaatkundige maatregelen, zoals drainage, gedaald. Hierdoor is de denitrificatiecapaciteit afgenomen ²⁹.

In Nederland is vooral het gebruik van stikstofkunstmeststoffen per hectare cultuurgrond opvallend hoog in vergelijking met andere Europese landen. Het Centraal Bureau voor de Statistiek presenteert, op basis van FAO-gegevens, een tabel waarin de stikstof- en fosfaatbelasting in verschillende Europese landen vergeleken wordt (tabel 24).

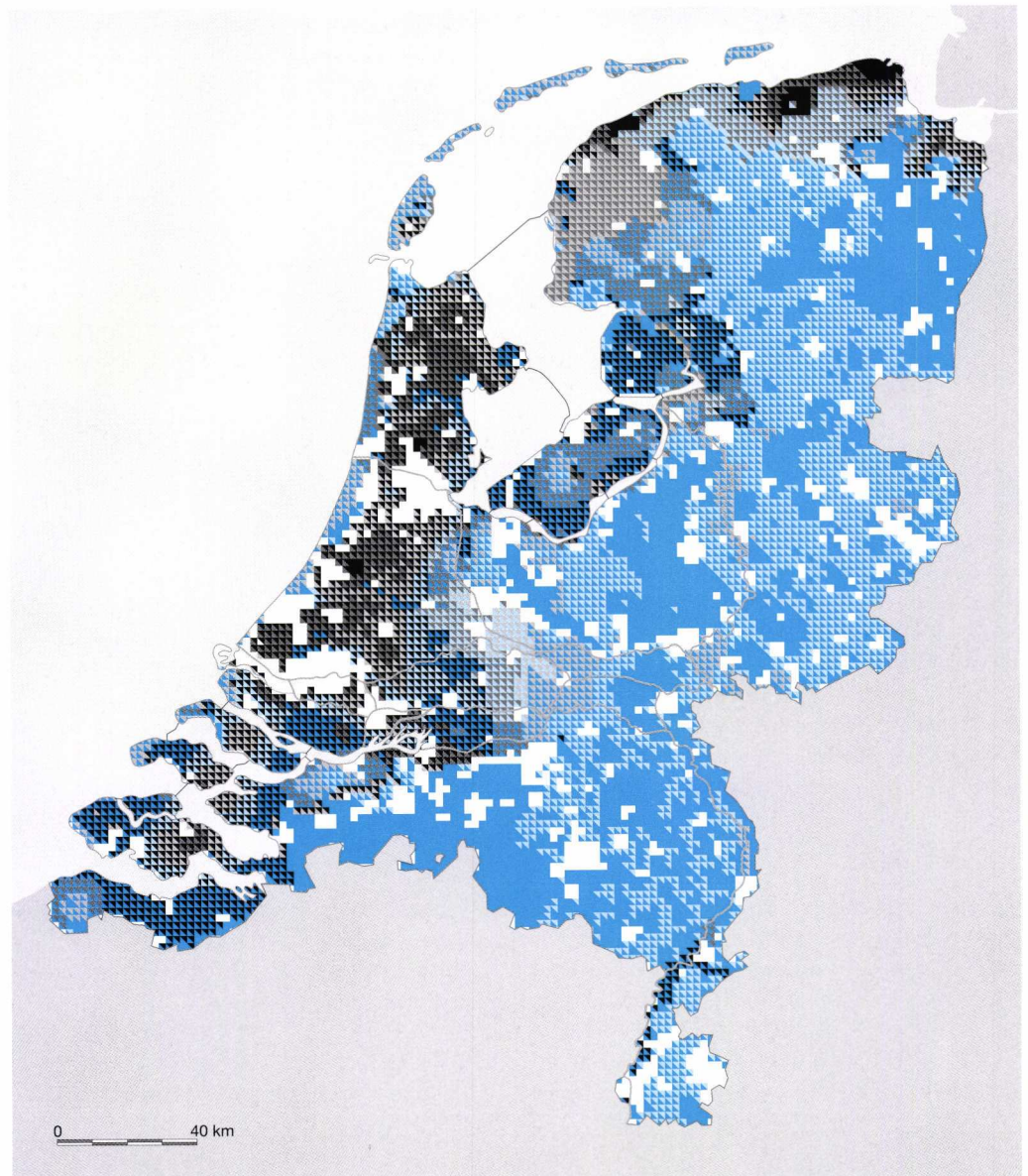
Tabel 24 Gebruik stikstof- en fosfaatkunstmeststoffen in een aantal Europese landen per ha cultuurgrond

Land	Stikstofmeststoffen in kg N		Fosfaatmeststoffen in kg P ₂ O ₅	
	1980	1990	1980	1990
België en Luxemburg	127	135	67	57
Duitsland (excl. voormalige DDR)	127	99	68	32
Frankrijk	68	82	56	44
Nederland	241	195	42	37

CBS (ed.), 1995

De, in deze tabel, voor Nederland vermelde hoeveelheden zijn aanzienlijk lager dan in RIVM-publicaties wordt opgegeven.





Fosfaatgehalte in gP/m^3 in 1991

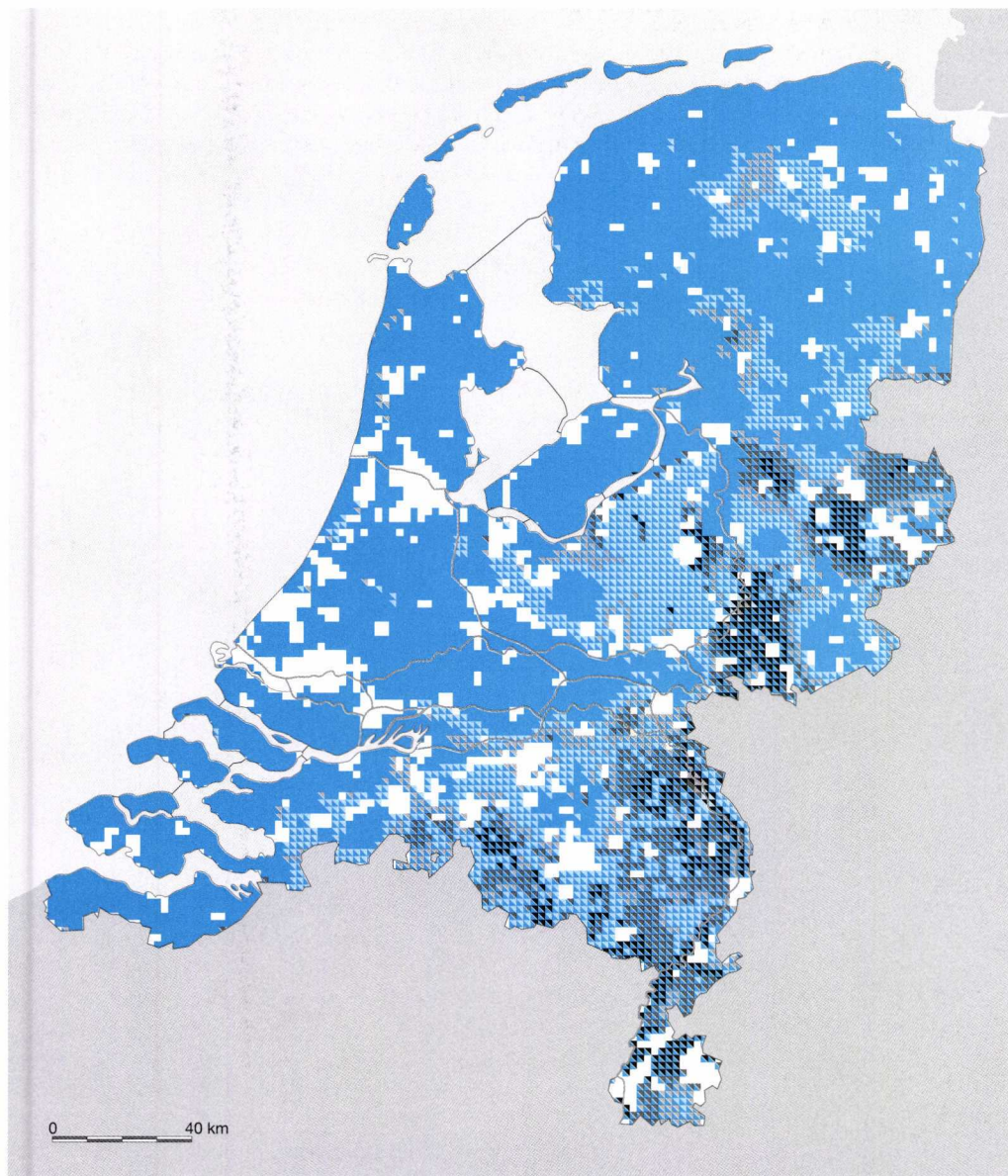
- 0 - 0,2
- 0,2 - 0,4
- 0,4 - 0,8
- 0,8 - 1,6
- > 1,6

- Bovengrens betrouwbaarheidsinterval
- Ondergrens betrouwbaarheidsinterval

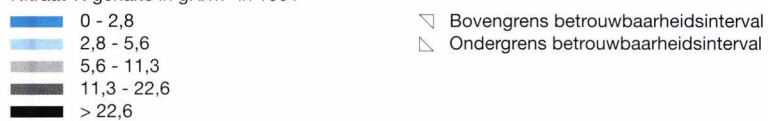
Figuur 7.35

Landelijk beeld van fosfaat (P) in het ondiepe grondwater in 1991

(Naar Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1994)



Nitrat-N gehalte in gN/m^3 in 1991



Figuur 7.36

Landelijk beeld van nitraat (N) in het ondiepe grondwater in 1991

(Naar Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1994)

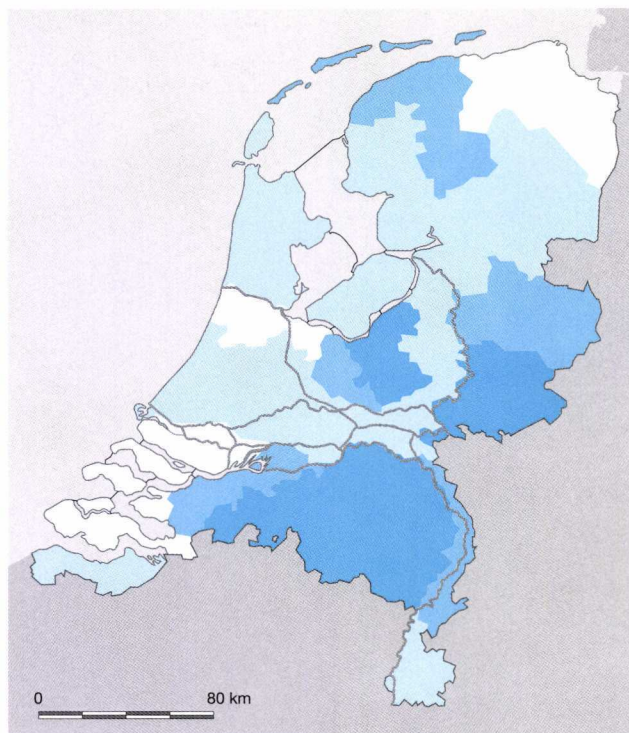
Het probleem van de te grote concentraties meststoffen spitste zich tot 1990 toe op gebieden met een 'traditioneel' mestoverschot: de centrale, oostelijke en zuidelijke zandgronden. Het landelijk beleid richtte zich aanvankelijk dan ook op vermindering van de mestgiften in deze overschotgebieden. Geleidelijke aanscherping van de gebruiksnormen voor dierlijke mest en beperking van de mestproductie in de intensieve veehouderij waren de voornaamste maatregelen die werden genomen. De fosfaatnormstelling wordt hiervoor als illustratie gepresenteerd (tabel 25) ³⁰.

Deze aanscherping heeft inderdaad geleid tot de gewenste vermindering in de overschotgebieden. Maar, onder andere ten gevolge van verspreiding, heeft deze aanscherping ook geleid tot toename in een aantal andere regio's met een voorheen traditioneel mesttekort (figuur 7.37 en 7.38).

Tabel 25 Maximaal toegestane fosfaatbelasting (P_2O_5) in kg/ha per jaar

	1990	1995
Maisland	350	110
Grasland	250	135
Overig bouwland	125	110

Mond. info Ministerie van LNV en Edel, B., e.a., 1996



Fosfaatgehalte (P_2O_5) in kg/ha
 > 50 > 100 > 150 > 200

Figuur 7.37

Bemestingsniveau fosfaat op cultuurland in kg/ha in 1990

(Naar Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat - Generaal Rijkswaterstaat (ed.), 1996)

Een belangrijke oorzaak van de toename in laatstgenoemde gebieden is het toegenomen mesttransport, samenhangend met de Wet Verplaatsing Mestproductie, van kracht sinds 1993. Ook de toename van intensieve veehouderij in de voormalige 'mesttekortgebieden' is debet aan de toename in deze gebieden ³¹. Het transport wordt mede betaald uit de heffingen in de 'mestoverschotgebieden'. Een zorgwekkend gevolg van deze verspreiding is niet alleen de toegenomen belasting in regio's met voorheen een traditioneel mesttekort maar ook de daarmee samenhangende toegenomen belasting van het relatief grote areaal oppervlaktewater in deze voormalige 'mesttekortgebieden' ³².

Naast genoemde aanscherpingen streven de milieu-organisaties in Nederland naar een verdere beperking van het gebruik van meststoffen om uiteindelijk, bijvoorbeeld in het jaar 2000, een 'evenwichtsbemesting' te bereiken. Het hierbij gehanteerde begrip 'evenwichtsbemesting' is een bemesting waarbij niet meer mest op het land gebracht wordt dan de gewassen kunnen opnemen. Omdat het moeilijk is de bemesting zo nauwkeurig af te stemmen dat deze evenwichtsbemesting ook gerealiseerd wordt, zal altijd een bemestingsoverschot optreden. De milieu-organisaties streven naar een overschot van 1 kg fosfaat en circa 50 kg nitraat per hectare per jaar. Dit worden de normen voor het 'milieukundig acceptabele verlies' genoemd. De agrarische sector meent echter dat deze norm onrealistisch is, voornamelijk vanwege technische haalbaarheid. De sector spreekt van een 'landbouwkundig

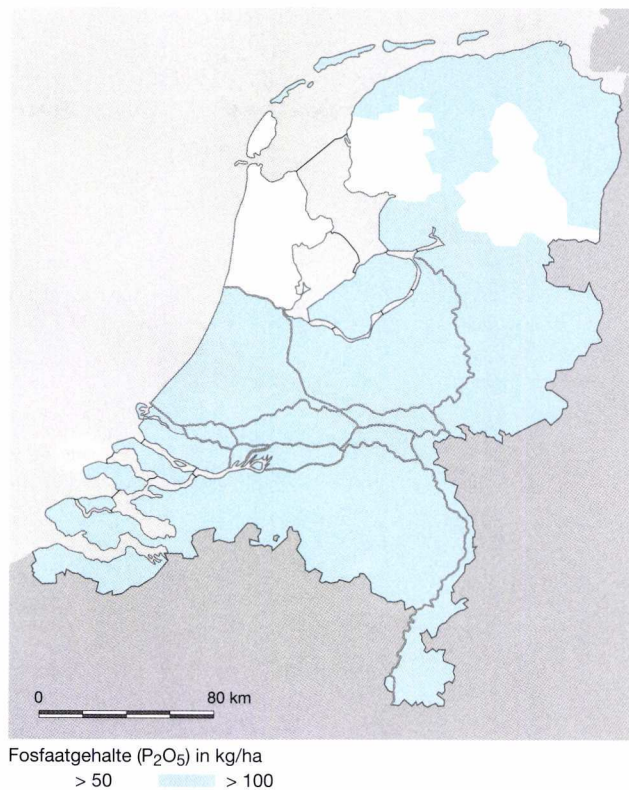
noodzakelijk fosfaat- en stikstofverlies'. De hierbij voorgestelde overschotnormen bedragen 25 - 75 kg fosfaatverlies en 350 kg nitraatverlies per hectare per jaar. De conclusie is dat de normen van beide partijen wel heel ver uit elkaar liggen³³.

De gevolgen van vermessing brengen zeer hoge maatschappelijke kosten, bijvoorbeeld in de vorm van zuivering van grond- en oppervlaktewater, met zich mee. In de land- en tuinbouw zijn de bruto milieu-kosten sinds 1990 al sterk gestegen. Die toename is voornamelijk veroorzaakt door de kosten vanwege een beperking van het gebruik van chemische bestrijdingsmiddelen en in mindere mate door kosten van het onderwerken van dierlijke mest. In 1994 werd door de land- en tuinbouw 477 miljoen gulden uitgegeven aan emissiebeperkende activiteiten³⁴.

Verdere aanscherping van het mestbeleid zal voor de agrarische sector kostenverhogend zijn. Maar deze keuze leidt 'elders', bijvoorbeeld bij de grondwaterwinning, tot een mogelijk veel grotere kostenreductie³³.

Zoals ook al in *figuur 7.36* wordt weergegeven is de kwaliteit van het grondwater in grote mate beïnvloed door de bemesting aan het maaiveld. Dit geldt met name bij freatische aquifers.

Een beeld van de concentratie van nitraat en fosfaat in het grondwater en de variatie daarvan in de tijd wordt gepresenteerd in *tabel 26*.



Figuur 7.38

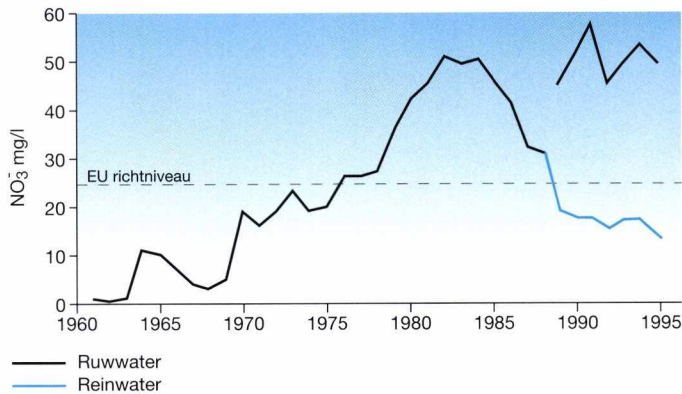
Bemestingsniveau fosfaat op cultuurland in kg/ha in 1995 (scenario)
(Naar Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat - Generaal Rijkswaterstaat (ed.), 1996)

Tabel 26 Gemiddelde concentratie van nitraat en fosfor in grondwater op een diepte van ongeveer 9 m beneden maaiveld in verschillende jaren

	In zandgrond onder bouwland			In zandgrond onder natuurgebieden		
	1984	1990	1993	1984	1990	1993
Nitraat mgN/l	25,0	24,1	28,7	2,2	3,3	3,0
Fosfor mgP/l	0,14	0,15	0,36	0,06	0,08	0,07

CBS (ed.), 1995

In enkele waterwingebieden, zoals te Reuver in Limburg, werd al in 1982 het toegestane nitraatgehalte (NO₃⁻) van 50 mg per liter in het ongezuiverde grondwater zodanig overschreden, dat bijmenging met nitraatarm water noodzakelijk was. Het verloop wordt geïllustreerd in *figuur 7.39*.



Figuur 7.39

Verloop van het nitraatgehalte in het opgepompte grondwater (ruwwater) en in het reinwater (geleverde water) in het pompstation te Reuver (Naar VEWIN (ed.), 1989 a en N.V. Waterleiding Maatschappij Limburg (ed.))

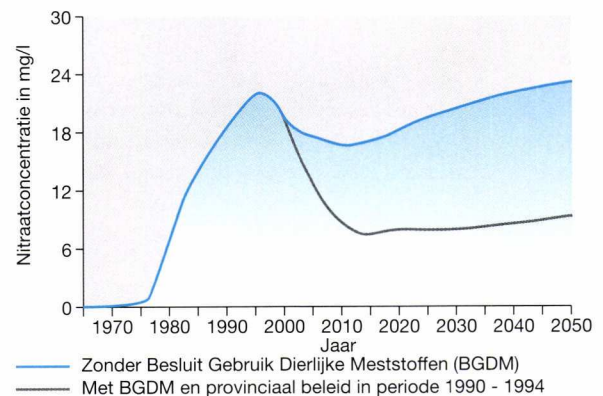
In de periode 1970 - 1986 steeg het nitraatgehalte in niet minder dan 25% van de freatische winningen die in zandgebieden gesitueerd zijn. Voor de winning in kalkgebieden werd zelfs een stijging in 75% van de freatische winningen gevonden ³⁵.

Bij de freatische grondwaterwinningen in de oostelijke en zuidelijke zandgebieden zal tussen 1995 en 2000 een verontrustende verdere stijging van het nitraatgehalte kunnen optreden. Ook bij een reductie van de nitraatbelasting door de uitvoering van het 'Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen' binnen de Wet Bodembescherming, zal in de komende eeuw bij 32 bronnen de drinkwaternorm overschreden worden. Sluiting van deze bronnen betekent een verlies van ongeveer 10% van de landelijke winningscapaciteit ³⁶.

Uit waarnemingen bij het pompstation Vierlingsbeek in Noord-Brabant konden enkele bijzondere conclusies worden getrokken over de nitraatbelasting van het grondwater door overbemesting. Hier is vastgesteld dat de nitraatconcentratie in het grondwater in aanzienlijke mate afhankelijk is van het gehalte aan sulfide en organische stof in de bodem. Onder de anaërobie omstandigheden die zich op een bepaalde diepte beneden maaiveld voordoen, zal zwavel voorkomen als sulfide S^{2-} met pyriet (FeS_2) als voorkomend mineraal. Dit pyriet reageert met het nitraat, waarbij SO_4^{2-} en stikstofgas gevormd worden. Beide blijven in het grondwater opgelost. Het nitraat wordt afgebroken door organische stoffen in de bodem. Uit waargenomen concentraties en toepassing van een herijkt model wordt voorspeld, dat de nitraat-sulfaatconcentraties in het ondiepe grondwater sneller zullen afnemen dan werd verwacht ³⁷. Deze afname is wel sterk afhankelijk van het gehanteerde bemestingsscenario (figuur 7.40).

Naast diffuse verontreinigingen als nitraat, fosfaat en sulfaat komen lokaal in het grondwater ook andere stoffen, zoals zink en lood voor. Het voorkomen van hoge concentraties van dergelijk elementen wijst op andere dan agrarische invloed ³⁸.

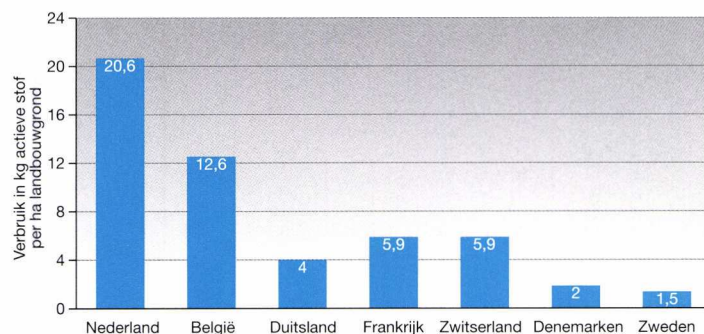
De bodem- en grondwaterverontreiniging ten gevolge van bestrijdingsmiddelen is minstens zo alarmerend als de vermessingsproblematiek. Het totale gebruik van bestrijdingsmiddelen in Nederland bedroeg in 1991 40 tot 42 miljoen kg ³⁹. De directe belasting van bodem en grondwater door het gebruik van bestrijdingsmiddelen in de land- en tuinbouw bedroeg in 1987 circa 21 miljoen kg ⁴⁰. In 1987 kende Nederland in vergelijking met een aantal Europese landen het hoogste verbruik van bestrijdingsmiddelen per hectare landbouwgrond (figuur 7.41).



Figuur 7.40

Effecten van een bemestingsscenario en het ontbreken daarvan op de nitraatconcentratie in het grondwater (Naar Boukes, H., C.A. Bennekom & J.G.H. Philips, 1996)

In 1987 kende Nederland in vergelijking met een aantal Europese landen het hoogste verbruik van bestrijdingsmiddelen per hectare landbouwgrond (figuur 7.41).



Figuur 7.41
Verbruik bestrijdingsmiddelen in de landbouw in enkele landen in 1987
(Naar Berg, R. van den, 1991)

Van de 35 in het grondwater aangetroffen bestrijdingsmiddelen of gerelateerde afbraakproducten lag de concentratie van 33 daarvan boven de drinkwaternorm (tabel 27).

Tabel 27 Relatie concentratie bestrijdingsmiddel - drinkwaternorm - diepte beneden maaiveld

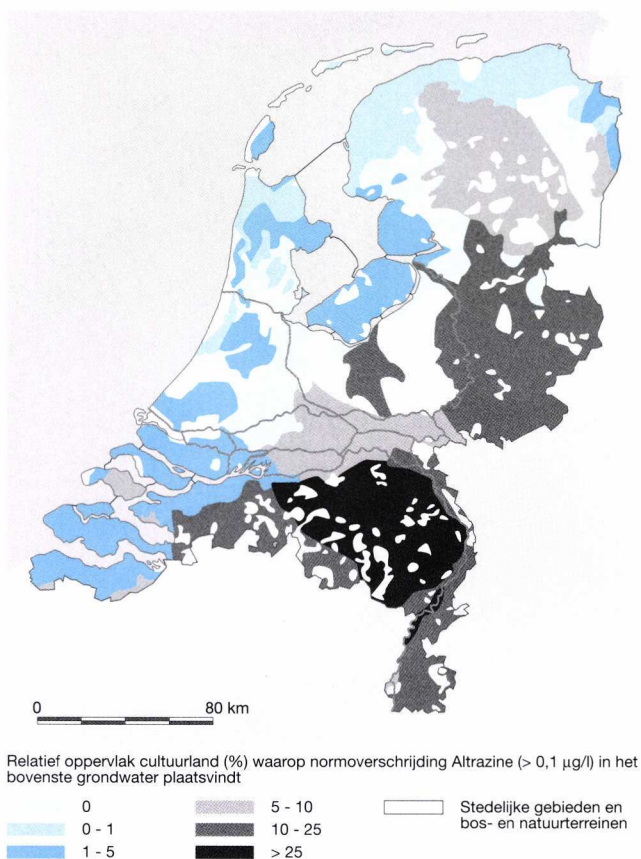
	Concentratie onder de drinkwaternorm van 0,1 µg/l	Concentratie boven de drinkwaternorm van 0,1 µg/l
	Aantal	Aantal
Totaal aantal middelen	2	33
0-2 m onder maaiveld	1	24
2-10 m onder maaiveld	1	19
Meer dan 10 m onder maaiveld	6	12

Berg, R. van den, 1991

Op veel plaatsen, met name op de zandgronden in het zuiden en oosten van Nederland, worden de winbare reserves zoet grondwater bedreigd door verontreiniging met bestrijdingsmiddelen. Het gehalte van het onkruidbestrijdingsmiddel Atrazine in het ondiepe grondwater vormt een treffend voorbeeld ⁴¹. *Figuur 7.42* geeft het percentage van het oppervlak aan cultuurland waar de norm (> 0,1 µg/l) in het ondiepe grondwater werd overschreden.

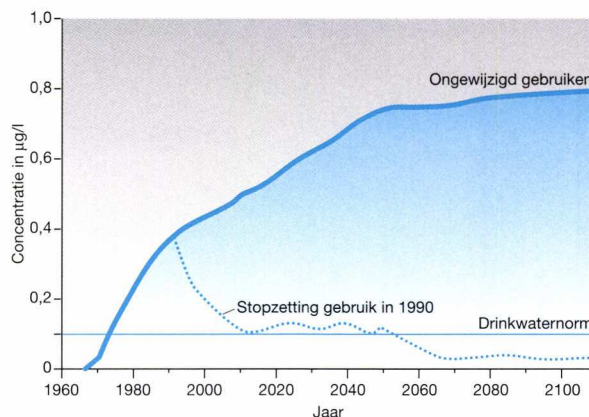
Uit deze figuur blijkt dat in delen van Noord-Brabant en Twente in meer dan 25% van het areaal cultuurgrond de drinkwaternorm voor Atrazine in het bovenste grondwater werd overschreden. Het totaal oppervlak waar Atrazine boven de drinkwaternorm voorkwam is circa 190 000 hectare. In *figuur 7.43* is aangegeven hoe het gehalte Atrazine in het grondwater op het pompstation Vierlingsbeek (prov. Noord-Brabant) in de periode 1965 - 1990 is gestegen.

In deze figuur is tevens aangegeven hoe de concentratie zich volgens modelberekeningen zou ontwikkelen. Hierbij is er in één scenario van uitgegaan dat maatregelen zullen uitblijven. Een ander scenario neemt als uitgangspunt dat het gebruik van Atrazine in 1990 volledig gestopt zou zijn. In dit laatste scenario zou, conform deze modelberekeningen, het gehalte pas in 2052 onder de toegestane drinkwaternorm komen. Maar modelberekeningen kunnen er ook naast zitten. In werkelijkheid bleek bij bemonstering in 1992 door de Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant in het grondwaterbeschermingsgebied Vierlingsbeek dat er geen Atrazine meer aangetroffen werd ⁴².



Figuur 7.42

Relatief oppervlak cultuurgrond waar de drinkwaternorm van Atrazine (> 0,1 µg/l) in het bovenste grondwater werd overschreden (Naar RIVM (ed.), 1995)



Figuur 7.43

Ontwikkeling van het gehalte Atrazine in het grondwater op het pompstation te Vierlingsbeek bij verschillende scenario's (Naar Berg, R. van den, 1991)

Deze geruststellende waarneming te Vierlingsbeek betekent niet dat het persistente karakter van verontreinigingen door bestrijdingsmiddelen onderschat mag worden. Voor alle bestrijdingsmiddelen geldt dat toekomstige problemen voor de kwaliteit van het grondwater voor een groot deel nu al zijn vastgelegd. Er zijn geen mogelijkheden om een te hoge concentratie bestrijdingsmiddelen in het grondwater versneld te laten dalen ⁴⁰.

Lokale verontreinigingen

Een voorbeeld van een lokale verontreiniging is de grondwaterverontreiniging die onder een vuilstort kan voorkomen.

Het relatieve 'voordeel' van lokale verontreinigingen is, dat ze bij een bedreigende situatie in de meeste gevallen geïsoleerd of verwijderd kunnen worden. Oplossing van een probleem is vooral afhankelijk van besluitvorming, technische mogelijkheden en financiering. De technische mogelijkheden kunnen echter nog belangrijke beperkingen hebben en ook de financiering kan een onoverkomelijk probleem zijn. De technische mogelijkheden en beperkingen worden toegelicht in paragraaf 7.6.

Niet alleen de aard en de hoeveelheid van de belasting aan het maaiveld bepaalt de ernst van een lokale verontreiniging. De aard van de ondergrond ter plaatse is sterk medebepalend voor de ernst van de situatie. Ook de tijd die verloopt voordat een verontreiniging het diepere grondwater bereikt is van belang ⁴³. Deze transporttijd is voornamelijk afhankelijk van de opbouw van de ondergrond en met name de verticale weerstand, de c-waarde. Een gebied waar de bodem een lage c-waarde heeft, zoals de Veluwe is aanzienlijk kwetsbaarder dan de West-Nederlandse polders, waar de bodem een hoge c-waarde heeft. Op grond van de c-waarde kan Nederland globaal in tweeën worden gedeeld (figuur 7.44).

Een gebied als de Veluwe is als infiltratiegebied van groot belang voor de drinkwatervoorziening. Dergelijke gebieden hebben daarom een aanzienlijk stringenter grondwaterbescherming nodig dan de West-Nederlandse polders. Deze polders komen veelal niet in

aanmerking als waterwingebied door het ondiepe zoet/brak-grensvlak ter plaatse.

De uitwerking van de grondwaterbescherming wordt nader toegelicht in hoofdstuk 14.

In het voorgaande lag de nadruk op de verontreiniging van het grondwater door infiltratie van deze verontreiniging vanaf het maaiveld of vanuit het oppervlaktewater. In enkele gevallen, in kwelgebieden, doet zich de laatste jaren ook het omgekeerde voor. Oppervlaktewater wordt daarbij verontreinigd door kwel van verontreinigd grondwater ⁴⁴.

7.6 Sanering van verontreinigde bodems

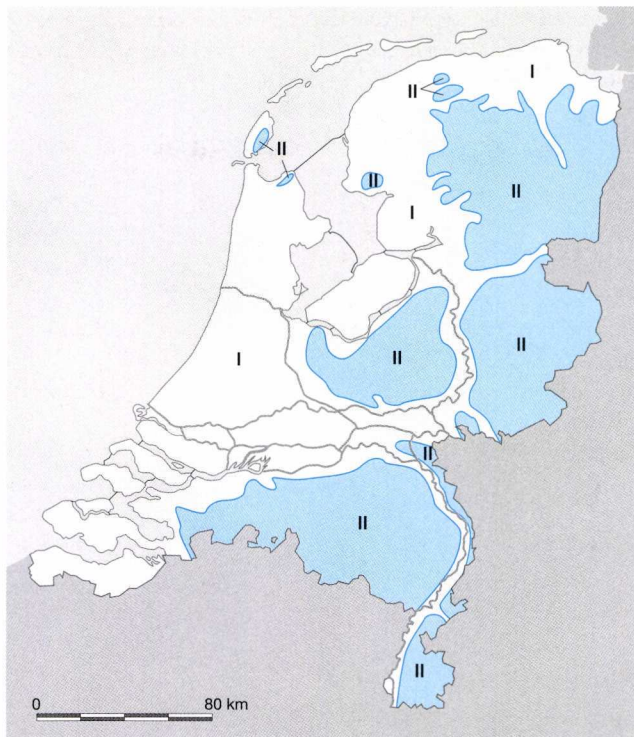
Nederland telt meer dan 100 000 verontreinigde locaties. Daarom is het zaak om goede en economisch verantwoorde saneringstechnieken te ontwikkelen ⁴⁵.

Bij de sanering van verontreinigde bodems is het bijna altijd nodig om ook het grondwater te zuiveren. Het kan na zuivering worden geloosd of weer in de bodem worden teruggepompt. Bij lozing moet het water aan de daarvoor geldende eisen voldoen. Deze zijn geformuleerd in de Leidraad Bodemsanering, na 1995 ondergebracht in de Leidraad Bodembescherming ⁴⁶. Verschillende soorten verontreiniging vragen om een toegesneden aanpak bij de sanering. Er zijn twee hoofdgroepen van verontreinigingen. De eerste hoofdgroep is die van de organische microverontreinigingen zoals aromaten (aromatische koolwaterstoffen), vluchtige halogeen koolwaterstoffen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK). Daarnaast zijn er niet-organische microverontreinigingen zoals metalen en bestrijdingsmiddelen.

Voor de reiniging van grondwater staan verschillende technieken ter beschikking ⁴⁷:

- luchtstrippen
- actieve koelfiltratie
- biologische behandeling
- zandfiltratie
- ionenwisseling
- membraanfiltratie
- adsorptie
- coagulatie/flocculatie
- olie-/waterafscheiding.

Een rigide koppeling van een verontreiniging met een bijbehorende saneringstechniek die in alle gevallen het beste is, is niet te maken. In een onderlinge vergelijking van verontreinigde



Figuur 7.44

Globale verdeling van Nederland in regio's met een bodem met een relatief hoge c-waarde (I) en met een relatief lage c-waarde (II) (Naar Duijvenbouden, W. van & A. Breeuwsmma, e.a., 1987)

locaties kunnen nevenvoorwaarden als saneringsduur of lozingsmogelijkheden zo aanzienlijk verschillen, dat bij een gelijksoortige verontreiniging toch een andere techniek gekozen wordt. Ruwweg is het volgende overzicht te geven:

Tabel 28 Zuiveringstechnieken per soort vervuilingcomponent

Component	Beste zuiveringstechniek
Aromaten	biologische zuivering, strippen, actieve koolfiltratie
Vluchtige halogeen koolwaterstoffen	strippen
Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK)	biologische zuivering, zandfiltratie, actieve kool
Cadmium	precipitatie, coagulatie, zandfiltratie, actieve kool/ionenwisseling
Overige metalen	precipitatie, actieve kool
Bestrijdingsmiddelen	zandfiltratie, actieve kool

Tauw Milieu bv (ed.), 1994

Actieve koolfiltratie en luchtstrippen zijn de technieken die tot voor kort het meest werden toegepast. Sinds 1992 hebben biologische in-situ reinigingstechnieken echter een grote vlucht genomen ⁴⁸.

Bio-organismen reinigen hierbij de vervuilde bodem zonder dat deze verplaatst hoeft te worden. Veelal bestaat een bodemverontreiniging uit een aantal verschillende stoffen. Meestal zijn dan ook verschillende technieken nodig voor de reiniging. In sommige situaties kan pas na een experimentele fase vastgesteld worden welke techniek het meest doeltreffend is. Zo heeft de Provincie Utrecht ten behoeve van de grondwaterzuivering van het Griftpark in de stad Utrecht vier zuiveringsstraten parallel geschakeld. Luchtstrippen, biologische zuivering, actieve koolfiltratie en oxidatie met UV/ozon worden hier in combinatie toegepast. Bij een capaciteit van 12,5 m³ per uur per geïnstalleerde techniek wordt gedurende een periode van vijf jaar onderzoek uitgevoerd naar de optimale configuratie voor de definitieve grondwaterzuivering ⁴⁹.

In de niet-homogene pakketten in de Nederlandse ondergrond zal de grondwaterstroming zich als regel concentreren in een netwerk van kanalen, zogenaamde preferente stroombanen. Bij grondwaterzuivering in het kader van bodemsanering bestaat het gevaar dat alleen het water in die preferente stroombanen wordt gereinigd. De onttrekking of circulatie heeft dan slechts betrekking op een zeer gering deel van de verontreinigde ondergrond. Als het gehalte aan verontreinigde stof in het gezuiverde grondwater beneden een acceptabele norm gedaald is, betekent dit daarom helaas niet dat de bodem ook inderdaad volledig gereinigd is. Het vinden van een technische oplossing voor dit probleem zal in de komende jaren een punt van aandacht moeten zijn.

8 Beschikbaarheid en gebruik van zoet grondwater

8.1 Beschikbaarheid

Als de diepte van het freatisch vlak ten opzichte NAP en de diepte van het zoet/brak-grensvlak ten opzichte van NAP met elkaar worden vergeleken, is het theoretisch mogelijk een schatting te maken van de hoeveelheid zoet grondwater in Nederland. Deze schatting zou gebaseerd kunnen worden op *figuur 1.2*: diepte van het freatisch vlak ten opzichte van NAP en *figuur 7.2*: diepte van het zoet/brak-grensvlak ten opzichte van NAP. Op deze wijze zou een diktekaart van de zoetwaterlaag in Nederland geconstrueerd kunnen worden. Een dergelijke kaart is nooit gemaakt, omdat de totale hoeveelheid zoet water geen maat is voor de hoeveelheid die beschikbaar is voor de drinkwatervoorziening. In veel gebieden waar zoet water voorkomt is deze dikte minder dan 50 meter. Winning zou daarom al snel resulteren in het produceren van brak water. Een economisch verantwoorde exploitatie is op die plaatsen derhalve niet mogelijk. Grondwater ten behoeve van de drinkwatervoorziening wordt in Nederland dan ook voornamelijk onttrokken aan de duinen en de hoge Pleistocene gronden, waar het zoet/brak-grensvlak diep ligt. Schattingen van de winbare hoeveelheid zoet grondwater in Nederland hebben als regel betrekking op die gebieden.

Onder winbare hoeveelheid verstaat men: de maximale hoeveelheid (zoet) grondwater die per tijdseenheid (per jaar) op permanente basis in een bepaald gebied op bestaande, geprojecteerde en te projecteren winplaatsen kan worden onttrokken met inachtneming van technische factoren en alle bij het grondwater en de grondwaterstand betrokken belangen ¹.

In 1981 presenteerde het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne in het Tweede Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening een uitgebreid overzicht van behoeften en bronnen. Hierin wordt geformuleerd dat het gemiddeld neerslagoverschot in het 'zoete deel' van Nederland, geschat op 5000 mln m³/jaar, de theoretische bovengrens van de winningsmogelijkheid is ².

Een zo nauwkeurig mogelijke schatting van de jaarlijks winbare hoeveelheid zoet grondwater is bijvoorbeeld in 1973 gemaakt door de winbare reserves per provincie op te tellen (*tabel 29*). Daarbij werd geschat dat de totale winbare hoeveelheid 1900 mln m³ bedroeg. De totale onttrekking door waterleidingbedrijven en de industrie was in 1967 923 mln m³ en in 1971 1038 mln m³. Er was in die tijd dus weinig reden tot ongerustheid.

Een volgende schatting dateert uit 1982. Toen publiceerde de Europese Commissie een inventarisatie getiteld 'Grondwater in Nederland, behoeften en beschikbare hoeveelheden' ³. De totale winbare hoeveelheid zoet grondwater werd hierin op 1966 mln m³ per jaar geschat. In 1976 was de onttrekking toegenomen tot 1210 mln m³ ⁴. Theoretisch zou er dus nog 756 mln m³ per jaar voor uitbreiding van de winning beschikbaar zijn ⁵. In de periode 1976 tot 1983 is in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat een beleidsanalytische studie uitgevoerd waarin een derde schatting voorkomt ⁶. Deze schatting ging niet uit van een indeling per provincie, maar van een waarschijnlijk juistere indeling per hydrologische eenheid (*figuur 8.1*).

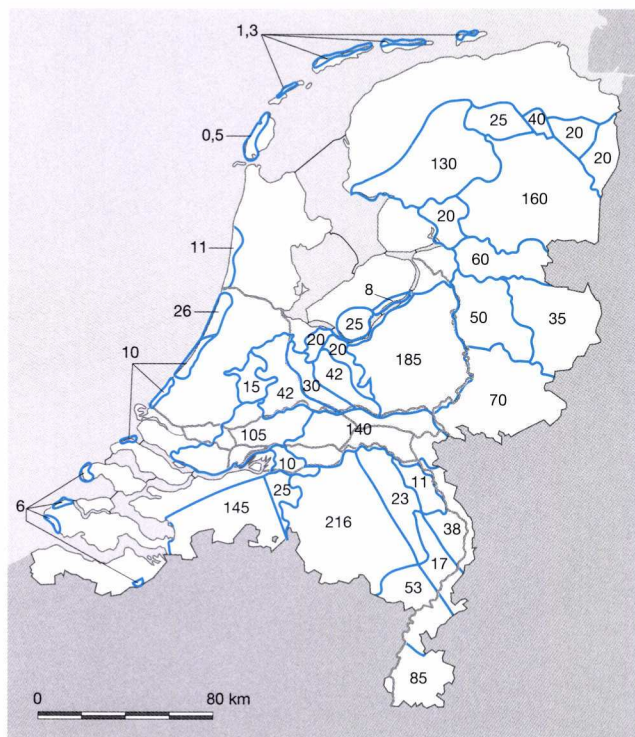
Door optelling van de hoeveelheden per hydrologische eenheid kwam men op een winbare hoeveelheid van 1940 mln m³ per jaar.

Tabel 29 Totale verbruik en totale winbare hoeveelheid zoet grondwater, schatting voor 1967

Provincie	Verbruik in mln m ³ /jaar*	Beschikbare hoeveelheid zoet grondwater in mln m ³ /jaar
Groningen	42,6	40
Friesland	50,9	150
Drenthe	59,7	200
Overijssel	76,5	150
Gelderland	171,2	450
Utrecht	62,5	110
Noord-Holland	87,3	50
Zuid-Holland	76,3	130
Zeeland	4,3	5
Noord-Brabant	189,7	395
Limburg	101,6	190
IJsselmeer polders	0,6	30
Totaal Nederland	923,2	1900

* door waterleidingbedrijven geleverd zoet grondwater en de 'eigen onttrekkingen' door de industrie gesommeerd

Romijn, E., 1973



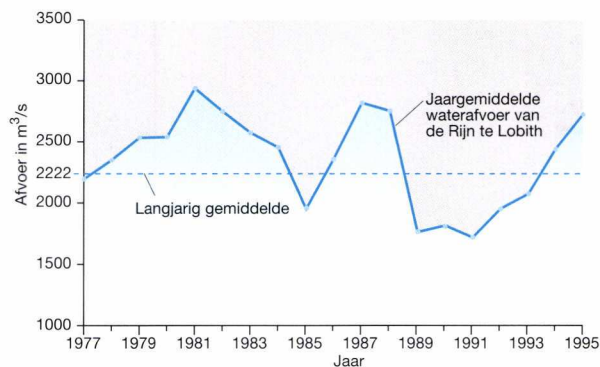
Hoeveelheden in miljoenen m³ per jaar

De drie schattingen ontlopen elkaar dus niet veel. De conclusie dat de jaarlijks winbare hoeveelheid 1900 tot 1950 mln m³ ⁷ bedraagt, lijkt daarom gerechtvaardigd. De netto aanvulling of inzijging van grondwater in de watervoerende lagen bedraagt naar schatting 2615 mln m³ per jaar ⁸.

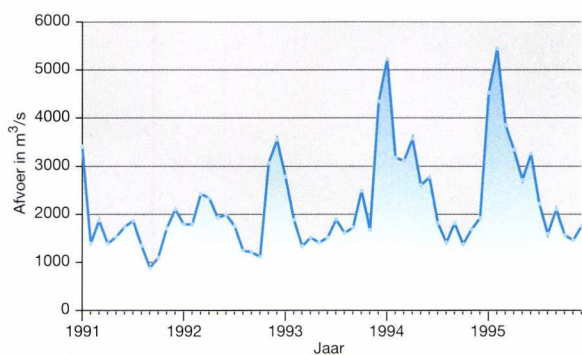
Al met al is de hoeveelheid neerslag minus verdamping per persoon per jaar in Nederland niet hoog. Die hoeveelheid is becijferd op 680 m³ ⁹. In de Verenigde Staten is dit 10 230 m³ per jaar per inwoner. Nederland is volgens deze berekening een 'water-arm' land. De cijfers benadrukken hoezeer de Nederlandse watervoorziening afhankelijk is van de grote rivieren Rijn en Maas en van de kwaliteit van het water daarin. Zo zal het duidelijk zijn dat fluctuaties in het debiet van deze grote rivieren, zoals weergegeven in *figuur 8.2 tot en met 8.5*, belangrijk zijn. Hun invloed op de beschikbare hoeveelheid oppervlaktewater en diens gevolge op de beschikbare hoeveelheid drinkwater is groot.

Figuur 8.1

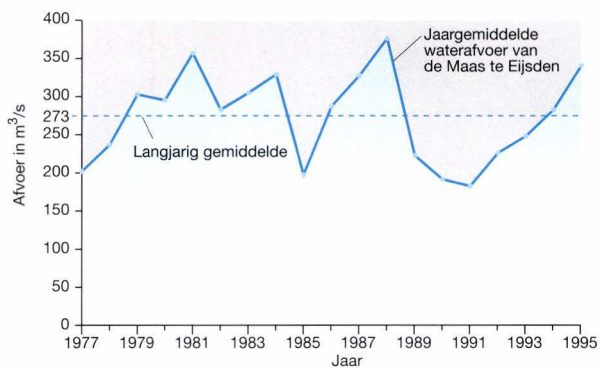
Winbaar geachte hoeveelheid grondwater per deelgebied (Naar Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1985)



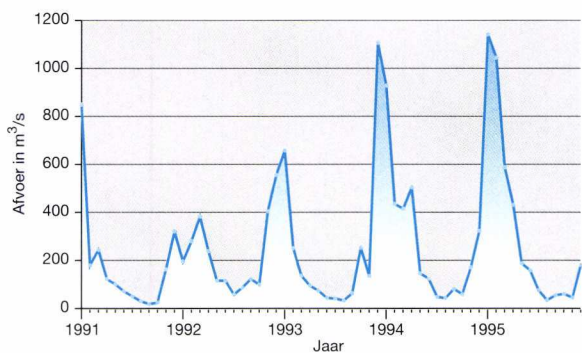
Figuur 8.2
 Jaargemiddelden waterafvoer van de Rijn te Lobith 1977 -1995
 (Naar RIWA (ed.), 1996)



Figuur 8.3
 Maandgemiddelden waterafvoer van de Rijn te Lobith 1991 - 1995
 (Naar info RIWA)



Figuur 8.4
 Jaargemiddelden waterafvoer van de Maas te Eijsden 1977 -1995
 (Naar RIWA (ed.), 1996)

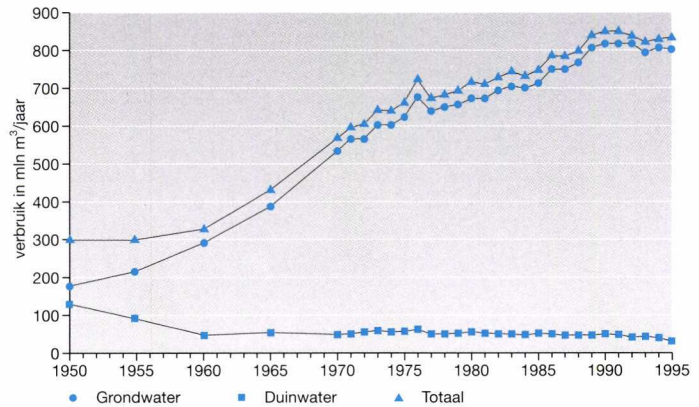


Figuur 8.5
 Maandgemiddelden waterafvoer van de Maas te Eijsden 1991 - 1995
 (Naar info RIWA)

8.2 Gebruik en winning

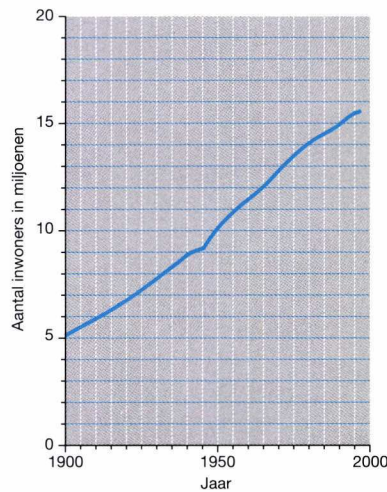
Zoals uit figuur 8.6 blijkt heeft de ontwikkeling van het gebruik van zoet grondwater na 1950 een hoge vlucht genomen.

Betrouwbare cijfers uit de periode vóór 1950 zijn niet beschikbaar en bovendien van weinig belang voor de huidige situatie. De waterbehoefte en watervoorziening kregen na het genoemde jaar te maken met een aantal ontwikkelingen. Er was na de oorlog een hoge bevolkingsgroei, die een toename van het watergebruik met zich mee bracht. Bovendien nam het huishoudelijk watergebruik per persoon sterk toe. Dit was onder andere een gevolg van de toename van het aantal inwoners dat werd aangesloten op de publieke drinkwatervoorziening. De spectaculaire groei van het huishoudelijk watergebruik na 1960 wordt wel de toename van de watercultuur genoemd. Het watergebruik in de vorm van beregening in de agrarische sector nam eveneens toe. De industrie ging echter geleidelijk minder grondwater verbruiken.



Figuur 8.6

Verloop van het gebruik van grondwater voor drinkwaterdoeleinden 1950 - 1995. Water geleverd door waterleidingbedrijven (Naar Kloosterman, F.H., e.a., 1993 en VEWIN (ed.), 1996)

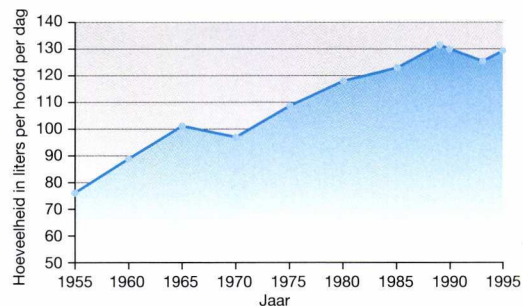


Figuur 8.7

Bevolkingsgroei in de periode 1900 - 1997 (Naar Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965 (red.), 1967 en extrapolatie op basis van gegevens verkregen van het CBS)

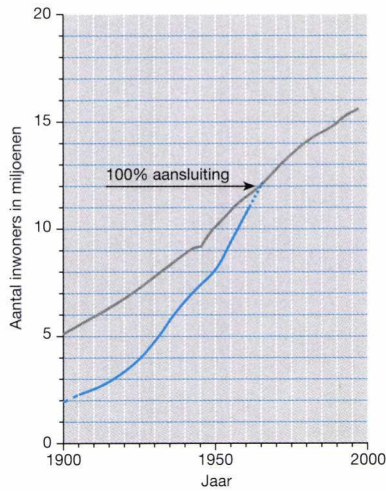
Ter illustratie worden in *figuur 8.7 en 8.8* de invloeden van bevolkingsgroei en groei van het huishoudelijk gebruik per persoon gepresenteerd.

Figuur 8.9 geeft de ontwikkeling van bevolkingstoename en aansluitingspercentage weer.



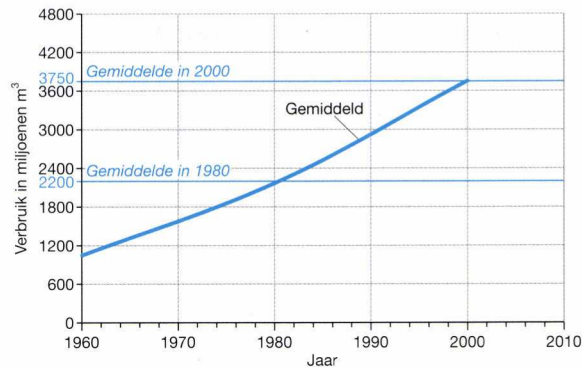
Figuur 8.8

Ontwikkeling hoofdelijk gebruik in de periode 1955 - 1995 (Naar VEWIN (ed.), 1989 en VEWIN (ed.) 1997)

**Figuur 8.9**

Ontwikkeling bevolkingstoename en aansluitingspercentage
(Naar Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965 (red.), 1967 en extrapolatie op basis van gegevens, verkregen van het CBS)

Figuur 8.10 geeft het in 1967 geraamde verloop van het gemiddeld totale waterverbruik.

**Figuur 8.10**

Raming toekomstig jaarlijks waterverbruik door bevolking en industrie, zoals opgesteld in 1967
(Naar Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965 (red.), 1967)

In 1967 werd de toekomstige waterbehoefte in 1995 van bevolking en industrie samen, geschat op minimaal 2400 mln m³ per jaar en maximaal 4200 mln m³ per jaar met een gemiddelde van 3300 mln m³ per jaar ¹⁰.

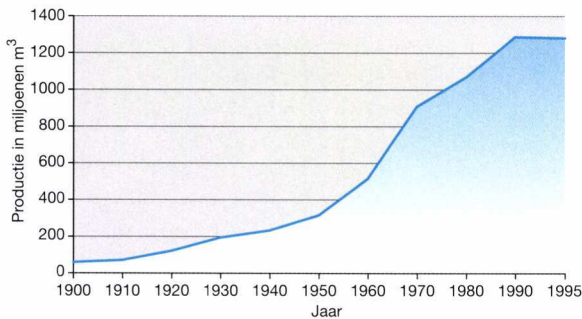
Dat was aan de hoge kant. Voor een algemeen inzicht in de werkelijk gerealiseerde verbruiken geeft tabel 30 de levering door de waterleidingbedrijven in 1995 weer.

Tabel 30 Verbruikscijfers 1995 van water geleverd door waterleidingbedrijven

Verbruiker	Hoeveelheden in mln m ³ per jaar en in (%)	
Totaal huishoudelijk (drink)water	726	(59%)
Totaal industrieel, incl. COAR*	445	(36%)
Lekverliezen en andere niet in rekening gebrachte hoeveelheden	56	(5%)
Subtotaal	1227	(100%)
Ongeschikt voor menselijke consumptie**	63	**
Totaal	1290	

* COAR: Commerciële, Openbare, Agrarische en Recreatieve watervoorziening. Dit betreft o.a. het Midden- en Klein Bedrijf en relatief grote verbruikers zoals zwembaden.

** In 1995 geleverd door zes waterleidingbedrijven. Dit betref leveranties aan de industrie voornamelijk gebruikt als koelwater.



Figuur 8.11
Productie openbare watervoorziening 1900 - 1995
(Naar VEWIN (ed.), 1996)

De totale levering door de waterleidingbedrijven bedroeg in 1995 dus 1290 mln m³ water. Deze levering was in de jaren daarvoor vrij stabiel ¹¹. De productie door de eigen pompstations is minder dan de hoeveelheid geleverd water. De productie bedroeg in 1995 1271 mln m³ water. *Figuur 8.11* geeft de ontwikkeling van de productie in grafische vorm.

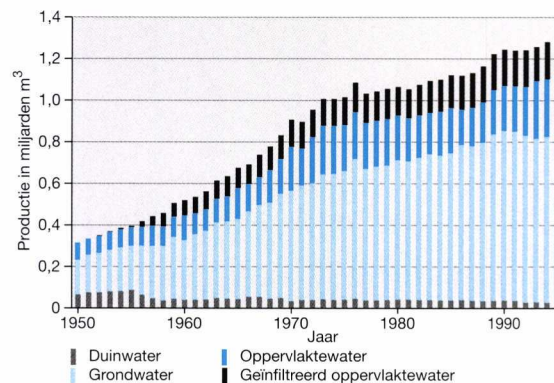
De herkomst van het door de waterleidingbedrijven geleverde water blijkt uit *tabel 31* en uit *figuur 8.12*. In Nederland wordt 64% tot 67% van de drinkwaterbehoefte gedekt door grondwater. Het percentage veranderde in de periode 1985 - 1995 nauwelijks. Duidelijk is dat de regio's die vanouds grondwater gebruikten, niet overgegaan zijn op het gebruik van oppervlaktewater. Daarvoor was ook geen dwingende noodzaak.

Tabel 31 Herkomst grondstof waterleidingbedrijven in 1985 en 1995.
Inclusief water 'ongeschikt voor consumptie'

Bron	Hoeveelheid geleverd			
	in mln m ³ per jaar		in %	
	1985	1995	1985	1995
Grondwater, (oever)grondwater en duinwater	745	832	67	64
Oppervlaktewater	216	274	19	22
Geïnfiltreerd oppervlaktewater	159	184	14	14
Totaal	1120	1290	100	100

Naar VEWIN (ed.), 1991 en naar VEWIN (ed.), 1996

Het is moeilijk vast te stellen hoeveel water buiten de waterleidingbedrijven om door eigen winning gewonnen werd. Voor 1990 werd het totale industriële waterverbruik, inclusief de Commerciële, Openbare, Agrarische en Recreatieve Watervoorziening (COAR) en het water dat voor koeldoeleinden gebruikt werd, becijferd op 4342 mln m³ per jaar. Hiervan werd 454 mln m³ door waterleidingbedrijven geleverd. De eigen winning door de industrie zou dan in



1990 3888 mln m³ hebben bedragen. Dit betreft voornamelijk oppervlaktewater ¹². Deze hoeveelheden zijn exclusief koelwatergebruik in elektriciteitscentrales. Deze gebruikten in 1993 en 1994 ongeveer 14 miljard m³ per jaar, vooral oppervlaktewater ¹³.

Figuur 8.12
Afgeleverd water door de waterleidingbedrijven, onderverdeeld naar herkomst van het water, in de periode 1950 - 1995
(Naar VEWIN (ed.), 1996)

De agrarische sector gebruikt voornamelijk in het groeiseizoen grote hoeveelheden water voor beregening. Dit water wordt niet betrokken van de waterleidingbedrijven, maar wordt meestal door het agrarisch bedrijf ter plaatse gewonnen. Het betreft zowel oppervlaktewater als grondwater. De hoeveelheid onttrokken grondwater wordt in een 10% droog jaar voor geheel Nederland geschat op 400 - 500 mln m³ per jaar ¹⁴.

Voor een globale landelijke schatting wordt deze onttrekking voor 1990 voorlopig op 400 mln m³ per jaar gesteld.

Naast de agrarische sector zijn er ook particulieren die over een put op hun terrein beschikken. Het betreft voornamelijk pompcapaciteiten minder dan 10 m³ per uur. De relatief zeer geringe totale hoeveelheid grondwater die hierbij onttrokken wordt, is inbegrepen in de hoeveelheid die voor de agrarische sector wordt geschat.

Op grond van voorgaande opgaven kan een globaal overzicht van het totale Nederlandse watergebruik per jaar opgesteld worden (1990 met een droogtegraad voor De Bilt van 20%).

Tabel 32 Schatting totale Nederlandse waterconsumptie (1990), exclusief waterbehoefte van de natuurlijke vegetatie en exclusief wateronttrekking voor waterstaatkundige maatregelen

Gebruiker	Hoeveelheden in mln m ³ per jaar		
	Grondwater	Oppervlaktewater	Totaal
Huishoudelijk	471	242	713
Industr., COAR incl. MKB (door waterl. bedr. geleverd)	300	154	454
Industr. eigen winning (voornamelijk koelwater)	342 *	3 546 *	3 888 *
(Koelwater elektriciteitscentrales)	(**)	(14 000 ***)	(14 000 ***)
Niet verrekende afname zoals brandweer en lekverliezen	45 *	25 *	70 *
Agrarische sector (beregening) en particuliere onttrekkingen	300 *	100 *	400 *
Bronbemalingen en verbruik voor bodem- en grondwatersaneringen	95*		95 *
Totaal excl. koelwater elektriciteitscentrales	1553 *	4067 *	5620 *
Totaal incl. koelwater elektriciteitscentrales	(1553 *)	(18 067 *)	(19 620 *)

* Deze getallen zijn niet meer dan een globale schatting en dienen met de grootste terughoudendheid gehanteerd te worden.

** Slechts cijfers beschikbaar van één elektriciteitscentrale die grondwater gebruikt: 0,09 mln m³ per jaar (Info SEP).

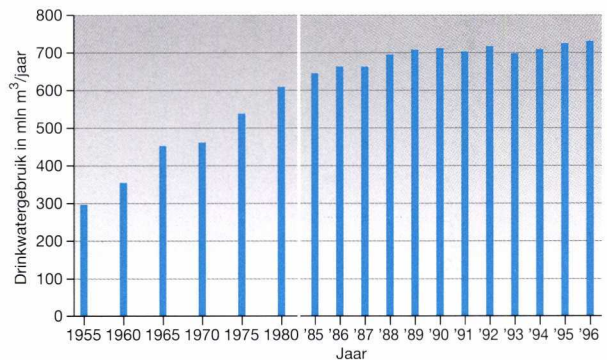
*** De elektriciteitscentrales gebruiken het koelwater tijdelijk; ze verbruiken het niet. Het water keert na gebruik terug in het oppervlaktewater.

Een aantal gebruikscategorieën verdient een nadere toelichting zoals:

- het huishoudelijk watergebruik
- het industriële watergebruik
- het overige gebruik, geleverd door de waterleidingbedrijven
- het gebruik in de agrarische sector, inclusief de kleine particuliere onttrekkingen
- het grondwatergebruik in verband met bronbemalingen en bij bodem- en grondwater-saneringen
- het grondwatergebruik door de natuurlijke vegetatie en door waterstaatkundige maatregelen.

8.3 Huishoudelijk watergebruik

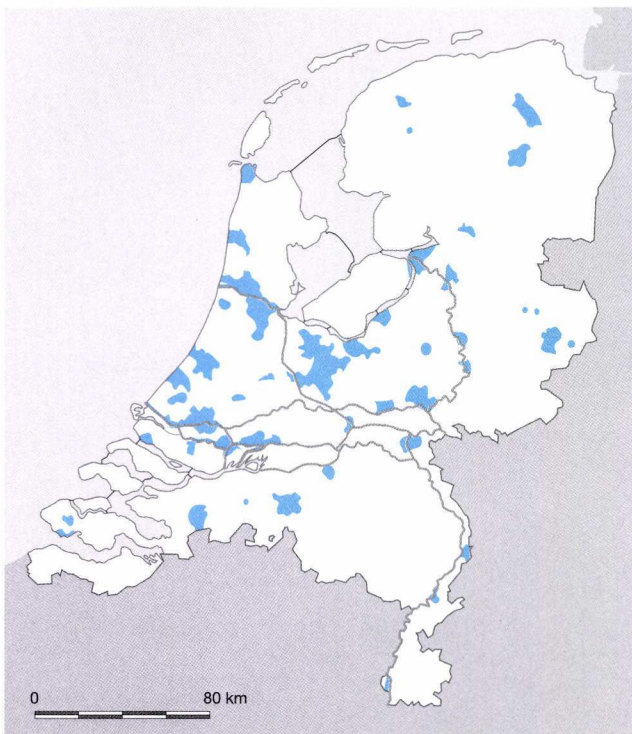
Het huishoudelijk watergebruik is gedefinieerd als die categorie gebruikers, die minder dan 300 m³ per jaar per aansluiting afnemen. *Figuur 8.13* geeft een beeld van de ontwikkeling van het huishoudelijk gebruik in de periode 1955 - 1996. De cijfers hebben alleen betrekking op water dat door waterleidingbedrijven is geleverd.



Figuur 8.13

Ontwikkeling van het huishoudelijk drinkwatergebruik in de periode 1955 - 1996

(Naar VEWIN (ed.), 1989 en VEWIN (ed.), 1997)



Drinkwatervoorziening in 1899

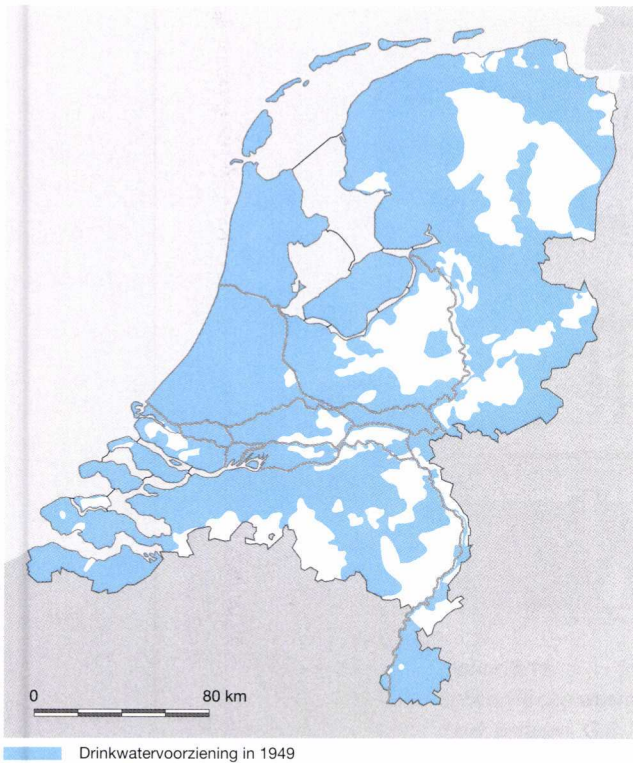
Tot 1960 was de bevolking in grote delen van Nederland nog niet aangesloten op een waterleidingnet. Dit waren vooral de agrarische gebieden; daarom zijn de weergegeven cijfers voor de periode tot 1960 voor een groot deel gerelateerd aan het verstedelijkte gebied. *Figuur 8.14 en 8.15* geven een beeld van het grote verschil in drinkwatervoorziening in 1899 en 1949.

Zelfs in 1960 waren er nog delen van Nederland met een aansluitingspercentage van minder dan 75% (*figuur 8.16*).

Figuur 8.14

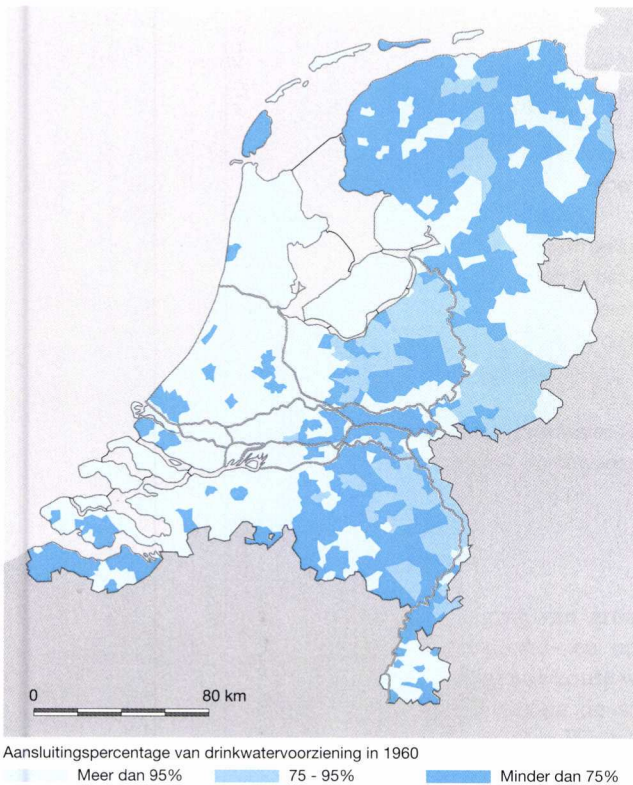
Gebieden waar een openbare drinkwatervoorziening op 1 januari 1899 bestond

(Naar Cals, E.J.J., 1996)



Figuur 8.15

Gebieden waar een openbare drinkwatervoorziening op 1 januari 1949 bestond
(Naar Cals, E.J.J., 1996)



Figuur 8.16.

Aansluitingspercentages aan drinkwaterleidingen op 1 januari 1960
(Naar Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965 (red.), 1967)

In 1996 is het aansluitingspercentage in Nederland boven de 99% gestegen. De ontwikkeling van het huishoudelijk watergebruik per persoon vertoont grote verschillen per provincie.

Tabel 33 Waterverbruik per provincie in 1960 en 1990

Provincie	Aantal inwoners in mln		Aantal inwoners aangesloten op een centr. drinkw. voorzien. in mln		Huishoudelijk verbruik in mln m ³ per jaar		Huishoudelijk verbruik in liters per hoofd per dag	
	1960	1990	1960	1990	1960	1990	1960	1990
Groningen	0,48	0,57	0,44	0,57	17,3	28,1	108	136
Friesland	0,48	0,60	0,44	0,60	15,0	32,2	93	147
Drenthe	0,31	0,40	0,29	0,40	10,0	23,2	94	160
Overijssel	0,77	1,09	0,76	1,09	27,7	46,4	100	117
Gelderland	1,28	1,83	1,05	1,83	30,7	78,9	80	118
Utrecht	0,69	1,11	0,67	1,11	27,7	48,5	113	119
Noord-Holland	2,10	2,31	2,02	2,31	71,5	125,6	97	146
Zuid-Holland	2,71	3,21	2,71	3,21	96,0	147,1	97	126
Zeeland	0,29	0,43	0,27	0,43	9,0	23,9	91	151
Noord-Brabant	1,49	2,18	1,44	2,18	33,2	100,5	63	126
Limburg	0,90	1,10	0,81	1,10	22,0	53,1	75	132
IJsselm. Polders	-	0,17	-	0,17	-	7,5	-	121
Nederland	11,5	15,0	10,9	15,0	360	713,0	90	130

Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965 (red.), 1967 en VEWIN (ed.), 1989 b en VEWIN (ed.), 1991

Verklaring van deze verschillen is niet eenvoudig. Het relatief hoge verbruik in 1990 in Friesland, Drenthe en Zeeland zou kunnen wijzen op het gebruik van leidingwater voor bijvoorbeeld beregening. Het is ook mogelijk dat de getallen worden beïnvloed door het wel of niet bemeteren van de huishoudelijke distributie; bemetering leidt tot een bewuster en daarmee ook geringer watergebruik. Het waargenomen gemiddeld huishoudelijk drinkwaterverbruik in Nederland per hoofd per dag steeg in de periode 1962 - 1996 aanzienlijk: van 95 liter naar 130 liter per hoofd per dag (tabel 34 en figuur 8.8).

Een enquête bij de huishoudelijke verbruikers zelf over het gebruik per hoofd levert hogere getallen op. Zo blijkt het huishoudelijk watergebruik in 1992 op 138 l/hoofd/dag te liggen. In 1995 bedroeg het 134 l/hoofd/dag ¹⁵. De oorzaak van het verschil met de gegevens

Tabel 34 Ontwikkeling hoofdelijk huishoudelijk drinkwatergebruik. Water geleverd door waterleidingbedrijven aan gebruikers die minder dan 300 m³ per jaar afnemen

Jaar	Hoeveelheid in l/hoofd/dag
1962	95
1972	113
1982	117
1992	128
1993	125
1994	126
1995	129
1996	130

VEWIN (ed.), 1989, VEWIN (ed.), 1997 en Ministerie van VROM (ed.), 1994

in tabel 34 ligt besloten in het feit dat bij de gebruikersgroep die minder dan 300 m³ per jaar verbruikt niet alleen huishoudens maar ook kleine bedrijven, zoals winkels, begrepen zijn. In deze categorie wordt per persoon relatief minder verbruikt.

Tabel 35 laat zien waarvoor het huishoudelijk water gebruikt wordt.

Het spreekt vanzelf dat hogere zomertemperaturen gecombineerd met relatief geringe neerslag tot een relatief groter verbruik leiden. Dit wordt geïllustreerd in tabel 36.

Tabel 35 Besteding hoofdelijk huishoudelijk watergebruik in 1995

Aard	Besteding	
	in liters/hoofd/dag	in %
Douche/bad/wastafel	51,5	38,4
W.C.	39	29
Wassen van kleding	27,6	21
Afwas	5,8	4
Maaltijden	2	1,5
Overig	8,2	6,1
Totaal	134,1	100

Achttienribbe, G.E., 1996 en VEWIN (ed.), 1997

Tabel 36 Relatie temperatuur in °C te

De Bilt en huishoudelijk watergebruik in liters/hoofd/dag

Maand	Langjarig gem. temp.	1993 gem. temperatuur	1993 gebruik	1994 gem. temperatuur	1994 gebruik	Stijging t.o.v. 1993 in %
Juni	15,2	15,9	143	15	140	- 2
Juli	16,8	16,1	133	21,4	158	+19
Augustus	16,7	15,2	126	17,6	136	+8
September	14	13,1	130	13,6	130	0

Naar KNMI (ed.), 1993 en CBS (ed.), 1995 a

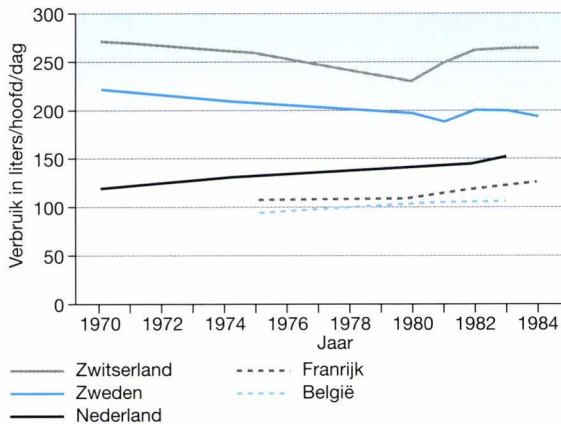
Sinds 1989 blijft de stijging van het gebruik in Nederland achter bij de voorspellingen. De voorspelling uit 1965 van een gemiddeld verbruik van 150 liter per dag per persoon in het jaar 2000 zal niet gerealiseerd worden¹⁶. Het VEWIN voorspelde in haar meest recente raming uit 1994 een verbruik van 136 liter per persoon per dag voor het jaar 2000. De voorlichting en bewustwording hebben kennelijk geresulteerd in een verstandiger en zuiniger omgaan met water. Er zou verondersteld kunnen worden dat de introductie en toenemende verkoop van 'bronwater' in flessen een oorzaak zou kunnen zijn van de stabilisatie in het hoofdelijk gebruik. Gezien het zeer kleine aandeel van consumptie in het totaal van het hoofdelijk gebruik (geschat op 1 à 2%) kan deze toenemende verkoop echter geen oorzaak van enig belang in de stabilisatie zijn.

In vergelijking met andere Europese consumenten nam in 1986 de Nederlander, voor wat betreft de waterconsumptie, met 159 l/hoofd/dag¹⁷ een tussenpositie in.

In de vergelijking presenteren de Belgen zich als het zuinigst met een consumptie van 108 l/hoofd/dag. Dit is ongeveer 68% van het verbruik van de Nederlander. De Zwitser blijkt het meeste water nodig te hebben en wel 264 l/hoofd/dag. Dit is 66% meer dan de Nederlander¹⁸.

De ontwikkeling van het drinkwatergebruik in verschillende Europese landen wordt geïllustreerd in figuur 8.17.





Figuur 8.17

Ontwikkeling van het drinkwatergebruik in een aantal Europese landen (Naar Gast, M.K.H., 1989)

Het toekomstig huishoudelijk watergebruik:

Tabel 37 Totaal landelijk waargenomen (1990) en geraamd toekomstig huishoudelijk gebruik in mln m³ per jaar

Jaar	1990 waarge- nomen	2000 raming 1994	2010 raming 1994	2020 raming 1994
Huishoudelijk gebruik	713	845	933	947

Ministerie van VROM (ed.), 1994

over de vraag of waterleidingbedrijven er naar moeten streven om meer water van een kwaliteit ‘ongeschikt voor consumptie’ te leveren. Het product zou kunnen bestaan uit oppervlaktewater dat minder gezuiverd is dan voor drinkwater nodig is. Hierdoor kan het goedkoper geleverd worden. Bovendien zal bij gebruik van dat water, in deze situatie ook wel ‘huishoudwater’ genoemd, grondwater van een kwaliteit geschikt voor drinkwater bespaard kunnen worden ¹⁹.

In een huishoudelijke omgeving bestaat echter het gevaar van vergissing. Levering van dergelijk water kan daarom gevaar voor de volksgezondheid opleveren. Daarom zou de aanleg van een tweede waterleidingnet noodzakelijk zijn. Daardoor zouden de aansluitingskosten oplopen van de huidige f 120,- tot f 300,- per huishouden per jaar. Daarnaast zal ook de binnenhuisinstallatie aangepast moeten worden. Deze investering is moeilijk te schatten. De totale investeringen die nodig zijn voor een tweede net voor huishoudelijke gebruikers maakt aanleg ervan bij bestaande woningen in de nabije toekomst onwaarschijnlijk ¹⁶.

Aanleg van een gescheiden net bij woningen in aanbouw lijkt, onder bepaalde omstandigheden, wel rendabel te kunnen zijn. Zo is in 1997 in de nieuwbouwwijk Kernhem in Ede door Nuon Water te Velp een tweede leidingnet voor de distributie van ‘huishoudwater’ bij ongeveer 4600 woningen aangelegd. De bron voor de productie van het huishoudwater in deze wijk is afkomstig van het afstromend drainagewater dat vanuit de wijk en vanuit enkele omliggende stedelijke gebieden verzameld wordt. Het afstromend water wordt in een waterpartij aan de rand van de wijk samengebracht. Ten behoeve van de productie van het huishoudwater wordt het ruwwater als oeverinfiltraat onttrokken onder deze waterpartij. Door een eenvoudige beluchting en snelfiltratie zal het ruwwater gezuiverd worden tot huishoudwater ²⁰. De meerkosten voor het distributiedeel zijn in deze wijk geraamd op f 1140,- per woning. Als verdisconteerd wordt dat in de toekomst als bron van de drinkwatervoorziening grondwater gedeeltelijk vervangen zal worden door het duurdere oppervlaktewater, dan is berekend dat de meerkosten per woning niet meer dan f 400,- bedragen. Tegenover deze meerkosten staat een aantal besparingen. Zo zal door vermindering van de benodigde hoeveelheid grondwater minder grondwaterheffing aan rijk en provincie behoeven te worden afgedragen. Dit voordeel zou f 0,40 per m³ huishoudwater bedragen, mits de winning in de wijk niet belast wordt ²¹.

Vooruitlopend op het industrieel watergebruik kan hier al het volgende vermeld worden. Levering van water van een kwaliteit ‘ongeschikt voor consumptie’ aan grootverbruikers zoals de industrie, is in veel situaties voor de afnemer een aantrekkelijke optie. Hierbij wordt in de eerste plaats gedacht aan oppervlaktewater dat minder gezuiverd wordt dan noodzakelijk voor drinkwater.

In 1996 werd door de waterleidingbedrijven niet minder dan 67 mln m³ water van een kwaliteit 'ongeschikt voor consumptie' afgeleverd. Dit is ongeveer 5% van de totale hoeveelheid water in dat jaar afgeleverd. De voorlopige cijfers voor 1997 geven aan dat deze hoeveelheid gestegen is tot 75 mln m³, overeenkomend met ongeveer 6%.

8.4 Industrieel en 'overig aangeleverd' watergebruik

Industrieel watergebruik

Tabel 38 toont het jaarlijkse industriële verbruik in 1960 en prognoses zoals in 1967 opgesteld ²².

Tabel 38 Industrieel watergebruik in 1960 en toekomstige ramingen in mln m³ per jaar.
Schatting uit 1967, exclusief koelwater

Jaar	1960 waargenomen (gemiddeld)	1980 geraamd (gemiddeld)	2000 geraamd (gemiddeld)
Behoefte	700	1600	2700
Eigen winning (waarvan grondwater)	555 (455)	1280 (?)	2160 (?)
Levering door waterleidingmij.	145	320	540

Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965 (red.), 1967

Het werkelijk gerealiseerde industriële gebruik ontwikkelde zich anders:

Tabel 39 Industrieel watergebruik in 1986 in mln m³ per jaar ²³. Koelwatergebruik industrie inbegrepen, exclusief koelwatergebruik in elektriciteitscentrales. Water geleverd door de waterleidingbedrijven.

Bestemming	Herkomst		
	oppervl.water	grondwater	totaal
Koeling	3648	305	3953
Overige	152	13	165
Totaal	3800	318	4118

Beugelink, G.P., F.A.M. Claessen & J.H.C. Mülschlegel (RIVM, RIZA), 1992

In 1986 bedroeg het totale, door de waterleidingbedrijven geleverde industriële waterverbruik exclusief koelwater niet meer dan 165 mln m³ (tabel 39). Dit is slechts 52% van de raming uit 1967 voor 1980.

Het verbruik inclusief koelwater bedroeg in 1986 4118 mln m³, waarvan 318 mln m³ aan het grondwater en 3800 mln m³ aan het oppervlaktewater onttrokken werd. Hierbij is echter de zeer grote hoeveelheid oppervlaktewater die voor koeling in de elektriciteitscentrales gebruikt

werd nog niet inbegrepen. In 1986 was 96% (3953 mln m³) van het industrieel gebruik voor koeldoeleinden bestemd. De meest recente raming uit 1994 blijft achter bij de raming die in 1967 werd gemaakt (tabel 40).

Tabel 40 Watergebruik industrie en COAR in 1990 en toekomstige raming in mln m³ per jaar. Water geleverd door de waterleidingbedrijven. Schatting uit 1994, exclusief koelwater

Jaar	1990 waargenomen	2000 geraamd	2010 geraamd	2020 geraamd
Industrie	162	154	216	311
COAR incl. MKB	292	333	450	623
Totaal	454	487	666	934

Ministerie van VROM (ed.), 1994

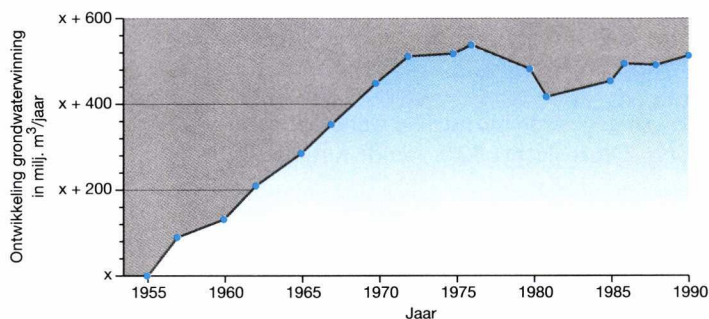
Het achterblijven bij de oude raming is ongetwijfeld een gevolg van een achteruitgang van het aantal bedrijven in de water-intensieve sectoren zoals de textielindustrie. Daarnaast zijn ook de industriële gebruikers tegenwoordig zuiniger met water dan voorheen (tabel 41). Dit is voornamelijk een gevolg van het in werking treden van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO) in 1970. De invoering in 1995 van heffingen op eigen onttrekkingen van grondwater gaf de besparing een nieuwe impuls.

Tabel 41 Enkele voorbeelden van waterbesparing in de Nederlandse industrie

Industrietak	Verbruik (jaar)	Verbruik in 1990
Zuivel	9,2 l/kg (1975)	4,0 l/kg
Diepvries	52 m ³ /ton (1972)	18 m ³ /ton
Bier	10,7 hl/hl (1980)	6,5 hl/hl
Papier	80 m ³ /ton (1962)	16 m ³ /ton

IPO-Projectgroep A86 (red.), 1994

Uit *figuur 8.18*, een beeld van de ontwikkeling van de eigen winning van industrie en COAR, blijkt dat deze eigen winning tussen 1975 en 1990 niet toegenomen is.



Figuur 8.18

Ontwikkeling van de eigen grondwaterwinning van industrie en COAR in de periode 1955 - 1990. Situatie 1955 als uitgangspunt genomen (Naar Beugelink, G.P., F.A.M. Claessen & J.H.C. Müschlegel (RIVM, RIZA), 1992)

Uit deze figuur zou afgeleid kunnen worden dat de eigen grondwaterwinning door de industrie in 1990 meer dan 500 mln m³ per jaar bedroeg. Andere bronnen vermelden echter een aanzienlijk kleinere hoeveelheid. Uit een opgave van de geregistreerde onttrekkingen per provincie wordt een landelijke hoeveelheid van 342 mln m³ per jaar verkregen ²⁴.

Voor 1991 werd een opgave van niet meer dan 206 mln m³ per jaar gevonden ²⁵. De verwachting is dat de geregistreerde industriële eigen winning van grondwater, in het jaar 2000 niet meer dan 200 mln m³ per jaar zal zijn.

Zoals reeds vermeld in paragraaf 8.3 zijn er recentelijk waterleidingbedrijven die water van een kwaliteit 'ongeschikt voor consumptie' ook wel als 'ander water' of 'industriewater' bekend aan bedrijven leveren. In 1996 werd duidelijk dat een aantal waterleidingbedrijven de verkoop van dit 'industriewater' aan bedrijven nog verder zal uitbreiden. De N.V. Waterleidingmaatschappij Noord-West-Brabant verwacht de afzet van industriewater in West-Brabant zelfs te verdubbelen van 2,5 miljoen m³ in 1996 tot 5 miljoen m³ per jaar in 2000. De landelijke ontwikkeling van deze leveringen wordt geïllustreerd in onderstaande tabel 42.

Tabel 42 Ontwikkeling van de levering door waterleidingbedrijven van 'industriewater'

Jaar	Waterleidingbedrijf	Afnemer	Hoeveelheid in mln m ³ per jaar
1957	WRK	Hoogovens	40
		Crown-Van Gelder (Velsen)	10
		Havens West (GWA)	5
1973	WBE	Demiwater AVR	7
1989	WNWB/DeltaN	GEP, Bergen op Zoom	4
1991	DeltaN	Dow, Hydro Agri, Terneuzen	6
1993	DeltaN	Total, Pechiney, Vlissingen	7
1996	WNWB	Shell, Moerdijk	2
1996	Waprog	Akzo, Veendam	9

Dijk, J.C. van & F.L. Schulting, 1997

Hierbij dient aangemerkt te worden dat levering van dit 'industriewater' tot op heden voor de waterleidingbedrijven economisch weinig rendabel blijkt te zijn ²⁵.

Bij waterleveranties aan zwembaden overweegt men momenteel uit milieu- en economisch oogpunt om brak grondwater aan te gaan wenden. Het gaat hierbij om een geschatte hoeveelheid van 16 mln m³ per jaar. Toepassing van dergelijke water zal echter pas na wijziging van het bestaande vergunningstelsel mogelijk zijn.

'Overig aangeleverd' watergebruik

De waterleidingbedrijven leveren naast huishoudens en industrie nog aan een derde groep gebruikers. Het gaat hier om niet betalende verbruikers als de brandweer. Daarnaast zijn er verliezen ten gevolge van lekkage of foutieve bemetering. Deze hoeveelheden zijn in tabel 43 weergegeven als 'overig verbruik'.

Tabel 43 Totaal waargenomen 'overig verbruik' 1990 en ramingen in mln m³ per jaar

Jaar	1990 waargenomen	2000 geraamd	2010 geraamd	2020 geraamd
Overig	70	91	104	120

Ministerie van VROM (ed.), 1994

8.5 Agrarisch en particulier grondwatergebruik

Naast water dat door de waterleidingbedrijven geleverd wordt en naast industriële onttrekkingen, onttrekt de agrarische sector grondwater voor beregening. Het grootste deel van deze agrarische onttrekkingen betreft individuele, relatief kleine onttrekkingen. Betrouwbare gegevens hierover ontbreken. Wel is duidelijk dat dit gebruik de laatste jaren toeneemt (*figuur 8.25*). Een nauwkeurige controle op een verplichte landelijke registratie en bemetering van alle agrarische en particuliere grondwateronttrekkingen zou een duidelijker beeld kunnen opleveren.

Naast de agrarische sector zijn er ook particulieren die over een put op hun terrein beschikken. Dit water wordt meestal gebruikt voor het besproeien van de tuin, het wassen van de auto en dergelijke. Het betreft voornamelijk pompcapaciteiten minder dan 10 m³ per uur. Er is een veronderstelling dat dergelijke particulieren ongeveer 225 m³ per jaar zouden onttrekken ²⁶. Er zijn in Nederland grote verschillen in het aantal particuliere putten per vierkante kilometer. Het spreekt vanzelf dat de putdichtheid in de agrarische gebieden het grootst is. Opvallend is het aantal, van 148 particuliere putten in de gemeente Goedereede (15 384 ha, waarvan 7200 ha land) in de provincie Zuid-Holland ²⁷. Met deze putten wordt als regel uit het bovenste watervoerend pakket onttrokken. Ten gevolge van de toegenomen verontreiniging van het ondiepe grondwater mag verondersteld worden dat het hiermee opgepompte grondwater nog slechts op enkele plaatsen als drinkwater gebruikt wordt. Het is niet mogelijk een betrouwbare landelijke kwantitatieve schatting van de door deze particulieren onttrokken hoeveelheden te verkrijgen, aangezien slechts een beperkt aantal van deze onttrekkingen aangemeld wordt. Dit zal in hoofdstuk 14 nader worden toegelicht. Op basis van provinciale opgaven zou een overzicht opgesteld kunnen worden van het aantal geregistreerde putten en mogelijk ook van de totaal geïnstalleerde pompcapaciteit per gemeente. Maar gezien het feit dat niet alle putten, noch de capaciteit van de geïnstalleerde pompen geregistreerd worden is de betrouwbaarheid van deze opgaven beperkt. Gegevens over het aantal pompuren ontbreken eveneens. Daarom is een uitspraak over de hoeveelheid onttrokken grondwater niet mogelijk ²⁸.

Alvorens in te gaan op het gebruik van grondwater in de agrarische sector is het op zijn plaats om in het kort de structurele veranderingen in deze sector gedurende de laatste twintig jaar te behandelen. Er is sprake geweest van een sterke reductie van zowel het aantal bedrijven, het areaal cultuurgrond, als van het aantal personen werkzaam in deze sector.

Tabel 44 Reductie in de agrarische sector

	1974	1994
Aantal bedrijven	166 197	116 184
Areaal cultuurgrond	2 092 000 ha	1 971 400 ha
Aantal arbeidsplaatsen	323 601	220 921

CBS (ed.), 1975 en CBS (ed.), 1995

De daling van het aantal bedrijven, de vermindering van het areaal en de vermindering van het aantal arbeidsplaatsen heeft niet geleid tot een daling van het productievolume. Het productievolume in de agrarische sector is in de laatste jaren zelfs aanzienlijk toegenomen. Deze productiegroei wordt niet alleen geïllustreerd in de veranderingen in de omvang van de veestapel maar nog meer in de groei van wat bekend staat als: ‘de toegevoegde waarde van de totale productie (excl. subsidies) in de land- en tuinbouw en het agrarisch inkomen’.

Tabel 45 Productie-ontwikkeling in de agrarische sector

	1974	1994
Rundvee	4 979 000	4 716 000
Varkens	6 719 000	14 565 000
Schape	749 000	1 766 000
Kippen	62 388 000	91 905 000
Landelijke toegevoegde waarde in de land- en tuinbouw en het agrarisch inkomen in mln gld.	17 530	38 290

CBS, 1975 en CBS, 1995

Uit deze twee tabellen blijkt overduidelijk hoezeer de Nederlandse agrarische sector intensiever geworden is. Deze intensivering had consequenties voor het grondwaterverbruik.

De recente grote toename van het gebruik van grondwater in de agrarische beregening kent twee oorzaken:

1. de intensivering van de landbouw
2. de tariefstijging van het door de waterleidingbedrijven geleverde water

Deze aspecten hebben veroorzaakt dat het omslagpunt waarbij een eigen grondwaterwinning rendabel wordt, de laatste jaren gedaald is van 3500 tot 2400 m³ per jaar ²⁵.

De grondwateronttrekkingen voor beregening hebben een geheel ander karakter dan de onttrekkingen ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening. De agrarische onttrekkingen zijn nauw verbonden met klimatologische omstandigheden als neerslag en verdamping: ze kunnen van jaar tot jaar sterk verschillen. Bovendien zijn er grote verschillen in de onttrokken hoeveelheid binnen het groeiseizoen, dat van april tot eind september loopt. De onttrekking vindt veelal op geringere diepte plaats dan die van de openbare drinkwatervoorziening.

Sommigen stellen dat de beide vormen van onttrekking vanwege deze verschillen niet opgeteld mogen worden ²⁹. Alle onttrekkingen putten echter uit dezelfde ‘beschikbare hoeveelheid zoet grondwater’. Optelling is daarom wel degelijk relevant.

In 1984 werd voor het eerst een schatting gemaakt van de grondwateronttrekkingen ten behoeve van beregening ³⁰.

Tabel 46 Behoefte zoet grondwater in mln m³ per jaar. Opgesteld in 1984

Provincie	Behoefte 1976 waargenomen				Behoefte 1990 geraamd		
	Winbaar geachte hoeveelh.	Drinkwater + industrie	Landbouw veelj. gem.	Totale behoefte	Drinkwater + industrie	Landbouw veelj. gem.	Totale behoefte
Groningen	78	67	0	67	69	7	76
Friesland	131	59	0	59	77	30	107
Drenthe	187	48	4	52	64	49	113
Overijssel	165	99	8	107	126	73	199
Gelderland	395	216	21	237	274	114	388
Utrecht	134	89	2	91	125	14	139
N-Holland	58	58	0	58	58	0	58
Z-Holland	130	83	1	84	111	1	112
Zeeland	6	6	0	6	6	0	6
N-Brabant	430	272	37	309	318	175	493
Limburg	193	115	13	128	138	80	218
Flevoland	33	5	0	5	16	4	20
Nederland	1940	1117	86	1203	1382	547	1929

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1985

Naast deze hoeveelheden die betrekking hebben op een veeljarig gemiddelde werden ook getallen gepresenteerd voor een droog jaar en een extreem droog jaar ³¹.

Tabel 47 Grondwaterbehoefte van de landbouw in Nederland in mln m³ per jaar. Opgesteld in 1984

Veeljarig. gem.	Behoefte in 1976		Toekomstige behoefte (1990)		
	Droog jaar	Extreem droog jaar	Veeljarig gem.	Droog jaar	Extreem droog jaar
86	148	259	547	892	1570

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1985

Voorbeelden van de beregeningsproblematiek

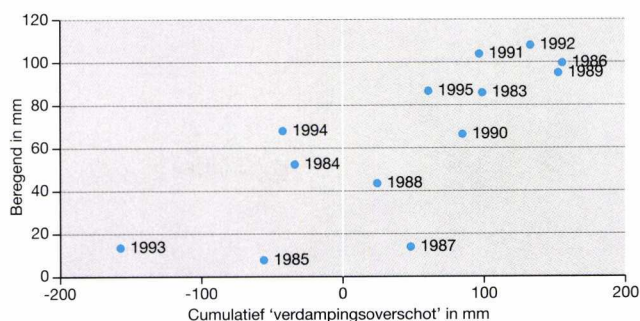
De berekening in de agrarische sector staat tegenwoordig in de belangstelling. Gegevens uit Overijssel en Noord-Brabant geven een kwantitatief beeld.

Overijssel

Het eerste voorbeeld komt uit Overijssel. De getallen zijn gebaseerd op schattingen uit het 'Rapport Berekening in Overijssel, 1995' ³². Onttrekking van grondwater voor berekening is afhankelijk van meerdere factoren, met als belangrijkste de meteorologische omstandigheden, met name neerslag en verdamping in de periode april tot en

Figuur 8.19

Cumulatief verdampingsoverschot in mm over de zomerperiode ten opzichte van de beregeningsgift in mm gedurende dezelfde periode in de provincie Overijssel
(Naar Provincie Overijssel (ed.), 1996)



met september. Figuur 8.19 geeft het cumulatieve verdampingsoverschot over de maanden april tot en met september voor de jaren 1983 - 1995, vergeleken met de beregeningsgift. Uit de figuur blijkt dat in de zomers van 1984 en 1994 relatief veel beregend werd, in de zomer van 1987 relatief weinig.

Tabel 48 Beregening in de provincie Overijssel

Jaar	Oppervlak beregend met grondwater in hectare	Oppervlak beregend met oppervlaktewater in hectare	Totale beregende oppervlak in hectare	Aantal beregeningsinstallaties	Hoeveelheid gebruikt grondwater in mln m ³	Hoeveelheid gebruikt oppervlaktewater in mln m ³	Totale hoeveelheid water gebruikt bij de beregening in mln m ³
1983	17 750	12 853	30 603	2329	14,5	10,5	25
1984	19 049	13 794	32 843	2479	9,6	7	16,6
1985*	20 050	15 033	35 083	2630	7	5	12
1986	21 049	15 242	36 291	2693	19,8	14,4	34,2
1987	21 750	15 750	37 499	2756	2,8	2,1	4,9
1988	23 224	15 483	38 707	2820	9,5	6,3	15,8
1989	23 949	15 966	39 915	2883	21,4	14,3	35,7
1990	24 674	16 449	41 124	2946	16,4	11	27,4
1991	25 399	16 933	42 332	3009	26,2	17,4	43,6
1992	26 124	17 416	43 540	3039	28,4	19	47,4
1993*	27 744	17 004	44 748	3039	3,8	2,3	6,1
1994**	24 970	15 304	40 273	2798	17,9	11	28,9
1995**	22 195	13 604	35 799	2557	20,7	12,7	33,4

* De beregend oppervlakte in deze jaren (1985 en 1993) berust op CBS metelling. In de overige jaren berusten de getallen op provinciale schattingen.

** Voorlopige opgave.

Naar Provincie Overijssel (ed.), 1996

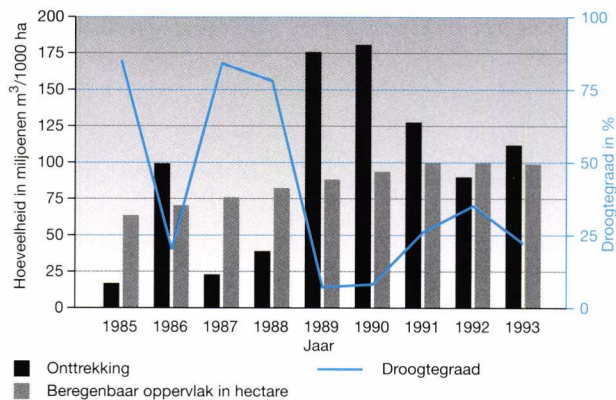
Gemiddeld werd per beregende hectare per jaar 665 m³ water gebruikt. De veronderstelling is dat dit voor 60% grondwater betref. Dit betekent 400 m³ grondwater per hectare per jaar.

Sinds 1993 is het beregend oppervlak afgenomen. Dit kan zowel komen door de afname van het aantal landbouwbedrijven als door een bewuster gebruik van de beregeningsinstallaties. Ook een verandering in de nauwkeurigheid van opgave door de grondeigenaars kan een rol gespeeld hebben. De hoeveelheid water die bij deze beregening gebruikt wordt neemt echter toe. In een de rapportage van de Provincie uit 1997 wordt de schatting van de hoeveelheid gebruikt water voor 1995, zoals in bovenstaande tabel weergegeven, gecorrigeerd. Uit dit rapport blijkt

dat in 1995 26 mln m³ grondwater en 16 mln m³ oppervlaktewater voor agrarische beregening gebruikt werd. Gesommeerd blijkt aldus in 1995 niet minder dan 42 miljoen m³ water gebruikt te zijn ³³.

Noord-Brabant

In Noord-Brabant zijn de getallen gebaseerd op schattingen uit de voortgangsrapportage 'beperking van het gebruik van grondwater' ³⁴. Aangenomen wordt, dat 75% van alle landelijk geïnstalleerde beregeningsinstallaties zich in de provincie Noord-Brabant bevindt ³⁵. Daarom kunnen deze gegevens een landelijk belang hebben. Figuur 8.20 geeft de relatie tussen de droogtegraad, het 'beregengbare' oppervlak en de berekende hoeveelheid beregening uit grondwater in bepaalde jaren. Het aantal beregeningsinstallaties en het 'beregengbare' oppervlak zijn hier gegroeid mede omdat in toenemende mate ook grasland beregend werd.



Figuur 8.20

Ontwikkeling in de grondwateronttrekkingen voor de beregening in de periode 1985 - 1993, alsmede het beregenbaar oppervlak (Naar Provincie Noord-Brabant (ed.), 1993-1994)

Tabel 49 Beregening van grasland in de provincie Noord-Brabant

	Provinciale doelstelling (=streefgetal)	Omvang 1985	Feitelijke omvang 1994 (geschat)
Aantal installaties	6 839	6 839	10 000
Beregengbaar oppervlak (ha)	64 422	64 422	100 140

Naar Provincie Noord-Brabant (ed.), 1993-1994

De, door de provincie erkende, omvang en groei van het grondwatergebruik voor beregening wordt in figuur 8.21 weergegeven.

Tabel 50 Onttrokken hoeveelheden grondwater in Noord-Brabant in mln m³ per jaar, droogtegraad in %. Oppervlakte van de provincie 5083 km²

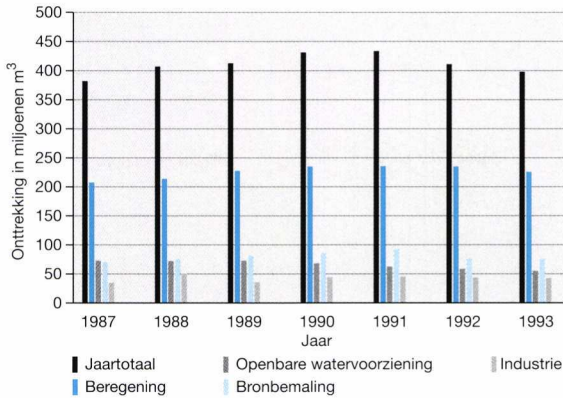
Categorie	Doelstelling (streefgetal) (50%)	1987 (84%)	1988 (78%)	1989 (7%)	1990 (8%)	1991 (26%)	1992 (35%)	1993 (22%)
Beregening	39	23	39	176	181	128	91	113
overige	319	313	334	334	347	343	331	326
Totaal	358	336	373	510	528	471	422	439
Procentueel aandeel beregening	11	7	11	35	34	27	21	26

Naar Provincie Noord-Brabant (ed.), 1993-1994

Voor 1994 heeft de Provincie vastgesteld dat in Noord-Brabant 120 mln m³ grondwater ten behoeve van beregening onttrokken werd. Dit jaar geldt als een 20% droog jaar ³⁶.

Regio ten zuiden van Tilburg

Wanneer een Noord-Brabantse situatie meer in detail bestudeerd wordt, ontstaat een ander beeld. De N.V. Tilburgsche Waterleiding Maatschappij heeft voor de landbouwregio ten zuiden van Tilburg een regionale studie uitgevoerd. De regio heeft een oppervlakte van ongeveer 7000 hectare en leverde opmerkelijke getallen op.



Figuur 8.21

Registratieplichtige en/of vergunningplichtige grondwateronttrekkingen in Noord-Brabant in de periode 1987 - 1993, beregening genormeerd naar een 50% droogtegraad (Naar Provincie Noord-Brabant (ed.), 1993-1994)

Tabel 51 Onttrekking voor beregening in een regio van 7000 hectare ten zuiden van Tilburg

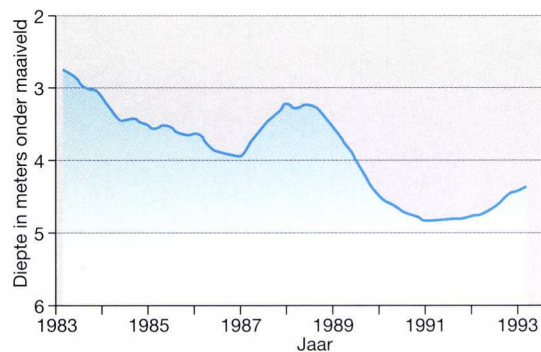
Periode	Gemiddelde jaarlijkse onttrekking voor beregening in mln m ³ per jaar (gebaseerd op het geïnstalleerd vermogen van de pompen en op het aantal pompen)
1964 t/m 1973	1,7
1974 t/m 1983	7,55
1984 t/m 1993	12,73

Edelman, D.H., 1994

Uit dit overzicht kan afgeleid worden dat de boeren in deze regio over de periode 1984 tot en met 1993 gemiddeld 1819 m³ grondwater per hectare per jaar voor beregening gebruikten. Dit is een factor 4,5 meer dan in het Overijsselse voorbeeld.

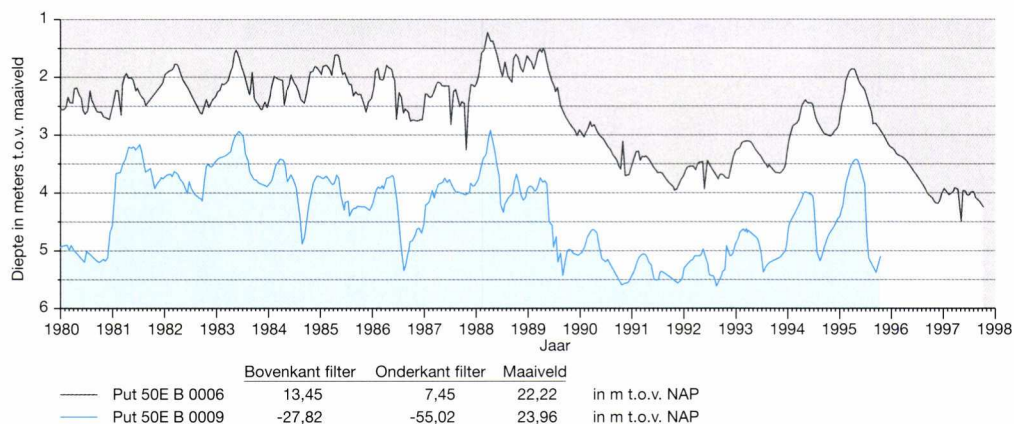
Het totale besproeide oppervlak in de gehele provincie Noord-Brabant wordt geschat op 100 000 hectare ³⁵.

Met de weergave van tijdstijghoogtelijnen wordt de ernst van de situatie in de betreffende regio weergegeven. Als voorbeeld werden twee putten (T-A1/1 en 50E B 0009) beide dicht bij elkaar aan de rand van het dorp Alphen, ten zuiden van Tilburg, gekozen en één put (50E B 0006) op een afstand van ongeveer 1200 m ten noordwesten van dit dorp (figuur 8.22, 8.23 en 8.24).



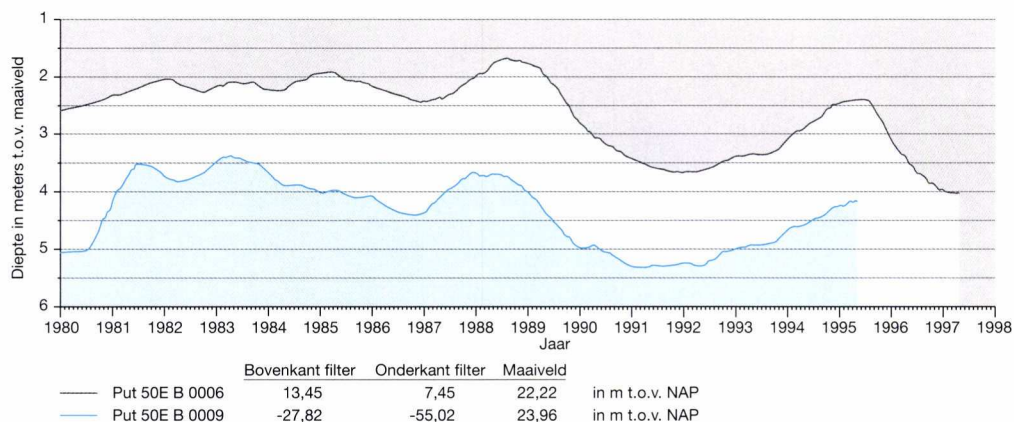
Figuur 8.22

Tijdstijghoogtelijn van put T-A1/1 te Alphen (voortschrijdend gemiddelde)
(Naar Edelman, D.H., 1994)



Figuur 8.23

Tijdstijghoogtelijn van put 50E B 0009 en 50E B 0006 resp. te Alphen en ten noordwesten van Alphen (Archief van Grondwaterstanden, NITG-TNO, Delft)



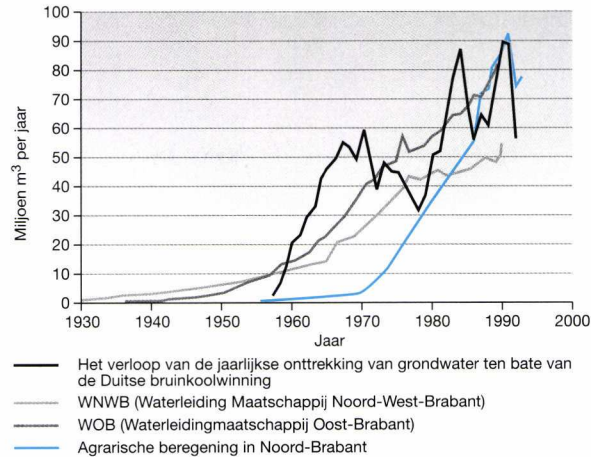
Figuur 8.24

Tijdstijghoogtelijn van put 50E B 0009 en 50E B 0006 resp. te Alphen en ten noordwesten van Alphen (voortschrijdend gemiddelde) (Archief van Grondwaterstanden, NITG-TNO, Delft)

Bij het zien van de gepresenteerde tijdstijghoogtelijnen van de putten T-A1/1 en 50E B 0009 lijkt lokaal een langzaam herstel van de stijghoogte na 1992 ingezet. Helaas zijn geen grondwaterstandsgegevens in de put 50E B 0009 na september 1995 waargenomen. Als de gegevens van de nabij gelegen put 50E B 0006 mee in beschouwing genomen worden, zou geconstateerd kunnen worden dat deze vermeende trend zich na 1995 niet voortzet. In de omgeving van deze putten zijn geen grondwateronttrekkingen van waterleidingbedrijven. De daling is daarom volgens het onderzoek van D.H. Edelman voornamelijk toe te schrijven aan de agrarische onttrekkingen³⁵. De overige variabelen mogen echter niet worden onderschat. Ook de klimatologische invloeden worden in de variaties van het grondwater niveau weerspiegeld. Stijgingen en/of dalingen zijn in een dergelijke tijdstijghoogtelijn daardoor niet alleen een gevolg van variatie in onttrekkingen. Het spreekt bijna vanzelf dat deze publicatie ook reacties opriep³⁷.

Uitgaande van de hierboven gepresenteerde hoeveelheden grondwater gebruikt bij berekening in de regio ten zuiden van Tilburg, resulteert in de schatting dat in een 10% droog jaar in heel Noord-Brabant niet minder dan 322 mln m³ per jaar voor berekening onttrokken zou worden³⁵. Anderen schatten de agrarische onttrekking overigens lager in³⁸.

De grote toename van de agrarische grondwateronttrekkingen in de provincie Noord-Brabant wordt nog verduidelijkt in *figuur 8.25*. De onttekingen ten behoeve van de bruinkoolwinning in Duitsland, voor de openbare watervoorziening en voor beregening worden in deze figuur in hun onderlinge relatie weergegeven.



Figuur 8.25

De ontwikkeling van hoeveelheden onttrokken grondwater in Zuid-Nederland (Naar Stuurman, R.J., e.a., 1996 a)

Zoals al vermeld wordt verondersteld dat driekwart van de Nederlandse beregeningsinstallaties in Noord-Brabant staat opgesteld, zo geven de gegevens over deze provincie een indicatie van de landelijke situatie ³⁵. Vanuit deze gegevens geredeneerd zouden de landelijke grondwateronttekingen ten behoeve van beregening geschat kunnen worden op maximaal 429 mln m³ per jaar in een zeer droog jaar (10% droogtegraad). De gegevens van deze schatting worden niet door alle deskundigen bevestigd, maar vinden wel steun ³⁹.

Er bestaat ook een landelijke schatting die is gebaseerd op een enquête. In een zeer droog, bijvoorbeeld een 10% droog jaar, komt men hierbij op een totale onttrekking van grondwater door de landbouw van niet meer dan 210 mln m³ per jaar. De raming voor de tuinbouw-bedrijven wordt gesteld op een maximale onttrekking van 4 mln m³ per jaar ⁴⁰. Een derde schatting ligt hierbij dicht in de buurt ⁴¹.

Bij beschouwingen over de beregening is het van belang om na te gaan of deze onttekingen 'definitief' aan de grondwatervoorraad onttrokken worden of slechts tijdelijk. De aanname is, dat bij freatische winning 30 - 50% van het onttrokken water verdampt of in het gewas wordt opgenomen. 50 - 70% komt dus weer in de onverzadigde zone terecht. In het najaar, wanneer er een neerslagoverschot optreedt, wordt dit water weer aan het verzadigde systeem toegevoegd. Hierdoor zal de grondwaterstand op de beregende percelen in het najaar sneller stijgen dan op de onberegende ⁴².

Tabel 52 *Schattingen grondwatergebruik agrarische sector (eigen winning) in mln m³ per jaar, inclusief de glastuinbouw, in een 10% droog jaar*

Auteur	Hoeveelheid
Edelman / v.d. Akker	400 - 500
Feddes	217
Dijk, Ploeger en Hoogeveen	214

Bij diepere, dus niet-freatische winning zoals op de hogere zandgronden in Noord-Brabant, zal niet meer dan een gering percentage uiteindelijk in de diepere aquifer terugkeren ³⁶. In Nederland vindt beregening voornamelijk plaats op deze hogere zandgronden. Er worden op deze manier zulke aanzienlijke hoeveelheden water verbruikt, dat andere oplossingen noodzakelijk zullen worden. Vooral in Noord-Brabant is sprake van een zorgwekkende situatie. De provinciale autoriteiten nemen daarom in deze provincie sinds 1997 maatregelen om samen met alle betrokkenen een duurzame watervoorziening voor de toekomst veilig te stellen ⁴³.

8.6 Grondwatergebruik bij bronbemalingen en bij bodem- en grondwatersaneringen

Deze onttrekkingen hebben een lokaal karakter en zijn van relatief korte tijdsduur. Meestal niet meer dan enkele maanden.

In een rapport van het Interprovinciaal Overleg IPO dat in 1994 verscheen wordt opgegeven dat voor dit doel in 1990 landelijk 95 miljoen m³ grondwater werd opgepompt ⁴⁴. Hierbij is zeer waarschijnlijk een hoeveelheid van ongeveer 20% brak water inbegrepen.

8.7 Grondwatergebruik door de natuurlijke vegetatie en door waterstaatkundige maatregelen

Grondwatergebruik door de natuurlijke vegetatie

De hoeveelheid grondwater die voor het in stand houden van de natuurlijke vegetatie nodig is, valt moeilijk te kwantificeren. De plantengroei wordt voor het grootste deel niet rechtstreeks vanuit de aquifers gevoed. Voeding vindt eerder plaats door neerslagwater dat zich tijdelijk in de onverzadigde zone bevindt. Dit zou tot de voorbarige conclusie kunnen leiden dat er geen relatie bestaat tussen plantengroei en het freatisch grondwater.

De werkelijkheid is aanzienlijk gecompliceerder. Er zijn namelijk grote gebieden in Nederland waar de vegetatie wel degelijk mede uit de verzadigde zone gevoed wordt. Het gaat daarbij om de gebieden waar het freatisch vlak relatief ondiep ligt en om de kwelgebieden met hun specifieke vegetatie.

Het is met name de vegetatie in deze kwelgebieden die de laatste jaren grote veranderingen heeft ondergaan.

Ingrepen van de mens, bijvoorbeeld het graven van afwateringskanalen en het inrichten van pompstations, kunnen de stromingsrichting van het grondwater veranderen waarmee de vochthuishouding van de vegetatie beïnvloed wordt.

Figuur 8.26 verduidelijkt deze verandering in de stromingsrichting van het grondwater.

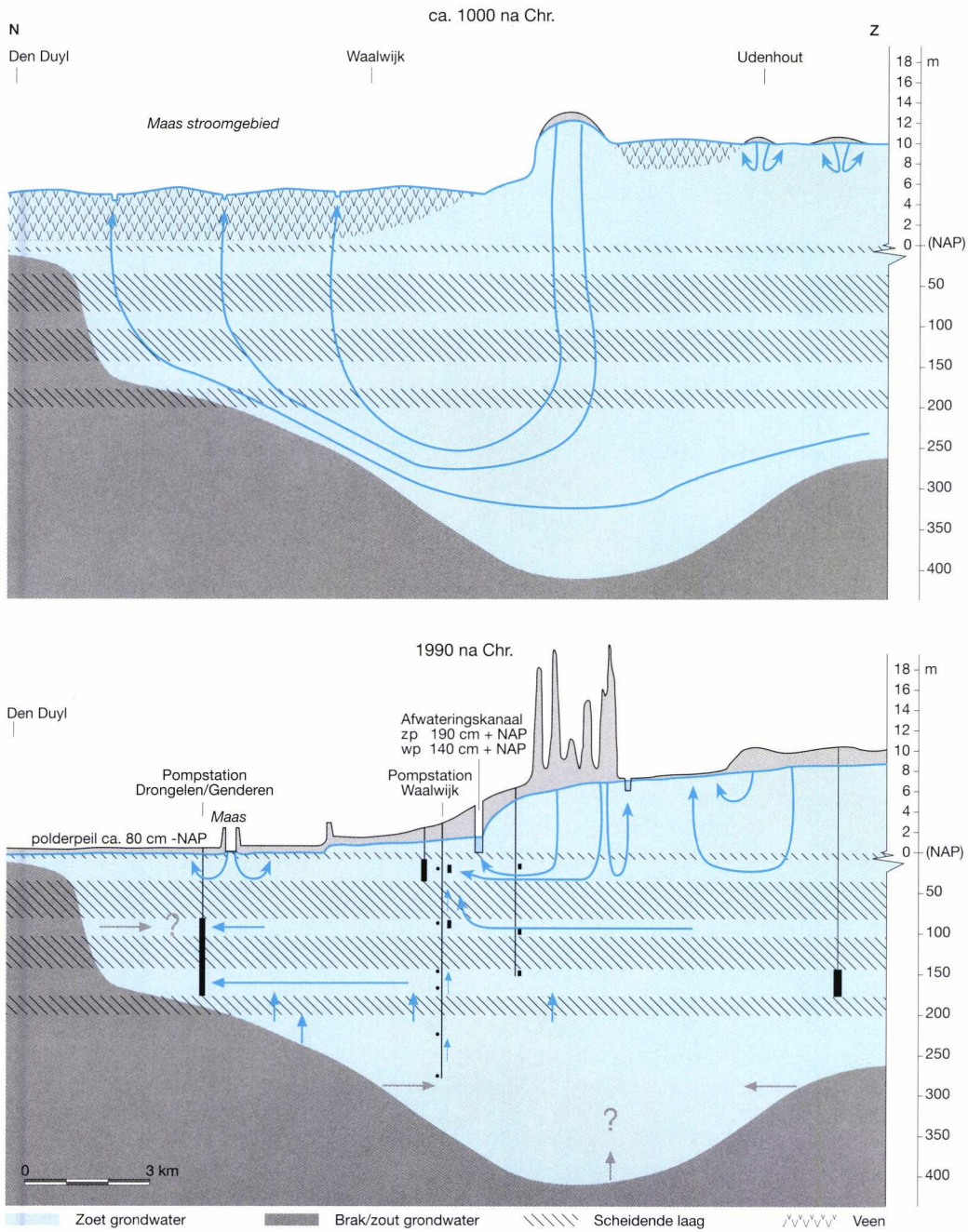
Daarbij komt dat, in bepaalde regio's, de totale onttrekkingen aanzienlijk zijn toegenomen. Hierdoor is voor de oorspronkelijke vegetatie minder grondwater beschikbaar. Dit alles heeft tot gevolg dat de kwel afneemt of zelfs geheel verdwijnt; er treedt verdroging op. Het heeft ook tot gevolg dat de chemische samenstelling van het kwelwater verandert. Gedurende de laatste vijftien jaar is daardoor met name in de natte kwelgebieden de vegetatie veranderd.

Grondwatergebruik door waterstaatkundige maatregelen

Op veel plaatsen in Nederland vindt doelbewuste kunstmatige verlaging van het freatische grondwaterniveau plaats. Een groot deel van deze waterverplaatsing betreft brakke en zoute kwel. Uiteraard komt door deze waterstaatkundige maatregelen ook zoet grondwater naar de oppervlakte ⁴⁵.

8.8 Totaalbeeld van het grondwatergebruik

Van het totale gebruik van grondwater in Nederland is een globale schatting te maken. Uitgangspunt daarbij kan bijvoorbeeld de totale levering van zoet water door waterleidingbedrijven zijn (*tabel 53*).



Figuur 8.26

De grondwatersituatie in de omgeving van de Drunense Duinen (prov. Noord-Brabant) vroeger en nu (Naar Stuurman, R.J., e.a., 1996 a)

Tabel 53 Totale levering zoet water door waterleidingbedrijven in mln m³ per jaar.
Grondwater + oppervlaktewater

Jaar	1990 schatting in 1965	1990 gerealiseerd	2000 schatting in 1965	2000 schatting in 1994	2010 schatting in 1994	2020 schatting in 1994
Huishoudelijk	825*	713	1050	845	933	947
Industrie, COAR incl. MKB	2150*	454	2700	487	666	934
Overig	-	70	-	91	104	120
Totaal	2975*	1237	3750	1423	1703	2001

* Interpolatie van de opgegeven schattingen voor 1980 en 2000.

Naar ministerie van VROM (ed.), 1994

In 1990 werd ongeveer tweederde van de levering door waterleidingbedrijven gedekt door grondwater. Voor 1990 betekende dit een leverantie van 847 miljoen m³ grondwater per jaar ⁴⁶. Uitgaande van de prognose van het ministerie van VROM opgesteld in 1994 zal bij een ongewijzigd percentage in 2000, dit leiden tot een grondwateronttrekking door de waterleidingbedrijven van $\frac{2}{3} \times 1423 =$ ongeveer 950 mln m³ per jaar ⁴⁷. Afgezet tegen de berekening van de voor winning beschikbare hoeveelheid zoet grondwater van 1900 - 1950 mln m³ per jaar luidt de conclusie dat de beschikbare hoeveelheid de onttrekkingen ruimschoots dekt.

Deze schatting van de jaarlijkse onttrekkingen door de waterleidingbedrijven laat de eigen onttrekkingen buiten beschouwing. Het betreft de eigen onttrekkingen van de industrie, van de agrarische sector, van particulieren en die ten behoeve van bronbemalingen en saneringen. De totale industriële eigen onttrekkingen zullen enigszins gelijk blijven. Een schatting van 200 mln m³ per jaar in het jaar 2000 lijkt op zijn plaats. De onttrekkingen ten behoeve van beregening en door particulieren zullen mogelijk nog toenemen. Ze vertegenwoordigen in een 10% droog jaar een geschatte hoeveelheid van 450 mln m³ per jaar. De onttrekking ten behoeve van bronbemalingen en saneringen wordt geschat op 75 mln m³ per jaar. Zo komt de geschatte totale grondwateronttrekking op 1674 mln m³ per jaar in het jaar 2000 (tabel 54).

Recente gegevens met betrekking tot de leverantie door de waterleidingbedrijven duiden erop dat het totale volume afgeleverd water stabiliseert en ten opzichte van 1990 zelfs is afgenomen ⁴⁸. Als deze ontwikkeling zich voortzet en geleidelijk ook het aandeel oppervlaktewater nog meer toeneemt dan zal er in het jaar 2000 minder grondwater verbruikt worden dan in tabel 54 aangegeven. De totale hoeveelheid onttrokken grondwater zal dan bij dezelfde randvoorwaarden niet boven 1500 mln m³ per jaar in het jaar 2000 uitkomen.

Ook van de kant van de overheid is er een streven de landelijke groei van de grondwaterwinning na het jaar 2000 te laten eindigen ⁴⁹. Effectieve maatregelen, zowel gericht op besparing, op hergebruik van water als op het verder vergroten van het aandeel oppervlaktewater zullen noodzakelijk zijn om dit te realiseren.

Het RIVM heeft, in het kader van de Nationale Milieuverkenning 1993 - 2015, aan de hand van lange-termijn-scenario's van het CPB (Centraal Planbureau) een voorspelling gedaan over het toekomstig watergebruik (tabel 55 en figuur 8.27).

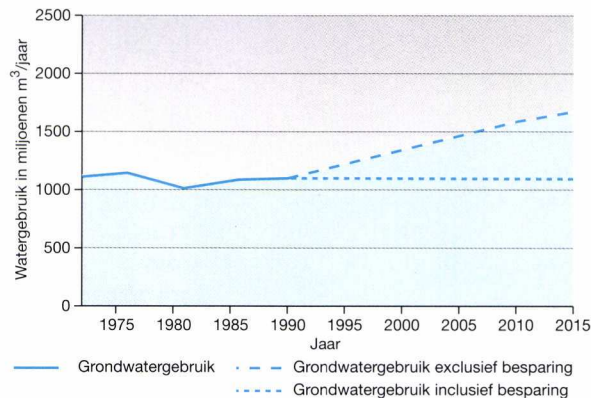
Tabel 54 Prognose totale Nederlandse grondwateronttrekking in het jaar 2000 in mln m³ per jaar.
Zoet grondwater, bij een 10% droogtegraad, exclusief grondwaterbehoefte van de natuurlijke vegetatie en exclusief waterstaatkundige maatregelen

Onttrekking in het jaar 2000 in mln m ³ per jaar		
Huishoudelijk gebruik	563	Geleverd door waterleidingbedrijven (2/3 van 845 mln m ³ uit tabel 37)
Industrie, COAR incl. MKB	325 + 200	Geleverd door waterleidingbedrijven (2/3 van 487 mln m ³ uit tabel 40) Eigen winning door de industrie
'Overig gebruik'	61	Geleverd door waterleidingbedrijven (2/3 van 91 mln m ³ uit tabel 43)
Agrarische sector, incl. kleine part. ontrekkingen	450	Eigen winning voornamelijk ten behoeve van beregning in een 10% droog jaar (schatting Edelman/v.d. Akker uit tabel 52)
Bronbemalingen en saneringen	75	Eigen winning
Totaal	1674	

Mede gebaseerd op prognoses van het ministerie van VROM in 1994

Figuur 8.27

Ontwikkeling van het grondwatergebruik in de periode 1972 - 2015 (exclusief beregning in de landbouw) in European Renaissance-scenario, in- en exclusief waterbesparingsbeleid (Naar RIVM (ed.), 1993)



Tabel 55 Prognose Nederlandse grondwateronttrekking in het jaar 2000 op basis van één van de CPB-scenario's in mln m³ per jaar. European Renaissance-scenario van het RIVM, zoet grondwater

	Onttrekking in het jaar 2000 in mln m ³ per jaar
Onttrekking incl. resultaten ten gevolge van besparing incl. onttrekking door de agrarische sector in een normaal jaar	1150
Onttrekking excl. resultaten ten gevolge van besparing incl. onttrekking door de agrarische sector in een normaal jaar	1350
Onttrekking incl. resultaten ten gevolge van besparing incl. onttrekking door de agrarische sector in een extreem droog jaar	1600
Onttrekking excl. resultaten ten gevolge van besparing incl. onttrekking door de agrarische sector in een extreem droog jaar	1800

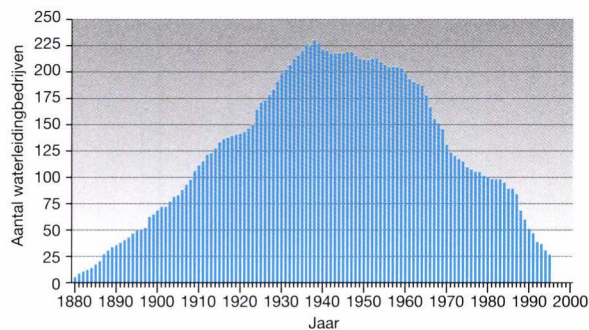
Naar RIVM (ed.), 1993

Met de gepresenteerde cijfers is er sprake van een grondwaterexploitatie die invloed kan hebben op het kwetsbare evenwicht tussen de verschillende verbruikers. Zeker in zomers met een relatief groot neerslagtekort kunnen problemen ontstaan. In dergelijke droge zomers zal het resultaat lokale verlaging van het freatisch vlak en van de stijghoogten zijn, met als gevolg een verdergaande verdroging. Deze verdroging zal zich met name manifesteren in natte natuurgebieden.

9 Wining, zuivering en prijs

9.1 Wining van grondwater door waterleidingbedrijven

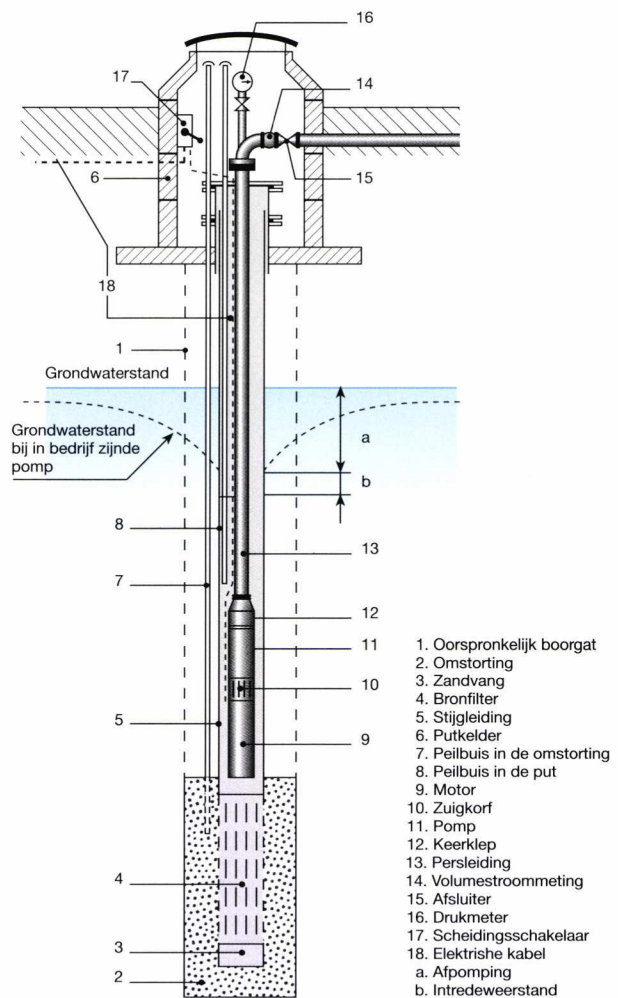
De winning van grondwater voor de openbare drinkwatervoorziening begon met de oprichting van de Duinwater-Maatschappij. Koning Willem III verleende daarvoor op 19 juni 1851 toestemming, waarmee Amsterdam als eerste stad in Nederland een waterleidingbedrijf kreeg ¹. De ontwikkeling in het aantal zelfstandig opererende waterleidingbedrijven in Nederland is een goed voorbeeld van veranderingen in de publieke dienstverlening. De bedrijfstak maakte een ongekende groei door, tot de noodzaak van schaalvergroting de aanzet gaf tot fusie en sanering. De overheid dwong dit bijvoorbeeld af door de Waterleidingwet uit 1957. In 1938 waren er niet minder dan 229 waterleidingbedrijven; in 1995 waren er nog slechts 30 (figuur 9.1). Er wordt voorzien dat dit aantal in de komende jaren nog verder zal afnemen ².



Figuur 9.1
Ontwikkeling van het aantal waterleidingbedrijven in Nederland (1880 - 1993) (Naar VEWIN, (ed.), 1994)

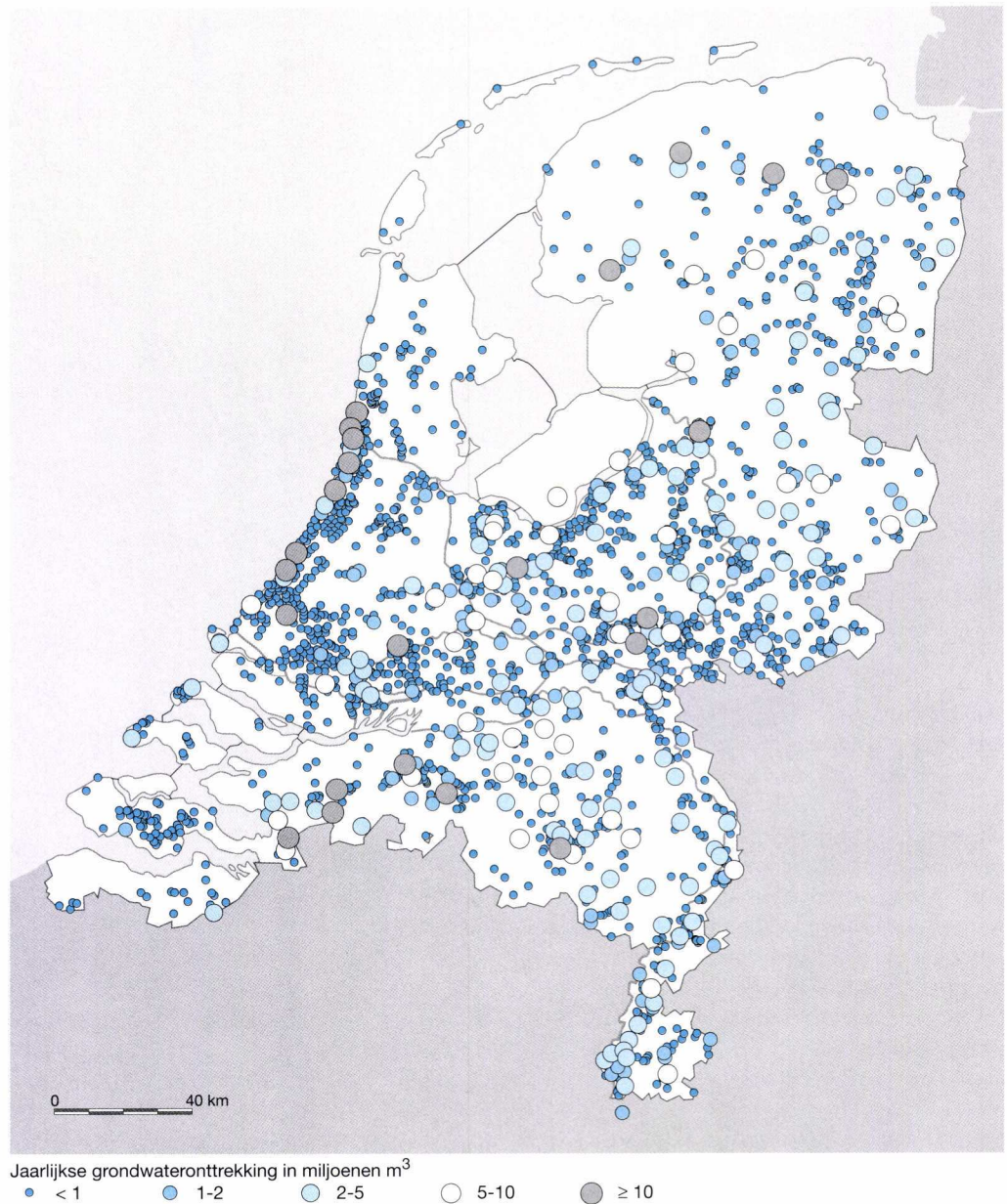
Grondwater wordt gewonnen door middel van een geboorde put waarin een buis wordt aangebracht. De buis moet niet alleen voorkomen dat het boorgat instort, maar ook voorkomen dat verontreinigd grondwater uit een hoger gelegen aquifer zich vermengt met het opgepompte diepere grondwater. Ter plaatse van de aquifer zijn in deze buis sleuven aangebracht. Dit deel van de buis wordt filter genoemd. Het filter voorkomt dat vaste bestanddelen met het opgepompte grondwater mee naar boven komen. Rondom het filter is meestal een omstorting aangebracht. Deze bestaat uit zand van een bepaalde fractie en sortering, afgestemd op de korrelgrootte en sortering van het zand in de aquifer. Het omhoogbrengen van het water gebeurt door middel van een onderwaterpomp in het boorgat (figuur 9.2) ³.

In 1990 werd het voor drinkwater benodigde grondwater door 220 pompstations omhooggebracht. De pompstations variëren in capaciteit van 30 000 m³/jaar



Figuur 9.2
Schema van een put met onderwaterpomp en putkop met kelder van betonringen (Naar Schippers, H.W., 1984)

(Hoog-Soeren) tot 25 mln m³/jaar (Noordbergum). De meeste pompstations beschikken over een capaciteit van 2 - 5 mln m³/jaar. *Figuur 9.3* biedt een overzicht van de regionale verspreiding van de geregistreerde grondwaterwinningen in 1990.



Figuur 9.3

Overzicht van de locaties van de bij de provincie geregistreerde grondwaterwinplaatsen met een capaciteit groter dan 50 000 m³/jaar in 1990

(Naar Engelen, G.B. & F.H. Kloosterman, 1996)

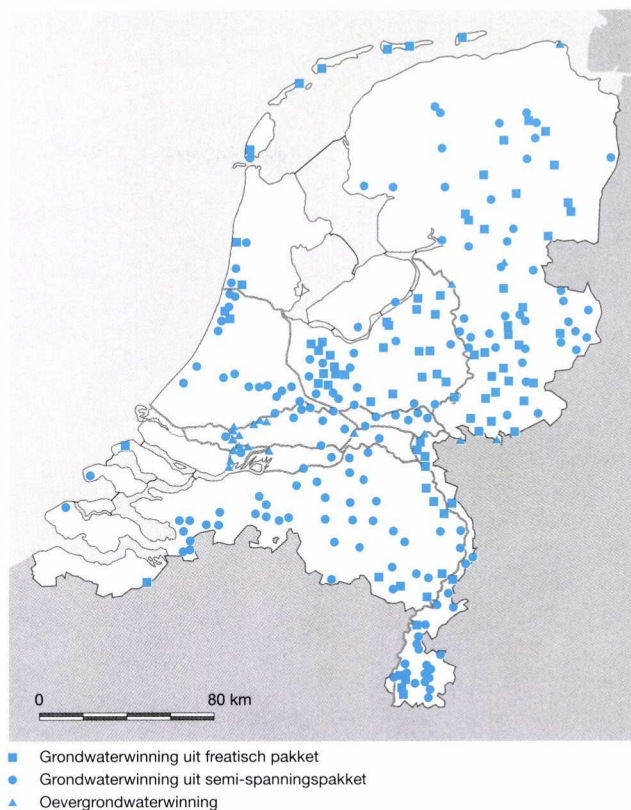
Figuur 9.4 geeft een overzicht van de verschillende types grondwaterwinning in het kader van de openbare watervoorziening.

Figuur 9.5 geeft een overzicht van de locaties van de industriële onttrekkingen.

Figuur 9.4

Locaties van grondwaterwinplaatsen voor de openbare watervoorziening onderverdeeld in type grondwaterwinning in 1992

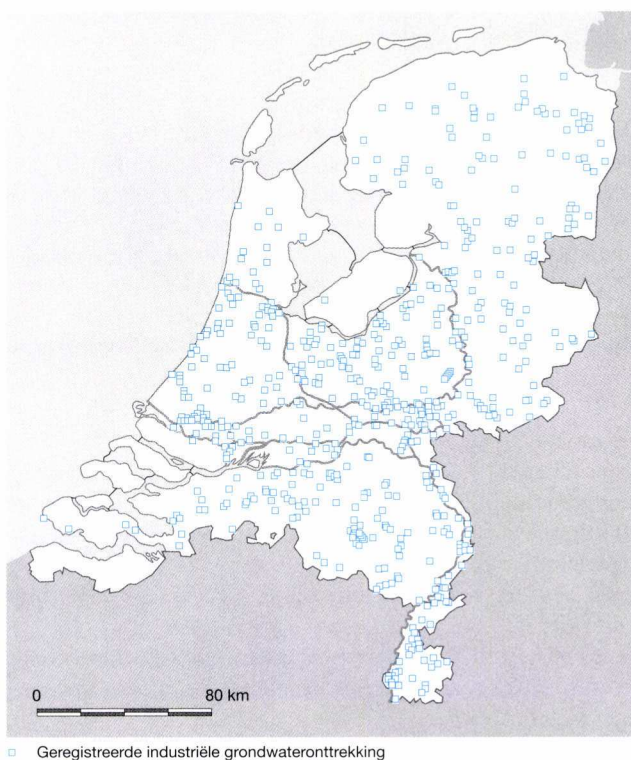
(Naar Beugelink, G.P., F.A.M. Claessen & J.H.C. Mülschlegel (RIVM, RIZA), 1992)



Figuur 9.5

Locaties van grondwaterwinplaatsen voor de industriële watervoorziening met een capaciteit groter dan 50 000 m³/jaar in 1988

(Naar Beugelink, G.P., F.A.M. Claessen & J.H.C. Mülschlegel (RIVM, RIZA), 1992)



Een indeling in verschillende typen onttrekkingen in relatie tot hun kwetsbaarheid voor verontreinigingen werd in hoofdstuk 7 gepresenteerd in *figuur 7.25* (pag. 92).

Een verdeling van de grondwaterwinning door de waterleidingbedrijven per provincie en per type grondwater wordt weergegeven in de volgende tabel.

Tabel 56 Grondwateronttrekking door de waterleidingbedrijven per provincie en per type grondwater

Provincie	Hoeveelheid onttrokken grondwater in 1996 in mln m ³ per jaar		
	Natuurlijk zoet grondwater	Natuurlijk zoet duinwater	Oevergrondwater
Groningen	22,9		
Friesland	44,0	0,7	
Drenthe	58,0		
Overijssel	57,9		11,5
Gelderland	144,4		
Utrecht	78,8		
Noord-Holland	12,8	22,2	
Zuid-Holland	22,7	3,0	23,5
Zeeland	-	1,0	
Noord-Brabant	211,5		
Limburg	80,0		
Flevoland	6,7		8,7
Nederland	739,7	26,9	43,7

VEWIN (ed.), 1997

De levering door waterleidingbedrijven

De toenemende vraag naar drinkwater en twijfels bij het publiek aan de kwaliteit van het oppervlaktewater deden in het verleden de afhankelijkheid van het grondwater groeien. In 1898 werd nog ongeveer de helft van het openbare drinkwater uit ongezuiverd oppervlaktewater betrokken. Nadien daalde de bijdrage van het oppervlaktewater aan de totale drinkwatervoorziening. Als wij een landelijk beeld anno 1936 bekijken blijkt dat er slechts in een klein gedeelte van het land drinkwater geleverd werd dat uit oppervlaktewater bereid was. Hierbij moet wel aangetekend worden dat het dichtbevolkte Rotterdam en de omstreken van de stad hierbij inbegrepen waren (*figuur 9.6*).

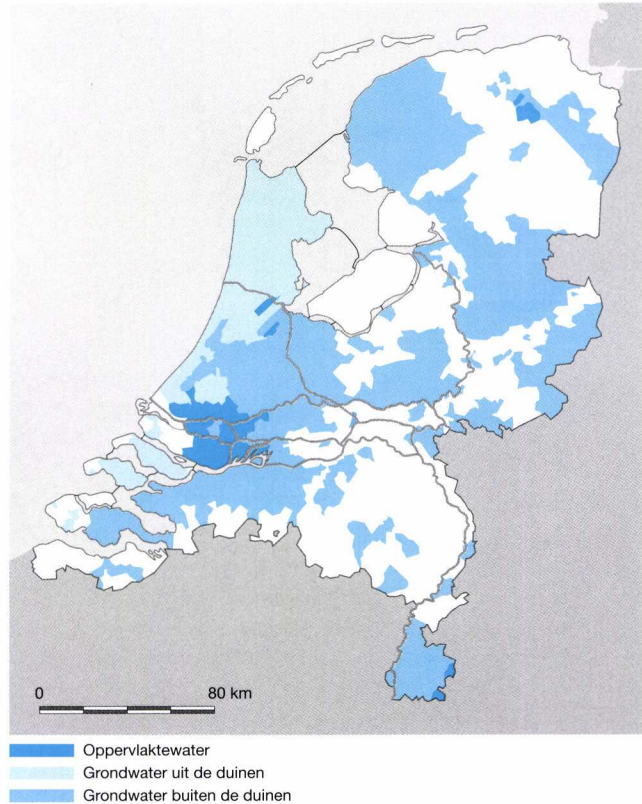
Figuur 8.12 (pag. 114) toont de ontwikkeling van de door de waterleidingbedrijven afgeleverde hoeveelheden. In de periode 1955 - 1973 nam de totale levering van de waterleidingbedrijven met gemiddeld 34 mln m³ per jaar toe. In 1968 bijvoorbeeld steeg het waterverbruik nog met 40 mln m³ een groei van 5% ten opzichte van het jaar ervoor. Na 1973 is de jaarlijkse stijging afgevlakt. De toename bedroeg daarna tot 1990 gemiddeld 20 mln m³ per jaar. De jaarlijkse groei bedroeg in die periode ongeveer 2%. Na 1990 blijft de totale afgeleverde hoeveelheid water per jaar ongeveer gelijk.

Voor wat betreft het grondwater groeide de totale hoeveelheid door de waterleidingbedrijven afgeleverd zoet grondwater, exclusief duinwater, van 164 mln m³ per jaar in 1950 tot 799 mln m³ per jaar in 1996 ⁴.

De duinwaterwinning

Sinds de start in 1853 groeide de winning van zoet grondwater in de Nederlandse duingebieden snel. In 1901 werd al 20 mln m³ duinwater gewonnen: 31% van de totale toenmalige waterwinning. In 1950 werd jaarlijks 66 mln m³ aan de zoetwatervoorraad in de duinen onttrokken. Dit kwam overeen met 21% van de totale landelijke afgeleverde hoeveelheid. Tot 1955 neemt de netto duinwaterproductie nog toe tot 87 mln m³ (figuur 9.8). Na dat jaar neemt de netto duinwaterproductie af.

In 1991 produceerden de acht waterleidingbedrijven langs de Nederlandse kust gezamenlijk 350 mln m³. Dit komt overeen met 28% van de landelijke waterwinning, maar slechts een deel hiervan is natuurlijk duinwater. Deze hoeveelheid bedroeg 32,8 mln m³: 9,4% van de totale productie van deze waterleidingbedrijven en 3% van de totale landelijke productie (tabel 57). Een groot deel van het water dat door de duinwaterleidingbedrijven wordt geproduceerd, bestaat uit rivierwater dat wordt geïnfiltreerd. Hiermee werd in 1956 op grote schaal begonnen; zo maakt men gebruik van de zuiverende werking bij infiltratie in de duinen.



Figuur 9.6

Herkomst van het, door de waterleidingbedrijven, geleverde water in 1936 (Naar Krul, W.F.J.M., 1936)

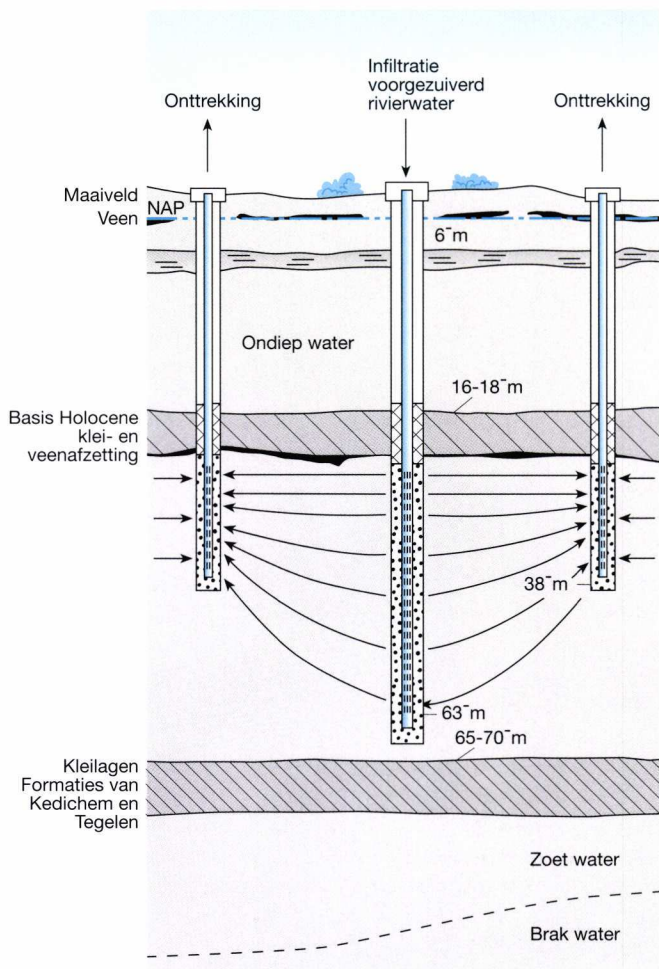
Tabel 57 Winning duinwaterleidingbedrijven in 1991 in mln m³

Grondwater		Oppervlaktewater			Totaal
Duin	Niet-duingebied	Geïnfiltreerd in duin	Geïnfiltreerd in niet-duin	Niet geïnfiltreerd oppervlaktewater	
32,8	75,2	177,8	0,7	63,2	349,7

VEWIN (ed.), 1992

Het rivierwater wordt vanuit gegraven kanalen of door middel van geboorde infiltratieputten in de duinen ingebracht. Onttrekking gebeurt in putten op enige afstand van deze infiltratie. De NV Duinwaterbedrijf Zuid-Holland past laatstgenoemde methode, diep-infiltratie genoemd, toe op de Waalsdorper Vlakte bij Den Haag (figuur 9.7).

Waarnemingen die hier zijn gedaan tonen het effect van de bodempassage op de chemische samenstelling van het ingebracht water (tabel 58).



Figuur 9.7
Principe van toegepaste diep-infiltratie in Waalsdorp
(Naar Jonge, H.G. de, H.G.M. van der Hagen & M. Rutte, 1996)

Tabel 58 Concentraties van parameters in, na diep-infiltratie onttrokken, water te Waalsdorp. Gemiddelden, in mg/l tenzij anders vermeld

Parameter	Infiltratie- water	Onttrokken water	Verandering
Zuurstof	10,0	< 1,0	> - 9,0
Calcium	72	93	+ 21
Magnesium	9	13	+ 4
Natrium	43	44	+ 1
Kalium	5,7	5,9	+ 0,2
Sulfaat	78	89	+ 11
IJzer	> 0,01	1,1	+ 1,1
Nitraat	3,4	< 0,2	> - 3,38
AOX* in µg/l	23	< 9	> - 14
Atrazine** in µg/l	0,14	<0,03	> - 0,11

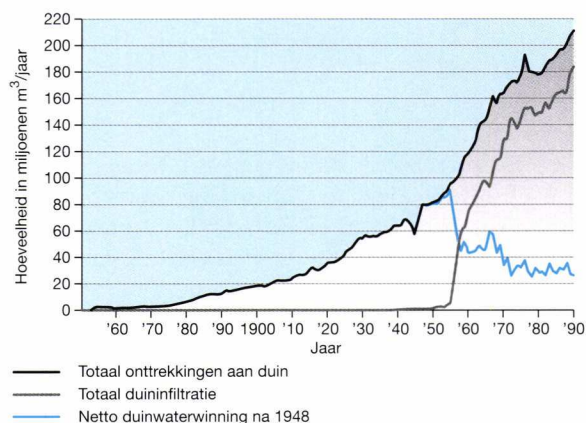
* Adsorbeerbare niet-vluchtige gehalogeneerde koolwaterstoffen

** Een voorbeeld van een voorkomende pesticide

Naar De Jonge, H.G., H.G.M. van der Hagen en M. Rutte, 1996

Zo produceerden de acht waterleiding-bedrijven in de duingebieden in 1991 178 mln m³ geïnfiltrerd water (figuur 9.8). Dit is 51% van de totale jaarlijkse productie van 350 mln m³ van deze acht waterleidingbedrijven. De hoeveelheid gewonnen geïnfiltrerd water maakte hiermee in dat jaar 14% van de totale landelijke zoetwaterlevering uit.

Figuur 9.8
Grondwaterwinning en grondwateraanvulling in de duinen in de periode 1850 - 1990 in mln m³ per jaar
(Naar VEWIN (ed.), 1992)



9.2 Winning en zuivering van oppervlaktewater

In de periode 1950 - 1975 nam het gebruik door de waterleidingbedrijven van gezuiverd direct verwerkt oppervlaktewater slechts met 5,5 mln m³ gemiddeld per jaar toe. Van 82 mln m³ in 1950 tot 219 mln m³ in 1975. Als bijdrage aan de totale afgeleverde hoeveelheid nam het af van 26% in 1950 tot 22% in 1975. Daarna bleef het percentage lange tijd constant, rond de 20%. In 1996 bedroeg de hoeveelheid 269 mln m³, overeenkomend met 21% (figuur 8.12, pag 114). Maar in dezelfde periode nam het gebruik van geïnfiltreerd oppervlaktewater aanzienlijk toe. In 1950 bedroeg deze hoeveelheid niet meer dan 2 mln m³, in 1975 135 mln m³ en in 1996 185 mln m³. Als direct verwerkt oppervlaktewater en geïnfiltreerd oppervlaktewater opgeteld worden, nam de bijdrage van oppervlaktewater in de periode 1950 - 1996 toe van 27% tot 35,5%. In 1996 bedroeg deze totale hoeveelheid afgeleverd oppervlaktewater 454 mln m³ ⁵.

De belangrijkste oorzaak van de aanvankelijk geringe groei van het gebruik van oppervlaktewater was de beschikbaarheid in grote delen van het land van een schijnbaar onbeperkte hoeveelheid grondwater en de verontrustende toename van de algehele verontreiniging van de oppervlaktewateren. Deze toename bleef tot in 1970 de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO) in werking trad, waarna de kwaliteit van de Nederlandse oppervlaktewateren geleidelijk verbeterde. De kwaliteitsverbetering van het water in de grote rivieren is echter pas later op gang gekomen. Dit is mede het gevolg van de afhankelijkheid van maatregelen in het buitenland ⁶.

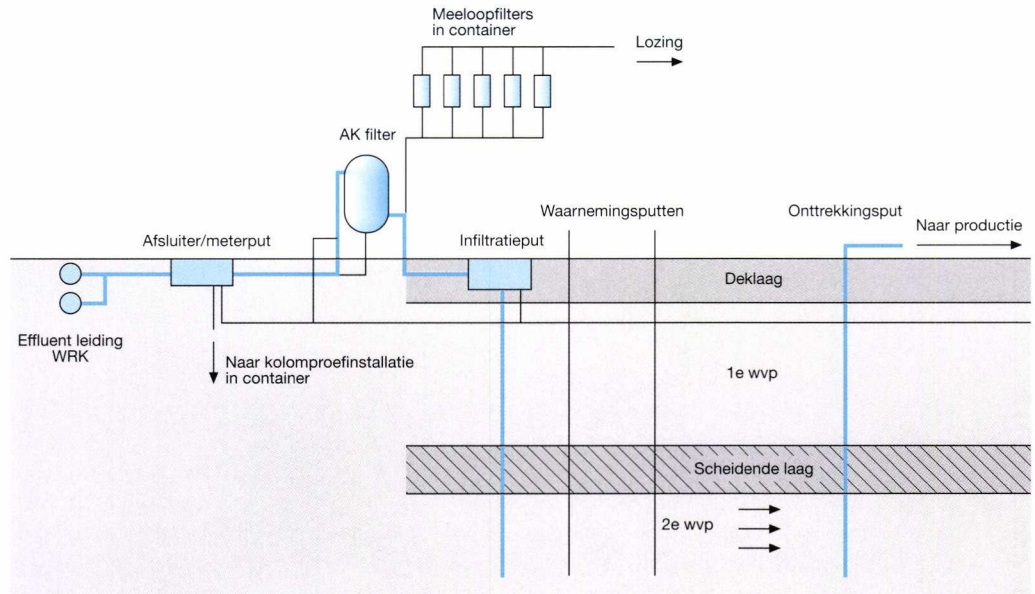
Onlangs ontwikkelde een aantal waterleidingbedrijven een natuurlijk voorzuiveringsproces voor sterk vervuild rivierwater. Deze methode maakt gebruik van de zuiverende werking van de bodem langs de rivieroever. Nu deze methode er is, hopen de waterleidingbedrijven de grondwaterwinning en de daaruit voortvloeiende kans op verdroging te kunnen beperken. De methode is tevens ontwikkeld om de hoge kosten van de conventionele zuivering van rivierwater te beperken ⁷. Een dergelijke winning past de Waterleidingmaatschappij Overijssel al enige jaren toe in het puttenveld 'Het Engelse Werk' in Zwolle. Hier wordt jaarlijks circa 12 mln m³ grondwater aan de bodem onttrokken. Circa 65% van het gewonnen water is via oeverinfiltratie afkomstig uit de IJssel. De overige 35% wordt onttrokken aan de grondwatervoorraad in de aquifer. Ook de Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant gaat bijvoorbeeld bij Lith op deze wijze drinkwater uit de Maas bereiden. Dit 'Project Infiltratie Maaskant' zal na het jaar 2000 een capaciteit van meer dan 25 mln m³ per jaar hebben ⁷.

De Watermaatschappij Zuid-Holland-Oost breidt bestaande experimenten met oeverinfiltratie uit met een project nabij Langerak aan de Lek, waar in 1996 35 m³ rivierwater per uur na voorzuivering geïnfiltreerd wordt. Het water wordt onder druk tot een diepte van 95 - 130 m in de ondergrond gebracht. Een gelijke hoeveelheid wordt, 150 meter verderop, na een verblijf van minimaal twee maanden weer onttrokken. De Watermaatschappij Zuid-Holland-Oost beoogt in 2002 18 mln m³ per jaar en in 2020 mogelijk 25 mln m³ per jaar op deze wijze te kunnen zuiveren (figuur 9.9) ⁸.

Als deze winningen en experimenten slagen kan diep-infiltratie ook buiten de duingebieden van groot belang worden.

9.3 Zuivering van grondwater

Na zuivering van grondwater dienen de hierin opgeloste stoffen niet boven een niveau uit te komen dat wettelijk is vastgelegd. Het kan daarbij zowel gaan om stoffen die van nature in het water voorkwamen als om stoffen die door menselijke activiteiten het water verontreinigd hebben. Tot de eerste groep horen ijzer-, mangaan-, en ammoniumverbindingen en de opgeloste gassen koolzuur, methaan en waterstofsulfide.

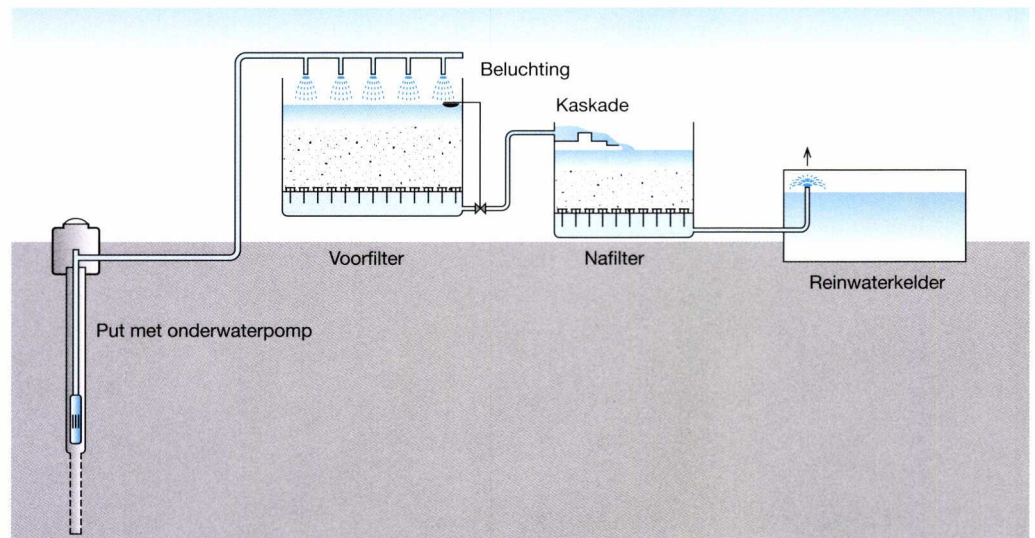


Figuur 9.9

Principe van de opstelling voor de infiltratieproef van de WRK te Nieuwegein
(Naar WZHO, 1996)

De verwijdering van deze stoffen gebeurt als regel door middel van beluchting en filtering. In voorfilters wordt het ijzer afgevangen en in nafilts vindt de verwijdering van het mangaan en nitrificatie van ammoniumverbindingen plaats ⁹.

Figuur 9.10 geeft een voorbeeld van het proces bij een eenvoudige grondwaterzuivering.



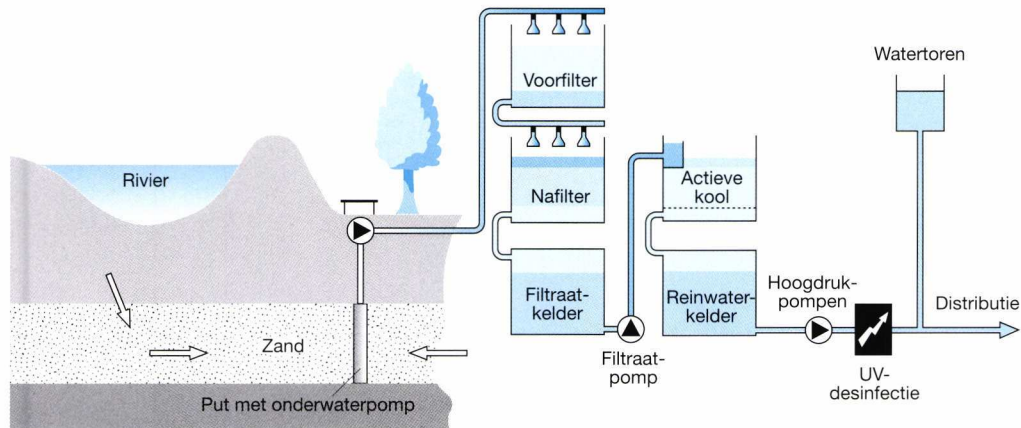
Figuur 9.10

Schema van een eenvoudige vorm van grondwaterzuivering
(Naar Schippers, H.W., 1984)

De verontreinigingen door menselijke activiteiten vragen meestal een complexe zuivering. Er zijn hiervoor aanvullende zuiveringsmethoden ontwikkeld zoals:

- zeer intensieve beluchting
- adsorptie-filtratie over actieve kool
- biologische reductie en/of ionenwisseling
- ontharding en pH-correctie
- UV-desinfectie.

Figuur 9.11 geeft een voorbeeld van het proces bij een complexe zuivering bij winning van oevergrondwater.



Figuur 9.11

Schema van waterzuivering bij winning van oevergrondwater
(naar WZHO (ed.), 1995)

9.4 De prijs van het water

Bij de levering van drinkwater hebben de verschillende Nederlandse waterleidingbedrijven te maken met kosten die sterk uiteen kunnen lopen. Deze kostprijsverschillen resulteren in tariefverschillen. De belangrijkste oorzaken van de kostprijsverschillen zijn de verschillen in kosten van winning en transport van de grondstoffen, de verschillen in zuiverings-, distributie- en aansluitingskosten, alsmede heffingen ¹⁰.

Het winnen van grondwater is in Nederland aanzienlijk minder gecompliceerd en dus goedkoper dan het productieproces voor het bereiden van drinkwater uit ongezuiverd oppervlaktewater. Aangezien het rivierwater over een bepaalde afstand aangevoerd moet worden, heeft men, met name in het westen van het land te maken met transportkosten. Dit vereist investeringen in pijpleidingen en pompstations. De kwantiteit en kwaliteit van rivierwater wisselen sterk. Het kan voorkomen dat gedurende een bepaalde periode te hoge concentraties aan verontreinigingen voorkomen. Er kan dan geen rivierwater worden ingenomen. Om het probleem van die fluctuaties op te vangen zijn bufferwerken als duininfiltraties of spaarbekkens nodig. De spaarbekkens in De Biesbosch moeten in 2000 bijvoorbeeld een capaciteit van 215 mln m³ per jaar hebben ¹¹.

De zuiverings-, distributie- en aansluitingskosten

De zuiveringskosten zijn bij gebruik van oppervlaktewater, zelfs bij een selectief innamebeleid, veel hoger dan bij gebruik van grondwater. Het onderzoek naar het meest geëigende zuiveringsproces, het ontwerp en de bouw van de zuiveringsinstallatie, de bediening, het onderhoud en

bovenal de kwaliteitsbewaking zijn kostbaar. Een vergelijking maakt duidelijk hoe groot het verschil met grondwater is: de zuiverings- en transportkosten van 1 m³ oppervlaktewater bedroegen in 1992 gemiddeld f 0,66 terwijl dat bij grondwater op f 0,37 lag ¹².

De distributiekosten zijn de kosten voor het vervoer van het drinkwater van de zuiveringsinstallatie naar de afnemer. De schaalgrootte speelt hierin een belangrijke rol: het transport van een grote hoeveelheid over een relatief geringe afstand is per kubieke meter aanzienlijk goedkoper dan het transport van een kleine hoeveelheid over een grotere afstand. Waterleidingbedrijven in de Randstad hebben daarom per kubieke meter lagere distributiekosten dan streekbedrijven op het platteland.

Ook de kosten van het gebruik van grondwater zullen in de nabije toekomst ten gevolge van de noodzakelijke nitraatverwijdering stijgen. Als de streefwaarde van de toegestane stikstofconcentratie niet verlaagd wordt en gehandhaafd wordt op 50 mg per liter zullen de gezamenlijke waterleidingbedrijven in het jaar 2000, 30 miljoen gulden aan deze zuivering moeten besteden. Geschat wordt dat deze kosten zelfs zullen oplopen tot 90 miljoen gulden in het jaar 2100. Deze bedragen kunnen verlaagd worden tot respectievelijk 20 en 10 miljoen gulden. Dit kan als aanvullende maatregelen, zoals vastgelegd in de Notitie Mest- en ammoniakbeleid, genomen en uitgevoerd worden. Hiermee wordt nog eens duidelijk gemaakt hoezeer de diffuse verontreiniging een toekomstige belasting is ¹³.

De heffingen

De rijksoverheid heeft in 1995 een milieuheffing op het winnen van grondwater ingevoerd, de grondwaterbelasting. Dit middel moet de kostenverhouding ten gunste van oppervlaktewater beïnvloeden. Minder winning van grondwater moet de verdroging van de 'natte natuurgebieden' kunnen verminderen. De grondwaterbelasting die aan de waterleidingbedrijven is opgelegd, is met f 0,34 per kubieke meter tweemaal zo hoog als die voor andere bedrijven met een eigen winning. De waterleidingbedrijven zouden daarmee in 1995 f 300 miljoen aan belasting moeten opbrengen.

De grondwaterbelasting kent enkele regulerende voorzieningen. Wanneer diepte-infiltratie van grondwater wordt toegepast, krijgt het waterleidingbedrijf een korting op de belasting omdat hierdoor per saldo geen grondwater wordt onttrokken. Ook voor retourbemaling, waarbij grondwater weer wordt geïnfilterd in de bodem, geldt deze korting.

Eigen onttrekkingen met een capaciteit minder dan 10 m³ per uur zijn vrijgesteld van de grondwaterbelasting ¹⁴. Dit houdt in dat de kleinere agrarische en particuliere onttrekkingen niet onder de belasting vallen. Hiermee rijst de vraag of de grondwaterbelasting dan nog wel effectief is om de verdroging tegen te gaan.

Ook wordt wel een onttrekking per jaar per bedrijf gehanteerd. In de periode 1995 - 1997 gold dat alleen bedrijven met een onttrekking boven 100 000 m³ per jaar belastingplichtig waren. Per 1 januari 1997 is de drempelwaarde verlaagd tot 40 000 m³ per jaar ¹⁵. Bij een tarief van f 0,17 per m³ betekent dit een aanzienlijke lastenverzwaring ¹⁶.

Naast de grondwaterbelasting zijn nog provinciale heffingen van 1 à 2 cent per kubieke meter gekomen. In de provincie Friesland leidde dit in één jaar in het huishoudelijk gebruik tot een tariefstijging van niet minder dan f 0,375 per m³. In enkele provincies, waaronder Gelderland, bestaan afspraken om de inkomsten uit de grondwaterbelasting aan grondwater-gerelateerd onderzoek te besteden.

Provinciale verordeningen bestaan veelal uit een meldingsplicht, een registratieplicht en een vergunningplicht voor het onttrekken van grondwater. Er zijn aanzienlijke provinciale verschillen zoals in hoofdstuk 14 toegelicht zal worden. Het is nog maar de vraag of deze verordeningen ook besparing op de onttrekkingen bevorderen.

De tarieven

Door alle verschillende kostenaspecten, die per regio sterk uiteenlopen, zijn er grote regionale verschillen in de tarieven voor drinkwater. Bovendien bestaan er in Nederland nog steden zoals Amsterdam waar de aansluitingen niet van een meter voorzien zijn. In die situatie is het tarief niet op het werkelijke watergebruik gebaseerd. Zo wordt in Amsterdam het aantal verrekken van de woning gebruikt voor de bepaling van de aanslag. In 1998 is in de gemeenteraad van Amsterdam besloten dat in 1999 ook in deze stad begonnen zal worden geleidelijk de watermeter in te voeren ¹⁷.

Tariefverschillen kunnen geïllustreerd worden aan de hand van een vergelijking tussen Gouda en Eindhoven. In een plaats als Gouda, met een drinkwatervoorziening gebaseerd op oevergrondwaterwinning, door de N.V. Watermaatschappij Zuid-Holland-Oost was de prijs voor particulieren aanzienlijk hoger dan de prijs die Eindhovenaren aan het N.V. Nutsbedrijf Regio Eindhoven betaalden voor hun drinkwater uit grondwater.

Bij een jaarlijkse consumptie van ongeveer 50 m³ per persoon per jaar konden in 1995 de jaarlijkse kosten voor drinkwater, inclusief het vastrecht, voor een gezin van vier personen uiteenlopen van f 369,- in Eindhoven tot f 644,- in Gouda ¹⁸. Tabel 59 toont de prijsontwikkeling in de beide gemeenten.

Tabel 59 Prijs drinkwater particulieren Gouda en Eindhoven. Jaarlijkse kosten in guldens, inclusief vastrecht, bij een gemiddeld huishoudelijk gebruik van 200 m³ per jaar

Plaats	1991	1994	1995	Stijging in % 1995 t.o.v.1991
Gouda N.V. Watermij. Zuid-Holland - Oost	343	554	644	88
Eindhoven N.V. Nutsbedrijf Regio Eindhoven	242	276	369	52

Naar VEWIN (ed.), 1991 en VEWIN (ed.), 1995

Vooraf in Eindhoven zijn de kosten voor het drinkwater sinds 1995 sterk gestegen door de invoering van de grondwaterbelasting op 1 januari 1995. De procentuele prijsstijging bedroeg, bij de waterleidingbedrijven die grondwater gebruiken, tot dertig procent in één jaar ¹⁹.

Ook een recent overzicht, gepresenteerd door de Consumentenbond in oktober 1997, toont grote verschillen, zowel in vastrecht als in prijs per kubieke meter. Het overzicht geeft aan dat ten gevolge van deze verschillen de jaarlijkse kosten voor een gezin bij een gebruik van ongeveer 120 m³ per jaar variëren van f 203,31 (N.V. Waterleidingmaatschappij voor de provincie Groningen) tot f 527,61 (N.V. Duinwaterbedrijf Zuid-Holland) ²⁰.

De vooruitzichten voor de tariefontwikkeling zijn weinig rooskleurig. De N.V. Waterleiding Maatschappij Limburg verwacht bijvoorbeeld nog een aanzienlijke prijsstijging in de komende tien jaar ²¹.

In het buitenland bestaat net als in Nederland een grote differentiatie in de drinkwaterprijs. De verschillen in tariefopbouw maken een vergelijking van de tarieven moeilijk.

Tabel 60 Kosten drinkwater particulieren in Europa. Bedragen in guldens bij gezinsconsumptie van 200 m³ per jaar, peildata november 1991 en mei 1995

Land	Stad	Kosten	
		1991	1995
België	Antwerpen	239,-	292,-
	Brussel	523,-	637,-
Denemarken	Kopenhagen	211,-	422,-
Frankrijk	Lyon	537,-	557,-
	Parijs	255,-	298,-
Nederland	Den Haag	413,-	502,-
	Utrecht	200,-	255,-

IWSA (ed.), 1993 en IWSA (ed.), 1995

Bij een recente mondiale vergelijking van de kosten in de verschillende hoofdsteden bij een huishoudelijk gebruik van 200 m³ per jaar blijkt in 1996 Brussel de duurste hoofdstad ter wereld. De kosten bedroegen aldaar f 606,-. In Amsterdam rekende het drinkwaterbedrijf f 403,-, in Washington werd f 269,- in rekening gebracht terwijl in Rome de consument niet meer dan f 110,- betaalde ²².

De gepresenteerde bedragen moeten met de grootste voorzichtigheid gehanteerd worden. Het is zeer wel mogelijk dat er verschillen in de berekeningsmethode zijn. Voor een juiste vergelijking dienen bovendien de kosten beschouwd te worden in relatie tot de algehele kosten van levensonderhoud.

10 Grondwater als opslagplaats voor thermische energie

De sterk stijgende prijzen voor fossiele brandstoffen in de periode 1979 - 1984 voedden de aandacht voor mogelijkheden om energie en kosten te besparen. Eén van de mogelijkheden hiervoor is warmte- en koude-opslag in de bodem. Het idee is ingegeven door de wisseling van de seizoenen: in de zomer is het warm en gebruiken we energie om te koelen, in de winter is het koud en wordt energie gebruikt voor verwarming. Daarom is het een aantrekkelijk idee om de zomerwarmte in de winter te gebruiken en de winterkou in de zomer. Als tijdelijke opslagplaats voor de overtollige warmte of koude dienen aquifers; op het geschikte moment wordt de warmte of kou daaruit weer teruggewonnen. De warmte- of koude-uitwisseling vindt plaats aan de oppervlakte door middel van een warmtewisselaar ¹.

In *figuur 10.1* wordt het principe geïllustreerd.

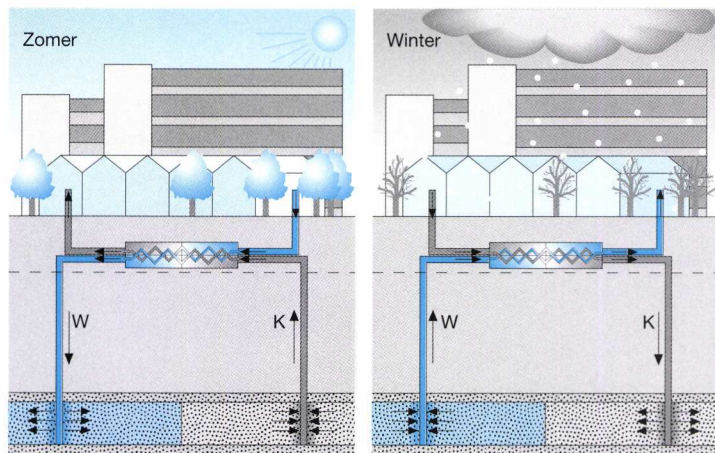
Voor warmte- en koudeopslag geldt allebei, dat het zowel onttrekking als herinjectie van grondwater betreft. Het grondwater wordt gebruikt maar niet verbruikt. Voor deze toepassing is desondanks een provinciale vergunning in het kader van de Grondwaterwet vereist. De voorwaarden voor de vergunning verschillen per provincie aanzienlijk ².

10.1 Koude-opslag

Van 1987 tot en met 1996 werden dertig projecten voor koude-opslag gerealiseerd ³. Gezien de groeiende vraag naar koeling in utiliteitsgebouwen zal de toepassing van koude-opslag toenemen. Deze vorm van energie-opslag is het meest rendabel bij een gelijkmatige behoefte aan koeling, zoals bijvoorbeeld in de procesindustrie. Bij lange-termijn koude-opslag werkt men met twee bronnen, een warme en een koude. In de zomer wordt water uit de koude bron opgepompt, dat via een warmtewisselaar wordt gebruikt voor koeling van een gebouw of de activiteiten daarin. Het water, dat na gebruik is opgewarmd wordt vervolgens in de warme bron geïnjecteerd. In de winter wordt gebruik gemaakt van dit 'warme' water door het proces in omgekeerde richting te laten verlopen. Met dit water verwarmt het systeem koude buitenlucht voor. Na de warmte-afgifte wordt het in de koude bron gepompt. Het gaat dus niet uitsluitend om koude-opslag; naast besparing van elektriciteit in de zomer worden ook verwarmingskosten bespaard in de winter.

Bij de realisatie van de eerste projecten, zoals bij de Perscombinatie te Amsterdam, werden de knelpunten bij deze vorm van energiebesparing nog gevonden in:

- relatief weinig koude dagen in de periode 1987 - 1995 (warmere winters dan verwacht op grond van temperatuurregistraties in het verleden). Bij later gerealiseerde projecten werd dit ondervangen door de temperaturen in de opslag zodanig te selecteren dat het aantal laaduren groter is en minder afhankelijk is van lage buitentemperaturen. Zo kwam bij de Perscombinatie na aanpassingen van de koelers in 1992 door opslag van water met een gemiddelde temperatuur van 8,2 °C in de zomer van 1994 920 MWh voor koeling ter beschikking ⁴;
- complexe inschakeling in bestaande of in aan te leggen conventionele koelsystemen.



Figuur 10.1

Principe van warmte- en koude opslag (Naar NITG-TNO)

Het Groene Hart Ziekenhuis in Gouda is één van de plaatsen waar deze vorm van koude-opslag toegepast wordt. Er zijn hier gunstige evaluatiecijfers bereikt ⁵.

De hier gerealiseerde gas- en elektriciteitsbesparingen in de eerste drie jaren worden weergegeven in *figuur 10.2*.

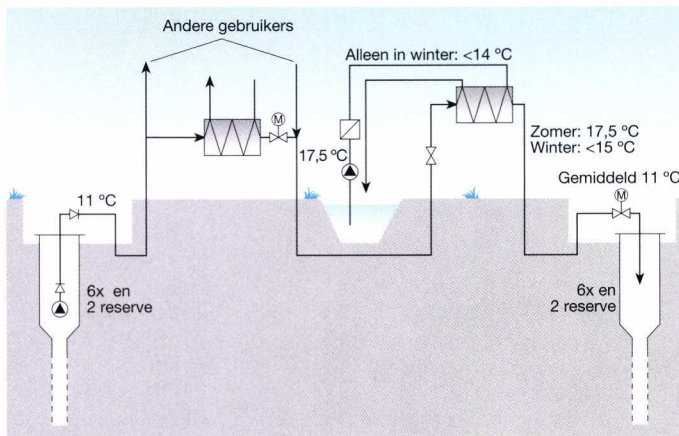
Bij de koude-opslag telt niet alleen de energiebesparing ten opzichte van koelmachines, want er is ook een milieu-effect door de reductie van CO₂, NO_x en SO₂-emissies.

Bij WAVIN in Hardenberg werd een nieuw principe van koude-opslag ontwikkeld ⁶.

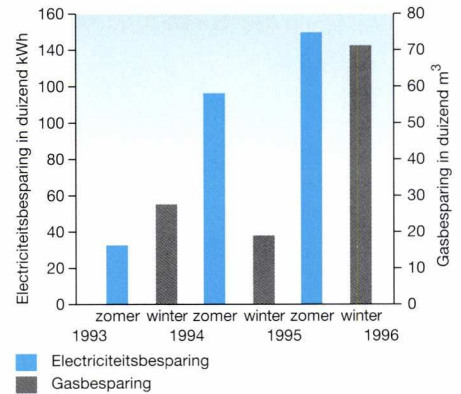
Niet zozeer energiebesparing, maar een bijkomend positief milieu-effect en besparing op de grondwateronttrekking zijn hierbij factoren van betekenis.

Deze configuratie heet koude-opslag recirculatie. Bij dit principe wordt het grondwater afgekoeld nadat het is gebruikt voor koeling van het productieproces. Voor de koeling gebruikt men in de winter zowel koeltorens als oppervlaktewater. Na koeling wordt het weer geïnjecteerd in de ondergrond. Bij deze methode treedt een gunstig milieu-effect op omdat lozing van het relatief warme koelwater op het oppervlaktewater vervalt.

Ook de netto grondwateronttrekking vervalt. Daarom hoeft er geen grondwaterheffing te worden betaald. Het principe wordt geïllustreerd in *figuur 10.3*.



Figuur 10.3
Principe van koude-opslag recirculatie, zoals geïnstalleerd bij Wavin te Hardenberg (Naar Willemsen, A, e.a., 1994)



Figuur 10.2
Gas- en elektriciteitsbesparing door toepassing van koude-opslag bij het Groene Hart Ziekenhuis te Gouda in de periode 1993 - 1996 (Naar Ent, L. van der, 1996)

10.2 Warmte-opslag

Begin 1998 zal een systeem van warmte-opslag bij het centrum voor verstandelijk gehandicapten Hooge Burch in Zwammerdam in gebruik genomen worden.

De overtollige warmte, 's zomers te leveren door een nieuwe warmtekrachtcentrale, zal in de vorm van grondwater met een temperatuur van 80 °C op een diepte van 175 meter onder maaiveld opgeslagen worden ⁷.

Tot 1998 was in Nederland alleen op het complex De Uithof van de Rijksuniversiteit Utrecht warmte-opslag operationeel. Sinds maart 1991 wordt aldaar in een aquifer op een diepte van 210 - 260 m beneden maaiveld water met een temperatuur van 90 °C opgeslagen. Het systeem is ont-

worpen om de rentabiliteit van twee bestaande warmtekrachtinstallaties te optimaliseren. Over de aanlooperperiode tot 1 juli 1994 bedraagt het gemiddeld thermisch rendement 25,9%. Uit modelberekeningen is na een aanlooperperiode een thermische efficiency van 60% voor de opslag voorspeld. Het bereikte lage rendement is mede een gevolg van het feit dat tijdens de

laadperioden minder werd geïnjecteerd dan beoogd. In 1995 kon, bij voldoende geïnjecteerde warmte, wel het theoretisch voorspelde rendement van 60% gerealiseerd worden ⁸.

Er zijn verschillende redenen aan te voeren voor het feit dat de warmte-opslag nog niet breed wordt toegepast. Het vraagt hoge investeringen en er moet aan zeer specifieke hydrogeologische voorwaarden worden voldaan. In Nederland zijn er weinig plaatsen die daaraan voldoen. De bedrijfszekerheid wordt bedreigd door het risico van verstopping van de putten door hydrochemische reacties, fijne deeltjes of gas.

Dit alles maakt dat de concurrentieverhouding ten opzichte van andere vormen van energie (-besparing) in veel gevallen nog ongunstig uitvalt.

Het is mogelijk dat opslag van water met een temperatuur tot bijvoorbeeld 50 °C een beter financieel-economisch perspectief heeft. De hydrogeologische en technische eisen voor een dergelijke warmte-opslag zijn veel minder stringent.

11 Gevolgen van menselijk ingrijpen

11.1 Verdroging

Er is in Nederland sinds 1980 met name in de natte natuurgebieden een opmerkelijke verdroging van vegetatie en ondergrond waargenomen.

Het neerslagpatroon in de periode na 1959 geeft aan, dat verdrogingsverschijnselen nauwelijks het gevolg zijn van een natuurlijk proces zoals de vermindering van het neerslagoverschot. Daarom moeten het menselijke activiteiten zijn die direct of indirect zodanig ingrijpen in de grondwaterhuishouding, dat ze verdroging veroorzaken.

In dit menselijk ingrijpen kunnen een aantal verschillende aspecten worden onderscheiden, zoals: ¹

1. Het uitvoeren van ontwateringsmaatregelen en drainage van landbouwgronden om de agrarische productie te verhogen. Sinds 1955, bij het in werking treden van de Ruilverkavelingswet, is deze ontwatering sterk toegenomen.
2. De toename van grondwaterwinning voor de drinkwatervoorziening en voor de landbouw.
3. De toename van de verdamping. Dit wordt veroorzaakt door een hogere gewasproductie per hectare en de bebossing van onder andere heidegronden en zandverstuivingen.
4. De vermindering van de aanvulling van grondwater door de urbanisatie. Deze urbanisatie heeft een toename van het verharde oppervlak tot gevolg en beperkt de inzijging.
5. Kanalisering en regulering van beken en rivieren, waardoor de neerslag versneld wordt afgevoerd.

Al voor de droge zomer van 1976 werden de tekenen van verdroging waargenomen, maar pas in deze zomer werden onderzoekers en beheerders zich duidelijk bewust van het verschijnsel. De daling van de grondwaterstand en van de stijghoogte zijn de meest in het oog lopende kenmerken ervan. Bij een vergelijking van de grondwaterisohypsenkaart van de Utrechtse Heuvelrug van 1966 en die van 1976 bleek, dat het stijghoogtevlak 1 à 1,5 meter gedaald was. Dit betekende dat de hoeveelheid grondwater met 50 miljoen m³ was afgenomen ².

Verdroging is een uiterst complex fenomeen. Dat blijkt al uit de definitie: 'alle effecten als gevolg van daling van de grondwaterstand, zowel als gevolg van vochttekort als van mineralisatie en van verandering in de invloed van kwel en neerslag' ³.

Aangezien deze definitie aanleiding tot discussies en misverstanden gaf, werd het begrip in een latere fase als volgt omschreven: 'een gebied wordt als verdroogd aangemerkt als aan dat gebied een natuurfunctie is toegekend en de grondwaterstand in het gebied onvoldoende hoog is danwel de kwel onvoldoende sterk is om bescherming van de karakteristieke grondwaterafhankelijke ecologische waarden waarop de functietoekenning is gebaseerd, in dat gebied te garanderen'.

Een gebied met een natuurfunctie wordt ook als verdroogd aangemerkt als ter compensatie van een te lage grondwaterstand water met een voor die natuurfunctie onvoldoende kwaliteit moet worden aangevoerd ⁴.

Deze, natuurgerichte, definities geven al aan dat verdroging in Nederland niet zozeer een gevolg is van waterschaarste, maar veeleer een gevolg van veranderingen in 'natuurwaarden', onder andere ten gevolge van veranderingen van grondwaterstanden en daarmee samenhangende grondwaterstroming.

Eén van de gevolgen van verdroging is de teruggang van vochtige en natte natuurwaarden. In 1988 werd hiernaar een onderzoek uitgevoerd. Dit leidde tot de schatting dat 72%, ofwel 80 000 hectare van de onderzochte verdrogingsgevoelige natuur matig tot sterk verdroogd was. In 1993 bleek het totale areaal aan verdroogde natuurgebieden op basis van een landelijke inventarisatie wel vijf keer zo groot te zijn ⁵. Bij de meest recente inventarisatie gaat men uit van een areaal van ongeveer 300 000 hectare. Van de gebieden die natuur als nevenfunctie hebben is nog eens ongeveer 250 000 hectare verdroogd ⁶.

Verdroging is een onbedoeld effect op de vegetatie in met name de natte natuurgebieden. Een voorbeeld maakt dit duidelijk. Als een gebied met opzet wordt ontwaterd om ontginning mogelijk te maken, scharen we dit niet onder verdroging. Het effect van de ontginning strekt zich echter verder uit. De ontwatering kan leiden tot een daling van de grondwaterspiegel in een nabijgelegen natuurgebied. Deze daling kan een nadelige invloed hebben op de soortenrijkdom en de specifieke vegetatie in dit natuurgebied. Dit onbedoelde effect op het natuurgebied is wel als verdroging aangemerkt.

Een verandering in de vegetatie hoeft echter niet altijd veroorzaakt te zijn door een daling van de grondwaterspiegel. Ook andere invloeden op het milieu zoals verzuring, overbemesting of een gewijzigd drainagesysteem, evenals veranderingen in het natuurbeheer, kunnen de oorzaak zijn van dergelijke veranderingen.

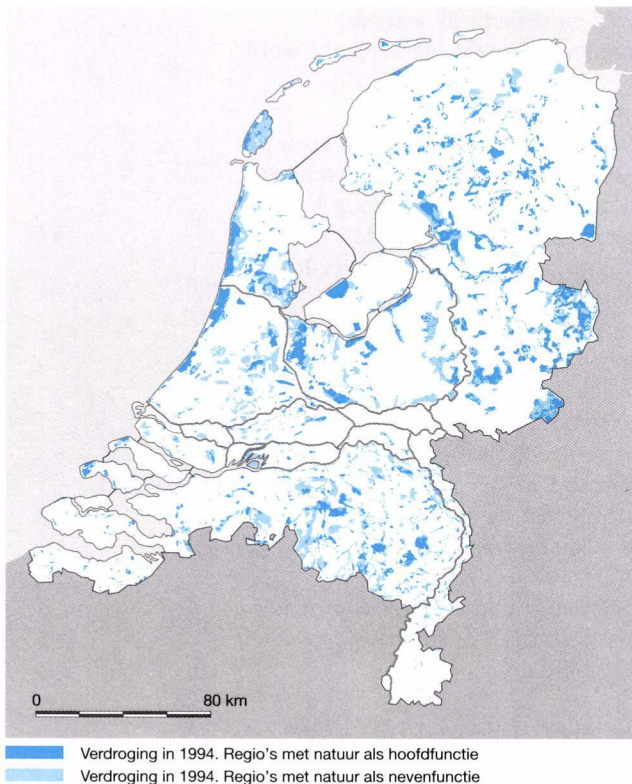
Zo is de kwantificering van de verdroging in Nederland een lastige zaak. Het vraagt om selectie, sortering en eliminatie van de factoren die er de oorzaak van kunnen zijn. Ook de gevoeligheid voor verdroging ten gevolge van de interactie tussen meerdere belastende factoren en de effecten daarvan op de natuur zijn (nog) moeilijk te kwantificeren ⁷. Uitspraken en conclusies met betrekking tot verdroging vragen derhalve om een grote nuancering.

De gebieden die in 1994 als verdroogd werden aangemerkt, staan weergegeven in *figuur 11.1*.

De tijdstijghoogtelijnen van vele grondwatermeetpunten getuigen van de verdroging. Als voorbeeld meetpunt 51H P 0125 in Mierlo, in het gebied van de Centrale Slenk, Noord-Brabant. Zoals al in hoofdstuk 6 uiteengezet is hebben de onttrekkingen in de bruinkoolgroeven in Duitsland een grote invloed op het stromingspatroon in de diepere aquifers in Noord-Brabant en vooral in het noordelijk gedeelte van Limburg. In Mierlo resulteert dit, in combinatie met grondwaterwinning uit het diepe watervoerend pakket, tot een aanzienlijke daling van de stijghoogte (*figuur 11.2*).

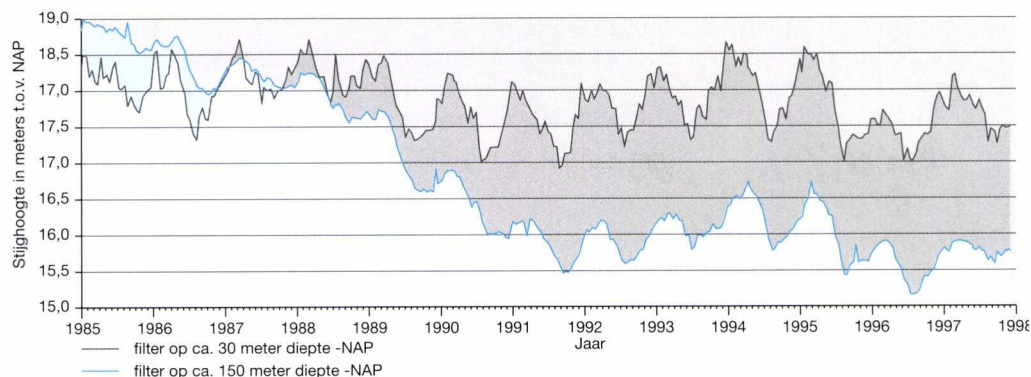
In *figuur 11.3* zijn voor geheel Nederland de wijzigingen van de gemiddelde grondwaterstand in de periode 1973 - 1977 ten opzichte van gemiddelde grondwaterstand in de periode 1956 - 1960 weergegeven.

In bepaalde gebieden komen dalingen van meer dan 75 centimeter voor ⁸. Toch mag dit overzicht niet zonder meer als de enige maat voor de verdroging gehanteerd worden.



Figuur 11.1

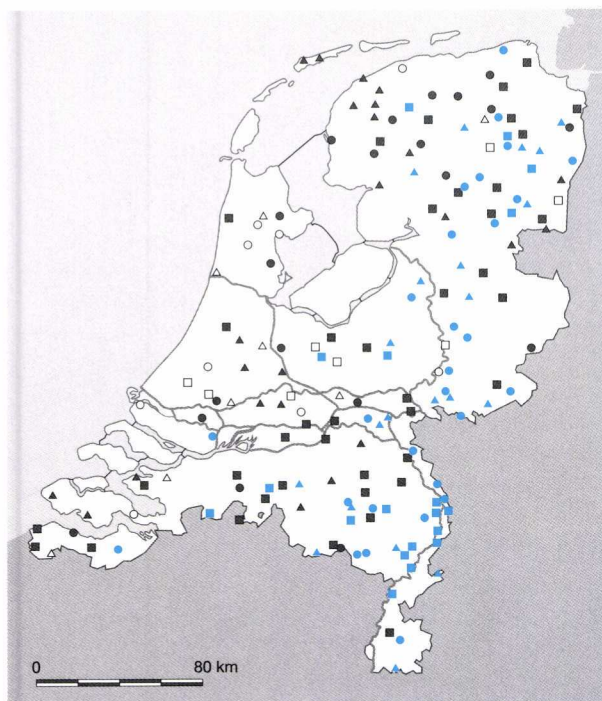
Locatie van de verdroogde gebieden (Naar RIVM (ed.), 1995)



Figuur 11.2

Tijdstijgtoegteverloop in twee filters in meetpunt 51H P 0125, gemeente Mierlo, op respectievelijk ca. 30 en ca. 150 m diepte beneden NAP (Archief van Grondwaterstanden, NITG-TNO, Delft)

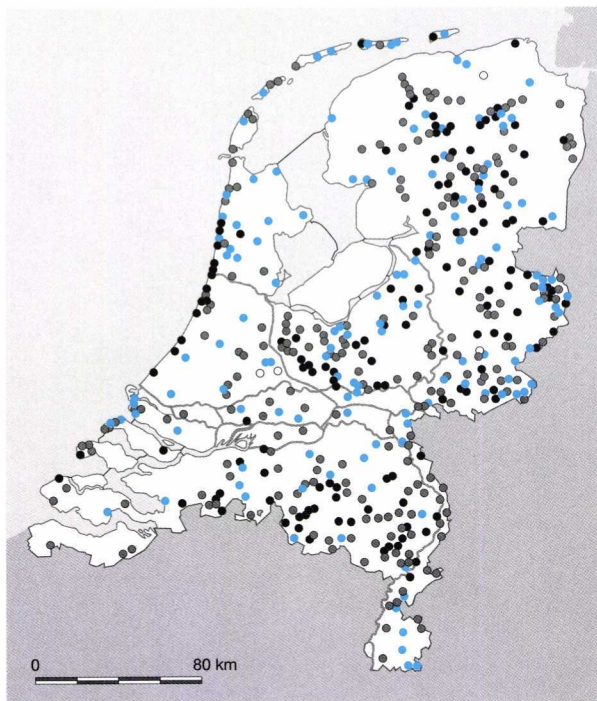
Figuur 11.4 en figuur 11.5 geven een beeld van verdroging op grond van andere ecologische waarnemingen. Figuur 11.5 toont duidelijk hoezeer de verdroging al vóór de droge zomer van 1976 was opgetreden.



Stijging	Daling	
○ 0 - 5 cm	● 0 - 5 cm	● 30 - 50 cm
△ 5 - 15 cm	▲ 5 - 15 cm	▲ 50 - 75 cm
□ >15 cm	■ 15 - 30 cm	■ >75 cm

Figuur 11.3

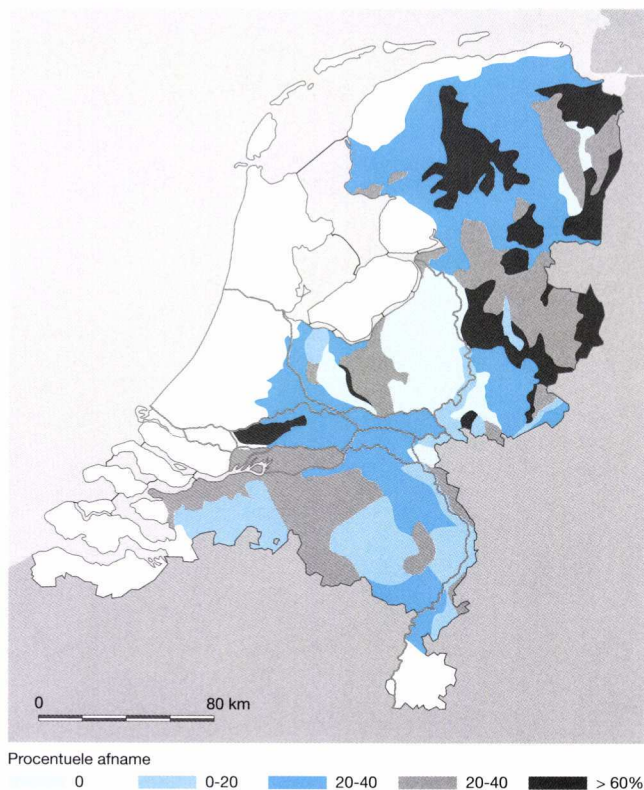
Wijziging van de gemiddelde grondwaterstand in de periode 1973 tot en met 1977 ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand in de periode 1956 tot en met 1960 (Naar Ministerie van V & W, 1985)



● Niet verdroogd
● Matig verdroogd
● Sterk verdroogd
○ Verdroging onbekend

Figuur 11.4

Verdroging van natuur- en landschapgebieden. Aangegeven is de mate van verdroging van natte/vochtige standplaatstypen in bos en natuurterrein (Naar Braat, L.C.M. (red.), e.a., 1989)



Figuur 11.5
 Afname van natte cultuurgrond in de periode 1955 - 1976
 (Naar Braat, L.C.M. (red.), e.a., 1989)

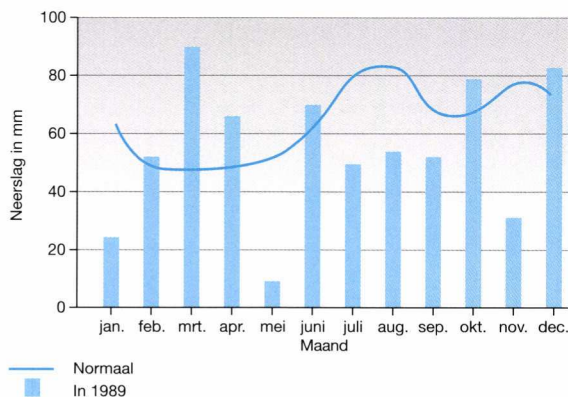
- a. toename van grondwaterwinning ten behoeve van beregening;
- b. ontwateringsmaatregelen om de agrarische productie te verhogen;
- c. toegenomen verdamping bij intensivering van de landbouw.

a. De kwantitatieve aspecten van de grondwateronttrekking ten behoeve van beregening zijn toegelicht in paragraaf 8.5.

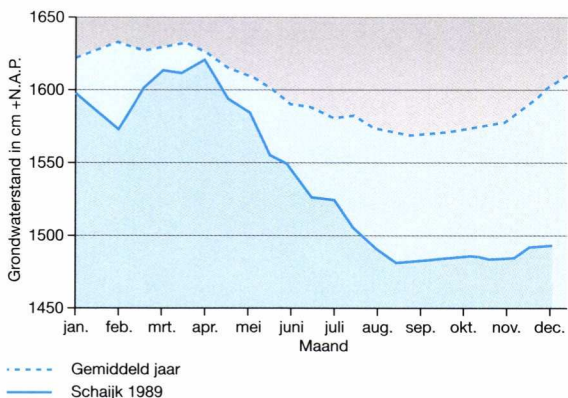
De relatie van deze onttrekkingen tot de daling van de grondwaterstand was al vóór 1980 door het ICW te Wageningen onderzocht⁹. Bij een vergelijking van de invloed van deze onttrekkingen en die van waterwinning door een drinkwaterbedrijf is het volgende beeld verkregen.

Een correlatie tussen *figuur 11.3* en de *figuren 11.4-11.5* is wel aanwezig, maar ook wordt duidelijk dat andere factoren dan de verlaging van de gemiddelde grondwaterstand eveneens een belangrijke rol spelen. *Figuren 11.6* en *11.7* geven een voorbeeld van de correlatie tussen neerslag en grondwaterstand die in sommige putten waargenomen kan worden.

Bij de wijzigingen in de waterhuishouding op landbouwgronden spelen drie van de vijf oorzaken voor verdroging in versterkte mate mee:



Figuur 11.6
 Het verloop van de neerslag in 1989. Het jaar werd gekenmerkt door een nat voorjaar en een droge zomer
 (Naar KNMI in Pellenbarg, N.P. & G.P. Beugelink, 1991)



Figuur 11.7
 Het gemeten verloop van de grondwaterstand in 1989 in een peilbuis (45F B 0060) bij Schaijk in de provincie Noord-Brabant, oktober - december aangevuld op basis van gegevens Archief van Grondwaterstanden NITG-TNO
 (Naar Pellenbarg, N.P. & G.P. Beugelink, 1991)

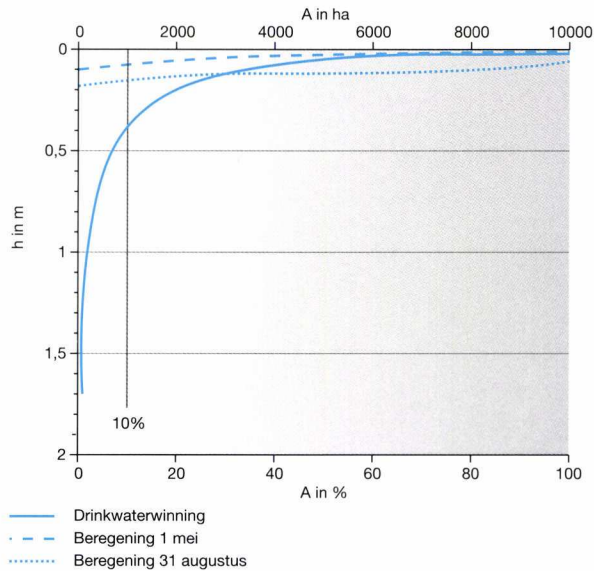
Verondersteld werd een gebied in Noord-Brabant van 10 000 hectare groot met daarin één grondwateronttrekking voor de drinkwatervoorziening van 8 miljoen m³ per jaar en per 150 hectare één agrarische onttekening (totaal 67 winningspunten). Deze resulteert in het groeiseizoen van 120 dagen per jaar in een dagelijkse onttekening van 250 m³. Het resultaat wordt weergegeven in *figuur 11.8*.

Zoals te verwachten blijkt de invloed van de onttekening voor de drinkwatervoorziening op de daling van het grondwaterniveau in een klein gebied groot en de invloed van de onttekeningen voor beregening over een groot gebied klein ⁹.

b. Al in 1958 bleek uit een inventarisatie van de waterhuishoudkundige toestand van Nederland dat 60% van het landbouwgebied opbrengstverlaging had als gevolg van wateroverlast en 40% als gevolg van droogte. Sindsdien werden veel werken ter verbetering van zowel de ontwatering als de afwatering uitgevoerd ¹⁰. Studies tonen aan dat er bij sommige gewassen een duidelijke relatie is tussen grondwaterstand en gewasopbrengst. Voor aardappelen wordt dit geïllustreerd in *figuur 11.9*.

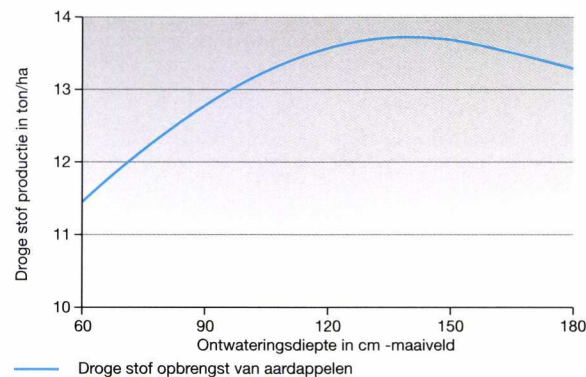
Na het inwerkingtreden van de Ruilverkavelingswet in 1955 werden veel agrarisch-waterstaatkundige maatregelen genomen die tot een versnelde drainage en peilverlaging leidden. Het beheer van grond- en oppervlaktewater werd vanaf dat moment gericht op het zo snel mogelijk afvoeren van water. Er werden effectieve ontwateringsmaatregelen genomen, zoals het graven van nieuwe sloten. Zo werd wateroverlast voorkomen en de agrarische bodem geschikt gemaakt voor de toepassing van zware landbouwmachines. Ook de wens om het vee al vroeg in de lente in de wei te kunnen brengen heeft bijgedragen aan een intensieve ontwatering.

Onderzoek naar daling van de gemiddelde grondwaterstand, zowel binnen ruilverkavelingsgebieden als daarbuiten, heeft aangetoond dat de daling erbinen 35 cm was en erbuiten slechts 20 cm. Waterhuishoudkundige maatregelen in het kader van de ruilverkaveling zijn verantwoordelijk voor een additionele daling van minstens 15 cm ¹¹.



Figuur 11.8

Vergelijking van grondwaterstands daling als gevolg van drinkwaterwinning en van beregening in relatie tot de beschouwde gebiedsgrootte A, zowel in ha als in % (Naar Ernst, L.F. & R.A. Feddes, 1979)



Figuur 11.9

Relatie tussen droge stof-opbrengst van aardappelen en ontwateringsdiepte. Gebaseerd op simulaties over 1952 t/m 1981 (Naar Wijk, A.L.M. van, e.a., 1988)

Een verlaging van de grondwaterstand veroorzaakt een afname in de beschikbaarheid van bodemvocht. De temperatuur en de zuurstofconcentratie in de bodem zullen toenemen, resulterend in een toenemende stikstofmineralisatie en grotere beschikbaarheid van fosfaat, kortom eutrofiëring.

Tijdens de stroming van water door de ondergrond zal het water gewoonlijk verrijkt worden met Ca^{2+} en HCO_3^- -ionen. Kwel van dit verrijkte water zal het voortbestaan bevorderen van zekere waardevolle ecosystemen.

Grondwaterstandsverlaging daarentegen resulteert in een afname van de verrijkte (basische) kwel, met het gevolg dat het water meer de kwaliteit van het regenwater zal aannemen, waarop verzuring van de biotoop volgt ¹⁰.

c. De toename van de gewasverdamping sinds 1950 is volgens voorlopige berekeningen ongeveer even ingrijpend als de toename van de onttrekking van grondwater (exclusief duinwater) ten behoeve van de openbare drinkwatervoorziening ¹².

Tabel 61 (Gewas)verdamping en grondwateronttrekking in mln m³ per jaar

	1950	1988	Toename
Gewasverdamping	6283	6918	635
Grondwaterwinning t.b.v. openbare drinkwatervoorziening	164	756	592

Velde, G. van de, 1991

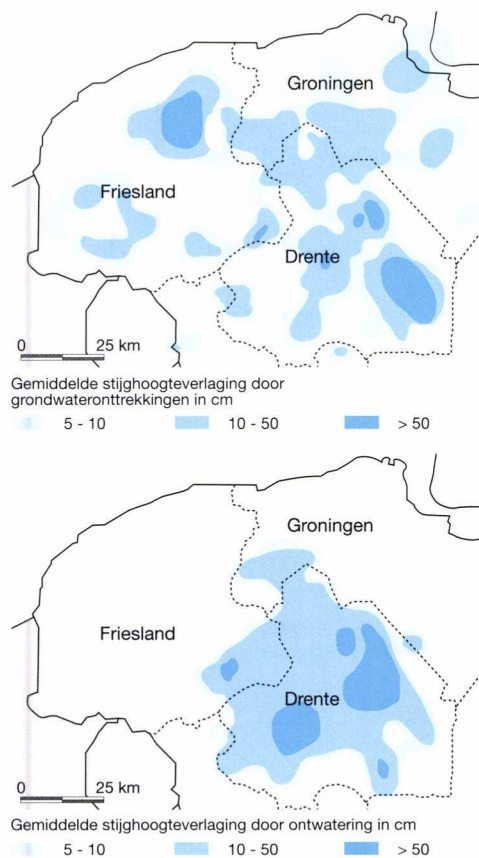
Modelberekeningen

Modelberekeningen zijn bij hydrologische studies en voorspellingen een praktisch hulpmiddel gebleken. Het spreekt vanzelf dat er daarom een grote inspanning plaatsvindt om de relatie hydrologie - verdroging door middel van modelleren te kunnen voorspellen. De meeste van deze modelontwikkelingen hebben een belangrijke ecologische component. Een voorbeeld van een dergelijke gerealiseerd model is het door KIWA NV ontwikkelde NICHE.

Door de modelberekeningen zijn relaties te leggen tussen de mogelijke oorzaken van verdroging en de daaraan gerelateerde verdrogingsverschijnselen. In de noordelijke provincies werd bijvoorbeeld voor het zogenaamde keileemplateau met behulp van het Nationaal GRondwater Model (NAGROM) nagegaan wat hier de oorzaken van verdroging kunnen zijn geweest. In *figuur 11.10* worden de resultaten voor twee typen oorzaken van verdroging in het keileemplateau in beeld gebracht.

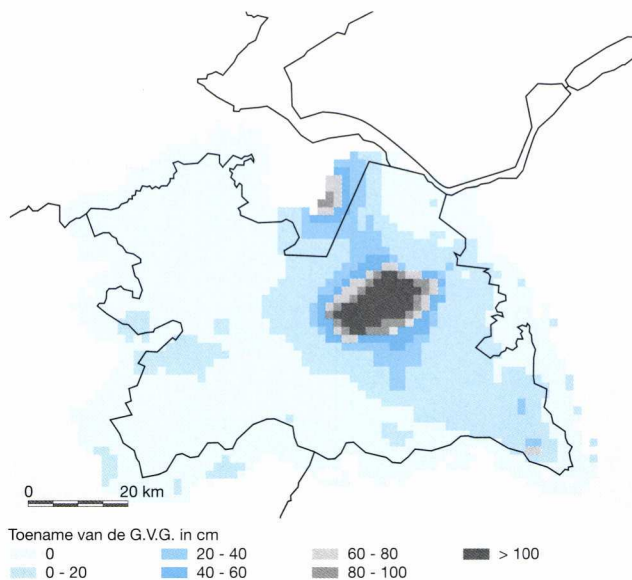
De grondwateronttrekkingen in 1986 en de intensivering van de ontwatering in de provincie Drenthe in de periode 1950-1991 zijn in de figuur uitgewerkt. De intensivering van de ontwatering blijkt tot ver buiten het gebied waarin deze maatregelen uitgevoerd werden invloed te hebben gehad op de stijghoogte van het grondwater ¹³.

Met behulp van het Landelijk Grondwater Model (LGM) zijn voor de provincie Utrecht de gevolgen berekend bij een gesimuleerde afname van de onttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening. Het model gaat uit van een reductie met de helft. Er is daarbij gekeken naar de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) en naar de kwelintensiteit (*figuur 11.11 en 11.12*).

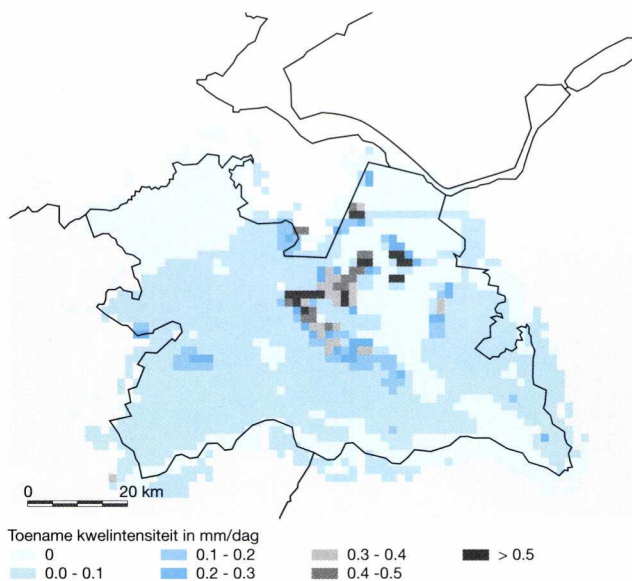
**Figuur 11.10**

Met NAGROM berekende gemiddelde verlagingen van de stijghoogte van het eerste watervoerend pakket in Noord-Nederland voor twee oorzaken: grondwateronttrekkingen in 1986 en ontwateringsmaatregelen in beekdalen sinds 1950 (Naar Claessen, F.A.M., 1991)

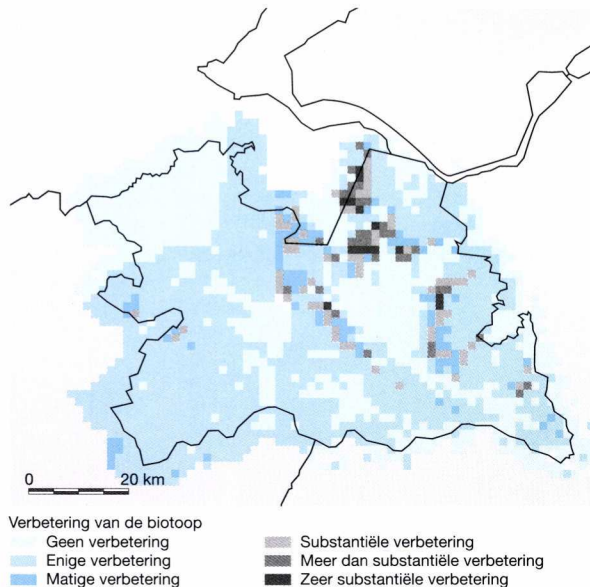
Met behulp van het Dosis Effect Model Natuur Terrestrisch (DEM NAT) is vervolgens de verandering in de biotoop bij eenzelfde afname van de onttrekking gesimuleerd (figuur 11.13).

**Figuur 11.11**

Effect van een 50% afname van de onttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening op de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) in de provincie Utrecht (Naar Pastoors, M.J.H., 1992)

**Figuur 11.12**

Effect van een 50% afname van de onttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening op de kwelintensiteit in de provincie Utrecht (Naar Pastoors, M.J.H., 1992)



Figuur 11.13

Effect van een 50% afname van de onttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening op de biotoop in de provincie Utrecht (Naar Beugelink, G.P., F.A.M. Claessen & J.H.C. Mülschlegel (RIVM, RIZA), 1992 a)

Voorbeeld van een verdrogingsstudie

'De Reitma' in Drenthe

In 1993-1994 werd in het natuurreservaat De Reitma in het dal van de Elperstroom ten zuidoosten van Rolde, Drenthe, een verdrogingsstudie uitgevoerd. Het voorbeeld maakt duidelijk hoe complex de verdrogingsproblematiek is.

'De Reitma' omvat de laatste restanten van de vroeger in de Drentse beekdalen voorkomende blauwgraslanden. Bij een inventarisatie in 1955 bleken de meeste van deze graslanden al uit de Drentse beekdalen te zijn verdwenen. Dit was de aanleiding om dit resterende gebied als reservaat te gaan beheren. Het reservaat met een oppervlakte van ongeveer 135 hectare bevindt zich in het beekdal ten oosten van Elp (figuur 11.14 en 11.15). Langs het gebied loopt een bovenloop van de Beilerstroom, de Elperstroom. Het reservaat bestaat voornamelijk uit schrale en minder schrale, natte en vochtige hooigraslanden. Langs de perceelgrenzen staan veel elzen. De blauwgraslanden werden gekenmerkt door het voorkomen van Blonde zegge, Vlozegge, Blauwe zegge, Spaanse ruiter, Parnassia, Gevlekte orchis, Moeraszoutgras en Paardehaarzegge. De eerste delen werden in 1956 aangekocht. Het gebied is momenteel in beheer bij Staatsbosbeheer.

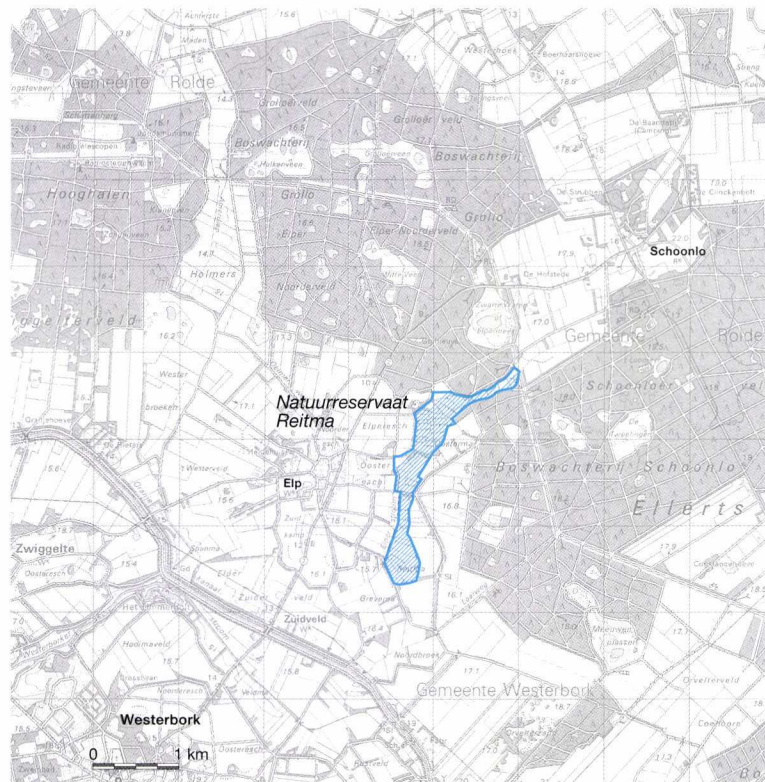
Oorspronkelijk werden de zogenaamde madelanden van De Reitma alleen ontwaterd door de Oude Elperstroom en door een aantal

ondiepe greppels die op de beek aansloten. In 1963 is de Nieuwe Elperstroom aangelegd voor de ontwatering van landbouwgebieden. In 1971 werd deze leiding verbreed en verdiept. Toen werd aan de oostzijde van het reservaat eveneens een leiding gegraven om de waterafvoer vanuit de ruilverkaveling in Grollo mogelijk te maken. Om verdroging van De Reitma te voorkomen werd een lemen dam aangelegd tussen het reservaat en deze beide leidingen. De ingrepen leidden desondanks tot verdroging. De Parnassia verdween, terwijl verschillende zeggesoorten sterk in aantal achteruitgingen. De verzuring en de voedselrijkdom namen toe. Dit resulteerde in het oprukken van andere plantensoorten. Om deze ontwikkelingen tegen te gaan zijn in 1981 enkele waterhuishoudkundige maatregelen toegepast, waaronder het plaatsen van een stuw in de Nieuwe Elperstroom. Hierdoor is een peilverhoging van ongeveer veertig centimeter in de Nieuwe Elperstroom bereikt gedurende het groeiseizoen. Hierdoor is de kwelintensiteit in het reservaat toegenomen; in de Nieuwe Elperstroom is die afgenomen. De maatregelen leidden tot een duidelijke verbetering van de situatie. Soorten als Parnassia en Tweehuizige zegge keerden terug en andere zeggesoorten konden zich herstellen. Sinds 1980 wordt ongeveer door het midden van De Reitma, loodrecht op de Elperstroom, in een raai peilbuisen de grondwaterstand gemeten. Er zijn ook al hydrologische gegevens uit de periode 1965 tot 1976 bekend. Deze wijzen erop, dat het grondwater in het deel van De Reitma direct westelijk van de Oude Elperstroom in april tot aan of boven het maaiveld stond. Ook nu staat aan het einde van het winterseizoen de grondwaterstand in dit deel van het reservaat één tot twee meter boven maaiveld.

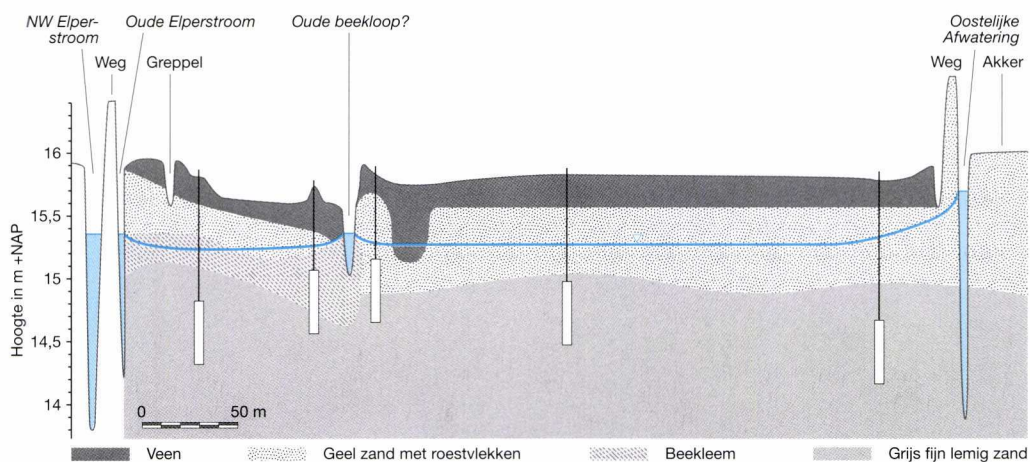
Ongeveer drie kilometer ten noordoosten van De Reitma is een diepere peilbuis. Hierin is sinds de jaren vijftig een daling opgetreden van vijftig centimeter. Deze daling wordt niet veroorzaakt door een winning in de directe nabijheid, maar in de omgeving is wel een ruilverkaveling doorgevoerd. Hoe groot de daling van de diepere stijghoogte in De Reitma is, is niet geheel duidelijk. Het is zeer aannemelijk dat die eveneens enkele decimeters groot is.

Uit de beschikbare gegevens, waaronder gegevens over de waterkwaliteit, kan afgeleid worden dat westelijk van de middenloop oorspronkelijk kwel voorkwam. Opmerkelijk is, dat de geconstateerde verdroging in de jaren zeventig niet gepaard ging met lagere grondwaterstanden. Doordat de neerslag in de periode 1965 tot 1976 in het reservaat werd vastgehouden, kon de grondwaterstand op peil blijven. De grondwaterstanden wijzen samen met de verandering in de vegetatie op die verklaring. De ondiepe greppels die in 1986 werden aangelegd om het neerslagwater af te voeren, hebben dan ook een zeer gunstig effect op de vegetatie gehad.

De verdroging is dus veroorzaakt door een afname in de diepe stijghoogte in de omgeving en door een afname van de kwelintensiteit in de percelen. De drainerende werking van de Nieuwe Elperstroom en het vasthouden van regenwater was hiervan de oorzaak. Hierdoor werd het basische kwelwater namelijk vervangen door neerslagwater. Ondanks de daling van de diepe stijghoogte is de overdruk in de huidige situatie nog voldoende om basisch grondwater naar de wortelzone te brengen. De overdruk is echter gering en wanneer de daling van de stijghoogte van het eerste watervoerend pakket doorgaat, zal de terreinbeheerder de situatie niet meer door lokale maatregelen kunnen herstellen ¹⁴.



Figuur 11.14
Locatie van het natuurreservaat De Reitma
(Naar Gieske, J.M.J. & J. Runhaar, 1994)



Figuur 11.15
Vereenvoudigd profiel over het natuurreservaat De Reitma
(Naar Gieske, J.M.J. & J. Runhaar, 1994)

Het voorbeeld illustreert dat verdroging niet alleen een gevolg is van daling van de grondwaterstanden. Ook een verandering van de waterkwaliteit door het wegvallen van kwelinvloeden of het aanvoeren van gebiedsvreemd oppervlaktewater kan een biotoop blijvend wijzigen. Deze gevolgen vallen eveneens onder de term verdroging.

In een groot deel van Nederland is er sprake van ecologische verschijnselen die een gevolg van verdroging zijn. Uit lokale en regionale studies blijkt dat de oorzaken van de verdroging vaak zo complex zijn, dat ze niet aan één ingreep of activiteit toegeschreven kunnen worden. Bovendien vragen specifieke biotopen om een daarop toegesneden aanpak. Om er toe bij te dragen dat anti-verdrogingsmaatregelen beter afgestemd worden op de gebruiksfuncties natuur en bos, heeft de Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap in 1990 het Handboek grondwaterbeheer voor natuur, bos en landschap gepubliceerd. Dit handboek poogt een leidraad te bieden voor passende maatregelen in de strijd tegen verdroging bij specifieke biotopen ¹⁵.

In 1995 is de regeling Gebiedsgerichte Bestrijding Verdroging (GeBeVe) van kracht geworden, die bij moet dragen aan de bestrijding van de verdroging. De ministeries van LNV, VROM en V&W stellen in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging tot en met 1998 jaarlijks 24 miljoen gulden beschikbaar. Uit dit fonds kunnen de kosten van anti-verdrogingsprojecten tot maximaal de helft worden gesubsidieerd. Provincies, waterschappen en terreinbeheerders dienen de andere helft te betalen ¹⁶.

In het kader van de noodzaak, geformuleerd in de derde Nota waterhuishouding in 1989, om tot een 'integraal waterbeheer' te komen, zijn er in het kader van de verdrogingsbestrijding samenwerkingsverbanden ontstaan tussen verschillende partijen. Zo hebben VEWIN, Waterleiding Maatschappij Overijssel (WMO), aannemersbedrijf Groep Midden Betuwe, Staatsbosbeheer en KIWA NV gezamenlijk maatregelen genomen om de verdroging in het Twentse natuurreservaat Stroothuizen (thans 32,5 ha groot) ten oosten van Denekamp terug te dringen. Herstelwerkzaamheden hebben geleid tot een onverwacht snelle terugkeer van zeldzame vochtminnende vegetatie zoals Stekelhauwmos ¹⁷.

Bij deze voorbeelden van recente anti-verdrogingsprojecten moeten wij ons realiseren dat het kleinschalige ingrepen zijn, waarvan het effect op regionale verdroging beperkt is. Het is dus (nog) niet vastgesteld dat dergelijke projecten de algehele 'achtergrondverdroging' ook wel 'structurele verdroging' genoemd, in Nederland effectief kunnen bestrijden.

In het kader van de opstelling van een Provinciaal Grondwaterplan hebben de provincies in de periode 1985 - 1994 de aspecten van verdroging in kaart gebracht. Het gaat daarbij om de ligging van verdroogde gebieden en de aard, mate en oorzaken van verdroging. Aan de hand van deze rapportages kan een beeld verkregen worden van de ernst van de situatie in de verschillende provincies. De rapporten dienen als onderbouwing van het door de Provincies te formuleren beleid om het areaal verdroogde gebieden terug te brengen ¹⁸.

Een voorbeeld van een dergelijke beleidsmaatregel is te vinden in de Provincie Utrecht. In het Waterhuishoudingsplan uit 1992 is aangegeven dat de vergunningscapaciteit van de NV Waterleidingbedrijf Midden-Nederland (WMN) moet worden teruggebracht. Concreet betekent dit een reductie van 15% van de totale hoeveelheid gewonnen grondwater in het jaar 2000 in het winningsgebied ten oosten van het Amsterdam-Rijnkanaal ¹⁹.

Omdat verdroging uiterst complex is, stelt dit belanghebbenden in staat het verschijnsel al naar gelang de optiek meer of minder ernstig voor te stellen. Dit brengt het gevaar met zich mee, dat consensus en de uitvoering van effectieve maatregelen moeilijk bereikt worden ²⁰.

11.2 Grondwateroverlast en vernatting

Het klinkt vreemd na de verhandeling over verdroging, maar in verschillende delen van Nederland bezorgt juist een stijging van het freatisch vlak ten opzichte van maaiveld aanzienlijke wateroverlast. De overlast is gewoonlijk een gevolg van bodemdaling of van veranderingen in de grondwaterhuishouding. Naast de voorbeelden zoals vermeld in paragraaf 4.6 is er bijvoorbeeld in het Vondelpark in Amsterdam sprake van een dergelijke overlast door inklinking van de bodem ²¹. Overlast door veranderingen in de grondwaterhuishouding kan bijvoorbeeld ontstaan wanneer er minder grondwater wordt onttrokken. Maar ook een wijziging in de drainage van de ondergrond kan de oorzaak van zo'n verandering zijn. Dit gebeurt wanneer oude, poreuze en daardoor drainerende rioleringen worden vervangen door nieuwe, dichte rioleringen.

De grondwateroverlast komt voornamelijk voor in stedelijke gebieden ²².

Het probleem doet zich daarnaast het meest voor in de lager gelegen veen- en kleigebieden en in de hoger gelegen delen nabij rivieren en beekdalen. In 1989 werd geschat dat ongeveer 3% van het Nederlandse woningbestand met problemen door grondwateroverlast kampt. In 1994 bleek echter dat het om niet minder dan 8,6% ging, ofwel 460 000 woningen ²³.

Recentelijk worden beheerders van natuurgebieden geconfronteerd met de gevolgen van wateroverlast door anti-verdrogingsmaatregelen. Deze 'gewenste' overlast wordt vernatting genoemd. Vernatting kan, voor landbouwgronden in de buurt van natuurgebieden waar anti-verdrogingsmaatregelen genomen zijn, schade met zich meebrengen door verminderde gewasopbrengsten.

De bestuurlijk-juridische aspecten en consequenties van deze vernattingsschade zullen in de komende jaren om een oplossing vragen. Die oplossing zal niet eenvoudig zijn in een land waar alle maatregelen traditioneel gericht waren op vermindering van de aanwezige hoeveelheid water. Een verdere complicerende factor is, dat in Nederland niet wettelijk is vastgelegd welke instantie verantwoordelijk is voor de beheersing van het grondwaterpeil ²⁴.

Dit laatste zal in hoofdstuk 14 nader toegelicht worden.

De gerelateerde kosten

In het kader van de voorbereiding van de vierde Nota waterhuishouding, worden in één van de voorbereidende studies kosten-batenanalyses gerelateerd aan verschillende toekomstscenario's gepresenteerd.

De drie scenario's zijn:

1. 'Huidig beleid', waarbij de aanpak van knelpunten en benutten van (economische) potenties volgens reeds vastgestelde maatregelen verloopt.
2. 'Systeem', waarbij het gaat om het zo snel en zo goed mogelijk oplossen van systeemknelpunten en om het benutten van de ecologische potenties van watersystemen.
3. 'Trendbreuk', waarbij gestreefd wordt de doelstellingen van de derde Nota waterhuishouding (1989) te realiseren.

Algemeen geformuleerd kan gesteld worden dat de drie scenario's een afnemende volgorde van 'economische prioriteit' en een oplopende volgorde van 'milieuprioriteit' vertegenwoordigen ²⁵.

Bij het nemen van bepaalde maatregelen bijvoorbeeld om verdroging tegen te gaan, zullen de kosten, waarvoor de agrarische sector zich geplaatst ziet, veranderen onder invloed van elkaar beïnvloedende maatregelen. Als voorbeeld kan genoemd worden de vernattingsmaatregelen in en rond verdroogde gebieden, die de droogteschade doen afnemen maar de vernattingsschade doen toenemen.

De opbrengstderving voor de agrariërs in de betreffende omgeving is uit te drukken in een gemiddelde kostenverandering per hectare ten opzichte van de kosten in 1993.

Tabel 62 Gemiddelde extra opbrengstderving voor de landbouw t.o.v. 1993 in gulden/hectare bij verschillende scenario's

Variant	(jaar)	Droogteschade	Vernattingsschade	Beregeningskosten	Totale schade
Huidig beleid	(2000)	0	+6	-3	+3
Huidig beleid	(2015)	-3	+4	-5	-4
Systeem	(2015)	-2	+24	-25	-3
Trendbreuk	(2045)	-6	+63	-33	+24

Naar Ministerie van Verkeer en Waterstaat Directoraat - Generaal Rijkswaterstaat (ed.), 1996

Zoals uit de tabel blijkt, nemen de absolute kosten voor de landbouw bij de meeste varianten af. Op korte termijn geldt dat de kosten van vernattingsschade iets kunnen toenemen. Vergaande toepassing van anti-verdrogingsmaatregelen zoals met name in de variant 'Trendbreuk' zorgen tijdelijk voor aanzienlijk meer vernattingsschade. Deze kostenontwikkeling is in overeenstemming met de prognoses met betrekking tot beregeningskosten; bij toenemende omvang van anti-verdrogingsmaatregelen blijken de beregeningskosten op termijn af te nemen ²⁵.

12 Grondwatergegevens

12.1 Waarneming en gegevensverwerking

Grondwater onttrekt zich bijna overal aan onze directe waarneming. Kwel is het enige verschijnsel waarbij het grondwater zich op natuurlijke wijze aan ons zichtbaar maakt. Voor alle andere waarnemingen zijn eerst ingrepen, zoals het maken van een peilbuis, nodig. De waarnemingen zijn altijd tijdafhankelijk en plaatsgebonden: het zijn tijd/punt-waarnemingen. Voorbeelden hiervan zijn: waarnemingen in boringen, in pompputten of in peilbuizen. Ook registraties van bepaalde fysische eigenschappen van de ondergrond rekenen we ertoe. Zo wordt bijvoorbeeld het elektrisch geleidingsvermogen van de ondergrond gemeten. Dit kan informatie opleveren over het Cl⁻-gehalte van het grondwater of over eigenschappen van de ondergrond zoals het voorkomen van een slecht doorlatende laag (klei).

Waarnemingspunten voor het registreren van de veldgegevens, ook wel het gegevens-waarnemingssysteem genoemd, zijn op zichzelf nog niet genoeg om de nodige kennis over grondwater te verwerven. Er moet in verwerkingsstappen nog veel met de meetgegevens gebeuren om conclusies te kunnen trekken en er beslissingen op te kunnen baseren. Daarom zit achter elk gegevens-waarnemingssysteem een organisatie die de gegevens verzamelt, be- en verwerkt en distribueert. Deze organisatie is het gegevens-verwerkingssysteem.

Het systeem dat nodig is voor het doorlopen van de verwerkingsstappen noemt men een informatiesysteem. Een dergelijk informatiesysteem bestaat uit drie hoofdcomponenten: een database, een geheel van hulpmiddelen voor interpretatie en analyse en procedures voor de kwaliteitscontrole.

12.2 Grondwatermeetnetten en informatiesystemen

De grillige variatie in eigenschappen van de Nederlandse ondergrond maakt een dicht net van meetpunten noodzakelijk om de nodige informatie te verkrijgen. Het net komt ook tegemoet aan de behoefte aan gedetailleerde informatie in het dichtbevolkte Nederland. Een dergelijk uitgebreid netwerk is dan ook al vanouds aanwezig.

Het Boor-Archief van de voormalige Rijks Geologische Dienst te Haarlem, thans Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO en de gegevens die door het Staring-centrum van de Dienst Landbouwkundig Onderzoek (DLO) te Wageningen zijn verzameld voor de publicatie van een Grondwatertrappenkaart vormen een belangrijke bron van systematische informatie over de Nederlandse ondergrond.

Maar ook de grondwatermeetnetten leveren een schat aan informatie. Ze zijn op verschillende manieren in te delen. Eén indeling gaat uit van gebruikscategorieën zoals waterbeheer, watergebruik of wetenschappelijk onderzoek. Ook een onderscheid naar het type beheerder van het grondwater is mogelijk. *Tabel 63* geeft een dergelijke indeling.

Een heel belangrijke indeling van de grondwatermeetnetten gaat uit van een tweedeling op grond van de focus kwantiteit (grondwaterstand/stijghoogte) of kwaliteit (hydrochemie). Grondwaterstanden of stijghoogten worden gemeten in peilbuizen. Putten en buizen waarin gemeten wordt zijn er in verschillende soorten: brandputten, peilputten, landbouwbuizen of freatische buizen en welputten (*figuur 12.1*).

Tabel 63 Typen grondwatermeetnetten in Nederland

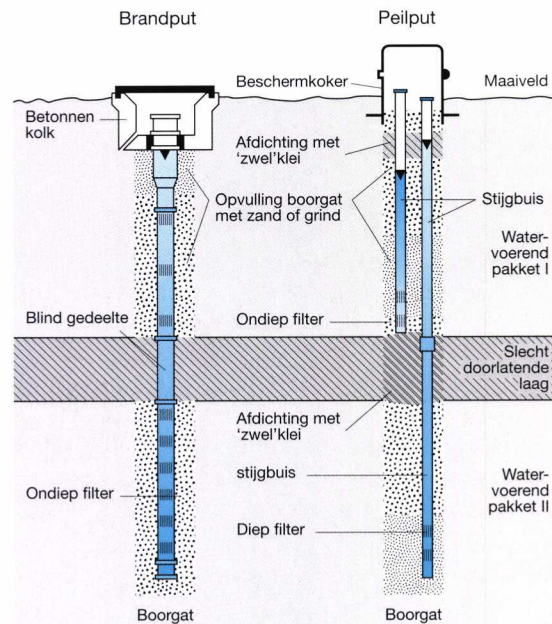
Type meetnet	Beheerder	Aantal waarnemingspunten (aantallen zijn schattingen)
Strategisch waterbeheer	rijk en/of provincie	5 000*
Operationeel waterbeheer	gemeenten	2 000**
	waterschappen	3 000**
	natuurbeheer	12 000
Watergebruikers	waterleidingbedrijven	4 500
	industrie	500**
Onderzoek in relatie tot het beheer	NITG-TNO	4 000
Research	RIVM	
	universiteiten en onderzoeksdiensten	200 200
Totaal		31 400

* Bestaande uit 4000 punten voor kwantiteitsmeting en 1000 punten voor kwaliteitsmeting

** Voor zover aangemeld bij NITG-TNO

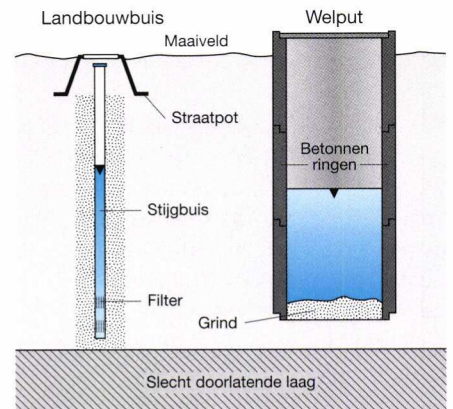
Bracht, M.J. van, 1994

Meting van kwantitatieve gegevens, zoals de grondwaterstand gebeurt in het algemeen éénmaal per 14 dagen. Het registreren van de veldgegevens gebeurt op dit moment nog voor het grootste gedeelte handmatig. Sinds 1992 is er sprake van een aanzienlijke ontwikkeling in het geautomatiseerd registreren van grondwaterstanden.



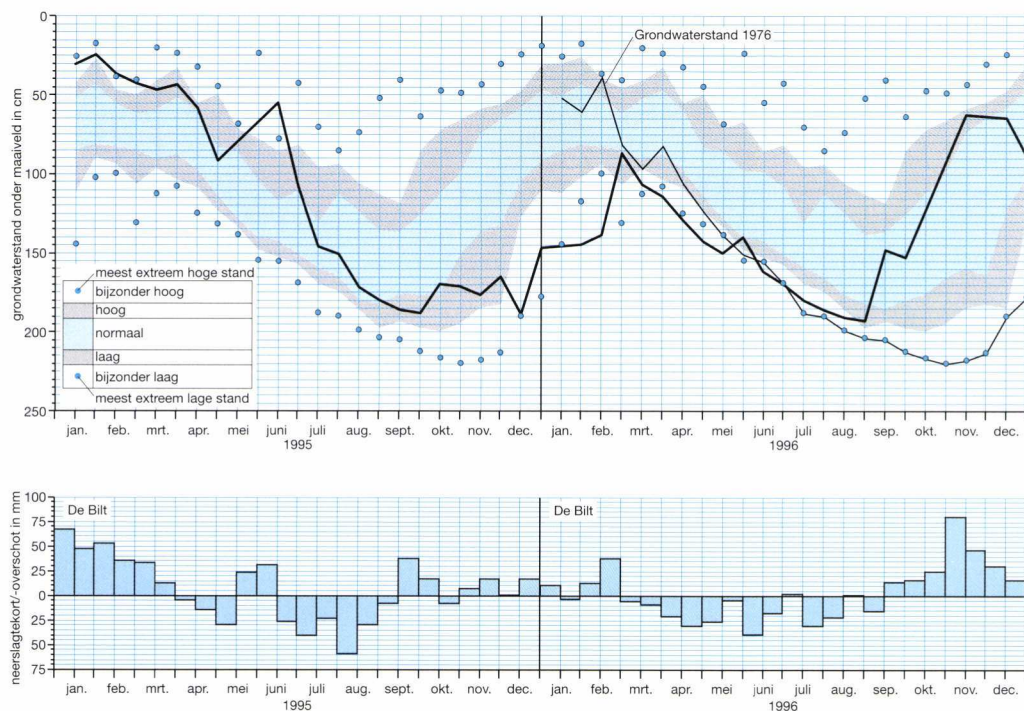
Figuur 12.1

Overzicht van de verschillende typen putten waarin de grondwaterstand of stijghoogte gemeten kan worden (Naar NITG-TNO (ed.), 1997 c)



Alleen langdurige meetreeksen, over zo'n twintig jaar, in één en dezelfde put bieden de mogelijkheid een uitspraak te doen op de vraag of een bepaalde grondwaterstand wel of niet overeenkomt met een bijzondere situatie zoals verdroging. Als voorbeeld wordt in *figuur 12.2* het verloop van de grondwaterstand in het freatisch pakket in een put nabij Winterswijk gepresenteerd. Naast de gemeten grondwaterstand in de jaren 1995 en 1996 worden ook de hoogste en laagste ooit gemeten niveaus weergegeven. Het belangrijkste is de relatie van de gemeten standen ten opzichte van de 'normaal'. Hiermee wordt het mogelijk een gefundeerde uitspraak te doen. De betrouwbaarheid van deze 'normaal' is afhankelijk van de duur van de periode waarin in de betreffende put waarnemingen gedaan zijn.

In de figuur is duidelijk te zien dat de droge winter 1995 - 1996 een extreem lage grondwaterstand in het voorjaar van 1996 veroorzaakte. Duidelijk is ook de respons van de grondwaterstand op het neerslagoverschot in de periodes mei - juni 1995 en september - december 1996 ¹.



Figuur 12.2

Grondwaterstandsverloop in het freatisch pakket in meetpunt 41E L 0007 01 nabij Winterswijk.

Neerslagoverschot/-tekort te De Bilt (Naar Geer, F.C. van & A.H.M. Kremers, 1997 a)

Bij het verzamelen van kwalitatieve gegevens is de meest gebruikte frequentie éénmaal per jaar. De waterkwaliteit wordt bepaald door een analyse van de genomen watermonsters.

De Sectie Grondwater Meetnetten, binnen de Afdeling Grondwater van het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (voorheen Dienst Grondwaterverkenning TNO) beheert momenteel de gegevens van de hiervoor gerubriceerde 31 400 meetpunten. Zoals bij de oprichting van het Archief van Grondwaterstanden TNO in 1948 vindt de registratie van de meeste veldgegevens 50 jaren later nog altijd plaats dankzij de inzet van duizenden vrijwilligers ².

Een ander gedeelte van de te beheren gegevens wordt verzameld in samenwerking met verschillende landelijke of regionale instanties.

Sinds medio jaren tachtig beschikt TNO Grondwater en Geo-Energie, het huidige NITG-TNO, over diverse geowetenschappelijke informatiesystemen. De samenhang tussen de verschillende systemen wordt gevormd door een centrale database (DINO: Database Informatie Nederlandse Ondergrond).

DINO bestaat uit:

- OLGA (On Line Grondwater Archief). Dit is een on-line bereikbare databank voor (geo)hydrologische gegevens. Operationeel sinds 1987 bevatte deze databank op 25 september 1997 al 15 602 023 grondwaterstanden.
- De opvolger van OLGA (OLGA 98), integreert alle niet ruimtelijke gegevens van OLGA en de ruimtelijke informatie vervaardigd met REGIS.
- REGIS (REgionaal Geohydrologisch Informatie Systeem). Dit is een basissysteem dat is ontwikkeld voor provinciale en nationale waterbeheerders in Nederland. Het beschikt over een uitgebreide set gereedschappen voor de ruimtelijke interpretatie en analyse van alle gegevens over bodem/ondergrond en grondwater/oppervlaktewater die voor regionaal waterbeheer noodzakelijk zijn.

Inmiddels zijn hierop varianten ontwikkeld ten behoeve van bijvoorbeeld waterleidingbedrijven en waterschappen ³. Ook zijn er ontwikkelingen geweest in meer generieke zin waardoor geohydrologische informatiesystemen kunnen worden ontwikkeld voor internationaal en nationaal gebruik. De toepassing kan variëren van het beheer van een stortplaats tot grootschalige geohydrologische studies of nationaal gegevensbeheer ⁴.

Om een landelijk beeld van de grondwaterkwaliteit en de veranderingen daarin te verkrijgen, richtte het RIVM tussen 1980 en 1985 het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG) in. Het RIVM plaatste 370 meetpunten, gelijkmatig verspreid over Nederland. Deze punten werden jaarlijks op ongeveer tien meter en op vijftientig meter beneden maaiveld bemonsterd. Het instituut analyseerde deze monsters op maximaal vijftientig grondwaterkwaliteitsparameters.

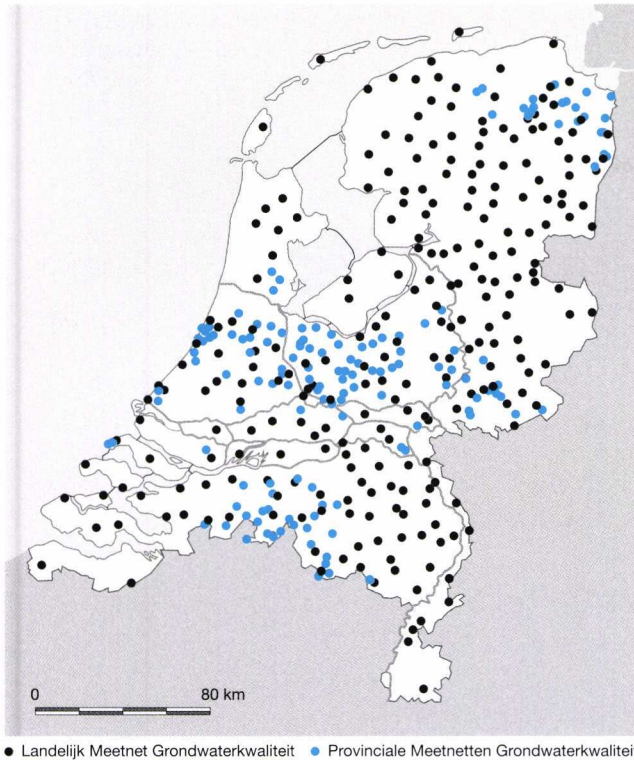
De diepte van de bemonstering in het LMG is beperkt. Daarom zegt het alleen iets over de kwaliteit van het grondwater in het afdekkende en in het bovenste of eerste watervoerend pakket. Na 1990 begonnen de provincies met het plaatsen van aanvullende meetpunten. Deze netten worden Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit (PMG) genoemd. Ten behoeve van een eerste landelijke analyse werden in 1991 252 meetpunten uit het LMG geselecteerd en 173 uit het PMG.

In *figuur 12.3* wordt de geografische verspreiding van deze selectie gepresenteerd.

Deze eerste resultaten uit analyses van de verzamelde gegevens in 1991 werden in 1994 gepubliceerd. Dit leverde onder andere gegevens op over de landelijke verspreiding van een groot aantal elementen; zoals fosfaat, stikstof, zink en lood in het grondwater ⁵.

Dankzij de landelijke meetnetten en de bijbehorende centrale gegevensverwerking en -opslag kunnen studies naar het grondwater in Nederland op een wetenschappelijke verantwoorde manier uitgevoerd worden. De centrale coördinatie van de gegevensverwerking is een waarborg voor de vergelijkbaarheid van de verschillende gegevens.

Naast de landelijke meetnetten bestaan er ook regionale en lokale meetnetten. Een voorbeeld is het verdrogingsmeetnet dat in de provincie Limburg in en rondom natuurgebieden is geïnstalleerd. Een dergelijk meetnet is nodig om na te gaan of maatregelen tegen verdergaande verdroging effect hebben. Ook kan het worden gebruikt om te beoordelen of maatregelen om het grondwater tot een vroeger peil terug te brengen, het gewenste resultaat opleveren. Een dergelijk meetnet werd ook toegepast bij het onderzoek in het natuurgebied 'De Reitma' ⁶.



Figuur 12.3
Meetnetpunten uit het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit en de Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit in 1991 (Naar Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1994)

13 Kennisontwikkeling over grondwater

13.1 Zoet/brak/zout-grensvlak bepaalt het onderzoek ¹

Tot tegen het eind van de vorige eeuw leidde het merendeel van de vier miljoen Nederlanders een agrarisch bestaan buiten de grote steden. De drinkwatervoorziening vond bijna overal nog plaats uit een eigen put of uit een dorpswaterput. De verstedelijking en industrialisatie veroorzaakte een concentratie van de drinkwaterbehoefte.

Al vanaf het begin van de 19e eeuw werden plannen gemaakt om de grote steden in het westen van het land van een centrale drinkwatervoorziening te voorzien. Men maakte hiermee echter weinig haast. Nog in de negentiende eeuw werd het land regelmatig door cholera-epidemieën getroffen. Pas in de tweede helft van deze eeuw begon men het verband tussen deze epidemieën en de drinkwaterkwaliteit te vermoeden. In 1868 rapporteert 'de Commissie tot onderzoek van drinkwater in verband met de verspreiding van cholera en tot aanwijzing ter voorziening in zuiver drinkwater' in haar 'Rapport aan den Koning' dat: '... Aangenomen moet worden dat verontreiniging van het drinkwater met organische stoffen in staat van omzetting verkerend, vooral wanneer deze van dierlijken oorsprong zijn, tot uitbreiding der - eenmaal ingebragte - cholera bijdraagt' ².

Rond dezelfde tijd, in 1867, pleitte T.C. Winkler in de brochure 'Ons drinkwater en onze duinen' voor een toename van het gebruik van duinwater. In dat jaar werd al het door waterleidingbedrijven in Nederland geproduceerde drinkwater aan de duinen onttrokken. De totale winning bedroeg in dat jaar 2,9 mln m³ ³. Deze denkbeelden vonden een goed gehoor en er werden dan ook steeds meer concrete maatregelen genomen.

Het onderzoek naar grondwater kwam in deze tijd ook op gang. Een voorbeeld vormt de studie naar de mogelijkheid van grondwaterwinning binnen de stelling Amsterdam uit 1887. In deze nota van de officieren der genie J. Drabbe en W. Badon Ghijben over de hydrogeologische gesteldheid van de omgeving van Amsterdam formuleert Badon Ghijben de theorie over het evenwicht tussen zoet en zout water in de ondergrond van de duinen. Deze verklaring van de bijzondere evenwichtssituatie was van het grootste belang voor de latere grootschalige ontwikkeling van de duinwaterexploitatie ⁴. De theorie werd later de Ghijben-Herzberg-relatie genoemd ³.

De vraag naar goed drinkwater in Amsterdam groeide sterk. In de laatste decennia van de negentiende eeuw was er een vrijwel doorlopend tekort. De gemeenteraad stelde daarom een commissie in, die de opdracht kreeg om te onderzoeken waarom de Duinwater-Maatschappij niet aan de vraag kon voldoen. In 1891 verscheen het 'Rapport der commissie van onderzoek inzake de duinwaterleiding van Amsterdam'. Hierin wordt een schatting van het neerslagoverschot in het Nederlandse duingebied gepresenteerd, gebaseerd op neerslag- en verdampingscijfers van het duingebied en de nabije omgeving. Hiermee zag in feite de eerste regionale hydrogeologische studie in Nederland het licht ³.

De periode tot de Eerste Wereldoorlog kenmerkt zich door uitbreiding van de duinwaterwinning. In 1914 werd er 30 mln m³ gewonnen. Dit kwam overeen met een derde van de totale Nederlandse drinkwaterproductie in dat jaar. De Hollandse steden waren afhankelijk van de duinwateronttrekkingen. De verdeling tussen zoet en zout grondwater in het westen van Nederland hield velen bezig: het hydrologisch onderzoek was voor een groot deel gericht op de duinwaterwinning en de verklaring van de herkomst en stroming van het zoete grondwater in de duinen. De invloed van polders, de kwelstroming die daarmee in verband stond en de invloed van bemaling op deze kwelstromen waren onderwerp van studie en speculatie. Men vroeg zich bijvoorbeeld af hoeveel kwel en zout water eventuele polders in de Zuiderzee zouden moeten verwerken. De beoogde inpoldering van het Naardermeer was mislukt door sterke kwel en dit gaf reden tot ongerustheid ³.

In 1915 publiceerde J. van Oldenborgh de resultaten van een uitgebreide hydrologische studie over het duingebied bij Schoorl. In de appendix bij het rapport gaf hij een berekening weer, waarmee de invloed van grondwateronttrekking op het patroon van stijghoogte en grondwaterstroming werd benaderd. Deze berekening onderkende voor het eerst het dynamisch karakter van het systeem ³.

Twee jaar daarvoor was het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID) opgericht. 'Het verzamelen en bewerken van alle gegevens die voor de drinkwatervoorziening van belang kunnen zijn' werd nu centraal gecoördineerd. Het RID ging in 1984 samen met het Rijksinstituut voor Volksgezondheid (RIV). Samen vormden ze het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM). Het RID en later het RIVM hebben sinds 1913 een aantal landelijke studies uitgevoerd en gecoördineerd. Al deze studies hadden gemeen dat zij gericht waren op de drinkwatervoorziening en de eventuele begrenzing daarvan.

Tot de belangrijkste landelijke studies die sinds 1913 voornamelijk door, of onder supervisie van, het RID (RIVM) uitgevoerd zijn, behoren:

- Rapport betreffende de centrale drinkwatervoorziening voor de provincie Friesland. Rijksbureau voor Drinkwatervoorziening (ed.), 1919.
- Wateronttrekking aan de Veluwe. Rapport van de Commissie, (voorzitter E.D. van Dissel), ingesteld bij beschikking van den Minister van Binnenlandsche Zaken en Landbouw, d.d. 24 februari 1927, directie van den landbouw, no. 288, afd. 2 Domeinen, tot het onderzoek naar de gevolgen van eventuele wateronttrekking aan de Veluwe ten behoeve van de drinkwatervoorziening van Amsterdam 1933.
- Rapport van de Commissie voor Drinkwatervoorziening Westen des Lands. Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening, 1940.
- De watervoorziening van Amsterdam, Rapport 1940. Gemeentewaterleidingen Amsterdam, 1940.
- De watervoorziening van Amsterdam, Rapport 1948. Gemeentewaterleidingen Amsterdam, 1948.
- De Toekomstige Drinkwatervoorziening van Nederland, Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965, 1967.

In de jaren 1947 en 1949 trad een grote droogte op die een aanzienlijke negatieve invloed had op het agrarisch inkomen. Deze gebeurtenissen leidden tot de wens de landbouwwaterhuishouding in de toekomst beter te kunnen beheersen. Een voorstel werd geformuleerd om de waterhuishouding, in relatie tot landbouw en veeteelt, per provincie in kaart te brengen. Dit heeft geleid tot de publicatie in 1958 van een elfdelige serie van verschillende auteurs. Deze publicaties werden gecoördineerd door de Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland - T.N.O. (C.O.L.N.-T.N.O.) ⁵.

Dezelfde commissie bracht in 1960 een eerste systematische studie uit van de verziltings-toestand van het polderwater: 'Het Nederlands verziltingsvraagstuk' ⁶. In de lijn van dit werk werd in 1974 door K.E. Wit een regionale analyse van de kwel in de verschillende polders via de eindige-differentiemethode gepresenteerd. Voortbouwend op dit onderzoek verscheen in 1976 een gedetailleerde zout- en waterbalansstudie van Midden-West-Nederland onder de titel 'Hydrologie en waterkwaliteit van Midden-West-Nederland' uitgebracht door de Werkgroep Midden West-Nederland van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding onder eindredactie van E. van Rees Vellinga.

De landelijke geohydrologische kartering van Nederland is misschien wel de grootst opgezette inventariserende studie die in Nederland is uitgevoerd. De studie werd in opdracht van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat uitgevoerd door de Dienst Grondwaterverkenning TNO.

Het resultaat was 'De Grondwaterkaart van Nederland, 1967-1989'. De eindrapportage bestaat uit 47 rapport-kaartbladen in schaal 1 : 50 000. Elk rapport-kaartblad bestaat uit verschillende detailkaarten en profielen bovendien is elk rapport voorzien van een toelichting.

13.2 Grondwaterstroming en modellen

Een markant punt in de geschiedenis van het hydrologisch onderzoek in Nederland vormt 'Groundwater flow system and stream nets in the Netherlands', waarop J.J. de Vries in 1974 promoveerde. Hij geeft voor het eerst een analyse van grondwaterstromingsstelsels van verschillende orde in hun samenhang met oppervlakte-drainagestelsels en riviersystemen.

Midden jaren zeventig verschuift het accent in het onderzoek van waterkwantiteit naar waterkwaliteit. Dit blijkt bijvoorbeeld in 'Characteristic examples of the natural groundwater composition in the Netherlands' van C.R. Meinardi uit 1976. Deze publicatie introduceert het idee dat de hydrochemie van het grondwater samenhangt met de omgeving waarin het water heeft verkeerd. Latere belangrijke studies die uitgaan van deze ideeën zijn:

- De kwaliteit van het grondwater in Nederland. W. van Duijvenbooden e.a., 1989.
- Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands. C.R. Meinardi, 1994.

Als gevolg van de ideeën over grondwaterstromingsstelsels is in 1991 een Landelijke Hydrologische Systemanalyse gestart. Deze studie geeft voor heel Nederland inzicht in de werking en de ruimtelijke configuratie van hydrologische systemen. Dit is van belang bij het inschatten van het risico van bodemvervuiling.

Deze systeemanalyse brengt ook de relatie tussen infiltratie- en kwelgebieden en de onderlinge relatie tussen grondwaterafhankelijke ecosystemen in kaart. De opdrachtgevers zijn de ministeries van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, Verkeer en Waterstaat en Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer. De uitvoering was in handen van TNO-GG, het huidige NITG-TNO. Het eerste resultaat vormde het rapport 'Deelgebied Midden-Nederland, de regionale grondwaterstromingsstelsels rond de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug' door F.H. Kloosterman e.a. uit 1993.

In juli 1992 verschijnt het rapport: Onderzoek grondwaterbeheer Midden-Nederland, Modelering watersystemen, onder eindredactie van F.G. Haarman. Ook in deze studie, uitgevoerd door IWACO en de provincie Gelderland, wordt uitgegaan van regionale stromingssystemen. Studies met een meer detaillistisch en lokaal karakter kunnen toch een groot belang hebben. Dat geldt bijvoorbeeld voor 'Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the western Netherlands' van P.J. Stuyfzand uit 1993. Het belang van deze studie ligt in de toepassing van zijn classificatie van het grondwater op grond van een hydrochemische faciës-analyse. De auteur gebruikt deze faciës-analyse om de bewegingen van het grondwater te reconstrueren in een paleo-hydrologisch beeld.

Voor de ontwikkeling van een visie op de samenhang tussen de verschillende belanghebbers bij het water was de 'Derde Nota waterhuishouding' van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat in 1989 van groot belang. Alle studies die na dat jaar door de overheid zijn opgezet werden op deze nota getoetst. In het kader van deze nota verscheen bijvoorbeeld het standaardwerk over het nationale grondwatermodel (NAGROM): 'A groundwater model of the Netherlands.' Dit basisrapport verscheen in 1991 van de hand van W.J. de Lange. Onderzoek naar en de toepassing van grootschalig modelleren, met de nadruk op NAGROM, is door dezelfde auteur later in een promotie-onderzoek uitgewerkt ⁷.

De Nationale Milieuverkenning, gecoördineerd door het RIVM, bevat belangrijke bijdragen over grondwater en problemen als verdroging en verontreiniging ⁸.

De laatste tijd is het belang van modellen, onder andere in relatie tot milieuaspecten, allengs toegenomen. ‘The use of hydro-ecological models in the Netherlands’ biedt hiervan een goed overzicht ⁹.

Degenen die behoefte hebben aan een overzicht van hetgeen in Nederland op het gebied van hydrologie en aanverwante onderwerpen jaarlijks gepubliceerd wordt, worden verwezen naar de STOWA uitgave ‘De Hydrotheek’ ¹⁰.

14 **Beleid en beheer en het daarmee samenhangend wettelijk kader**

14.1 **Het beleid betreffende de waterhuishouding**

Al sinds mensenheugenis is men in Nederland vertrouwd met de strijd tegen het binnendringende oppervlaktewater. Beheersing en beheer van dit water is noodzakelijk om blijvende bewoonbaarheid, bedrijvigheid en agrarische ontwikkeling in het westelijk gedeelte van Nederland mogelijk te maken en te houden. Daarom zijn de processen die gepaard gaan met het horizontale en verticale transport van zout en zoet grond- en oppervlaktewater in Nederland al lang een onderwerp van zorg en studie.

Het water in al zijn facetten en het beheer ervan hebben een stempel gedrukt op de staatsrechtelijke inrichting, het bestuur en het beheer van Nederland. Reeds vroeg, vooruitlopend op andere vormen van landelijk en regionaal bestuur, kende Nederland een aantal bestuurlijk-juridische instrumenten die specifiek op het beheer van het water betrekking hadden. De oprichting van waterschappen, in West-Nederland bekend als hoogheemraadschappen, in de dertiende eeuw is daarvan het meest sprekende voorbeeld. Kenmerkend is het historisch gegroeide decentrale karakter van het waterbeheer. Het waterbeheer is immers niet enkel en alleen een taak van de rijksoverheid maar ook van provincies, waterschappen, gemeenten en in zekere zin ook van terreinbeheerders.

Op het niveau van rijksoverheid zijn niet minder dan drie ministeries betrokken bij het beheer van het water. Anno 1996 zijn dat primair het Ministerie van Verkeer en Waterstaat (V&W) en secundair het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM) alsmede het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij (LNV).

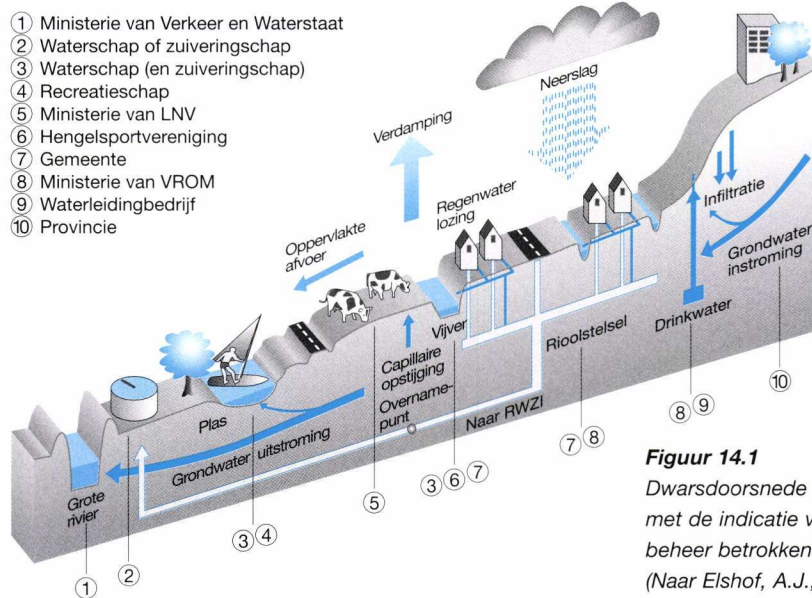
Elk ministerie heeft, met betrekking tot het water een eigen specifieke invalshoek en belangenbehartiging.

Zo is het Ministerie van Verkeer en Waterstaat primair verantwoordelijk voor de wetgeving op het gebied van de waterkeringen, grond- en oppervlaktewateren. Tevens is dit ministerie belast met het toezicht op de naleving daarvan. Bovendien beheert dit ministerie rechtstreeks de grote rivieren, de estuaria, kustwateren en het IJsselmeer. Het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer treedt pas sinds kort op de voorgrond in het waterbeheer. Dit ministerie draagt verantwoordelijkheid voor de kwaliteit van het (water-) milieu (waaronder de kwaliteit van het grondwater) en voor de drinkwatervoorziening. Het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij is nauw betrokken bij bodem-, oppervlaktewater- en grondwaterbescherming in relatie tot het natuurbeheer en tot de verontreinigingen die voortkomen uit agrarische activiteiten, zoals het gebruik van meststoffen. Ook zijn de consequenties van - en de regelgeving met betrekking tot - de agrarische grondwateronttrekkingen een aandachtspunt van dit ministerie.

De betrokkenheid van de vele organisaties bij het beheer van het grond- en oppervlaktewater kan in beeld gebracht worden zoals in *figuur 14.1*.

Bij alle genoemde aspecten spelen de waterschappen als regionale operationele (oppervlakte-) waterbeheerders een belangrijke rol.

Op het niveau van dit operationele beheer heeft de watersnoodramp in 1953 een belangrijke impuls gegeven. De ramp gaf de aanzet tot de besluitvorming en investeringen om grote daadkrachtige waterschappen te vormen. Die impuls is nog versterkt door de toenemende wens om het stelsel van waterbeheersing, waterkwaliteitsbeheer en waterkwantiteitsbeheer in één hand te brengen. Als gevolg van deze ontwikkeling is het aantal waterschappen van circa



Figuur 14.1
 Dwarsdoorsnede van een fictief gebied met de indicatie van de bij beleid en/of beheer betrokken organisaties
 (Naar Elshof, A.J., 1997)

2500 in 1946 teruggebracht tot 66 per 1 januari 1997 (figuur 14.2). Van deze 66 waterschappen zijn er 21 zogenoemde all-in waterschappen, die waterkwantiteits- en kwaliteitsbeheer combineren. Hiernaast zijn er nog 41 kwantiteitswaterschappen en 4 waterkwaliteitsbeheerders (zuiveringsschappen) ¹.

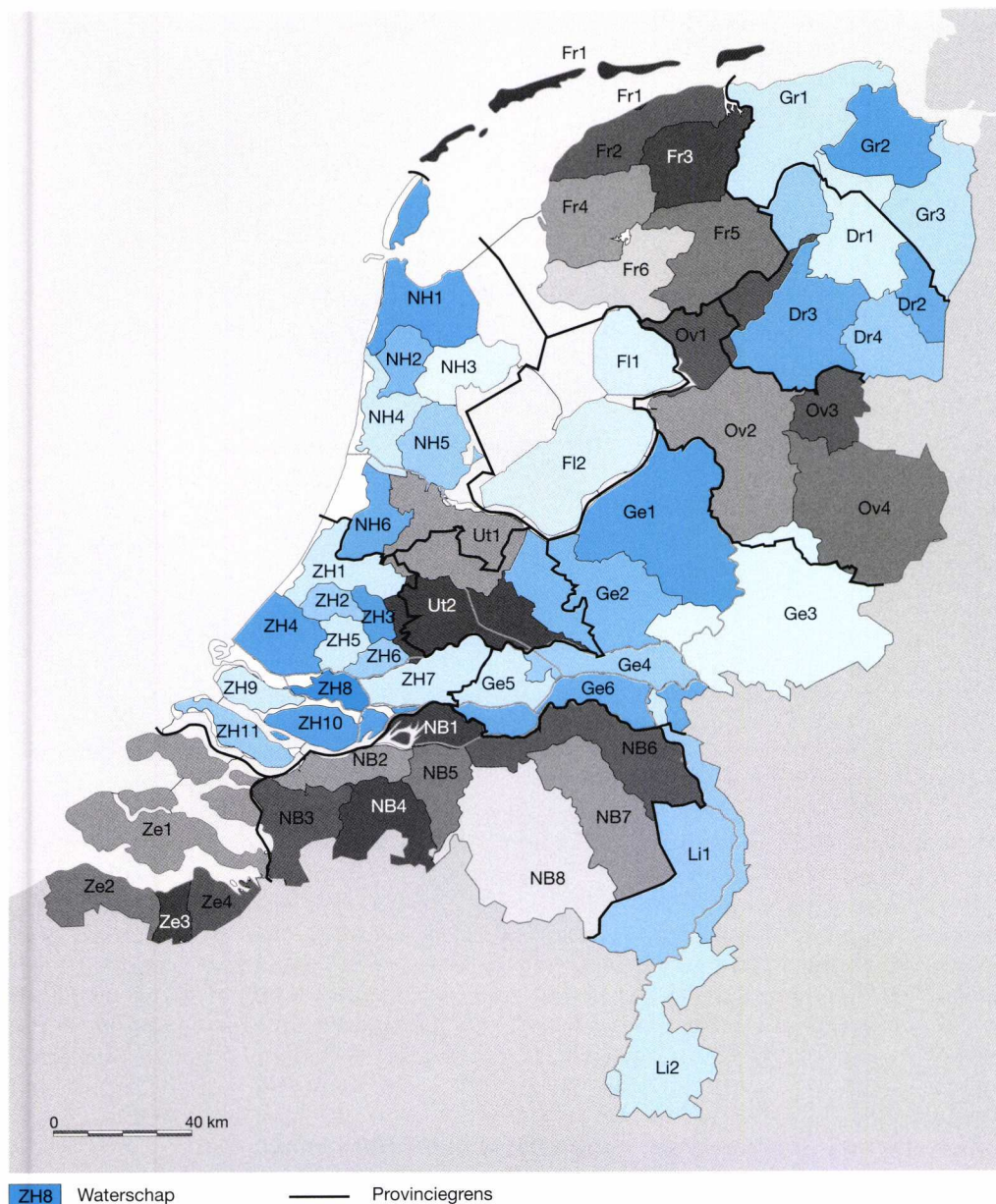
Het zal uit bovenstaande duidelijk zijn dat de zorg voor het grondwater te maken heeft met verschillende invalshoeken vertaald in beleidsdisciplines of beleidsterreinen. De uitvoering van deze zorg berust bij verschillende instanties, bestuurlijk voor te stellen als uitvoeringsniveaus. Zo kan de samenhang tussen de verschillende beleidsterreinen enerzijds en de verschillende verantwoordelijke en uitvoerende instanties anderzijds in een figuur weergegeven worden (figuur 14.3).

Zoals het voorgaande illustreert is het waterbeheer in de afgelopen veertig jaar in Nederland vrijwel doorlopend gereorganiseerd en gemoderniseerd.

Maatschappelijke ontwikkelingen hebben geleid tot een verschuiving in het belang dat aan de functies van water wordt toegekend. Was oorspronkelijk de aandacht in de beleidsdocumenten geheel gericht op veiligheid, woonbaarheid en agrarische belangen, recentelijk treedt het belang van natuur en milieu mede op de voorgrond. Deze verschuiving wordt zichtbaar in de verschillende Nota's waterhuishouding die sinds 1968 uitgebracht zijn. Tegelijkertijd heeft het beleid en beheer dat op het water betrekking heeft zowel in feitelijke als juridische zin een verandering ondergaan. Een chronologisch overzicht biedt het volgende beeld.

De periode 1945 - 1970

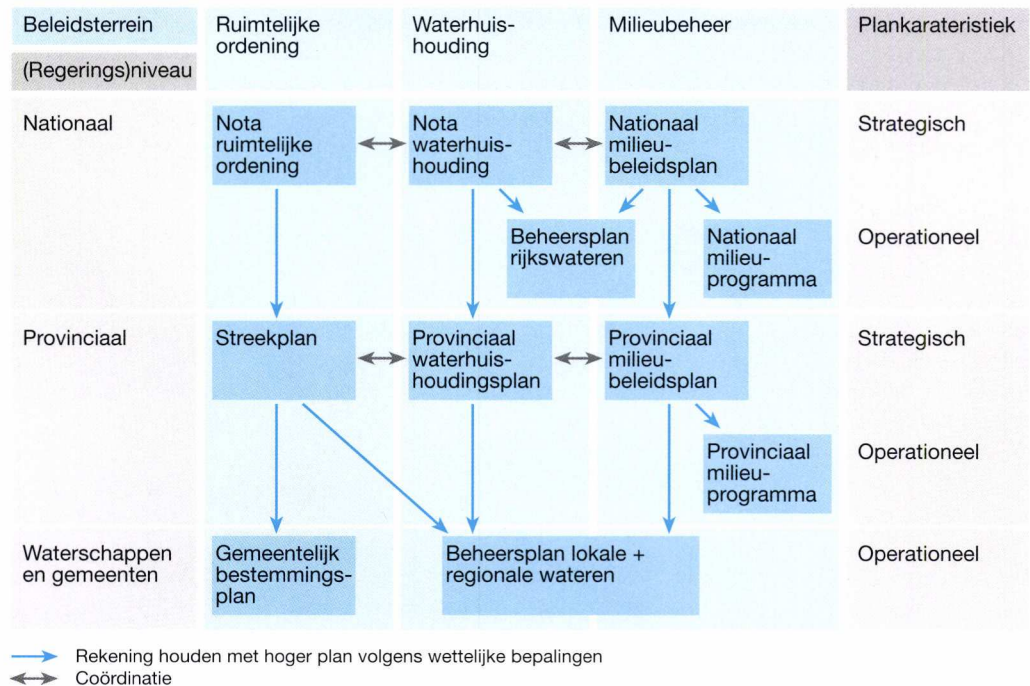
Bij het waterbeheer in het begin van deze periode ligt de nadruk op bescherming tegen het indringend zoute zeewater en afvoer van het overtollig oppervlaktewater. Het algemene veiligheidsbelang staat hierbij voorop, gevolgd door het belang van de landbouw en van de openbare watervoorziening. In 1968 publiceert Rijkswaterstaat in opdracht van het ministerie van Verkeer en Waterstaat de eerste Nota waterhuishouding onder de titel: 'De waterhuishouding van Nederland'. In deze nota wordt voor het eerst een samenhangende visie op het beleid en beheer geformuleerd. Het accent ligt hierbij op de noodzaak van voldoende water. Deze Nota besteedt zeer veel aandacht aan de waterbalans, een vergelijking van bronnen en behoeften, van verschillende gedeelten van Nederland. Daarnaast bestaat er veel belangstelling voor mogelijk grote werken ter verbetering van de waterhuishouding ².



Figuur 14.2
 Waterschappen in Nederland
 (Naar Unie van Waterschappen, 1997)

De periode 1970 - 1985

In de periode 1970 - 1985 verschuift het accent bij beleid en beheer naar een grotere aandacht voor de kwaliteit van zowel oppervlakte- als grondwater. De droge zomer van 1976 leidt tot een scherpe toename van het aantal agrarische onttrekkingen. Grondwaterstands dalingen, mede een gevolg van deze toegenomen onttrekkingen, veroorzaken een aanzienlijke verdroging van met name de natte natuurgebieden.



Figuur 14.3

Planningstructuur van het waterbeheer in Nederland. Samenhang tussen ruimtelijke ordening, waterbeleid en milieubeheer (Naar Huisman, P, 1998)

De zorg van de overheid om ook op lange termijn de watervoorziening zowel kwantitatief als kwalitatief zeker te stellen komt tot uitdrukking in het Ontwerp Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening 1972 dat door het RID en het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne in 1973 wordt uitgebracht. In de daaropvolgende periode wordt het structuurschema verder uitgewerkt tot een breder opgezet Tweede Structuurschema dat in 1981 verschijnt. Dit Tweede Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening wordt niet alleen door het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne, maar ook door de Ministeries van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening en van Verkeer en Waterstaat voorbereid en ingediend.

De kwantitatieve aspecten van het beheer van het grondwater krijgen wettelijke aandacht in de voorbereiding en inwerkingtreding in 1985 van de Grondwaterwet. Met een kwalitatieve bescherming van het oppervlaktewater en daarmee indirect van het grondwater was al een begin gemaakt met het inwerkingtreden van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren in 1970. Met de inwerkingtreding van de Wet Bodembescherming in 1986 wordt een nieuwe belangrijke juridische maatregel genomen ter bescherming van de kwaliteit van het grondwater. Ook via gemeentelijke bestemmingsplannen en enige provinciale beschermingsverordeningen werden in deze periode beschermende maatregelen genomen. Een algemeen kwalitatief beheer ontbrak echter nog ³.

In 1985 doet het ministerie van Verkeer en Waterstaat de tweede Nota waterhuishouding verschijnen onder de titel: 'De waterhuishouding van Nederland'. De nota is mede gebaseerd op de resultaten van de PAWN-studie (Policy Analysis for the Watermanagement of the Netherlands). Het accent ligt nog sterk op de kwantitatieve aspecten van het waterbeheer. Wel

wordt in de nota de samenhang tussen kwantiteit en kwaliteit van oppervlakte- en grondwater belicht. Naast de belangen van landbouw en drinkwatervoorziening worden nu ook de belangen van natuur en landschap in hun onderlinge samenhang betrokken bij de besluitvorming. Tevens kunnen voor wat deze periode betreft ook het verschijnen van de Indicatieve Meerjarenprogramma's ter bestrijding van de waterverontreiniging genoemd worden.

De periode 1985 - 1995

In deze periode wordt het bestuurders duidelijk dat grond- en oppervlaktewater voor kwaliteitsbeheer en kwantiteitsbeheer in feite één complex vormen. Dat complex zou, met het oog op een rechtvaardige en doelmatige voorziening in de diverse behoeften, in zijn geheel moeten worden beheerd. Hiermee wordt aan het begrip 'integraal waterbeheer' vormgegeven. Dit begrip was reeds in de tweede Nota waterhuishouding als volgt geformuleerd ⁴: 'Een zodanig ingericht beheer van een waterhuishoudkundige eenheid dat de zorg voor de waterkering, het waterkwaliteits-, waterkwantiteits- en vaarwegbeheer bij één bestuursorganisatie berust' ⁵.

Deze integrale benadering van het waterbeheer leidde ondermeer tot aanzienlijk meer aandacht en ruimte voor de relaties met natuur en milieu.

De samenhang in het waterbeleid werd in 1985 verduidelijkt in de notitie: 'Omgaan met water', uitgegeven door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat. Die notitie maakte ook voor een groter publiek duidelijk dat het functioneren van aquatische ecosystemen niet alleen moet worden beschouwd vanuit de invalshoek van de gebruiksmogelijkheden voor de mens, maar ook vanuit de ecologische functies van die systemen ³.

In 'Omgaan met water' werd de visie op integraal waterbeheer op basis van de 'watersysteembenadering' gegeven. Een watersysteem bestaat volgens de notitie uit het samenhangend geheel van '... oppervlaktewater, grondwater, onderwaterbodems, oevers en technische infrastructuur, met inbegrip van de daarin voorkomende levensgemeenschappen en alle bijbehorende fysische, chemische en biologische kenmerken en processen' ⁶.

De derde Nota waterhuishouding, 'Water voor nu en later', die in 1989 door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat gepubliceerd werd, bracht vanuit deze integrale benadering de afzonderlijke planvorming op het gebied van de zorg voor de waterkwantiteit, de waterkwaliteit en het grondwater in één plan bijeen. Dit integrale plan is gebaseerd op de inmiddels tot stand gekomen Wet op de Waterhuishouding, die zowel op rijks- als op provinciaal niveau voorziet in één plan voor de waterhuishouding ⁷.

Concreet schetst de derde Nota waterhuishouding het beleid van integraal waterbeheer voor de planperiode 1990 - 1994 met een opening naar de verdere toekomst. Naast economische uitgangspunten treedt in deze nota nu ook de ecologie duidelijk op de voorgrond. De nota constateert dat de voor integraal waterbeheer noodzakelijke bestuurlijke samenwerking en onderlinge beleidsafstemming (nog) niet vlekkeloos verloopt. Er bestaat met name onduidelijkheid over de verdeling van taken tussen waterbeheerders en andere betrokken instanties. Het gaat vooral om de waterbodem, de oever, het grondwater en de riolering. Eén van de doelstellingen van de tweede Nota waterhuishouding was om het waterkwantiteitsbeheer, het kwaliteitsbeheer en waar doelmatig het vaarwegbeheer per waterstaatskundige eenheid in één bestuurlijke hand te brengen. Dit streven werd in de periode 1985 - 1989 slechts beperkt gerealiseerd ⁷.

Aan de hand van de 'Evaluatienota Water' en de daaropvolgende regeringsbeslissing werd in de jaren volgend op het verschijnen van deze derde Nota gepoogd deze en andere knelpunten zoveel en zo goed mogelijk in kaart te brengen. Bovendien werden voorstellen geformuleerd om alsnog de doelstellingen van de derde Nota te behalen of te benaderen ⁸.

Om de toekomstige watervoorziening te blijven verzekeren versijnt in 1993 het Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening. Dit beleidsplan was al in 1990 voorafgegaan door een voorbereidende nota onder de subtitel: 'Naar een glasheldere toekomst'. Beide documenten, opgesteld door het Ministerie van VROM, zijn te beschouwen als vervolg op het Tweede Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening uit 1981.

De periode na 1995

De vierde Nota waterhuishouding, waarvan het regeringsvoornemen in 1997 aan de Tweede Kamer is aangeboden moet een uitwerking worden van de, enigszins visionaire, voornemens geformuleerd in de derde Nota ⁹.

In de vierde Nota waterhuishouding wordt meer aandacht gegeven aan de veerkracht van het oppervlaktewatersysteem. Hiermee wordt bedoeld dat de rivieren zodanig de ruimte moeten krijgen, dat opstuwning wordt vermeden. Dit mede als gevolg van de overstromingen en dreigende dijkdoorbraken langs de grote rivieren in de laatste jaren, met name langs Rijn en Maas eind januari 1995 ¹⁰ (figuur 8.3 en 8.5). In de vierde Nota zal een betere afstemming met andere beleidsterreinen, zoals ruimtelijke ordening en natuur- en milieubeleid naar voren komen. De vierde Nota, die de strategische hoofdlijnen van het waterhuishoudkundig beleid zal aangeven, zal gericht zijn op een planperiode van (maximaal) acht jaar met een overschrijding van deze periode voor sommige ontwikkelingen ¹¹.

14.2 Het beheer van het grondwater

Het is bijna vanzelfsprekend dat in een waterland als Nederland de bovengenoemde nota's voornamelijk aandacht besteden aan de zorg voor kwantiteit en kwaliteit van het oppervlaktewater en het gebruik daarvan. Grondwater neemt daarbij een bescheiden plaats in. Een uitzondering is de aandacht voor de verdrogingsbestrijding.

De derde Nota is op dit punt zelfs opvallend concreet met de geformuleerde doelstelling dat het areaal verdroogd gebied in het jaar 2000 niet groter zou moeten zijn dan in 1985. Daaropvolgend is deze doelstelling in de Evaluatienota Water aangescherpt met de formulering dat in 2000 het verdroogde gebied met 25% ten opzichte van 1985 zou moeten zijn gereduceerd. Daarnaast is in deze nota als doelstelling vastgelegd, dat het areaal verdroogd gebied in 2010 ten opzichte van 1985 met 40% moet zijn gereduceerd. Dit standpunt is nogmaals verwoord in het Regeringsvoornemen betreffende de vierde Nota waterhuishouding en in het Nationaal Milieubeleidsplan 3 ¹². Een andere uitzondering is de aandacht die, vooral vanuit de optiek van de drinkwaterwinning, aan de kwaliteit van het grondwater wordt besteed. Belangrijkste punten van zorg daarbij zijn de nitraat- en fosfaatbelasting als gevolg van (over)bemesting en het gebruik van bestrijdingsmiddelen.

Het bestuurlijk beheer en de rol van het waterschap

Bij de realisatie van integraal waterbeheer blijft het vraagstuk van het bestuurlijk beheer van het grondwater nog een knelpunt. Met name na de periode 1980 - 1985, waarin de zorg om kwantiteit en kwaliteit van de beschikbare hoeveelheid zoet grondwater op de voorgrond trad, werd de vraag gesteld hoe het grondwater in de toekomst bestuurlijk beheerd zou moeten worden. Een dergelijke beherende organisatie wordt in het kader van integraal waterbeheer met de naam 'watersysteembeheerder' aangeduid. Gelet op de samenhang met het oppervlaktewater wordt langzaam duidelijk dat een organisatie, zoals het waterschap een belangrijke rol in het beheer zou kunnen vervullen.

Traditioneel dragen de waterschappen de zorg voor de oppervlaktewaterhuishouding en de daarmee samenhangende beheersing van het oppervlaktewaterniveau, (peilbeheer), door regulering van aan- en afvoer van het oppervlaktewater.

Aangezien in een groot gedeelte van Nederland het ondiepe grondwater in verbinding staat met het oppervlaktewater, is er een relatie tussen het oppervlaktewaterniveau en het ondiepe grondwaterniveau. In dat gedeelte van Nederland wordt het ondiepe grondwaterniveau (het niveau in het eerste, minst diepe, watervoerend pakket) beïnvloed door het oppervlaktewater-niveau. In dat licht bezien zijn de waterschappen door het beheer van het oppervlaktewater-niveau degenen die de grondwaterstand beïnvloeden of in sommige situaties zelfs beheersen. Zo dragen de waterschappen als operationeel beheerder, de facto voor een belangrijk deel de zorg voor het niveau van het ondiepe grondwater. Dit geldt met name in het landelijk gebied. Hierbij moet echter in acht genomen worden dat het grondwaterniveau ook door de ont-trekkingen in de betreffende regio beïnvloed wordt. Vanuit taakinhoudelijk oogmerk wordt er voor gepleit meer bevoegdheden op het gebied van het grondwaterbeheer aan het waterschap over te dragen. Wettelijk is op dit punt nog niets vastgelegd ¹³.

Ook de waterschappen zelf zien volgens een recente publicatie zichzelf als ‘de natuurlijke be-heerder van het watersysteem’. Zij stellen dat ‘gezien de samenhang binnen het watersysteem het operationele grondwaterbeheer aan het waterschap dient te worden opgedragen’ ¹⁴.

Door de reeds aangeduide maatschappelijke ontwikkelingen, zoals ook weerspiegeld in de Nota’s waterhuishouding, zijn natuur- en milieuaspecten belangrijk geworden en nu neven-geschied aan de landbouw. Zo is ook waterkwaliteit minstens zo belangrijk geworden als waterkwantiteit. Dit betekent dat het traditionele beheer van de oppervlaktewaterhuishouding, gericht op het zo snel en efficiënt mogelijk afvoeren van water om een aanpassing vraagt. Het waterschap, in het landelijk gebied vanouds gericht op een peilbeheer afgestemd op de wen-sen van de landbouw, zal als operationeel beheerder genoodzaakt zijn het beleid aan te passen aan alle belanghebbenden. Dit schept nieuwe randvoorwaarden in het beleid van het water-schap ¹⁵.

In de discussie over het toekomstig grondwaterbeheer is het van belang naast de operationele ook de strategische taken te bezien. Immers, de strategische taak (planvorming) op het gebied van grondwaterbeheer ligt niet bij de waterschappen maar bij de provincies. Het zijn de provincies die in het kader van de Grondwaterwet vergunningen verlenen bij aanvragen voor onttrekking van grondwater. Vanuit het ‘integraal waterbeheer’ wordt, in het kader van de voorbereiding van de vierde Nota waterhuishouding, gedacht aan een begin van het delegeren van operationele provinciale taken aan de waterschappen. Zo zou een begin gemaakt kunnen worden door taken zoals vergunningverlening voor beregening in agrarische gebieden aan de waterschappen over te dragen ¹⁶.

In de bebouwde kom zijn zowel gemeente als het waterschap verantwoordelijk voor het water-beheer. Het waterschap zorgt voor de afwatering en de gemeente voor de ontwatering. Ook hier zijn nog veel knelpunten en onduidelijkheden. Zo is het bij een probleem als grondwater-overlast in kelders van woningen niet duidelijk welk bestuurslichaam hiervoor verantwoor-delijk is ¹¹.

14.3 Het wettelijk kader

De zorg voor het grondwater spitst zich toe op twee aspecten:

- de problematiek van de beschikbare hoeveelheid zoet grondwater, het kwantiteitsaspect;
- de problematiek van de verontreiniging van het zoete grondwater, het kwaliteitsaspect.

Deze tweedeling vinden wij terug in de regelgeving met betrekking tot het grondwater ¹⁷.

Het kwantiteitsaspect

De historische ontwikkeling

In de eerste helft van deze eeuw was het grondwaterbeheer slechts in zeer bescheiden mate voorwerp van overheidszorg. Specifieke landelijke regelgeving met betrekking tot het onttrekken van grondwater was nog niet voorhanden. Iedere grondgebruiker kon in principe een ‘put slaan’ en daaruit water winnen, mits hij geen schade toebrengt aan de eigendommen van een ander. Men zou kunnen stellen dat het eigendomsrecht van het grondwater de facto toekwam aan de grondeigenaar, die in de uitoefening van dat recht slechts beperkt werd in zoverre hij de eigendomsrechten van andere, aangrenzende, eigenaren aantastte.

Naast deze beperking van privaatrechtelijke aard was de enige publiekrechtelijke beperking lange tijd alleen gelegen in de Hinderwet. Deze wet vereist namelijk een Hinderwetvergunning voor het gebruik van elektromotoren voor de aandrijving van pompen boven een bepaald vermogen. Voor de waterleidingbedrijven vormden beide beperkingen echter een belemmering voor de continuïteit van de waterleverantie. Als oplossing voor dit probleem kwam in 1954 de Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (GWW) tot stand. De wet had een beperkte opzet; zij bevatte enkel regels inzake de winning van grondwater ten behoeve van de openbare watervoorziening. Onttrekkingen voor andere doeleinden (‘overige onttrekkingen’) vielen uitdrukkelijk niet onder het toepassingsbereik van de wet.

Aangezien er wel degelijk bezorgdheid bestond over de hydrologische gevolgen in de nabije omgeving van kwantitatief grote grondwateronttrekkingen, werd bij Koninklijk Besluit de dato 22 februari 1955 een commissie ingesteld met als taak de beoordeling van de consequenties van nieuwe onttrekkingen of uitbreiding van bestaande onttrekkingen. Deze Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (CoGroWa) beoordeelde de vergunningaanvragen van waterleidingbedrijven. De verantwoordelijkheid van de commissie betrof uitsluitend vergunningaanvragen van de openbare drinkwatervoorziening. De commissie had dus geen bemoeienis met de ‘overige onttrekkingen’. Naast de beoordeling van vergunningaanvragen boog de CoGroWa zich ook over schadeclaims. Boeren konden dergelijke claims indienen indien er sprake kon zijn van verminderde gewasopbrengst mogelijk ten gevolge van een nabije onttrekking door een waterleidingbedrijf. Met het inwerkingtreden van de Grondwaterwet in 1985 werd de verantwoordelijkheid voor de vergunningverlening bij de provincie gelegd. Daarmee werd de taak van de CoGroWa door de betreffende provinciale diensten overgenomen. De commissie heeft tot 1995 aanvragen behandeld. Het technisch secretariaat van de commissie was ondergebracht bij de Landinrichtingsdienst van het Ministerie van Landbouw en Visserij ¹⁸.

In de periode van 1954 tot en met 1984 werden de provinciale autoriteiten op basis van hun autonome verordeningbevoegdheid genoodzaakt, over te gaan tot het vaststellen van regels. Het ging hierbij om registratie- en/of vergunningplichten voor de ‘overige onttrekkingen’. De grenzen, waar beneden vrijstelling van deze verplichtingen gold, verschilden aanzienlijk per provincie (tabel 64).

Bij het opstellen van de Grondwaterwet heeft men ernaar gestreefd het ondoorzichtige en verbrokkelde stelsel van regelgeving en vergunningverlening op rijks- en provinciaal niveau op het gebied van het grondwaterbeheer te verbeteren. Er zou een algemene regeling op wetsniveau moeten ontstaan ¹⁹.

In de jaren tachtig is bovendien het besef gegroeid dat voor het oplossen van huidige en toekomstige waterbeheerproblemen ook op het vlak van de wetgeving en de planvorming een meer samenhangende benadering nodig zou zijn. Hierin zou een nieuw wettelijk kader, de Wet op de Waterhuishouding (WWH), moeten voorzien ²⁰.

De WWH heeft twee doelstellingen ²¹:

1. Het stellen van regels voor een samenhangend beleid en beheer van de Nederlandse waterhuishouding in haar geheel.
2. Het stellen van regels voor het kwantiteitsbeheer van het Nederlandse oppervlaktewater.

Om aan de eerste doelstelling te voldoen geeft de WWH regels voor een integrale planvorming op het gebied van de waterhuishouding. Sindsdien omvatten deze plannen op rijks- en provinciaal niveau de zorg voor oppervlakte- en grondwater naar kwantiteit en kwaliteit ²².

De Grondwaterwet

De Grondwaterwet die na een aanloopfase in 1985 geheel inwerkingtrad, bevat een algemene regeling voor het onttrekken van grondwater en/of het infiltreren van water. De wet verplicht bovendien de provincies tot het maken van een beheersplan voor het grondwater, ook wel grondwaterplan genoemd ²³. De taak van het Rijk in deze is het ontwerp van een landelijk beleidskader via de landelijke nota's voor de waterhuishouding. De provincies zijn via hun betrokken diensten de uitvoerende instanties. Deze diensten hebben in de verschillende provincies verschillende namen als Dienst Water en Milieu, Dienst Ruimte en Milieu of Afdeling Milieu en Waterstaat.

Inhoudelijk vereist de Grondwaterwet in principe voor iedere substantiële onttrekking (en infiltratie) van grondwater een meldings- en registratieplicht. Bij onttrekkingen boven een bepaald volume in een bepaalde tijdseenheid geldt een provinciale meldings-, registratie- of vergunningplicht. Bij een meldingsplicht vindt geen (volumestroom)meting plaats. Ook is hierbij geen sprake van de provinciale grondwaterheffing. Bij een registratieplicht vindt wel (volumestroom)meting plaats. Hierbij is als regel ook sprake van de eerdergenoemde heffing. Bij vergunningplicht is eveneens sprake van een registratieplicht en een heffingsverplichting. De registratie heeft mede tot doel de provincie inzicht te verschaffen in het totaal van onttrekkingen.

Gezien het feit dat het hier een provinciaal beleid betreft kunnen de 'normen' per provincie grote verschillen vertonen. Zo bestond in 1994 in de provincie Overijssel bij elke onttrekking van grondwater altijd een meldingsplicht, in de provincie Noord-Brabant alleen bij een pompcapaciteit van meer dan 10 m³ per uur. De provincie Gelderland kent een vergunningplicht bij een onttrekking van meer dan 25 000 m³ per drie maanden terwijl, in de provincie Zuid-Holland deze verplichting ingaat bij 12 000 m³ per jaar.

De vele en opvallende verschillen worden duidelijk uit *tabel 64*. Zij zijn een gevolg van historisch gegroeide of specifieke regionale situaties. Ook verschillen in kwetsbaarheid van het milieu bij onttrekking van grondwater kunnen de verschillen verklaren.

Naast de meldings-, registratie- en vergunningplicht kan elke provincie naar eigen inzicht nog haar beheersinstrumentarium verruimen door de introductie van het instrument 'algemene regels'. Met deze algemene regels wordt vooral beoogd onttrekkingen bij beregening en bij (kleine) bronbemalingen te kunnen registreren.

Deze regels kunnen inwerkingtreden als de onttrekking weliswaar een relatief geringe volumestroom kent, maar wel gedurende relatief lange tijd plaatsvindt ¹⁹.

Zo kunnen in periodes van waterschaarste, bijvoorbeeld bij uitzonderlijke droogte, Gedeputeerde Staten een beregeningsverbod afkondigen. Dit verbod geldt dan voor alle bedrijven met inbegrip van de bedrijven die een vergunning voor het onttrekken van grondwater voor beregening bezitten ²¹.



Tabel 64 Provinciale meldings-, registratie- en vergunningplichten bij onttrekking en injectie van grondwater in 1994. De bedrijven hoeven niet daadwerkelijk te meten

Provincie	Melding bij een pompcapaciteit van meer dan	Registratie bij een pompcapaciteit van meer dan	Vergunning bij een pompcapaciteit van meer dan, alt. een onttrekking van meer dan
Groningen	-	10 m ³ /uur	30 m ³ /uur en 10 000 m ³ /maand
Friesland	1 m ³ /uur	50 m ³ /uur	50 m ³ /uur
Drenthe	10 m ³ /uur	60 m ³ /uur	60 m ³ /uur*
Overijssel	altijd	10 m ³ /uur	10 m ³ /uur**
Gelderland	1 m ³ /uur	35 m ³ /uur	25 000 m ³ /drie maanden
Flevoland*	30 m diepte*	nee	30 m diepte*
Utrecht	altijd	35 m ³ /uur en alt. een onttrekking van meer dan 12 000 m ³ /drie maanden	35 m ³ /uur en alt. een onttrekking van meer dan 12 000 m ³ /drie maanden
Noord-Holland	1 m ³ /uur	10 m ³ /uur	50 000 m ³ /jaar***
Zuid-Holland	1 m ³ /uur	nee	12 000 m ³ /jaar
Zeeland	-	5 m ³ /uur	10 m ³ /uur en 2000 m ³ /drie maanden
Noord-Brabant	10 m ³ /uur	60 m ³ /uur	60 m ³ /uur
Limburg	5 m ³ /uur	100 m ³ /uur	100 m ³ /uur

* Indien eveneens oppervlaktewater ter beschikking staat, geldt voor de onttrekking van grondwater een vergunningplicht bij (pompcapaciteit alt. onttrekking) meer dan 10 m³/uur

** Registratie en vergunningplicht alleen in bepaalde gemeenten

*** In het Gooi bestaat een gewijzigde vergunningplicht

Misset's Milieboekje, 1994

Het kwaliteitsaspect

De historische ontwikkeling

De beleidsontwikkeling en regelgeving met betrekking tot de bodembescherming zijn in Nederland pas van recente datum. In de provincie Zuid-Holland werd in 1980 een begin gemaakt met de inventarisatie van vuilstortplaatsen. Ook werd men zich in die periode bewust van het gevaar van grondwaterverontreiniging onder vuilstortplaatsen. In dezelfde tijd (1979 - 1981) werd de omvang en ernst van de vervuiling van de ondergrond duidelijk. Een bekend voorbeeld was de vervuiling onder een woonwijk in Lekkerkerk. De 145 miljoen gulden saneringskosten van die ondergrond brachten de consequenties van vervuiling en sanering onder ieders aandacht. Daarnaast benadrukten de schrikbarende omvang en bovenal de ernst van de verontreiniging van de Volgermeerpolder, ten noordoosten van Amsterdam de urgentie van adequate wetgeving en controle.

In 1981 werd de Interimwet Bodemsanering van kracht. Deze Interimwet, later geïntegreerd in de Wet Bodembescherming, was voornamelijk gericht op het opstellen van saneringsplannen en op het (voorlopig) oplossen van de financieringsproblematiek die zich voordoet bij elke maatregel om bodemvervuiling te beheersen of te saneren.

De Wet Milieubeheer, de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren, de Wet Bodembescherming, de Meststoffenwet en het Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen

De Wet Milieubeheer

Deze wet is in werking sinds 1993. De wet heeft onder meer tot doel om de procedures en de onderwerpen die in de reeds bestaande milieuwetten voorkomen op gelijkvormige wijze te regelen. Het is een kaderwet waarin de grote lijnen van het milieubeleid zijn vastgelegd, met name bevoegdheden en procedures. In relatie tot het grondwater is de wet van belang bij het inrichten van waterwinputten. Ook bij het verlenen van vergunningen, zoals ontheffingen in het kader van de Wet Bodembescherming, is de wet van belang. Zij regelt ook het opstellen van een milieu-effectrapport (MER). Bij grondwateronttrekking of infiltratie van meer dan 3 miljoen m³ per jaar is een dergelijke MER vereist ²².

De Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren

Deze wet, die als eerste moderne milieuwet in 1970 in werking trad, heeft tot doel het oppervlaktewater zo schoon mogelijk te houden. Algemene regels op grond van deze wet betreffen onder meer kwaliteitseisen voor bepaalde oppervlaktewateren. Deze regels geven maximum concentraties voor bepaalde stoffen in het afvalwater. De uitvoering van deze wet lag in provincies als Friesland en Groningen oorspronkelijk in handen van de provinciale autoriteiten. In andere delen van Nederland, zoals Zuid-Holland, waar het hoogheemraadschap al vertrouwd was met het kwaliteitsbeheer, werd de uitvoering al van begin af aan in handen van het hoogheemraadschap gelegd. Thans is in alle provincies, uitgezonderd Groningen, het waterkwaliteitsbeheer in handen van de waterschappen. Dit heeft in een aantal gevallen mede geleid tot reorganisatie en schaalvergroting van het waterschapsbestel ²⁴.

De Wet Bodembescherming

Deze wet werd opgesteld door het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (VROM). De wet, in werking sinds 1986, heeft als doel het voorkomen, beperken of ongedaan maken van veranderingen in de eigenschappen van de bodem, daarbij inbegrepen het grondwater. De bodem moet geschikt blijven, of geschikt gemaakt worden voor alle mogelijke functies. Dit heet ook wel het criterium van multifunctionaliteit ²⁵.

De wet onderscheidt een algemeen en een bijzonder beschermingsniveau, bijvoorbeeld met betrekking tot waterwingebieden. Het eveneens op deze wet gebaseerde 'Infiltratiebesluit Bodembescherming' stelt regels voor de bescherming van de bodem tegen verontreinigingen als gevolg van het infiltreren van oppervlaktewater. De bescherming van de kwaliteit van het grondwater is op die wijze één van de belangrijkste oogmerken van de wet ²⁶.

De milieubeschermingsgebieden

Op grond van de Wet Bodembescherming zijn de Provinciale Staten verplicht een 'Verordening Grondwaterbeschermingsgebieden' vast te stellen. Aan deze verordening moest aanvankelijk een provinciaal grondwaterbeschermingsplan ten grondslag liggen.

In dit plan werden de te beschermen gebieden aangewezen, terwijl in de bijbehorende verordening de beschermende regels zijn vastgelegd. Een grondwaterbeschermingsgebied is een gebied waarin met name aan de landbouw strenge regels met betrekking tot de toelaatbare bodembeïnvloeding (bemesting) gesteld worden.

Na inwerkingtreding van de Wet Milieubeheer zijn de grondwaterbeschermingsgebieden per 1 maart 1995 als milieubeschermingsgebieden opgenomen in deze wet. Zij worden aangeduid als 'milieubeschermingsgebied met de functie waterwinning'. De aanduiding milieubeschermingsgebied geschiedt in het kader van het provinciale milieubeleidsplan ²¹.

Het aantal milieubeschermingsgebieden is afhankelijk van ondermeer het aantal te beschermen winningspunten. Dientengevolge zijn er aanzienlijke verschillen per provincie. Ook de grootte

van de gebieden verschilt aanzienlijk. Zo heeft bijvoorbeeld het gebied Enschede - Lossers in de provincie Overijssel een oppervlakte van ongeveer 12 km² terwijl het gebied Staphorst in dezelfde provincie een oppervlakte van niet meer dan ongeveer 1 km² heeft ²⁷.

In tabel 65 wordt een landelijk overzicht van het aantal 'milieubeschermingsgebieden met de functie waterwinning' gepresenteerd.

Een aantal taken op het gebied van de uitvoering van de bodembescherming is in het kader van de Wet Milieubeheer van de provincie naar de gemeenten overgeheveld. Zo behoort de handhaving van bodembeschermende voorschriften voor inrichtingen in een grondwaterbeschermingsgebied vanaf 1 maart 1993 tot de bevoegdheid van de betreffende gemeente ²⁸.

Zoals reeds in hoofdstuk 10 vermeld werd, dienen ook bij gebruik van grondwater voor opslag van warmte of van koude in de ondergrond alle genoemde wettelijke verplichtingen in acht genomen te worden ²⁹.

De Meststoffenwet en het Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen

Om bodem en grondwater te beschermen tegen een te hoge belasting door meststoffen heeft het Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij regels opgesteld. In de Meststoffenwet van 1986 zijn aspecten zoals de referentiehoeveelheid per bedrijf, de mestboekhouding en de overschot-heffing geregeld. Daarnaast bestaat het Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen dat niet uit de Meststoffenwet voortvloeit maar tot de Wet Bodembescherming behoort. Het besluit gaat met name over de aanwending van mest. Belangrijke elementen in dit besluit zijn: de fosfaat-normen, de uitrijverboden en de emissie-arme mestaanwendingsstechnieken ³⁰.

In 1979 kwamen EG-richtlijnen inzake de bescherming van het grondwater in Europa tot stand ³¹.

De relatie kwetsbaarheid - grondwaterbescherming

Bij de beschouwingen omtrent de bescherming van het grondwater dient in acht genomen te worden dat de bodem een grote variatie in eigenschappen en dientengevolge ook in kwetsbaarheid kent. Als de algehele regelgeving op de meest kwetsbare bodems afgestemd zou worden, zou de landbouw in heel Nederland met extreem strenge eisen worden geconfronteerd. Deze strenge eisen zijn moeilijk haalbaar, zowel uit technisch als uit economisch oogpunt. Op grond van deze overweging is gedifferentieerde regelgeving voor specifieke bodemtypes wenselijk. Het is echter duidelijk dat dit zowel uit overwegingen van rechtsgelijkheid als van handhaving uitermate moeilijk te realiseren is. Zeer waarschijnlijk zal de regelgeving zich in de toekomst richten op een 'middengroep' van bodems. Dit impliceert dat op de meest kwetsbare bodems de gewenste grondwaterkwaliteitsnorm niet gehaald zal worden; hier blijft alleen onttrekking ten behoeve van de landbouw (beregening) als mogelijkheid over ³².

Tabel 65 Milieubeschermingsgebieden met de functie waterwinning, voorheen bekend als grondwaterbeschermingsgebieden (situatie in 1996)

Provincie	Aantal in 1996
Friesland	12
Groningen	4
Drenthe	18
Overijssel	33
Flevoland	6
Gelderland	53
Utrecht	25
Noord-Holland	6
Zuid-Holland*	21
Zeeland	4
Noord-Brabant	40
Limburg*	40

* Inclusief waterwingebieden voor diepe winningen gelegen in gebieden waar een beperking bestaat m.b.t. de uitvoering van boringen

Info. Provinciale diensten betrokken bij het grondwaterbeheer. Peildatum 1 december 1996

De Waterleidingwet

Tenslotte heeft de wetgever naast de wetgeving, die specifiek gericht is op het grondwater, bemoeienis getoond met de (drink)watervoorziening.

In dit kader is in 1957 de Waterleidingwet inwerkinggetreden.

De wet regelt de volgende zaken ²²:

1. Het toezicht op waterleidingbedrijven in het belang van de volksgezondheid.
2. Het reorganiseren van de openbare drinkwatervoorziening.
3. Het voorbereiden en totstandbrengen van werken voor de (drink)watervoorziening.

Deze wet en de belangrijkste daarbij horende algemene maatregel van bestuur, het Waterleidingbesluit uit 1960, zijn dus gericht op het garanderen van een verantwoorde drinkwatervoorziening.

Het Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer presenteerde een geheel herziene Waterleidingwet in 1998 ³³.

Slotopmerking

Zoals is uiteengezet regelen de Wet op de Waterhuishouding, waarin opgenomen de Grondwaterwet, de Wet Bodembescherming, de Wet Milieubeheer, de Meststoffenwet, het Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen en de Waterleidingwet bepaalde aspecten met betrekking tot het beheer van het grondwater waarbij de nadruk ligt op de consequenties van verontreiniging en van het gebruik van het grondwater.

De uitvoering van deze wetten ligt in handen van verschillende overheden. Daarbij gaat het om provincies, gemeenten en waterschappen.

In Nederland is nog niet wettelijk bepaald of vastgesteld welke instantie primair verantwoordelijk is voor de 'beheersing van het grondwaterniveau'. Toch is dit een belangrijk aspect bij het beheer van het grondwater. Het is duidelijk dat met name bij verschijnselen als verdroging, wateroverlast en vernatting (nog) geen instantie als primair verantwoordelijke kan worden aangesproken.

15 Toekomstige ontwikkelingen

Activiteiten met betrekking tot het grondwater in Nederland zullen de komende jaren ongetwijfeld in het teken staan van een duurzaam beheer. Alle beslissingen, niet alleen over veranderingen maar ook over beschermende maatregelen, zullen het kwantitatief en kwalitatief behoud van het grondwater moeten garanderen.

Een vijftal ontwikkelingen zal invloed uitoefenen op de toekomstige situatie:

- het verbruik
- de verontreiniging
- de (bestrijding van de) verdroging van natte natuurgebieden
- de kennis van het grondwater en van de activiteiten die er op van invloed zijn
- het beleid en beheer van het grondwater.

Verbruik

Alle gebruiksfuncties hebben groot belang bij duurzame beschikbaarheid van het grondwater; daarom zal een duurzaam grondwaterbeheer zich toespitsen op een evenwichtige verdeling van de beschikbare hoeveelheden. Deze verdeling zal zo moeten plaatsvinden dat dit zo min mogelijk schade toebrengt aan de situatie van de gebruikers afhankelijk van het grondwater. Om dit vraagstuk te kunnen beheersen is een 'beslissingsondersteuningssysteem' nodig. Een dergelijk systeem zal regionaal meetbare componenten moeten bevatten om een bepaalde situatie te kunnen toetsen aan de gewenste grondwatersituatie. Deze situatie wordt mede beleidsmatig bepaald.

De waterleidingbedrijven zullen zowel bij een toename als bij een stabilisatie van het drinkwaterverbruik te maken krijgen met stijgende kosten.

Bij een toename van het drinkwaterverbruik zullen de waterleidingbedrijven keuzes moeten maken. De bedrijven kunnen de capaciteit van bestaande grondwaterwinningen vergroten of nieuwe inrichten. Een andere optie is, de productie van gezuiverd oppervlaktewater te vergroten. De mogelijkheden voor het uitbreiden van de grondwaterwinning zijn uitermate beperkt en in sommige regio's zelfs afwezig. Ook de dreiging van een toename van de diffuse verontreiniging van het grondwater vraagt om maatregelen. Ook deze maatregelen gaan met kosten gepaard.

De enige mogelijkheid die rest is dus een grotere productie van drinkwater uit oppervlaktewater¹. De kostprijs daarvan ligt aanzienlijk hoger dan die van gezuiverd grondwater.

Alleen een duurzame verbetering van de kwaliteit van het oppervlaktewater kan een verdere kostenverhoging van drinkwater, langs deze weg gewonnen, voorkomen. Dit stelt hoge eisen aan het beheer van het oppervlaktewater. De kwaliteit van het oppervlaktewater is bovendien voor een groot deel afhankelijk van de Maas en de Rijn. In deze is Nederland mede afhankelijk van beleid, beheer en controle in de andere landen waardoor deze rivieren stromen.

Hergebruik van water alsmede een uitbreiding van het gebruik van water 'ongeschikt voor consumptie' zal bevorderd moeten worden om te kunnen groeien van een 5% bijdrage in 1996 tot een grotere bijdrage in 2010.

Verontreiniging

De bestrijding van de diffuse verontreiniging van het grondwater zal veel aandacht vergen. Opsporing en bewaking zullen in aangescherpte regelgeving prioriteit moeten krijgen. Voor een adequate bewaking zal de ontwikkeling van geavanceerde detectieapparatuur noodzakelijk zijn. Deze ontwikkeling komt echter alleen op gang wanneer de overheid bereid is maatregelen te nemen die de naleving van de regelgeving veilig stellen.

Gezien ook het grote aantal verontreinigde (punt)locaties en de financiële beperkingen om deze alle te saneren is ook hier een nauwgezette bewaking noodzakelijk. Dientengevolge is de ontwikkeling van adequate detectieapparatuur, in de vorm van fysische, chemische en biologische sensoren, van groot belang.

Verdroging

Een gelijkblijvend of toenemend gebruik van grondwater zal maatregelen noodzakelijk maken om de verdroging van natte natuurwaarden te beperken. In het kader van de verdrogingsbestrijding zal voorlopig nog prioriteit gegeven worden aan het onderzoek naar het verband tussen de verschillende factoren die de verdroging veroorzaken. Veldonderzoek blijft van grote waarde.

De optimalisatie van het aantal meetpunten gericht op dit doel en van de meetfrequentie verdient prioriteit te krijgen. Alleen daardoor kan het inzicht in de complexe oorzaken van verdroging groeien. Alle grondwatergebruikersfuncties zullen in de nabije toekomst moeten worden afgestemd op de consequenties ervan voor de verdroging.

Vooraf de onttrekkingen door de agrarische sector en door particulieren zal door registratie beter in kaart gebracht moeten worden. Het is te voorzien dat in de agrarische sector de wijze van beregenen in de komende jaren zal veranderen. De boeren zullen er naar streven om met minder water toch voldoende vocht aan de gewassen toe te dienen. Een aanhoudend vochttekort op de Nederlandse zandgronden tijdens het groeiseizoen zou zelfs een wijziging in de teelt tot gevolg kunnen hebben.

Kennisontwikkeling

In de komende jaren zal het noodzakelijk zijn de kennis met betrekking tot de structurele veranderingen in de hydrologische cyclus te verdiepen. De effecten van de veranderingen in het klimaat op de grondwatersituatie zijn voor Nederland van groot belang. Het betreft met name de consequenties van de mogelijke zeespiegelverhoging en wijziging in het neerslagpatroon.

Daarnaast zal de aandacht zich concentreren op een verdere optimalisatie en verbetering van de onderlinge afstemming van de kwantiteits- en kwaliteitsmeetnetten. Modellen krijgen veel aandacht. Operationele en nog te ontwikkelen grondwatermodellen zullen nader worden getoetst aan waarnemingen. Input van veldgegevens bij de modellering zal verder worden verbeterd. Hiervoor is nieuwe detectieapparatuur nodig, die de fysische parameters met een grote precisie kan vaststellen. Het gaat daarbij zowel om apparatuur die vanaf het oppervlak als vanuit een boorgat ingezet kan worden.

Ook technieken voor de detectie van organische, diffuse- en puntverontreiniging in het grondwater krijgen prioriteit. Detectie en modelleringstechnieken zullen moeten worden ontwikkeld om de kennis van de geochemische aspecten van de ondergrond te verbeteren.

Verbetering van inzicht in stofbalansen zal prioriteit krijgen om de consequenties van de verontreiniging van het grondwater met name door menselijke activiteiten te kunnen voorspellen en mogelijk ook te beheersen.

In de nabije toekomst is een intensiever gebruik van de ondergrond te verwachten, bijvoorbeeld voor de aanleg van tunnels ten behoeve van infrastructurele werken zoals de HSL en de Betuwelijn. Dit kan consequenties hebben voor de grondwaterhuishouding. Kennis met betrekking tot de mogelijke consequenties zal verbreed moeten worden.

In het kader van het integraal waterbeheer zal nog meer aandacht besteed moeten worden aan de processen die de interactie tussen het oppervlaktewater en het grondwater beheersen.

Ten gevolge van de nog steeds voortgaande verstedelijking en de wateroverlast die met name in de stedelijke gebieden optreedt zal vergroting van de kennis hieromtrent noodzakelijk zijn om adequate maatregelen te kunnen nemen.

Het is op zijn plaats hier ten slotte de vier hoofdpunten van onderzoek te vermelden die de Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek in 1996 ten behoeve van de periode na 2000 geformuleerd heeft ².

Het zijn :

- de heterogeniteit van de bodem en ondergrond, dit in relatie tot transport van water en (milieubelastende) stoffen;
- de relatie grondwaterstand/ -stroming/-samenstelling en vegetatie en fauna;
- inzicht in de hydrogeochemie;
- consequenties van klimaatverandering en zeespiegelrijzing, dit in relatie tot verhoogde zoutwaterintrusie en verhoogde zoute kwel.

Beleid en beheer

Voor de ontwikkeling van beleid en beheer van het grondwater zullen uitvoerende instanties waarschijnlijk bepaalde taken en verantwoordelijkheden gaan overdragen. Veel organisaties streven ernaar zich te beperken tot hun kerntaken. Daardoor zou het enigszins versnipperde waterbeheer in Nederland bij een kleiner aantal instanties kunnen worden geconcentreerd. Provinciale bevoegdheden zoals het verlenen van vergunningen zouden in de toekomst naar de waterschappen kunnen verschuiven. Het relatief grote aantal nog bestaande waterschappen zal vooralsnog eenduidigheid van beleid en beheer en bovenal de naleving daarvan bemoeilijken. Aangezien specifieke grondwaterproblemen niet begrensd zijn door provincie- of waterschapsgrenzen, zal afstemming van beleid en beheer tussen de provincies onderling en de waterschappen onderling van het grootste belang zijn. Dit zou vergemakkelijkt kunnen worden als het aantal waterschappen verder verkleind wordt of als kleinere waterschappen hun grondwaterbeheeraspecten bundelen, zodat er een beperkt aantal 'grondwaterschappen' ontstaan. Mogelijk zou het uit het oogpunt van efficiëntie het beste zijn om het uitzetten van hoofdlijnen voor grondwaterbeheer aan één landelijke organisatie toe te vertrouwen. De uitvoering van die hoofdlijnen zou dan op een regionale schaal kunnen gebeuren.

Noten en verantwoording

Hier wordt volstaan met een verkorte literatuurverwijzing. De volledige titelbeschrijving vindt men in de literatuurlijst.

Hoofdstuk 1 (pag. 1 - 14) *Enkele begrippen en hun samenhang*

- 1 In dit hoofdstuk is voor de definiëring van de begrippen zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de definiëring zoals vastgelegd in: Hooghart, J.C. (red.), 1986, Verklarende Hydrologische Woordenlijst, samengesteld door de Gespreksgroep Hydrologische Terminologie, Rapporten en Nota's, nr. 16, Commissie voor Hydrologisch Onderzoek (CHO-TNO), 's-Gravenhage.
- 2 De diepste freatische grondwaterstand is gemeten in een put ten noordwesten van Hoog-Soeren, gemeente Apeldoorn. Op 15 februari 1993 werd in die put een stand van 71,41 m beneden maaiveld gemeten. De hoogste stijghoogte is gemeten te Sittard op 16 november 1987. Het betreft hier een artesische put. De gemeten druk kwam overeen met een stijghoogte van 16,20 m boven maaiveld (NITG-TNO (ed.), 1997 b).
- 3 Pannekoek, A.J. & L.M.J.U. van Straaten, 1982.
- 4 Wet Bodembescherming, 1986.
- 5 Dit betekent: zonder vast verband.
- 6 Vries, J.J. de, 1994.
- 7 Freeze, R.A. & J.A. Cherry, 1979.
- 8 Zijl, W. & M. Nawalany, 1993. En info. W. Zijl, NITG-TNO.
- 9 Dimensie-analyse van de c-waarde: $c = L/L/T = T$. Waarin L = lengte, T = tijd.

Hoofdstuk 2 (pag. 15 - 18) *Hydrologische kringloop*

- 1 Shiklomanov, I.A., 1991.
- 2 Naar Colenbrander, H.J., e.a., 1989, Water in the Netherlands, CHO-TNO, 's-Gravenhage. Overeenkomend met: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer (ed.), 1994, Drinkwater in Nederland, 's-Gravenhage. Neerslag gecorrigeerd conform meest recente cijfers KNMI en rivierdebiet gecorrigeerd conform Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, RIKZ - RIZA (ed.), 1994, Tienjarig overzicht presentatie van afvoeren, waterstanden, watertemperaturen, golven en kustmetingen 1981 - 1990, RIKZ - RIZA, Den Haag.

Hoofdstuk 3 (pag. 19 - 28) *Klimaat, klimaatverandering en waterhuishouding*

- 1 Info R.J. Stuurman, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.
- 2 Voorheen werd 775 mm aangenomen. Dit laatste getal zal in deze publicatie een enkele maal ook gehanteerd worden.
- 3 Met variatie wordt hier bedoeld het waargenomen minimum en maximum.
- 4 In dit jaar bedroeg de landelijke jaarsom 874 mm.
- 5 KNMI (ed.), 1994, Maandelijks overzicht der weersgesteldheid, De Bilt.
- 6 KNMI (ed.), 1976, Maandelijks overzicht der weersgesteldheid, De Bilt.
- 7 KNMI (ed.), april 1996, Maandelijks overzicht der weersgesteldheid, De Bilt en KNMI (ed.), januari 1997, Maandelijks overzicht der weersgesteldheid, De Bilt.
- 8 Hooghart, J.C. (red.), 1986.
- 9 Feddes, R.A., 1995.
- 10 Alternatief 775 mm, overeenkomstig met 28 956 mln m³.



Vervolg hoofdstuk 3 (pag. 19 - 28)

- 11 Alternatief 274 mm, overeenkomstig met 10 238 mln m³.
Hierbij moet wel aangetekend worden dat een opgegeven neerslagoverschot altijd afhankelijk is van het oppervlak en de regio die in beschouwing genomen wordt. Zo zal het neerslagoverschot in de provincie Utrecht als regel verschillen van het neerslagoverschot in de provincie Zeeland.
- 12 Heijde, P.K.M. van der, 1978.
- 13 Feddes, R.A., 1995.
- 14 Können, G.P., W. Fransen & R. Mureau, KNMI, 1997.
- 15 In De Bilt werd in de periode 1 januari 1996 - 1 april 1996 81 mm neerslag gemeten en in de periode 1 januari 1997 - 1 april 1997 117 mm. De normale hoeveelheid neerslag voor dit station over de beschouwde maanden is 177 mm. Januari 1997 was met 4 mm neerslag, terwijl 66 mm normaal is, in De Bilt zelfs de droogste januari maand van deze eeuw (KNMI (ed.), 1996 en KNMI (ed.), 1997).
- 16 Zo gepubliceerd in Wassend water, dalend land. Brochure nr. 9 in een serie over de algemene thema's integraal waterbeheer, uitgegeven in 1998 door het Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 's-Gravenhage.
- 17 Naar Colenbrander, H. J., e.a., 1989.
- 18 Seeters, P. van, Brabant heeft dorst, grote dorst. In De Volkskrant, 9 sept. 1995.
- 19 Zoals reeds uit tabel 11 blijkt. Deze hoeveelheid komt overeen met 1821 mln m³.
- 20 De uitstroom onder de landsgrenzen kan lokaal wel degelijk van grote invloed zijn. Dit zal in hoofdstuk 6 met een voorbeeld toegelicht worden. Degenen die nader geïnformeerd willen worden met betrekking tot grensoverschrijdende (grond)waterstromingen worden verwezen naar regionale studies zoals Aelmans, F.G., 1997, Kraayenzank, M.J. & H. Otter, 1993 en Louw, P.G.B. de & R.J. Stuurman, 1997.

Hoofdstuk 4 (pag. 29 - 50)

Geologie van Nederland

- 1 Degenen die geïnteresseerd zijn in een heldere uiteenzetting over de geologie van Nederland worden verwezen naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985.
- 2 Degenen die geïnteresseerd zijn in de formaties ouder dan het Kwartair worden verwezen naar Zagwijn, W.H., e.a., 1985 of Staalduinen, C.J. van, e.a., 1979 of Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen, 1975. De meest recente en meest nauwkeurige stratigrafische beschrijving van de formaties, ouder dan het Kwartair, wordt gevonden in Adrichem Boogaert, H.A. van & W.F.P. Kouwe, 1993-1997.
- 3 Voor een gedetailleerd inzicht in de dikte van de Holocene afzettingen zie de Overzichtskaart van de bovenkant van de Pleistocene afzettingen in Nederland, uitgebracht in 1996 door de Rijks Geologische Dienst. Gepubliceerd als bijlage bij Gans, W., de & K. van Gijssel, 1996, The Late Weichselian morphology of the Netherlands and its influence on the Holocene coastal development. In: Beets, D.J., M.M. Fischer & W. de Gans, 1996.
- 4 Voor een goede beschrijving van de Nederlandse oppervlaktewaterhuishouding en van de menselijke invloeden op de waterhuishouding en waterbeheersing wordt verwezen naar Ven, G.P. van de, (red.), 1993. Voor een nauwkeurig en zeer uitgebreid overzicht van de toestand van de oppervlaktewateren, zowel kwantitatief als kwalitatief wordt verwezen naar het Jaarboek Monitoring Rijkswateren zoals dat jaarlijks door het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat wordt uitgegeven. Voor een meer historisch overzicht van de belangrijke beschermende en regulerende maatregelen die in het begin van de 19^e eeuw genomen werden wordt verwezen naar Ven, G.P. van de, 1987.
- 5 Projectteam NW 4 (ed.), 1996.
- 6 Schokking, F., 1995.
- 7 Grakist, G., e.a., 1997.
- 8 Cultuurtechnische vereniging (ed.), 1988.

Vervolg hoofdstuk 4 (pag. 29 - 50)

- 9 Een goede, gedetailleerde presentatie van de geologische overzichtskaart kan gevonden worden in Zagwijn, W.H., e.a., 1985 of in Staalduinen, C.J. van, 1979 of in Zagwijn, W.H. & C.J. van Staalduinen, 1975. De bodemkaart van Nederland kan gevonden worden in Zagwijn, W.H., e.a., 1985.

Hoofdstuk 5 (pag. 51 - 62) *Hydrogeologie van Nederland*

- 1 Voor een inzicht in de toegepaste seismische technieken in het hydrogeologisch onderzoek wordt verwezen naar Meeke, J.A.C., 1997. Voor een recent voorbeeld van de toepassing van geo-elektrisch onderzoek wordt verwezen naar Moot, N.L. van der, 1997.
- 2 Voorheen Dienst Grondwaterverkenning TNO, thans Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO.
- 3 Het resultaat is verschenen in een groot aantal (47) rapporten, onder de naam Grondwaterkaart van Nederland. De indeling vond plaats op basis van de kaartbladen van de Topografische Dienst. De geologische informatie berust veelal op informatie (rapporten) verkregen van de Rijks Geologische Dienst (RGD).
- 4 Een voorbeeld is de ontwikkeling van het model ORPHEUS, een combinatie van de modellen MODFLOW, MODGRID, STYXZ en het chemisch model CHARON. Dit model is door het Waterloopkundig Laboratorium WL te Delft ontwikkeld. Met laatstgenoemde model kan de verspreiding van verontreiniging naar en in het grondwater, bijvoorbeeld vanuit vervuilde waterbodems zoals die zich in het Ketelmeer voordoet, voorspeld worden.
- 5 De resultaten van het werk van C.R. Meinardi zijn ook weergegeven in Fried, J.J. (ed.), 1982.
- 6 Deze informatie is gebaseerd op Rooijen, P. van, 1989.
- 7 Dit profiel werd voor het eerst gepubliceerd in 1973 in Breeuwer, J.B. & S. Jelgersma, 1973.
- 8 Onder andere in 1973 door E. Romijn in de Verhandelingen van het KNGMG, Vol. 29, New aspects of mineral and water resources in The Netherlands en in het rapport van de Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965, gepubliceerd in 1967. Door G.P. van de Ven e.a. wordt in 1986 in de Atlas van Nederland, deel 15, Water, voor de hoeveelheid grondwater begrensd tussen het freatisch vlak en de slecht doorlatende basis een schatting van 3000 miljard m³ gegeven (Ven, G.P. van de, e.a., 1986).

Hoofdstuk 6 (pag. 63 - 76) *Beweging van het grondwater*

- 1 Voor nadere informatie met betrekking tot de Hydrologische Systemanalyse wordt verwezen naar Kloosterman, F.H. & R.J. Stuurman, 1996.
- 2 Dit inzicht is voor de eerste maal beschreven in 1963 door J. Tóth in zijn publicatie: A theoretical analysis of groundwaterflow in small drainage basins. Zie voor de aspecten van grondwaterstroming in Nederland ook de publicatie van J.J. de Vries uit 1974.
- 3 Naar Vries, J.J. de, 1994.
- 4 Informatie verkregen van R.J. Stuurman, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft. Voor meer gedetailleerde informatie met betrekking tot grondwaterstromingssnelheden wordt verwezen naar Meinardi, C.R., 1994.
- 5 Kloosterman, F.H., e.a., 1993.
- 6 Stuurman, R.J., e.a., 1990 a en Stuurman, R.J. & J.L. van der Meij, 1994.
- 7 Vries, J.J. de & E.A. Cortel, 1990.
- 8 De Loosdrechtse Plassen spelen al bijna tweehonderd jaar een belangrijke rol in de drinkwatervoorziening van de stad Amsterdam. Sinds het midden van de zeventiende eeuw groeide de omvang van de bevolking sterk en de waterkwaliteit in de Amsterdamse grachten verslechterde. Er ontstond een behoefte aan betrouwbare nieuwe watervoorraden. Het duinwater en het water van de Vecht waren

Vervolg hoofdstuk 6 (pag. 63 - 76)

allebei van goede kwaliteit, maar grootschalige ontginning van het diepere duinwater was technisch nog niet mogelijk en de transportmogelijkheden tussen het duingebied en Amsterdam waren nog niet op een economisch verantwoorde wijze realiseerbaar. Men koos aan het einde van de achttiende eeuw daarom voor het Vechtwater, dat tot 1860 per trekschuit naar Amsterdam vervoerd werd. In de periode van 1800 tot 1850 verhinderde de angst voor verzilting van het duinwater een grootschalige exploitatie voorlopig nog.

- 9 15 mm per dag overeenkomend met 15 l/m² per dag (Gun, J.A.M. van der, 1978).
- 10 Info ir. T. N. Olsthoorn, Gemeentewaterleidingen Amsterdam, Vogelenzang.
- 11 Dalfsen, W. van, 1983.
- 12 Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar Stuyfzand, P.J., 1993. In deze uitgebreide studie worden de veranderingen in de hydrochemie van het grondwater in het Hollands duingebied tussen Noordwijk en Camperduin toegelicht en in beeld gebracht.
- 13 Als vergelijking: de onttrekkingen door de waterleidingbedrijven in de provincie Utrecht bedroegen in 1990 tesamen 83,8 miljoen m³ grondwater.
- 14 Te Vlodrop vond bijvoorbeeld in de waarnemingspeilput 60E P 0017 in die periode een verlaging van de stijghoogte in het derde watervoerend pakket van meer dan 50 cm per jaar plaats. Deze verlaging in het derde watervoerend pakket (F6) is het gevolg van enerzijds de genoemde bruinkoolwinning nabij Jülich maar ook een gevolg van nog onverklaarde oorzaken. Een verlaging in het eerste watervoerend pakket (F2) was in die periode echter nauwelijks waarneembaar, zoals duidelijk in figuur 6.20 is weergegeven (Stuurman, R.J., e.a., 1996 a en Stuurman, R.J., e.a., 1996 b).
- 15 De maaiveldhoogte is hier 28,96 m +NAP. Diepte filter 2 (F2) is 41,24 tot 44,24 m -NAP en diepte filter 6 (F6) is 366,24 tot 371,24 m -NAP. Info. Archief van Grondwaterstanden, NITG-TNO, Delft.
- 16 De maaiveldhoogte is hier 15,38 m +NAP. Diepte filter 1 (F1) is 33,70 tot 39,70 m -NAP en diepte filter 4 (F4) is 515,70 tot 523,70 m -NAP. Info. Archief van Grondwaterstanden, NITG-TNO, Delft en Stuurman, R.J., 1996.

Hoofdstuk 7 (pag. 77 - 108)

Hydrochemie van het grondwater

- 1 Voor nadere informatie met betrekking tot principe en uitvoering van de permanente elektrodeopstelling wordt verwezen naar: NITG-TNO (ed.), 1997.
- 2 Voor een uiteenzetting over de relatie zoet/zout grondwater en de paleo-geografische ontwikkeling van Nederland wordt verwezen naar Vries, J.J. de, 1992.
- 3 Stuurman, R.J., e.a., 1990 b.
- 4 Zie ook Engelen, G.B., J.M.J. Gieske & S.O. Los, 1989.
- 5 Hier is veel onderzoek naar gedaan. De ondergrond van het westen van Nederland bestaat verder voornamelijk Holocene en Pleistocene formaties die brak water bevatten (zie figuur 7.2 en figuur 7.3). De zoetwaterreserves in de duinen zijn daarom vanouds uitermate belangrijk voor de drinkwatervoorziening van het westen van het land.
- 6 Vries, J.J. de, 1994.
- 7 Naar Vries, J.J. de, 1992, Vries, J.J. de, 1994 en Stuyfzand, P.J., 1993.
- 8 Stuyfzand, P.J., 1993.
- 9 Een isohaline is een denkbeeldige verbindingslijn in het grondwater tussen punten met een gelijke chlorideconcentratie. Wordt ook wel isochloride genoemd.
- 10 Het volumepercentage heeft betrekking op de gehele profiellengte van 44,5 km. In verticale zin zijn de simulaties beperkt tot een diepte van 280 m beneden NAP (Oude Essink, G.H.P., 1996).
- 11 Minnema, B. & J.L. van der Meij, 1997 en Minnema, B. & J.L. van der Meij, 1997 a.
- 12 Meinardi, C.R., 1973.
- 13 Dit vermogen wordt bepaald door de c-waarde, bij een scheidende laag, k_v-waarde bij een aquifer.

Vervolg hoofdstuk 7 (pag. 77 - 108)

- 14 Markant is hier de verzoeting in het tweede watervoerend pakket. Dit is een gevolg van ondergrondse doorstroming van zoet water vanuit de hoger gelegen zandgronden ten zuidoosten van Halsteren (Dufour, F.C., 1978).
- 15 Aangetekend moet worden dat het in figuur 7.21 gepresenteerde beeld van de chloridevracht de totale hoeveelheid chloride betreft. De ontwikkeling ten aanzien van het chloridegehalte (chlorideconcentratie) is anders. De gunstige ontwikkeling van het chloridegehalte in het Rijnstroomgebied, in 1993 ingezet, stagneerde in 1995. Als bijvoorbeeld het jaar 1996 vergeleken wordt met 1995 is er op alle meetlocaties in het Rijnstroomgebied sprake van een significante verhoging van het chloridegehalte (RIWA (ed.), 1997). Dit voornamelijk als gevolg van het geringer debiet van de Rijn in 1996.
- 16 Voor meer informatie in deze wordt verwezen naar FAO (ed.), 1997.
- 17 Gebaseerd op informatie verkregen van C.A.J. Appelo, V.U. Amsterdam.
- 18 Tot voor kort werd dit relatief ondiep voorkomende methaangas, 'moerasgas' op verschillende plaatsen in Nederland door particulieren gewonnen voor huishoudelijk gebruik (Stuyfzand, P.J., e.a., 1994).
- 19 Informatie betreffende het ijzergehalte in het ondiepe, freatisch grondwater wordt gevonden in Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1994.
- 20 Voor meer gedetailleerde informatie met betrekking tot grondwaterverontreiniging wordt verwezen naar Appelo, C.A.J. & D. Postma, 1993.
- 21 Voor gedetailleerde informatie met betrekking tot de relatie tussen nitraat en gezondheid wordt verwezen naar Møller, H., 1994.
- 22 Voor een inleiding in deze classificaties zie Vries, J.J. de, 1994.
- 23 Stuyfzand, P.J., 1986.
- 24 Het meest recente overzicht van de emissies, zowel naar lucht, water als bodem, wordt gevonden in Draaijers, G.P.J., e.a., 1997.
- 25 RIVM (ed.), 1993.
- 26 RIVM (ed.), 1995. Zorgwekkend is de constatering dat ondanks de vele maatregelen de totale netto stikstofemissie naar de bodem vanuit de landbouw recentelijk nog gestegen is van 465 miljoen kilo N in 1994 tot 509 miljoen kilo N in 1995. De netto fosforemissie vanuit de landbouw naar de bodem is in dezelfde periode gedaald van 71 miljoen kilo P tot 63 miljoen kilo P (Draaijers, G.P.J., e.a., 1997).
- 27 Bij de interpretatie van de figuren 7.35 en 7.36 is het van belang in acht te nemen dat het statistische kaartbeelden betreft waarbij het begrip betrouwbaarheidsinterval van groot belang is. Bovendien dient men zich te realiseren dat de conclusies op een beperkt aantal monsters gebaseerd zijn. Zo mag voor het zwart/grijze gedeelte in figuur 7.35 alleen geconcludeerd worden dat in dat gedeelte van Nederland het fosfaatgehalte niet onderscheidbaar of hoger dan $0,4 \text{ gP/m}^3$ is. Bij interpretatie van de kaarten is raadpleging van het betreffende rapport (Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1994) noodzakelijk.
- 28 Boumans, L.J.M., C.R. Meinardi & G.J.W. Krajenbrink, 1989.
- 29 Reijnders, H.F.R., e.a., 1997. Als illustratie kan nog vermeld worden dat bij een onderzoek door de Universiteit Utrecht de relatie tussen de samenstelling van het grondwater en de mate van verdroging ter plaatse bevestigd werd. Ten gevolge van minder evapotranspiratie waren parameters als Cl, Na en Ca afgenomen. Componenten als NO_3 en K waren echter mede door vergroting van de aërobe onverzadigde zone toegenomen (Frapporti, G, Vriend, S.P. & Gaans, P.F.M. van, 1994).
- 30 Gebaseerd op mondelinge informatie van het Ministerie van LNV, gebaseerd op Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen, welke een Algemene Maatregel van Bestuur is binnen de Wet Bodembescherming daterend uit 1986 en Edel, B., e.a., 1996.
- 31 Edel, B., e.a., 1996.
- 32 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat (ed.), 1996.
- 33 Nieuwenhof, R. van de, 1995. Ook de overheid heeft 'acceptabele verliezen' geformuleerd. In 1995 zijn voor de landbouw de acceptabele verliezen voor fosfaat en stikstof in de Integrale notitie mest- en ammoniakbeleid vastgelegd. Voor deze normen wordt verwezen naar Ministerie van VROM, e.a. (ed.), 1998 b.

Vervolg hoofdstuk 7 (pag. 77 - 108)

- 34 RIVM (ed.), 1995 a.
- 35 Willems, W.J. & N.J.P. Hoogervorst, 1991.
- 36 Mülschlegel, J.H.C. 1991.
- 37 Boukes, H., C.A. Bennekom & J.G.H. Philips, 1996.
- 38 Voor een kwantitatief beeld van de verspreiding van deze elementen in het grondwater wordt verwezen naar RIVM-publicaties zoals van Drecht, G. van, e.a., 1996 of Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1994 of Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1995 of H.F.R. Reijnders, e.a., 1997.
- 39 Info. Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, 's-Gravenhage.
- 40 Berg, R. van den, 1991.
- 41 RIVM (ed.), 1995.
- 42 Zowel in het dieptebereik van 5 tot 10 m als in het bereik van 10 tot 25 m beneden maaiveld (Bannink, A.D., 1996).
- 43 Beek, C.G.E.M. van, 1995.
- 44 Een voorbeeld van een dergelijke belasting van het oppervlaktewater wordt uiteengezet in Hetterschijt, R.A.A., e.a., 1997.
- 45 Ministerie van VROM (ed.), 1989.
- 46 Ministerie van VROM (ed.), 1995.
- 47 Tauw Milieu bv (ed.), 1994.
- 48 Appelman, J., B. Bult & T. Meeder, 1994.
- 49 Gebaseerd op informatie verkregen van Tauw Water bv te Deventer. Voorlopige resultaten van de grondwaterbehandeling op deze locatie worden gevonden in Oesterholt, F.I.H.M., e.a., 1997.

Hoofdstuk 8 (pag. 109 - 136)

Beschikbaarheid en gebruik van zoet grondwater

- 1 Zo in 1981 geformuleerd door het Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne in het Tweede Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening, Deel a: beleidsvoornemen (Ministerie van Vomil, e.a., 1981).
- 2 Met het 'zoete' deel van Nederland wordt hier dat gedeelte van Nederland bedoeld waar het zoet/brak-grensvlak zo diep ligt dat de regio in aanmerking komt voor winning van zoet grondwater. Het zijn, globaal omschreven, die gebieden waar dit grensvlak meer dan 50 m beneden het freatisch vlak ligt. In het betreffende rapport wordt ook aangegeven dat bij een totale onttrekking van deze omvang de consequenties voor andere belangen zo groot zijn dat een onaanvaardbare situatie ontstaat. Duidelijk wordt gesteld dat de feitelijk winbare hoeveelheid grondwater slechts kan worden vastgesteld na een belangenafweging (Ministerie van Vomil e.a., 1981). Het rapport geeft een uiterst gedetailleerd overzicht van de verwachte behoeftes en de mogelijke bronnen onderverdeeld naar regio. Dit betreft alle soorten bronnen zoals oppervlaktewater, natuurlijk grondwater, oevergrondwater en geïnfiltreerd (oppervlakte)water.
- 3 Fried, J.J. (ed.), 1982.
- 4 Hiervan werd 70 mln m³ toebedeeld aan de landbouw. Aangetekend werd dat de laatstgenoemde hoeveelheid niet overeenkwam met het werkelijk gebruik in dat jaar maar een gemiddelde over een langere periode weergaf (Fried, J.J. (ed.), 1982).
- 5 De rapporteurs verwachtten echter dat er in de praktijk nauwelijks mogelijkheid was voor een verdere uitbreiding van de grondwaterwinning, onder andere vanwege de sinds 1976 duidelijk geconstateerde verdroging. Daarom zou in de toekomst vooral gezuiverd oppervlaktewater moeten worden gebruikt om in de groeiende drinkwaterbehoefte te voorzien.
- 6 Deze studie staat bekend als het PAWN-project: Policy Analysis for the Watermanagement of the Netherlands. De studie is uitgevoerd door Rijkswaterstaat, de Rand Corporation en het Waterloopkundig Laboratorium. Voor meer informatie over de resultaten van dit PAWN-project wordt

Vervolg hoofdstuk 8 (pag. 109-136)

verwezen naar Pulles, J.W., 1985 en naar Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1990. Een selectie van belangrijke aspecten van de PAWN studie is in de Engelse taal gepresenteerd in CHO-TNO (ed.), 1982.

- 7 Deze hoeveelheid komt overeen met een neerslaghoeveelheid van 49 - 50 mm.
- 8 Zie hoofdstuk 3, figuur 3.17.
- 9 Prof. dr. H.L.F. Saeijs wees hier in zijn inaugurele rede van 21 september 1995 op. Vanzelfsprekend is in dunbevolkte landen, gelegen in de gematigde klimaatzones, de beschikbare hoeveelheid neerslag per hoofd van de bevolking het hoogst. Voorbeelden zijn Noorwegen met 97 400 en IJsland met zelfs 685 480 m³ per jaar per inwoner. Ook in tropische gebieden komen landen voor die waterrijk zijn. Voorbeelden zijn Nicaragua met 49 970 en Indonesië met 14 670 m³ per jaar per inwoner. Voorbeelden van waterarme landen zijn Egypte met 20 en Barbados met 210 m³ per jaar per inwoner. Berekend aan de hand van de basisgegevens in de voorliggende publicatie komt deze verhouding voor Nederland bij een inwoneraantal van 15,5 mln op 701 m³ per jaar per inwoner. Ter vergelijking: in Nederland is het huishoudelijk gebruik per persoon per jaar ongeveer 50 m³ (Saeijs, H.L.F., 1995).
- 10 Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965 (red.), 1967.
- 11 In 1993 bedroeg de totale levering van de waterleidingbedrijven via het net 1256 mln m³, in 1994 was dit 1282 mln m³ en in 1995 was dit dus 1290 mln m³. De toename in de periode 1993 - 1995 kan verklaard worden uit de bevolkingsaanwas en de relatief hoge temperaturen die zich gedurende langere tijd in de zomers van 1994 en 1995 voordeden.
- 12 Voor 1986 wordt het totaal jaarlijks industrieel waterverbruik op 4118 mln m³ gesteld. Hiervan werd 378 mln m³ door de waterleidingbedrijven geleverd. Resteert (voor 1986) een geschatte eigen winning door de industrie van 3740 mln m³ (VEWIN (ed.), 1994).
- 13 Ongeveer 18% van deze hoeveelheid wordt onttrokken aan zout of brak oppervlaktewater (Info, Hr. H.A. Jenner, SEP). Voor 1981 werd voor de gezamenlijke elektriciteitscentrales een schatting van 10,1 miljard m³ koelwater opgegeven (Cultuurtechnische vereniging (ed), 1988). De koelcapaciteit is gekoppeld aan het geïnstalleerd vermogen en aan het elektriciteitsverbruik. In 1980 bedroeg het geïnstalleerd vermogen 15 690 MW, in 1993 17 560 MW (Info. Hr. H.A. Jenner, SEP). De Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO) regelt sinds 1 december 1970 het maximale verschil in temperatuur van het koelwater vóór en na het passeren van de centrale (ΔT). Dit noopte de centrales om meer koelwater per geproduceerde hoeveelheid energie te gebruiken. Hierin ligt de reden dat de hoeveelheid gebruikt koelwater in de periode 1980 - 1990 meer dan evenredig toenam.
- 14 Akker, C. van den, 1995.
- 15 Achttienribbe, G.E., 1996.
- 16 VEWIN (ed.), 1991 a.
- 17 Deze hoeveelheid van 159 l/hoofd/dag wijkt af van de voor Nederland eerder in deze publicatie opgegeven verbruikscijfers, dit ten gevolge van het feit dat in deze internationale vergelijking de verbruikscijfers geen betrekking hebben op de gebruikerscategorie tot 300 m³ per jaar per aansluiting maar op de categorie tot ongeveer 10 000 m³ per jaar per aansluiting (Ministerie van VROM (ed.), 1994).
- 18 Ministerie van VROM (ed.), 1994. Deze opvallende verschillen zouden voor een groot deel een gevolg kunnen zijn van verschillen in bemeteren en in berekenen.
- 19 Een korte algemene beschouwing over het gebruik van 'huishoudwater' en de daaraan verbonden aanleg van een tweede waterleidingnet worden gevonden in Kessel, A.A. L. van & N. Versteeg, 1996. Het is duidelijk dat de financieel-economische effecten en de milieu-effecten van de aanleg van een tweede waterleidingnet mede afhankelijk zijn van de lokale omstandigheden zoals de ter plaatse bestaande (kost)prijs van drinkwater. Dit wordt uiteengezet in Tilburg, J. van, A. Verberne & E. Nieuwlaar, 1998.
- 20 Ridder, A.C., E.C. Hartman & A.J.M. Nelen, 1996.
- 21 NV Nuon Water & DHV Water BV (ed.), 1996.
- 22 Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965 (red.), 1967.



Vervolg hoofdstuk 8 (pag. 109 - 136)

- 23 De verhouding tussen grondwater en oppervlaktewater berust op een interpolatie vanuit de verkregen totalen. Het is zeer wel mogelijk dat met betrekking tot de koeling de verhouding oppervlaktewater - grondwater nog aanzienlijk groter is dan de hierboven geschatte.
- 24 De opgegeven geschatte hoeveelheid voor de eigen grondwaterwinning van de gehele Nederlandse industrie voor 1990 van 342 mln m³ grondwater per jaar is ontleend aan het rapport van de IPO-Projectgroep A86 (red.), Interprovinciaal Overleg IPO, Kan het iets minder?, uitgebracht in 1994, maar in hetzelfde rapport komt ook een opgave van 332 mln m³ voor. De eerstgenoemde opgave is zo overgenomen in Veelenturf, P.W.M, E.A.P. Haesen & J.H. Spaans, 1996.
- 25 Dijk, J.C. van & F.L. Schulting, 1997.
- 26 Bij een onderzoek in opdracht voor de Gemeente De Bilt (Baas, C.N., 1997) werd gepoogd een kwantitatief beeld van de gevolgen van particuliere onttrekkingen op de grondwatersituatie te verkrijgen. Particuliere onttrekkingen werden gedefinieerd als onttrekkingen met een pompcapaciteit van maximaal 5 m³ per uur of met een maximale onttrekking van 1000 m³ per jaar. Op basis van een inventarisatie in deze gemeente werden summier gegevens van 26 particuliere onttrekkingen verkregen, waarvan zes de jaarlijkse onttrekking opgaven. In het rapport wordt echter vermeld dat het totaal aantal particuliere onttrekkingen geschat wordt op 150, dit bij een totale oppervlakte van de gemeente van 2871 ha en ongeveer 33 000 inwoners. Op basis van de verkregen informatie van de zes particuliere onttrekkers zou een jaarlijkse gemiddelde onttrekking van 1495 m³ per jaar per onttrekker plaatsvinden.
- In dit rapport wordt aangenomen dat deze, niet-agrarische, particuliere bronnen jaarlijks niet meer dan ongeveer 225 m³ per bron zouden onttrekken (Baas, C.N., 1997). Tengevolge van het ontbreken van een onderbouwing van deze veronderstelling is deze hoeveelheid geen betrouwbare maat bij de inschatting van particuliere onttrekkingen. Verondersteld mag worden dat in particuliere bronnen aanzienlijk meer dan 225 m³ per bron per jaar onttrokken wordt.
- 27 Baas, C.N., 1997.
- 28 De toename van het aantal particuliere putten, mede als gevolg van het invoeren van de grondwaterbelasting per 1 januari 1995, geeft reden tot ongerustheid met name vanwege de onbekendheid van de hoeveelheid grondwater die door middel van deze putten onttrokken wordt of zal worden. De grote verschillen in meldings-, registratie- en vergunningplicht tussen de provincies onderling (zie in deze tabel 64) en het ontbreken van een pompurenregistratie in die regio's waar wel een capaciteitsregistratie is, maken kwantitatieve schattingen onmogelijk. Verplichte bemetering van alle onttrekkingen is een voorwaarde voor een verantwoord duurzaam beheer van het grondwater.
- 29 Thunnissen, H.A.M. & M.P. Siemonsma, 1987.
- 30 In de publicatie van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat, onder de titel: 'De waterhuishouding van Nederland', (tweede Nota waterhuishouding), werden in 1985 de resultaten van de PAWN-studie gepubliceerd. Hierin werd een overzicht per provincie van de berekende vraag naar zoet grondwater gepresenteerd. Deze tabel is belangrijk omdat voor het eerst een schatting inclusief de onttrekkingen voor de agrarische beregening, gepresenteerd werd.
- 31 Voor een extreem droog jaar zou een droogtegraad van 5%, voor een droog jaar een droogtegraad van 20% kunnen gelden. Het is hier op zijn plaats te vermelden dat de gebruikte hoeveelheid grondwater in de landbouw in het bijzonder droge jaar 1976 geschat is op 236 mln m³ (Boheemen, P.J.M. van & J.G.S. de Wilde, 1979). Deze hoeveelheid was relatief bescheiden aangezien in dat jaar het aantal beregeningsinstallaties gering was ten opzichte van het aantal dat anno 1997 in Nederland staat opgesteld.
- 32 Zoals gepubliceerd in Provincie Overijssel (ed.), 1996.
- 33 Zoals gepubliceerd in Provincie Overijssel (ed.), 1997.
- 34 Provincie Noord-Brabant (ed.), 1993-1994.
- 35 Edelman, D.H., 1994.

Vervolg hoofdstuk 8 (pag. 109 - 136)

- 36 Mondelinge mededeling G.J. Leunk, Provincie Noord-Brabant, Stuurgroep planvorming en onderzoek waterhuishouding (red.), 1995.
- 37 Bij alle conclusies gebaseerd op het artikel van D.H. Edelman moet men zich realiseren dat de aangegeven hoeveelheid onttrokken grondwater in de beschouwde regio gebaseerd was op het aantal pompen en het geïnstalleerd vermogen van die pompen. Het aantal pompuren blijft een veronderstelling. Op het artikel van D.H. Edelman volgde een reactie in H₂O van G.A. Schouten in 1994.
- 38 Zoals prof. dr. ir. R.A. Feddes, die de agrarische grondwateronttrekkingen 0 tot 32 mm of meer per jaar schat, wat voor de provincie Noord-Brabant overeenkomt met 0 tot 163 mln m³ of meer (Feddes, R.A., 1990).
- 39 Bijvoorbeeld van prof.dr. ir. C. van den Akker. In een brief aan de voorzitter van de Eerste Kamer d.d. 13 januari 1994 stelde hij, dat de totale jaarlijkse agrarische grondwateronttrekking door middel van beregeningsinstallaties in Nederland in een 10% droog jaar geschat kan worden op 400-500 mln m³. Deze uitspraak wordt nogmaals bevestigd in een publicatie van zijn hand in 1995 (Akker, C., van den, 1995).
- Ook het RIVM presenteert in de publicatie Nationale Milieuverkenning 3, 1993 - 2015 een raming van het toekomstig grondwatergebruik door de agrarische sector. De geraamde hoeveelheid varieert van 100 mln m³ per jaar in een normaal jaar tot ongeveer 550 mln m³ per jaar in een extreem droog jaar (RIVM (ed.), 1993).
- 40 Dijk, J., C. Ploeger & M.W. Hoogeveen, 1994.
- 41 Op basis van een veronderstelling van prof. dr. ir. R.A. Feddes zou door extrapolatie van de schatting voor Noord-Brabant een (maximale) landelijke onttrekking van 217 mln m³ per jaar verkregen worden (Feddes, R.A., 1990).
- 42 Thunnissen, H.A.M. & M.P. Siemonsma, 1987 en Mondelinge mededeling T. van de Nes, Provincie Gelderland en Dienst Waterbeheer Provincie Gelderland, 1985.
- 43 De provinciale autoriteiten zijn zich anno 1997 wel bewust van de ernst van de situatie. Dit blijkt uit verschillende publicaties zoals Water in balans, uitgebracht in 1995 door de Stuurgroep planvorming en onderzoek waterhuishouding van de Provincie Noord-Brabant. De Provincie heeft als doelstelling geformuleerd niet meer dan 372 mln m³ grondwater per jaar te laten onttrekken. In een eerder rapport werd 358 mln m³ grondwater per jaar genoemd. Dit wordt het standstill-niveau genoemd. Dit streefniveau heeft betrekking op een 'gemiddeld' jaar. Uit deze publicatie blijkt dat de geregistreerde jaarlijkse totale grondwateronttrekking tot 1994 het standstill-niveau nog elk jaar overschreed. In 1991 werd een maximum van 435 mln m³ bereikt. In 1994 was de totale hoeveelheid onttrokken grondwater afgenomen tot 395 mln m³. De hierbij inbegrepen hoeveelheid grondwater ten behoeve van beregening is genormeerd naar een 'gemiddeld' jaar. Hierbij wordt de onttrekking omgerekend naar een droogtegraad van 50%. Deze berekening is niet bijgevoegd. Voor 1991 was de genormeerde onttrekking ten behoeve van beregening ongeveer 92 mln m³. De werkelijke onttrekking wordt niet in dit rapport vermeld. Wij moeten dus opmerken dat bij een droogtegraad van 26% voor 1991 deze hoeveelheid van 92 mln m³ in werkelijkheid overschreden werd. Volgens tabel 50 in de nu voorliggende publicatie, gebaseerd op Provincie Noord-Brabant (ed.), 1993-1994, was de onttrekking ten behoeve van beregening in dat jaar 128 mln m³.
- Wel wordt vermeld dat de geregistreerde onttrekkingsomvang van de categorie beregening in de periode 1985 - 1995 met 30% is toegenomen (Provincie Noord-Brabant, Stuurgroep planvorming en onderzoek waterhuishouding (red.), 1995).
- De afname van de totale geregistreerde genormeerde hoeveelheid onttrokken grondwater in deze provincie is dan ook bijna alleen een gevolg van een afname van de industriële eigen onttrekkingen van 71 mln m³ in 1987 tot 49 mln m³ in 1996.
- Ook uit het ontwerp Waterhuishoudingsplan 2 dat door de Provincie in december 1997 werd uitgebracht blijkt de zorg om de grote hoeveelheid onttrokken grondwater ten behoeve van beregening en ten behoeve van bronbemaling. De Provincie formuleert een aantal beleidsvoornemens om de



Vervolg hoofdstuk 8 (pag. 109 - 136)

beoogde doelstelling van reductie van het grondwatergebruik in deze twee sectoren te realiseren (Provincie Noord-Brabant (ed.), 1997). Het betreft onder andere het aangaan van 'convenanten' met de verschillende belangengroeperingen. In dit kader zijn twee intentieverklaringen opgesteld en in januari 1998 ondertekend. Het betreft de Intentieverklaring 'Water op maat' en de Intentieverklaring 'Waterconservering op peil 2: Beregenen op Maat 1998'. Laatstgenoemde intentieverklaring, is aangegaan tussen de volgende vier participanten: Stichting Brabantse Milieufederatie, LTO Raad Brabant, Noord-Brabantse Waterschapsbond en Provincie Noord-Brabant.

In het kader van deze intentieverklaring zal, naast aandacht voor vermindering van de agrarische grondwateronttrekkingen, de oppervlaktewaterhuishouding door de waterschappen geoptimaliseerd worden. De hiermee te bereiken peilverhoging van het oppervlaktewater zou de afhankelijkheid van beregening kunnen terugdringen en zo besparing op het grondwatergebruik tot gevolg kunnen hebben.

Met betrekking tot de agrarische grondwateronttrekkingen beoogt het convenant onder meer realisatie van een stapsgewijze invoering van het project 'Beregenen op maat' bij de gehele agrarische bedrijfstak. In de intentieverklaring is vastgelegd dat in 1998 2000 en in 1999 de nog resterende 7000 vergunninghouders aan het project deelnemen. Het belangrijkste aspect van het project is registratie en bemetering van het grondwatergebruik bij alle agrarische onttrekkers. Sinds 1996 verkeert het project in een experimentele fase waarin op vrijwillige basis ten behoeve van onderzoeksdoeleinden bemetering plaatsvond.

Van haar kant heeft de Provincie toegezegd de beregeningsbeperkingen van grasland voor de maanden juni en juli 1998 in te trekken als in het voorjaar van 1998 blijkt dat minstens 2000 vergunninghouders deelnemen aan het project (Provincie Noord-Brabant, e.a. (ed.), 1998 a en Provincie Noord-Brabant, e.a. (ed.), 1998 b).

De toekomst zal uitwijzen of deze maatregelen voldoende effect hebben om de beleidsdoelstelling ten aanzien van waterbesparing te realiseren.

- 44 IPO-Projectgroep A86 (red.), 1994. Het is op zijn plaats hier te melden dat uit een opgave van de Provincie Noord-Brabant blijkt dat alleen al in deze provincie in 1996 niet minder dan 49 mln m³ ten behoeve van bronbemaling onttrokken werd (Provincie Noord-Brabant (ed.), 1997).
- 45 Het Hoogheemraadschap Rijnland heeft een waterbalans opgesteld voor het gebied onder beheer. Hierbij werd een hoeveelheid kwel van 26×10^3 m³ per dag geconstateerd. Dit zou voor dit gebied, overeenkomen met 9 à 9,5 mm (zout, brak en zoet grondwater) per jaar (Vries, J.J. de, 1994).
- 46 Deze hoeveelheid grondwater is samengesteld uit 807,3 mln m³ grondwater en oevergrondwater en 40,1 mln m³ natuurlijk duinwater (VEWIN (ed.), 1997).
- 47 Deze 1423 mln m³ is gebaseerd op de prognose zoals opgesteld door het ministerie van VROM in 1994 (tabel 53). Recentelijk bleef de hoeveelheid water, geproduceerd door de eigen pompstations van de waterleidingbedrijven enigszins constant. Als deze ontwikkeling zich voortzet, en ook meer oppervlaktewater gebruikt zal worden dan is het waarschijnlijk dat de hoeveelheid grondwater onttrokken door waterleidingbedrijven, in het jaar 2000 minder dan de hier geschatte 950 mln m³ zal bedragen.
- 48 In 1990 bedroeg de totale afgeleverde hoeveelheid water via het net nog 1293 mln m³. De afgeleverde hoeveelheid bedroeg in 1995 1290 mln m³, in 1996 1280 mln m³ en in 1997 (voorlopig cijfer) 1272 mln m³. De belangrijkste reden van deze afname is het verschil in de hoeveelheid geleverd water aan de grootverbruikers met een afname van 10 000 m³ en meer per jaar per aansluiting en een zuiniger omgaan met water door de kleinverbruikers. De grootverbruikerscategorie betrok in 1990 217 mln m³, in 1995 186 mln m³ en in 1996 181 mln m³ water (VEWIN (ed.), 1997). Daarnaast is ook de toename in 1997 ten opzichte van 1996 van de levering van 'ander water' merkant. Dit 'ander water' is ook bekend onder namen als 'huishoudwater', 'industriewater', 'grijswater' en 'water ongeschikt voor consumptie'. Deze hoeveelheid steeg van ongeveer 61 - 67 mln m³ per jaar in de periode 1993 - 1996 tot (voorlopig cijfer) 75 mln m³ in 1997 (De openbare watervoorziening in 1997, 1998). In hoofdstuk 9 wordt nader ingegaan op de winning door de waterleidingbedrijven.

Vervolg hoofdstuk 8 (pag. 109 - 136)

- 49 Dit wordt uitgebreid en duidelijk uiteengezet in het beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening, Deel 1: ontwerp planologische kernbeslissing (Ministerie van VROM (ed.), 1993). In het Nationaal Milieubeleidsplan 3 wordt vermeld dat de provincies, conform het Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening het streven naar deze toekomstige begrenzing van de grondwaterwinning in hun waterhuishoudingsplannen uitwerken (Ministerie van VROM, e.a. (ed.), 1998 a en Ministerie van VROM, e.a. (ed.), 1998 b).

Hoofdstuk 9 (pag. 137 - 148) *Winning, zuivering en prijs*

- 1 In het Mariënduin tussen Heemstede en Vogelenzang werd een kanaal aangelegd van 3500 meter lang, 13 meter breed en 3,5 meter diep. Het in die tijd overvloedig aanwezige grondwater stroomde vanzelf in dit kanaal. Het water werd naar een kom van 6 meter diepte gevoerd. Van daaruit werd het water door een stoommachine omhoog gepompt om door een 23 kilometer lang buizenstelsel naar Amsterdam gevoerd te worden. Op 6 juni 1853 waren de werkzaamheden gereed (Wijmer, S., 1992). Voor een uitgebreid overzicht van de ontwikkeling van de drinkwatervoorziening van Amsterdam wordt verwezen naar Groen, J.A., [1978].
- 2 Jonker, P., 1997.
- 3 Degenen die geïnteresseerd zijn in een uitgebreide uiteenzetting met betrekking tot het boren en afwerken van putten ten behoeve van de grondwaterwinning worden verwezen naar Driscoll, F. G., e.a., 1989. Hierbij moet wel aangetekend worden dat dit boek georiënteerd is op de situatie in de Verenigde Staten.
- 4 Deze hoeveelheid van 799 mln m³ wijkt af van het totaal, exclusief duinwater, van 783,4 mln m³ in tabel 56. Dit omdat tabel 56 verband houdt met de productie die geringer is dan de aflevering als gevolg van water afkomstig uit het buitenland (VEWIN (ed.), 1997). De ontwikkeling van de aflevering van grondwater exclusief duinwater wordt duidelijk uit het verloop. 1960: 285 mln m³, 1970: 528 mln m³, 1980: 668 mln m³ en 1996: 807 mln m³ (VEWIN (e.d.), 1989 en VEWIN (ed.), 1997).
- 5 VEWIN (ed.), 1989 en VEWIN (ed.), 1997.
- 6 Voor een recent overzicht van de verontreinigingen in de rivieren Rijn en Maas wordt verwezen naar RIWA (ed.), 1997, Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven, Jaarverslag 1996, Deel A: De Rijn, Secretariaat RIWA, Amsterdam en RIWA (ed.), 1997, Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven, Jaarverslag 1996, Deel: B De Maas, Secretariaat RIWA, Amsterdam. Daarnaast wordt door het RIKZ en RIZA, beide behorende tot Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, jaarlijks het Jaarboek Monitoring Rijkswateren uitgegeven. Hierin worden de fysische, chemische en biologische kenmerken van de Nederlandse oppervlaktewateren gepresenteerd.
- 7 VEWIN (ed.), 1993. Recentelijk is de streefcapaciteit voor de start in het jaar 2000 op 12,5 mln m³ per jaar gesteld. De streefcapaciteit op langere termijn is 50 mln m³ per jaar (Info. S. Philips, WOB).
- 8 Het geïnfilterde water wordt betrokken van de NV Watermaatschappij Rijn-Kennemerland te Nieuwegein. Deze gezuiverde hoeveelheid zou in 2020 overeenkomen met 36% van de totale drinkwaterproductie van deze maatschappij, (Didde, R., 1995) en informatie verkregen van Y. Vos, N.V. Watermaatschappij Zuid-Holland Oost en WZHO (ed.), 1996.
- 9 Schippers, H.W., 1984.
- 10 Achttienribbe, G.E., 1984.
- 11 Oskam, G. & J.M.J. Waals, 1995.
- 12 Info VEWIN, Rijswijk.
- 13 Nieuwenhof, R. van de, 1995.
- 14 Snel, M.M.W., 1996.
- 15 Info LTO Nederland, 's-Gravenhage.

Vervolg hoofdstuk 9 (pag. 137 - 148)

- 16 Bij toepassing van de regel en overschrijding van deze drempelwaarde wordt het bedrijf aangeslagen voor de gehele onttrekking, resulterend in een minimum aanslag van $40\ 000 \times f\ 0,17 = f\ 6800,-$.
- 17 Meer informatie over de discussie rondom de bemetering in Amsterdam wordt gevonden in een artikel van de hand van M.K.H. Gast en W.F. van Buuren, gepubliceerd in 1998.
- 18 VEWIN (ed.), 1995.
- 19 Bij de N.V. Waterleidingmaatschappij 'Drenthe' stegen de kosten voor de particuliere gebruiker in de periode 1994 - 1995, bij een jaarlijks gebruik van $200\ m^3$, van $f\ 289,60$ naar $f\ 377,60$ (VEWIN (ed.), 1994 a en VEWIN (ed.), 1995).
- 20 Consumentenbond (ed.), 1997.
- 21 IPO-Projectgroep A86 (red.), 1994 en Veelenturf, P.W.M., 1995.
- 22 Een uitgebreide mondiale vergelijking van de verschillende aspecten van waterleverantie en gerelateerde kosten wordt gevonden in IWSA (ed.), 1995 en IWSA (ed.), 1997.

Hoofdstuk 10 (pag. 149 - 152) *Grondwater als opslagplaats voor thermische energie*

- 1 Voor een uitgebreidere uiteenzetting met betrekking tot warmte- en koude-opslag wordt verwezen naar Mourik, G.J. van, 1995.
- 2 Snijders, A.L., 1994.
- 3 Info IF Technology bv, Arnhem.
- 4 Bakema, G., A.L. Snijders & B. Nordell, 1995.
- 5 Vanuit de koude-opslag kan in de zomer (theoretisch) 310 MWh koeling geleverd worden. De totaal beoogde jaarlijkse energiebesparing door inschakeling van de ondergrondse koude-opslag bedraagt 955 MWh_t. In de eerste winter werd $47\ 000\ m^3$ en in de eerste zomer $33\ 000\ m^3$ grondwater verplaatst. De verwachte economische rentabiliteit kan het beste worden uitgedrukt in de berekende terugverdiëntijd van de investeringen van 4,6 jaar (Ent, L. van der, 1996).
- 6 Voor achtergrondinformatie met betrekking tot dit project wordt verwezen naar Snijders, A.L., 1994 a.
- 7 Met deze opslag wordt beoogd 34% van het jaarlijkse energieverbruik, overeenkomend met $18\ 000 - 19\ 000\ GJ$, te kunnen besparen (Ent, L. van der, 1996).
- 8 In de periode tot 1 juli 1994 werd met totaal $203\ 651\ m^3$ water $13\ 269\ MWh_t$ ($47\ 768\ GJ$) warmte opgeslagen. In dezelfde periode was een hoeveelheid warmte overeenkomend met $12\ 390\ GJ$ onttrokken aan het opslagsysteem (Loon, L.J.M. van & A. Paul, 1991 en Bredero Energy Systems BV en Heidemij Advies BV, 1995 en Info IF Technology BV, Arnhem).

Hoofdstuk 11 (pag. 153 - 164) *Gevolgen van menselijk ingrijpen*

- 1 RIVM (ed.), 1993.
- 2 Gun, J.A.M. van der, 1978.
- 3 Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1989.
- 4 Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1994.
- 5 RIVM (ed.), 1993.
- 6 Arnold, G.E. & U. Pakes, 1995.
- 7 Naar Koten-Hertogs, M. van, 1996.
- 8 Pellenbarg, N.P. & G.P. Beugelink, 1991 en Braat, L.C.M. (ed.), e.a., 1989.
- 9 Ernst, L.F. & R.A. Feddes, 1979.
- 10 Feddes, R.A., 1995.
- 11 Rolf, H.L.M., 1989.
- 12 Pellenbarg, N.P. & G.P. Beugelink, 1991 en Velde, G. van de, 1991.

Vervolg hoofdstuk 11 (pag. 153 - 164)

- 13 Claessen, F.A.M., 1991.
- 14 Gieske, J.M.J. & J. Runhaar, 1994.
- 15 Beusekom, C.F. van, e.a., 1990. Een dergelijke leidraad was zeker gewenst omdat de relatie verdroging - biotoop moeilijk nauwkeurig en algemeen geaccepteerd vast te stellen is. Degenen die geïnteresseerd zijn in deze problematiek worden verwezen naar de recente publicatie van J.P.M. Witte, National water management and the value of nature. In deze publicatie behandelt de auteur niet alleen de relatie grondwaterstand - biotoop en daarmee dus impliciet de relatie tussen de verdroging en de biotoop, maar ook de relatie tussen het waterbeheer en de biotoop.
- 16 RIVM (ed.), 1995.
- 17 Boo, M. de, 1996 en info F. Eysink, Staatsbosbeheer.
- 18 Als voorbeeld van dergelijke provinciale studies wordt verwezen naar Gool, C.R. van en Mars, H. de, 1990 en Aggenbach, C.J.S., e.a., 1995.
- 19 De wijze waarop de WMN dit wil bereiken en de verwachte resultaten met betrekking tot de bestrijding van de verdroging worden uiteengezet in Roelofs, H.J., e. a., 1997.
- 20 Dit gevaar wordt goed weergegeven in de publicatie, geschreven voor een breed publiek, van de hand van Sacha Wijmer, Grondwater beneden peil, Verdroging in Nederland (Wijmer, S., 1990). Hierin wordt uitgebreid stilgestaan bij de consequenties niet alleen van verdroging maar ook van anti-verdrogingsmaatregelen voor de vele betrokken partijen. Dit boek werd gepubliceerd gelijktijdig met het veel wetenschappelijkere Handboek grondwaterbeheer voor natuur, bos en landschap, geschreven door C.F. van Beusekom e.a.
- 21 Van Wijk, A. & C.A.J. Appelo, 1993.
- 22 Voor praktische informatie wordt verwezen naar Beenen, A. S., 1992.
- 23 Pellenbarg, N.P., 1994.
- 24 Kreling, J., 1996.
- 25 Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat (ed.), 1996.

Hoofdstuk 12 (pag. 165 - 170) *Grondwatergegevens*

- 1 Voor meer gedetailleerde informatie wordt verwezen naar Geer, F.C. van & A.H.M. Kremers, 1996 en Geer, F.C. van & A.H.M. Kremers, 1997.
- 2 Voor een algemeen kort beeld van de ontwikkeling en de betekenis van het Archief van Grondwaterstanden wordt verwezen naar: NITG-TNO (ed.), 1997 b. Voor een meer historisch inzicht met betrekking tot oprichting en taakuitoefening van het Archief van Grondwaterstanden wordt verwezen naar Groenewoud, C., 1966 en naar Dienst Grondwaterverkenning TNO (ed.), 1974.
- 3 Voor nadere informatie wordt verwezen naar: NITG-TNO (ed.), 1997 a en NITG-TNO (ed.), 1997 d.
- 4 TNO Grondwater en Geo-Energie (ed.), 1996.
- 5 Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1994.
- 6 Zoals in hoofdstuk 11 beschreven.

Hoofdstuk 13 (pag. 171 - 174) *Kennisontwikkeling over grondwater*

- 1 De geïnteresseerde lezer wordt voor uitgebreide informatie verwezen naar de publicatie Vries, J.J. de, 1982 of in een beknopte vorm in Vries, J.J. de, 1995.
- 2 Zoals geciteerd in: Vries, J.J. de, 1982.
- 3 Vries, J.J. de, 1982.
- 4 Zie hoofdstuk 7.
- 5 Voor nadere informatie wordt verwezen naar het inleidende deel van deze serie: Visser, W.C., 1958.



Vervolg hoofdstuk 13 (pag. 171 - 174)

- 6 Snijders, J.H., 1960.
- 7 Lange, W.J. de, 1996.
- 8 Langeweg, F. (red.), 1988 en RIVM (ed.), 1991 en RIVM (ed.), 1993.
- 9 Hooghart, J.C. & C.W.S. Posthumus (ed.), 1993.
- 10 De meest recente uitgave is STOWA (ed.), 1995.

Hoofdstuk 14 (pag. 175 - 188) *Beleid en beheer en het daarmee samenhangend wettelijk kader*

- 1 Mededeling in H₂O (30), nr. 2/97, p. 34, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk en Unie van Waterschappen (ed.), 1997.
- 2 Naar Grijns, L.C. & J. Wisserhof, 1992 en Rijkswaterstaat (ed.), 1968.
- 3 Naar Grijns, L.C. & J. Wisserhof, 1992.
- 4 Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1985.
- 5 Het begrip kan worden beschouwd als een benadering die poogt de diverse beleidsmaatregelen van organisaties ten aanzien van een samenhangend watersysteem meer af te stemmen op de functies en potenties van het watersysteem (Kuijpers, C.B.F. & P. Glasbergen, 1989).
- 6 Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), [1985] a.
- 7 Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1989 en Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1990 a.
- 8 Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1993 en Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1994.
- 9 Voor een beknopt, helder overzicht van het karakter van de vierde Nota, mede in relatie tot de derde Nota, wordt verwezen naar Hall, A. van, 1997.
- 10 RIZA (ed.), 1995 en Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1997.
- 11 Projectteam NW 4 (ed.), 1996.
- 12 Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1997 en Ministerie van VROM, e.a. (ed.), 1998 b.
- 13 Symposium 'Vernatting, probleem of oplossing?', Georganiseerd door de Internationale Agrarische Hogeschool Larenstein, Velp, 22 mei 1996.
- 14 Unie van Waterschappen (ed.), 1996.
- 15 Bakel, P.J.T. van, J. Kreling & F. Benning, 1996.
- 16 Projectteam NW 4 (ed.), 1995.
- 17 Hierbij wordt opgemerkt dat grondwater niet als een delfstof beschouwd wordt. Dientengevolge is wetgeving in het kader van de Mijnwet niet van toepassing. Voor een beknopt overzicht van de delfstoffen in Nederland wordt verwezen naar Montfrans, H.M. van, e.a. (red.), 1988.
- 18 Informatie met betrekking tot de uitgebrachte adviezen van de CoGroWa kan gevonden worden in de Jaarverslagen van de CoGroWa.
- 19 Teeuwen, H.H.A., 1992.
- 20 Kuijpers, C.B.F. & P. Glasbergen, 1990.
- 21 Edel, B., e.a., 1996.
- 22 Stichting Wateropleidingen (ed.), 1996.
- 23 Teulings, J.H.A., 1984 (tweede druk 1994). Een goed voorbeeld van een provinciaal grondwaterplan is het Grondwaterplan Drenthe, Provinciaal Bestuur van Drenthe (ed.) 1986 en 1985.
- 24 IJff, J., 1995.
- 25 Dresden, M.J., 1987 (tweede druk 1994).
- 26 Ministerie van VROM (ed.), 1994.
- 27 Provincie Overijssel (ed.), 1995.
- 28 Provincie Noord-Brabant (ed.), 1995.
- 29 Later, F.K., 1990.
- 30 Edel, B., e.a., 1996 en Walsweer, A.G., 1994.

Vervolg hoofdstuk 14 (pag. 175- 188)

- 31 Europese Gemeenschappen (ed.), 1980.
- 32 Beek, C.G.E.M. van, 1995.
- 33 De voorbereiding werd afgerond met de publicatie van de Hoofdlijnennotitie herziening Waterleidingwet die in februari 1998 aan de Tweede Kamer is toegestuurd. In deze hoofdlijnennotitie worden de belangrijkste doelstellingen van de nieuwe wet als volgt gedefinieerd:
 - waarborgen kwaliteit en leveringszekerheid
 - bevorderen doelmatigheid
 - verbeteren positie gebonden klanten.(Ministerie van VROM (ed.), 1998).

Hoofdstuk 15 (pag. 189 - 192) *Toekomstige ontwikkelingen*

- 1 Zoals ook al is aangegeven in 1993 in het Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening, Deel 1: ontwerp planologische kernbeslissing. Hierin is geformuleerd dat de voorkeur zal blijven uitgaan naar toepassing van kunstmatige infiltratie van oppervlaktewater (Ministerie van VROM (ed.), 1993).
- 2 Zoals vastgelegd in: Kotten-Hertogs, M. van, (1996).

Literatuur

Aben, J.J.M., e.a., 1995, Landelijk meetnet regenwatersamenstelling meetresultaten 1990, RIVM - KNMI, RIVM-Rapport nr. 722101017, Bilthoven.

Achtienribbe, G.E., 1984, Daarom is de prijs van het drinkwater hier anders dan daar. In: VEWIN Jaarverslag 1984, VEWIN, Rijswijk.

Achtienribbe, G.E., 1996, Het waterverbruik thuis opnieuw onder de loep. In: H₂O (29), nr. 10/96, p. 278 - 292, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Adrichem Boogaert, H.A. van & W.F.P. Kouwe, 1993 - 1997, Stratigraphic nomenclature of the Netherlands, revision and update by RGD and NOGEP, Mededelingen Rijks Geologische Dienst, Vol. 50, Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO - National Geological Survey, Haarlem.

Aelmans, F.G., 1983, Grondwaterkaart van Nederland, Apeldoorn-Oost, Kaartblad 33 Oost, Rapport GWK 31, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

Aelmans, F.G., 1997, Digital Waterway Vechte, TNO-report NITG 97-283-B, Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO - National Geological Survey, Delft.

Aggenbach, C.J.S., e.a., 1995, Onderzoek naar de gewenste grond- en oppervlaktewatersituatie in de hydrologisch gevoelige natuurgebieden in de Provincie Limburg, KIWA Onderzoek en advies, rapport nr. KOA 95.052/ KOA 95.053, KIWA, Nieuwegein.

Akker, C. van den, 1995, Integraal Waterbeheer. In: H₂O (28), nr. 8/95, p. 233 - 234, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Allen, J.R.C., 1970, Physical processes of sedimentation, George Allen & Unwin, London. In: Freeze, R.A. & J.A. Cherry, 1979, Groundwater, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.

Appelman, J., B. Bult & T. Meeder, 1994, Evaluatie grondwaterreinigingstechnieken, Inzicht in prestaties, Land + Water 9/1994, p. 59 - 61, VNU Business Publications, Amsterdam.

Appelo, C.A.J., 1988, Hydrochemistry for hydrogeologists, Application of chemical theory, Institute for Earth Sciences Free University, Amsterdam.

Appelo, C.A.J. & D. Postma, 1993, Geochemistry, groundwater and pollution, A.A. Balkema, Rotterdam.

Arnold, G.E. & U. Pakes, 1995, Landelijke inventarisatie van verdroogde gebieden 1994. Achtergronddocument, RIZA in samenwerking met Interprovinciaal Overleg IPO, Lelystad.

Baas, C.N., 1997, Particuliere grondwateronttrekkingen in Nederland, Casestudie Gemeente De Bilt; aanbevelen of ontmoedigen?, Voorlichting en Externe Betrekkingen Wetenschapswinkel Vrije Universiteit, Amsterdam.

Bakel, P.J.T. van, J. Kreling & F. Benning, 1996, Waterschappen als grondwaterbeheerder, Een nieuwe uitdaging? In: Het Waterschap, (81), nr. 15, p. 519 - 523, Unie van Waterschappen, 's-Gravenhage.

Bakema, G., A.L. Snijders & B. Nordell, 1995, Underground thermal energy storage, State of the art 1994, IF Technology bv, Arnhem.



- Bannink, A.D., 1996, Inventariserend onderzoek naar bestrijdingsmiddelen in Oostbrabantse grondwaterbeschermingsgebieden. In: *H₂O* (29) nr. 13/96, p. 386 - 391, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Beek, C.G.E.M. van, 1995, Grondwaterbescherming vraagt maatwerk. In: *H₂O* (28), nr. 7/95, p. 220 - 223, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Beenen, A.S., 1992, Grondwater problemen in de woonomgeving: oorzaken en oplossingen, Faculteit der Civiele Techniek, Vakgroep Gezondheidstechniek & Waterbeheersing/Wetenschapswinkel, TU, Delft.
- Beets, D.J., M.M. Fischer & W. de Gans, 1996, Coastal studies on the Holocene of the Netherlands, Mededelingen van de Rijks Geologische Dienst, Vol. 57, RGD, Haarlem.
- Berbee, R.P.M., 1990, Diffuse verontreiniging, Basis rapport derde Nota waterhuishouding, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren / RIZA, 's-Gravenhage.
- Berg, R. van den, 1991, Bestrijdingsmiddelen in bodem en grondwater. In: RIVM (ed.), Nat. Milieu Verk. 2 1990 - 2010, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.
- Beugelink, G.P., F.A.M. Claessen & J.H.C. Mülschlegel (RIVM, RIZA), 1992, Effecten op natuur van grondwaterwinning ten behoeve van Beleidsplan drink- en industriewatervoorziening en MER, Deel 16 Onderzoek effecten grondwaterwinning, RIVM-Rapport nr. 714305010, Bilthoven.
- Beugelink, G.P., F.A.M. Claessen & J.H.C. Mülschlegel (RIVM, RIZA), 1992 a, Effecten op natuur van grondwaterwinning t.b.v. Beleidsplan drink- en industriewatervoorziening en MER, Deel 16, Onderzoek effecten grondwaterwinning, RIVM-Rapport nr. 714305010, RIVM, Bilthoven. In: Witte, J.P.M., e.a., 1993, Demnat: A national model for the effects of water management on the vegetation. In: Hooghart, J.C. & C.W.S. Posthumus (red.), 1993, The use of hydro-ecological models in the Netherlands, Proceedings and Information no. 47, TNO Committee on Hydrological Research (CHO-TNO), Delft.
- Beusekom, C.F. van, e.a., 1990, Handboek grondwaterbeheer voor natuur, bos en landschap, Sdu Uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Boheemen, P.J.M. van & J.G.S. de Wilde, 1979, Watervoorziening land- en tuinbouw in het droge jaar 1976, ICW regionale studies 15, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen.
- Boo, M. de, 1996, Luisteren naar het landschap, het herstel van een Twentse natte heide, VEWIN, e.a., Rijswijk.
- Boswinkel, J.A., 1981, Spatial salinity variations in The Netherlands. In: Proceedings of seventh salt water intrusion meeting, ed. by Sveriges Geologiska Undersökning, Rep. nr. 27, Uppsala. In: Ven, G.P. van de, e.a., 1986, Water, Atlas van Nederland, deel 15, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Boswinkel, J.A. & I.L. Ritsema, 1984, Grondwaterkaart van Nederland, Rotterdam, 37 West, 37 Oost, Rapport GWK 35, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Boumans, L.J.M., C.R. Meinardi & G.J.W. Krajenbrink, 1989, Nitraatgehalten en kwaliteit van het grondwater onder grasland in de zandgebieden, RIVM- Rapport nr. 728472013, RIVM, Bilthoven in Reijnders, H.F.R., e.a., 1997, De kwaliteit van het grondwater in Nederland. In: *H₂O* (30), nr. 22/97, p. 658 - 665, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Boukes, H., C.A. Bennekom & J.G.H. Philips, 1996, Overbemesting en drinkwater; geen nitraat-probleem. In: *H₂O* (29), nr.11/96, p. 314 - 317, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwater-behandeling, VEWIN, Rijswijk

Bowen, R., *Groundwater*, 1986, Elsevier applied science publishers Ltd., London.

Braat, L.C.M. (red.), e.a., 1989, *Verdroging van natuur en landschap in Nederland, Beschrijving en analyse*, juli 1989, IVM, CML, DGV-TNO, RIN, 's-Gravenhage.

Braat, L.C.M. (red.), e.a., 1989 a, *Verdroging van natuur en landschap in Nederland, Het technisch rapport*, februari 1989, IVM, CML, DGV-TNO, RIN, 's-Gravenhage.

Bracht, M.J. van, 1994, *Grondwatermeetnetten en informatiesystemen in Nederland*, TNO-Rapport nr. GI-94/1423, TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.

Bredero Energy Systems BV en Heidemij Advies BV, 1995, *Warmte-opslag in de bodem voor de Utrechtse Universiteit, Vijfde rapportage van het meetprogramma*, Novem, Utrecht.

Breeuwer, J.B. & S. Jelgersma, 1973, *An East-West geo-hydrological section across The Netherlands. In: New aspects of mineral and water resources in The Netherlands, Verhandelingen van het K.N.G.M.G., Deel 29*, Martinus Nijhoff's Boekhandel en Uitgeversmij., 's-Gravenhage.

Brouwer, G.K., 1987, *Grondwaterkaart van Nederland, Heerenveen/Assen, Rapport GWK 43, Dienst Grondwaterverkenning TNO*, Delft.

Cals, E.J.J., 1996, *De drinkwatervoorziening in Nederland. Structuur en organisatie*. In: *H₂O* (29), nr. 7/96, p. 187 - 190, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

CBS (ed.), 1975, *Centraal Bureau voor de Statistiek (ed.), Statistisch Zakboek 1975*, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

CBS (ed.), 1992, *Centraal Bureau voor de Statistiek (ed.), Statistisch Jaarboek 1992*, Sdu/Uitgeverij, 's-Gravenhage.

CBS (ed.), 1995, *Centraal Bureau voor de Statistiek (ed.), Statistisch Jaarboek 1995*, Sdu/Uitgeverij, 's-Gravenhage.

CBS (ed.), 1995 a, *Centraal Bureau voor de Statistiek (ed.), Waterverbruikscijfers*. In: *Energiebericht/Waterwinning*, 's-Gravenhage.

Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening, 1940, *Rapport van de Commissie voor Drinkwater-voorziening Westen des Lands, Algemeene Landsdrukkerij*, 's-Gravenhage.

Centrale Commissie voor Drinkwatervoorziening 1965 (red.), 1967, *De toekomstige drinkwater-voorziening in Nederland*, Staatsdrukkerij, 's-Gravenhage.

CHO-TNO (ed.), 1982, *Policy analysis for the national water management of the Netherlands, Background papers for the technical meeting 39, Verslagen en mededelingen no. 29 a*, The Hague.

Claessen, F.A.M., 1991, *Oorzaken en omvang van de verdroging*. In: *Waterschapsbelangen*, (76), nr. 23/24, p. 877 - 882, Unie van Waterschappen, 's-Gravenhage.



Colenbrander, H.J., e.a., 1989, Water in the Netherlands, TNO Committee on Hydrological Research (CHO-TNO), 's-Gravenhage.

Consumentenbond (ed.), 1997, Wat uit de kraan komt is goed, maar hoelang nog?, Haags water twee keer zo duur als in Winschoten. In: Consumentengids, november 1997, 's-Gravenhage

Cultuurtechnische vereniging (ed.), 1988, Cultuurtechnisch vademecum, Utrecht.

Dalfsen, W. van, 1983, Het ondiepe ondergrondse temperatuurveld in Nederland, Rapport OS 83-31, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.

Davis, S.N. & R.J.M. De Wiest, 1966, Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York.

De openbare watervoorziening in 1995, 1996. In: H_2O (29), 4/96, p. 94, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

De openbare watervoorziening in 1997, 1998. In: H_2O (31), 5/98, p. 11, Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer, Nijgh Periodieken, Schiedam.

Didde, R., 1995, Rivierwater gaat ondergronds. In: De Volkskrant, 25 februari 1995, Amsterdam.

Dienst Grondwaterverkenning TNO (ed.), 1974, Bijdragen 25-jarig bestaan Archief van Grondwaterstanden. In: Jaarverslag 1973, p. 26-56, DGV-TNO, Delft.

Dienst Waterbeheer Provincie Gelderland (ed.), 1985, Rapport Dienst Waterbeheer Provincie Gelderland en Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij en Paardenhouderij, Onderzoek naar de rendabiliteit van beregening op melkveebedrijven in Gelderland, Arnhem.

Dienst water en milieu, Provincie Utrecht (ed.), 1994, Kwel en infiltratie in de provincie Utrecht.

Dijk, J., C. Ploeger & M.W. Hoogeveen, 1994, Grondwateronttrekking door de land- en tuinbouw, Landbouw-Economisch Instituut, Publ. 3. 157, Den Haag.

Dijk, J.C. van & F.L. Schulting, 1997, Waar zijn wij eigenlijk mee bezig. In: H_2O (30), nr. 9/97, p. 284 - 289, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Dijkshoorn, L. & H.J.M. Pagnier, 1995, Landelijk hydrogeologisch model, tussenrapportage, RGD-Rapport nr. GB 2504, Heerlen.

Doorn, Th. H. M. van, e.a., 1985, Aardwarmtewinning en grootschalige warmteopslag in tertiaire en kwartaire afzettingen, Rijks Geologische Dienst, Dienst Grondwaterverkenning TNO, RGD-Rapport nr. 85 KAR 02 EX, RGD, Haarlem.

Draaijers, G.P.J., e.a., 1997, Emissies in Nederland trends, thema's en doelgroepen 1995 en ramingen 1996, Publicatiereeks Emissieregistratie nr. 38, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Directoraat-Generaal Milieubeheer, 's-Gravenhage.

Drecht, G. van, e.a., 1996, De kwaliteit van het grondwater op een diepte tussen 5 en 30 meter in het jaar 1992 en de verandering daarvan in de periode 1984 - 1993, RIVM-Rapport nr. 714801005, RIVM, Bilthoven.

- Dresden, M.J., 1987 (tweede druk 1994), Milieuwetgeving, Wet Bodembescherming, Nederlandse Staatswetten, ed. Schuurman & Jordens, nr. 147 - VIb (VI), W.E.J. Tjeenk Willink, Deventer.
- Driscoll, F.G., e.a., 1989 (third printing), Groundwater and wells, Johnson Filtration Systems Inc., St. Paul, Minnesota.
- Dufour, F.C., 1978, Onderzoek Bergen op Zoom/Halsteren, Rapport nr. G.F. 118, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Duijvenbooden, W. van & A. Breeuwsma, e.a., 1987, Kwetsbaarheid van het grondwater, RIVM-Rapport nr. BO-65, RIVM, Bilthoven en Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Duijvenbooden, W. van, e.a., 1989, De kwaliteit van het grondwater in Nederland, RIVM-Rapport nr. 728820001, RIVM, Bilthoven.
- Edel, B., e.a., 1996, Misset's Milieuwijzer, Misset uitgeverij bv, Doetinchem.
- Edelman, D.H., 1994, Oorzaken van de verdroging in de regio ten zuiden van Tilburg. In: H_2O (27), nr. 19/94, p. 560 - 563, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Elshof, A.J., 1997, Interactieve planvorming voor waterbeheer. In: Het Waterschap, 97/22, p. 732 - 734, Veertiendaags tijdschrift voor waterschapsbestuur en waterschapsbeheer, Unie van Waterschappen, 's-Gravenhage.
- Engelen, A.F.V. van, 1995, Neerslagmeetnet van het KNMI, KNMI Klimatologische Dienstverlening, De Bilt.
- Engelen, G.B., J.M.J. Gieske & S.O. Los, 1989, Grondwaterstromingsstelsels in Nederland, Ministerie van Landbouw, Natuurbeheer en Visserij, SDU uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Engelen, G.B. & F.H. Kloosterman, 1996, Hydrological Systems Analysis, Methods and applications, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Ent, L. van der, 1996, Rendabel comfort uit de bodem. In: Instellingen, Koggeschip Vakbladen B.V., Jrg. 21, nr. 8, p. 20 - 21, Amsterdam.
- Ernst, L.F. & R.A. Feddes, 1979, Invloed van grondwateronttrekking voor beregening en drinkwater op de grondwaterstand, Nota 1116, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen.
- Europese Gemeenschappen (ed.), 1980, Richtlijnen van de raad van 17 december 1979 betreffende de bescherming van het grondwater tegen verontreiniging veroorzaakt door de lozing van bepaalde gevaarlijke stoffen, Richtlijn 80/68/EEG, Publicatieblad van de Europese Gemeenschappen, nr. L 20/43, Brussel.
- FAO (ed.), 1997, Seawater intrusion in coastal aquifers, Guidelines for study, monitoring and control, Water reports nr. 11, Food and agriculture organization of the United Nations, Rome.
- Feddes, R.A., 1990, Waar blijft het water, Inaugurale rede uitgesproken bij de aanvaarding van het ambt van hoogleraar in de Bodemnatuurkunde en Agrohydrologie aan de Landbouwniversiteit te Wageningen, L.U., Wageningen.



- Feddes, R.A., 1995, Vernatting en verdroging. In: Over de grenzen van het landelijk gebied, NRLO-Rapport nr. 95/8, Nationale Raad voor Landbouwkundig Onderzoek, 's-Gravenhage.
- Frapporti, G., Vriend, S.P. & Gaans, P.F.M. van, 1994, Trendbepaling in het Nederlandse grondwater. Verdroging en haar invloed op grondwatersamenstelling. In: *H₂O* (27), nr. 13/94, p. 372 - 375, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Freeze, R.A. & J.A. Cherry, 1979, *Groundwater*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Fried, J.J. (red.), 1982, *Grondwater in Nederland, behoeften en beschikbare hoeveelheden*. In opdracht van Commissie Europese Gemeenschappen, Th. Schäfer GmbH, Hannover.
- Gans, W. de & K. van Gijssel, 1996, The Late Weichselian morphology of the Netherlands and its influence on the Holocene coastal development. In: Beets, D.J., M.M. Fischer & W. de Gans, 1996, *Coastal studies on the Holocene of the Netherlands*, Mededelingen van de Rijks Geologische Dienst, Vol. 57, RGD, Haarlem.
- Gast, M.K.H., 1989, Grenzen aan het huishoudelijk en industrieel gebruik van (grond)water. In: Leuven, R.S.E.W. & F.J.J. Bles, *Verdroging in Nederland, oorzaken, omvang en oplossingen*, Stichting Natuur en Milieu, Utrecht.
- Gast, M.K.H. & Buuren W.F. van, 1998, Watermeters in Amsterdam, einde van een discussie. In: *H₂O* (31), nr. 5/98, p. 15 - 17, Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer, Nijgh Periodieken B.V., Schiedam.
- Geer, F.C. van & A.H.M. Kremers, 1996, Monitoring actuele grondwaterstanden (1995), Onderzoek met betrekking tot de actueel optredende grondwaterstand afgezet tegen de historische grondwaterstandgegevens voor een aantal meetlocaties verspreid over Nederland, TNO-Rapport nr. GG-R-96-03(B), TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.
- Geer, F.C. van & A.H.M. Kremers, 1997, Monitoring actuele grondwaterstanden (1996), Rapportage met betrekking tot de actueel optredende grondwaterstand afgezet tegen de historische grondwaterstandgegevens voor een aantal meetlocaties verspreid over Nederland, TNO-Rapport nr. NITG 97-50(B), Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.
- Geer, F.C. van & A.H.M. Kremers, 1997 a, Grondwaterstanden door het jaar en door de jaren heen. In: *Spraakwater*, nr. 5, oktober 1997, Periodiek van het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.
- Gemeentewaterleidingen Amsterdam (ed.), 1940, *De watervoorziening van Amsterdam*, Rapport 1940, Amsterdam.
- Gemeentewaterleidingen Amsterdam (ed.), 1948, *De watervoorziening van Amsterdam*, Rapport 1948, Amsterdam.
- Gieske, J.M.J. & J. Runhaar, 1994, Milieubeleidsindicator verdroging; fase IIb, toepassing van de MBI-verdroging in Noord-Nederland. TNO, CML Rapport nr. OS 94-21B, TNO, CML, Delft.
- Gool, C.R. van & Mars, H. de, 1990, *Verdrogingsonderzoek Limburg, Ligging, aard en verdrogings-toestand van hydrologisch gevoelige vegetaties*, Provincie Limburg, Hoofdgroep V.W.M., Maastricht.

- Grakist, G., e.a., 1997, Effecten van grondwaterwinningen op maaiveldzakkingen. In: *H₂O* (30), nr. 12/97, p. 396 - 400, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Gripp, K., 1964, Erdgeschichte von Schleswig - Holstein, Neumünster, Wachholtz. In: Pannekoek, A.J. & L.M.J.U. van Straaten, 1982, (derde, herziene en uitgebreide druk), *Algemene Geologie*, Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Groen, J.A., [1978], Een cent per emmer, Het Amsterdamse drinkwater door de eeuwen heen, Gemeentewaterleidingen, Amsterdam.
- Groenewoud, C., 1966, Archief van Grondwaterstanden TNO, Mededeling 2, TNO, 's-Gravenhage.
- Grijns, L.C. & J. Wisserhof, 1992, Ontwikkelingen in integraal waterbeheer, verkenning van beleid, beheer en onderzoek, Delft University Press, Delft.
- Gun, J.A.M. van der, 1978, Grondwaterkaart van Nederland, Utrecht, Rapport GWK 21, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Haarman, F.G. (red.), 1992, Grondwaterbeheer Midden-Nederland, Modelling watersystemen, IWACO B.V. en provincie Gelderland, Rotterdam.
- Hall, A. van, 1997, Water en zijn uitstralende effecten naar ruimtelijke ordening en milieu. In: *ROM magazine*, Jrg. 15, nr. 11, p. 6 - 9, VUGA Uitgeverij B.V., 's-Gravenhage.
- Heijde, P.K.M. van der, 1978, De droogte van 1976, Een samenvatting en overzicht over de droogte van 1976 verschenen literatuur, Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO (CHO-TNO), Den Haag.
- Hetterschijt, R.A.A., e.a., 1997, Fosfaatbelasting van oppervlaktewater door grondwaterkwel, Deel 1: Geohydrologische en geochemische processen, Deel 2: Methoden voor de bepaling van de fosfaatbelasting. In: *H₂O* (30), nr. 20/97, p. 598 - 601 en *H₂O* (30), nr. 21/97, p. 632 - 635, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Hoogendoorn, J.H., 1985, Grondwaterkaart van Nederland, Middelburg/Bergen op Zoom, Rapport GWK 39, Dienst Grondwaterverkenning TNO, Delft.
- Hoogeveen, P.M.T.C., 1994, Resultaten van het waterkwaliteitsonderzoek in de Rijn in Nederland 1973 - 1992, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, RIZA, Lelystad.
- Hooghart, J.C. (red.), 1986, Verklarende hydrologische woordenlijst, samengesteld door de Gespreksgroep Hydrologische Terminologie, Rapporten en Nota's nr. 16, Commissie voor Hydrologisch Onderzoek (CHO-TNO), 's-Gravenhage.
- Hooghart, J.C. & C.W.S. Posthumus (red.), 1993, The use of hydro-ecological models in the Netherlands, Proceedings and Information no. 47, TNO Committee on Hydrological Research (CHO-TNO), Delft.
- Houghton, J.T., G.J. Jenkins & J.J. Ephraums, 1990, Climate change, The IPCC Scientific Assessment. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Science Working Group (I), Cambridge University Press. In: Oude Essink, G.H.P., 1996, Impact of sea level rise on groundwater flow regimes, A sensitivity analysis for the Netherlands, Delft University Press, Delft.

Huisman, P., 1998, Integrated water management, necessity for sustainable development. In: Water in the Netherlands, Nederlandse Hydrologische Vereniging, Groningen.

IJff, J., 1995, De bestuurlijke organisatie van het waterkwaliteitsbeheer. In: Berge, A.P. van de, e.a., Bestrijding van watervervuiling, vijftienvintig jaar WVO, Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Unie van Waterschappen, 's-Gravenhage.

IPO-Projectgroep A.86 (red.), 1994, Kan het iets minder? Eindrapportage Beperking watergebruik, Interprovinciaal Overleg IPO, Den Haag.

IWSA (ed.), 1993, International Water Supply Association, Standing Committee on Statistics and Economics, IWSA congres, Budapest.

IWSA (ed.), 1995, International Water Supply Association, Statistics and Economics Committee, IWSA congres, Durban.

IWSA (ed.), 1997, International Water Supply Association, Statistics and Economics Committee, IWSA congres, Madrid.

Jonge, H.G. de, H.G.J. M. van der Hagen & M. Rutte, 1996, Vijf jaar diepinfiltratie in Waalsdorp. In: *H₂O* (29), 4/96, p. 109-114, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Jonker, P., 1997, Samenwerken of overlaten. In: *H₂O* (30), 25/97, p. 755 - 757, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Kessel, A.A.L. van & N. Versteeg, 1996, Heeft een dubbel waterleidingnet (de) toekomst? In: *H₂O* (29), 11/96, p. 326 - 327, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Klein Tank, A.M.G., 1996, Klimaat, neerslag en verdamping. In: Cramer, W., J. de Jong & J.A. Los, Handboek Milieubeheer - Waterbeheer, Samson H.D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn.

Kloosterman, F.H., e.a., 1993, De Landelijke Hydrologische Systemanalyse. Deelgebied Midden-Nederland. De regionale grondwaterstromingsstelsels rond de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug, TNO-Rapport OS 93-41 (B), Instituut voor Grondwater en Geo-Energie TNO, Delft.

Kloosterman, F.H. & R.J. Stuurman, 1996, Landelijke Hydrologische Systemanalyse, doelstelling, begrippen, methodologie en projectuitvoering, TNO-Rapport nr. OS 91-53A, TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.

Knip, K., 1994, 'Hoogheemraadschap reageerde te laat'. In: NRC Handelsblad, 20 september 1994, p. 7, Rotterdam.

KNMI (ed.), 1976, Maandlijks overzicht der weersgesteldheid, De Bilt.

KNMI (ed.), 1994, Jaarsom neerslag 1976, Klimatologische Dienstverlening KNMI, De Bilt. (Niet gepubliceerd, voor deze publicatie verkregen).

KNMI (ed.), 1996, MOW-Bulletin, Maandoverzicht van het weer in Nederland, De Bilt.

KNMI (ed.), 1997, MOW-Bulletin, Maandoverzicht van het weer in Nederland, De Bilt.

- Können, G.P. & W. Fransen (red.), 1996, De toestand van het klimaat in Nederland 1996, KNMI, De Bilt.
- Können, G.P., W. Fransen & R. Mureau, 1997, Meteorologie ten behoeve van de Vierde Nota Waterhuishouding, KNMI, De Bilt.
- Koten-Hertogs, M. van, (1996), Het water- en bodemonderzoek over de eeuwwisseling heen, Water en Bodem in Beeld II: een revisie van Water en Bodem in Beeld, 1991, RMNO-Rapport nr. 122, Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek, Rijswijk.
- Kraayenzank, M.J. & H. Otter, 1993, Grensoverschrijdend waterbeheer, Een inventariserend onderzoek naar de organisatie van het Nederlandse en Duitse waterbeheer, Waterschap Regge en Dinkel, Almelo.
- Kreling, J., 1996, Bestuurlijk-juridische aspecten: het water tot de lippen? Symposium Vernatting, probleem of oplossing? Georganiseerd door Internationale agrarische hogeschool Larenstein, 22 mei 1996, Velp.
- Krul, W.F.J.M., 1936, De drinkwatervoorziening van Nederland uit geografisch en hydrologisch oogpunt. In: Tijdschrift Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap, Tweede reeks, deel LIII, nr. 4, p. 489 - 521, E.J. Brill, Leiden.
- Kruseman, G.P., N.A. de Ridder & J.M. Verweij, 1990, 2nd. compl. rev. ed., Analysis and evaluation of pumping test data, ILRI publ. 47, Wageningen.
- Kuijpers, C.B.F. & P. Glasbergen, 1989, Eenheid in verscheidenheid. Bestuurlijke aspecten van integraal waterbeheer, interimrapport, Ministerie van V&W, Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage.
- Kuijpers, C.B.F. & P. Glasbergen, 1990, Perspectieven voor integraal waterbeheer. Een bestuurskundige analyse ten behoeve van de uitwerking van integraal waterbeheer, SDU Uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Lange, W.J. de, 1991, A groundwater model of The Netherlands, Basisrapport derde Nota waterhuishouding, Rijkswaterstaat RIZA, Lelystad.
- Lange, W.J. de, 1996, Groundwater modeling of large domains with analytical elements, Delft University of Technology/RIZA, Delft/Lelystad.
- Langeweg, F. (red.), 1988, Zorgen voor morgen, Nationale milieuverkenning 1985 - 2010, RIVM, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.
- Loon, L.J.M. van & A. Paul, 1991, Aquifer thermal energy storage at the State University of Utrecht, The Netherlands. In: Thermastock '91, Novem, Utrecht.
- Louw, P.G.B. de & R.J. Stuurman, 1997, Grensoverschrijdend (Grond)water, Watersysteemoptimalisatie in het Merkske stroomgebied op de grens van België en Nederland, TNO-rapport NITG 97-241-B, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.
- Meekes, J.A.C., 1997, High resolution seismic reflection techniques for subsurface models in groundwater hydrology, Delft University Press, Delft.
- Meene, E.A. van de, M. van Meerkerk & J. van der Staay, 1988, Geologische Kaart van Nederland, Kaartblad Utrecht Oost (31 O), RGD, Haarlem.

- Meinardi, C.R., 1973, Het zoutwatervoorkomen in de ondergrond van de lage gedeelten van Nederland. In: H₂O VI, nr. 18/73, p. 454 - 460 , Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Meinardi, C.R., 1976, Groundwater pollution, Proceedings nr. 21, TNO Committee on Hydrological Research (CHO-TNO), 's-Gravenhage.
- Meinardi, C.R., 1986, De ouderdom van het zoete grondwater in Nederland. In: H₂O (19), nr. 13/86, p. 286 - 289, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Meinardi, C.R./U.N., 1991, Groundwater in Western and Central Europe, Natural Resources Water series No. 27, UN DTCD, New York.
- Meinardi, C.R./KNMI, 1994, Groundwater recharge and travel times in the Netherlands, RIVM rep. nr. 715501004, RIVM, Bilthoven.
- Meinardi, C.R. & G.J. Heij, 1991, A groundwater primer, IRC International Water and Sanitation Centre, The Hague.
- Meinzer, O.E., 1923, The occurrence of groundwater in the United States, with a discussion of principles, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 489. In: Freeze, R.A. & J.A. Cherry, 1979, Groundwater, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.
- Ministerie van Economische Zaken, e.a. (ed.), 1995, Gaswinning en aardshokken, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1985, De waterhuishouding van Nederland, (tweede Nota waterhuishouding), Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), [1985] a, Omgaan met water, Naar een integraal waterbeleid, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1989, Derde Nota waterhuishouding, Water voor nu en later, SDU uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1990, Beleidsanalyse zoete wateren, PAWN, Basisrapport derde Nota waterhuishouding, Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren/RIZA, Lelystad.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1990 a, Derde Nota waterhuishouding, Regeringsbeslissing, SDU uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1993, Ontwerp - Evaluatienota Water 1993, Aanvullende beleidsmaatregelen en financiering 1994 - 1998, Sdu Uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1994, Evaluatienota Water, Regeringsbeslissing , Aanvullende beleidsmaatregelen en financiering 1994 - 1998, Sdu Uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, RIKZ - RIZA (ed.), 1994, Tienjarig overzicht presentatie van afvoeren, waterstanden, watertemperaturen, golven en kustmetingen 1981 - 1990, RIKZ - RIZA, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat, RIKZ - RIZA (ed.), 1996, Jaarboek Monitoring Rijkswateren, Presentatie van Fysische, Chemische en Biologische kenmerken, RIKZ - RIZA, Den Haag.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat (ed.), 1996, Project watersysteemverkenningen, Toekomst voor water en Achtergrondnota toekomst voor water, RIZA nota 96.058, 's-Gravenhage.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat (ed.), 1997, Vierde Nota waterhuishouding, Regeringsvoornemen, Sdu Uitgevers, 's-Gravenhage.

Ministerie van Vomil, e.a., 1981, Tweede Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening, Deel a: beleidsvoornemen, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Ministerie van VROM (ed.), 1989, Bodembescherming nr. 76, 's-Gravenhage.

Ministerie van VROM (ed.), 1990, Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening, Nota: Naar een glasheldere toekomst, Nota ter voorbereiding van het Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening tevens bevattende de Startnotitie ten behoeve van de milieu-effectrapportage, SDU uitgeverij, 's-Gravenhage.

Ministerie van VROM (ed.), 1993, Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening, Deel 1: ontwerp planologische kernbeslissing, 's-Gravenhage.

Ministerie van VROM (ed.), 1994, Drinkwater in Nederland, 's-Gravenhage.

Ministerie van VROM (ed.), 1995 (met latere aanvullingen), Leidraad bodembescherming, Sdu Uitgeverij, 's-Gravenhage.

Ministerie van VROM (ed.), 1998, Hoofddijnennotitie, De hoofddijnen voor een nieuwe Waterleiding-wet, 's-Gravenhage.

Ministerie van VROM, e.a. (ed.), 1998 a, Nationaal Milieubeleidsplan 3, De samenvatting, 's-Gravenhage.

Ministerie van VROM, e.a. (ed.), 1998 b, Nationaal Milieubeleidsplan 3, 's-Gravenhage.

Minnema B. & J.L. van der Meij, 1997, Onderzoek Waterhuishoudkundige Inrichting Friesland, Fase 2, (vervolg) TNO-Rapport nr. NITG 97-5 (B), Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.

Minnema B. & J.L. van der Meij, 1997 a, Fries oppervlaktewater wordt zouter. In: Spraakwater, nr. 5, oktober 1997, Periodiek van het Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.

Misset Milieboekje, 1994, Misset uitgeverij b.v., Doetinchem.

Møller, H., 1994, Adverse health effects of nitrate and its metabolites: epidemiological studies in humans. In: Health aspects of nitrates and its metabolites (particularly nitrite), Council of Europe, International workshop, Bilthoven (Netherlands), 8 - 10 November 1994, Publishing and Documentation Service, Council of Europe, Strasbourg Cedex.

Montfrans, H.M. van & E. Mot, 1984, Mogelijkheden voor de winning van aardwarmte in Nederland. In: E. Mot (red.), Verslag van het nationaal onderzoekprogramma aardwarmte 1979 - 1984 (NOA I), Projectbureau Energie Onderzoek, Apeldoorn.

Montfrans, H.M. van, e.a. (red.), 1988, Delfstoffen en samenleving, Geologie van Nederland, Deel 2, Rijks Geologische Dienst Haarlem, SDU Uitgeverij, 's-Gravenhage.

Moot, N.L. van der, 1997, Geo-elektrisch onderzoek zou standaard een onderdeel moeten zijn binnen het geohydrologisch onderzoek. In: *H₂O* (30), nr. 21/97, p. 628 - 631, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Morris, D.A. & A.I. Johnson, 1967, Summary of hydrologic and physical properties of rocks and soil materials as analyzed by the Hydrologic Laboratory of the US Geological Survey, 1948-60. US Geol. Survey Water supply paper 1839-D, Washington. In: Bowen, R., Groundwater, 1986, Elsevier applied science publishers Ltd., London.

Mourik, G.J. van, 1995, Warmte- en koudeopslag in aquifers. In: Handboek energie en milieu, Samsom Bedrijfsinformatie, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.

Mülschlegel, J.H.C., 1991, Bedreiging van drinkwaterbronnen. In: RIVM (ed.), Nat. Milieu Verk. 2 1990 - 2010, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.

Nace, R.L., 1971, Scientific framework of world water balance, UNESCO Tech. Papers Hydrol. In: Freeze, R.A. & J.A. Cherry, 1979, Groundwater, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs.

Nieuwenhof, R. van de, 1995, Vermesting en water. De overlast voor gebruikers, Babylon-De Geus/ Stichting Natuur en Milieu, Amsterdam.

NITG-TNO (ed.), 1997, Meten van kwaliteitsveranderingen in grondwater met een permanente elektrode-opstelling, NITG documentatieblad nr. 4.05, juni 1997, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.

NITG-TNO (ed.), 1997 a, REGIS^{VIEW}, Een efficiënte toegang tot geohydrologische gegevens, NITG documentatieblad nr. 5.02, juni 1997, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.

NITG-TNO (ed.), 1997 b, Op de peilhoogte, Vol. VIII, december 1997, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.

NITG-TNO (ed.), 1997 c, Grondwatermeetnet, NITG documentatieblad nr. 5.04, februari 1997, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.

NITG-TNO (ed.), 1997 d, REGIS^{VIEW} voor Waterschappen, Informatiesysteem voor het actief peil-beheer, NITG documentatieblad nr. 5.09, december 1997, Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO, Delft.

NV Nuon Water & DHV Water BV (ed.), 1996, Een dubbel leidingnet, Watervoorziening in de wijk Kernhem in Ede, Velp.

N.V. Waterleiding Maatschappij Limburg (ed.), 1982 (en volgende jaren), Fysisch en chemische onderzoek van het gedistribueerde water, In: Jaarverslagen, Maastricht.

- Oesterholt, F.I.H.M., e.a., 1997, Grondwaterbehandeling op de bodemsaneringslocatie Griftpark in Utrecht. De resultaten van 16 maanden intensief onderzoek in de proefinstallatie. In: *H₂O* (30), nr. 26/97, p. 792 - 794, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Oskam, G. & J.M.J. Waals, 1995, Het vierde Biesbosch bekken. In: *H₂O* (28), nr. 8/95, p. 235 - 241, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Oude Essink, G.H.P., 1996, Impact of sea level rise on groundwater flow regimes. A sensitivity analysis for the Netherlands, Delft University Press, Delft.
- Pannekoek, A.J. & L.M.J.U. van Straaten, 1982 (derde herziene en uitgebreide druk), *Algemene Geologie*, Wolters-Noordhoff, Groningen.
- Pastours, M.J.H., 1992, Landelijk Grondwater Model, RIVM, Bilthoven. In: Witte, J.P.M., e.a., 1993, *Demnat: A national model for the effects of water management on the vegetation*. In: Hooghart, J.C. & C.W.S. Posthumus (red.), *The use of hydro-ecological models in the Netherlands*, Proceedings and Information no. 47, TNO Committee on Hydrological Research (CHO-TNO), Delft.
- Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1994, RIVM, Een landsdekkend beeld van de Nederlandse grondwaterkwaliteit op 5 tot 17 meter in 1991, RIVM Rapport nr. 714810014, RIVM, Bilthoven.
- Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1995, RIVM, Een landsdekkend beeld van veranderingen in de Nederlandse grondwaterkwaliteit op 5 tot 17 meter, RIVM Rapport nr. 714810015, RIVM, Bilthoven.
- Pebesma, E.J. & J.W. de Kwaadsteniet, 1997, Mapping groundwater quality in the Netherlands. In: *Journal of Hydrology* Vol. 200, p. 364 - 386, Elsevier Science B.V., Amsterdam.
- Pellenburg, N.P. & G.P. Beugelink, 1991, Verdroging. In: RIVM (ed.), *Nat. Milieu Verk. 2 1990 - 2010*, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.
- Pellenburg, N.P., 1994, Grondwaterproblemen nader in kaart brengen, Rijkswaterstaat RIZA, Voordracht bij de bijeenkomst van de Benelux Werkgroep Grondwater te Delft.
- Projectteam NW 4 (ed.), 1995, Ruimte voor water, visienota als aanzet voor discussie, [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat], 's-Gravenhage.
- Projectteam NW 4 (ed.), 1996, Schetsboek voor een vierde Nota waterhuishouding, [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat], 's-Gravenhage.
- Projectteam NW 4 (ed.), 1996 a, Vol van water, de meningen gepeild, [Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat], 's-Gravenhage.
- Provinciaal Bestuur van Drenthe (ed.), 1986, Grondwaterplan Drenthe, Deel I Plan, Deel II Bestuurlijke toelichting en rapport van de technische werkgroep grondwaterplan 1, 1985, Deel III Technische toelichting, Assen.
- Provincie Noord-Brabant (ed.), 1993-1994, W & L/Bureau grondwater, Voortgangsrapportage, 'Beperving van het gebruik van grondwater', nov. 1993 (geactualiseerd juni 1994), 's-Hertogenbosch.
- Provincie Noord-Brabant (ed.), 1995, Publicatie in Nieuwsbrief Bodem Vol.3, nr.10, okt. 1995, 's-Hertogenbosch.

Provincie Noord-Brabant (ed.), Stuurgroep planvorming en onderzoek waterhuishouding (red.), 1995, Water in balans?, Evaluatie van het waterhuishoudingsplan 'werken aan water' 1991 - 1995, 's-Hertogenbosch.

Provincie Noord-Brabant (ed.), 1997, Ontwerp Waterhuishoudingsplan 2, Samen werken aan water, 's-Hertogenbosch.

Provincie Noord-Brabant, e.a. (ed.), 1998 a, Intentieverklaring 'Water op Maat, Een duurzame drink- en industriewatervoorziening in de provincie Noord-Brabant', 's-Hertogenbosch.

Provincie Noord-Brabant, e.a. (ed.), 1998 b, Intentieverklaring: 'Waterconservering op peil 2: Beregenen op Maat 1998', 's-Hertogenbosch.

Provincie Overijssel (ed.), 1995, Provinciale Milieuverordening Overijssel 1995. Bijlage Kaarten, Zwolle.

Provincie Overijssel (ed.), 1996, Berekening in Overijssel 1995, Bureau Waterhuishouding Provincie Overijssel, Zwolle.

Provincie Overijssel (ed.), 1997, Berekening in Overijssel 1996, Bureau Waterhuishouding Provincie Overijssel, Zwolle.

Provincie Utrecht (ed.), 1987, Grondwaterplan. Plan en toelichting, Bijlagen, Utrecht.

Pulles, J.W., 1985, Beleidsanalyse voor de waterhuishouding in Nederland/PAWN, Rijkswaterstaat, 's-Gravenhage.

Rapport van de Commissie, (voorzitter E.D. van Dissel), ingesteld bij beschikking van den Minister van Binnenlandsche Zaken en Landbouw, d.d. 24 februari 1927, directie van den landbouw, no. 288, afd. 2 Domeinen, tot het onderzoek naar de gevolgen van eventueele wateronttrekking aan de Veluwe ten behoeve van de drinkwatervoorziening van Amsterdam, Wateronttrekking aan de Veluwe, 1933, Algemeene Landsdrukkerij, 's-Gravenhage.

Reijnders, H.F.R., e.a., 1997, De kwaliteit van het grondwater in Nederland. In: H₂O (30), nr. 22/97, p. 658 - 665, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

RID & Ministerie van Vomil, 1973, Ontwerp-structuurschema drink- en industriewatervoorziening 1972, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

Ridder, A.C., E.C. Hartman & A.J.M. Nelen, 1996, Duurzaam bouwen in Ede. In: H₂O (29), nr. 11/96, p. 321 - 325, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Rijksbureau voor drinkwatervoorziening (ed.), 1919, Rapport betreffende de centrale drinkwatervoorziening voor de provincie Friesland, 's-Gravenhage.

Rijkswaterstaat (ed.), 1968, De waterhuishouding van Nederland, (eerste Nota waterhuishouding), Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.

RIVM (ed.), 1991, Nationale Milieuverkenning 2 1990 - 2010, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.

- RIVM (ed.), 1993, Nationale Milieuverkenning 3 1993 - 2015, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.
- RIVM (ed.), 1995, Milieubalans 95, Het Nederlands Milieu verklaard. Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.
- RIVM (ed.), 1995 a, Achtergronden bij: Milieubalans 95, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.
- RIWA (ed.), 1993, Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven, Jaarverslag 1992, Deel A: De Rijn, Secretariaat RIWA, Amsterdam.
- RIWA (ed.), 1996, Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven, Jaarverslag 1995, Deel A: De Rijn 1995, Secretariaat RIWA, Amsterdam.
- RIWA (ed.), 1997, Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven, Jaarverslag 1996, Deel A: De Rijn, Secretariaat RIWA, Amsterdam.
- RIWA (ed.), 1997, Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven, Jaarverslag 1996, Deel B: De Maas, Secretariaat RIWA, Amsterdam.
- RIZA (ed.), 1995, Verslag hoogwater 1995, evaluatie van de berichtgeving door het RIZA, Lelystad.
- Roelofs, H.J., e.a., 1997, Het bestrijden van verdroging door het gericht reduceren van grondwaterwinningen. In: *H₂O* (30), nr. 20/97, p. 609 - 614, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Rolf, H.L.M., 1989, Verlaging van de grondwaterstanden in Nederland, Analyse periode 1950 - 1986. DGV-TNO, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Dienst Binnenwateren / RIZA (opdrachtgever), 's-Gravenhage.
- Romijn, E., 1973, Development of groundwater resources in the Netherlands. In: *New aspects of mineral and water resources in The Netherlands*, Verhandelingen van het K.N.G.M.G., Deel 29, Martinus Nijhoff's Boekhandel en Uitgeversmij., 's-Gravenhage.
- Rooijen, P. van, 1989, Grondwater in Limburg. In: *Grondboor en Hamer*, Jrg. 43, nr. 5/6, p. 377-386, Nederlandse Geologische Vereniging, Amersfoort.
- Saeijs, H.L.F., 1995, Levend water en een wereldstad, Ecologie als economische factor in het waterbeheer. Erasmus studiecentrum voor milieukunde, Faculteit der sociale wetenschappen, Erasmus Universiteit, Rotterdam.
- Schippers, H.W., 1984, Winning en zuivering van grondwater. In: *Handboek voor Milieubeheer*, Deel I Waterbeheer, Samsom H.D. Tjeenk Willink, Alphen aan den Rijn.
- Schokking, F., 1995, Prediction of long-term land subsidence in drained peat areas in the Province of Friesland. In: Barends, F.B.J., e.a. (red.), *Land subsidence, Proceedings of the fifth international symposium on land subsidence*, The Hague, Netherlands, 16-20 October 1995, A.A. Balkema, Rotterdam.

- Schouten, G.A., 1994, Reactie op het artikel 'Oorzaken van verdroging in de regio ten zuiden van Tilburg'. In: *H₂O* (27), nr. 22/94, p. 660 - 661, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Seeters, P. van, 1995, Brabant heeft dorst, grote dorst. In: *De Volkskrant*, 9 september 1995, Amsterdam.
- Shiklomanov, I.A., 1991, The World's Water Resources, chapt. 16. In: *Proceedings of the Unesco International Symposium to commemorate the 25 years of IHD/IHP*, Paris, 15 -17 March 1990.
- Shiklomanov, I.A., 1993, World Fresh Water Resources. In: P. Gleick (red.), 1993, *Water in Crisis*, Oxford University Press, Oxford, New York. In: Mays, L.W. (red.), 1996, *Water Resources Handbook*, McGraw - Hill, New York.
- Snel, M.M.W., 1996, Grondwaterbelasting; achteruitgang voor consument en milieu. In: *H₂O* (29), nr. 11/96, p. 328 - 329, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Snijders, A.L., 1994, Ervaringen met het realiseren van koudeopslagprojecten, AEC seminar 'Energie-opslag' 17 - 3 - 1994, Algemene associatie van energieconsulenten, Hilversum.
- Snijders, A.L., 1994 a, Praktijkvoorbeeld: Koudeopslag bij Wavin. In: *Grondwatercongres Alternatieven voor grondwater in de industriële koeling*, Adviesbureau vereniging Krachtwerktuigen, Amersfoort en Novem, Utrecht.
- Snijders, J.H., 1960, Het Nederlands verziltingsvraagstuk, ICW Mededelingen nr. 20, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen.
- Staalduinen, C.J. van, e.a., 1979, The geology of the Netherlands, Mededelingen RGD, Vol 31 - 2 , RGD, Haarlem.
- Stichting Natuur en Milieu, VEWIN & Waterpakt (ed.), 1996, Handreiking. Aanvullend (regionaal) stikstofbeleid voor de droge zand- en lössgronden, Utrecht.
- Stichting Wateropleidingen (ed.), 1996, Rechts- en wetkennis, studiewijzer, Utrecht.
- STOWA (ed.), 1995, De hydrotheek 1994, Overzicht Nederlandse Publicaties 1994: hydrologie, waterhuishouding, ecologie, afvalwaterzuivering, Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, rapport 95-07, Utrecht.
- Stuurman, R.J., 1990, De betekenis van de hydrologische systeemanalyse voor het bepalen van de kwetsbaarheid van het grondwater met het oog op de veiligstelling van watervoorraden voor het toekomstig watergebruik, TNO-Rapport nr. 90-13-A, TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.
- Stuurman, R.J., e.a., 1990 a, De hydrologische systeemanalyse van westelijk Noord-Brabant en omgeving, TNO-Rapport nr. OS 90-25-A , TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.
- Stuurman, R.J., e.a., 1990 b, De grondwaterstromingsstelsels en de grondwatersamenstelling in de Provincie Noord-Brabant 1990, TNO-Rapport nr. OS 90-26-A, TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.
- Stuurman, R.J., 1996, Grensoverschrijdende grondwaterstromen in de Centrale en Roerdal Slenk. In: *Spraakwater*, nr. 4, december 1996, TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.

Stuurman, R.J., e.a., 1996 a, Landelijke Hydrologische Systeemanalyse, Deelrapport 5, Deelgebied Noord-Brabant/ Limburg, TNO-Rapport nr. GG-R-96-66(B), TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.

Stuurman, R.J., e.a., 1996 b, Grootchalige grensoverschrijdende grondwaterstromingspatronen in de Centrale- en Roerdal Slenk, Verleden, heden en toekomst, TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.

Stuurman, R.J. & J.L. van der Meij, 1994, The significance of regional hydrological systems analysis for recoverability and development of groundwater dependent ecosystems, TNO Institute of Applied Geoscience, Report nr. PN 94/05, Delft.

Stuyfzand, P.J., 1986, Een nieuwe hydrochemische classificatie van watertypen met Nederlandse voorbeelden van toepassing. In: *H₂O* (19), nr. 23/86, p. 562 - 568, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Stuyfzand, P.J., 1989, A new hydrochemical classification of watertypes. Proc. IAHS, Third Sci. Ass. Baltimore, 10-19 May 1989, Publ. 182, USA,.

Stuyfzand, P.J., 1993, Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands, KIWA N.V., Nieuwegein.

Stuyfzand, P.J., e.a., 1994, Geohydrochemische aspecten van methaan in grondwater in Nederland. In: *H₂O* (27), nr. 17/94, p. 500 - 510, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.

Stuyfzand, P.J., 1995, The impact of landreclamation on groundwaterquality and future drinking water supply in the Netherlands. In: *Wat. Sci. Tech.* Vol. 31 nr. 8.

Symposium Vernetting, probleem of oplossing? Georganiseerd door Internationale agrarische hogeschool Larenstein, Velp, 22 mei 1996.

Tauw Milieu bv (ed.), 1994, Eindrapport inventarisatie praktijkgegevens van grondwaterreinigingstechnieken, Deventer.

Teeuwen, H.H.A., 1992, Grondwaterzorg; ontwikkeling in beleid en wetgeving. In: Boelens, S.B., e.a., *Waterstaatswetgeving - verleden, heden en toekomst*, W.E.J. Tjeenk Willink, Zwolle.

Teulings, J.H.A., 1984 (tweede druk 1994), *Grondwaterwet/ Wet op de Waterhuishouding*, Nederlandse Staatswetten, ed. Schuurman & Jordens, nr. 185, W.E.J. Tjeenk Willink, Deventer.

Thunnissen, H.A.M. & M.P. Siemonsma, 1987, Hydrologische effecten van beregening uit het grondwater in een studiegebied in west en midden Noord-Brabant, RIVM-Rapport nr. 840358002, RIVM, Bilthoven.

Tilburg, J. van, A. Verberne & E. Nieuwlaar, 1998, Huishoudwater; een duurzame optie?, In: *H₂O* (31), 6/98, p. 21 - 23, Tijdschrift voor watervoorziening en waterbeheer, Nijgh Periodieken, Schiedam.

TNO Grondwater en Geo-Energie (ed.), 1996, REGISPRO, Generiek informatiesysteem voor geowetenschappelijke applicaties, Delft.

Tóth, J., 1963, A theoretical analysis of groundwaterflow in small drainage basins. In: *Journal of Geophysical Research* Vol. 68, nr. 16, p. 4795 - 4812, American Geophysical Union, Washington D.C.

- Tóth, J., 1995, Hydraulic continuity in large sedimentary basins. In: Hydrogeology Journal, Vol. 3, nr. 4, p. 4 - 16, Verlag Heinz Heise GmbH & Co KG, Hannover.
- Tysma, S., e.a., 1994, Poly-Technisch Zakboekje, Koninklijke PBNA, Arnhem.
- Unie van Waterschappen (ed.), 1996, Water centraal, waterbeheer in de volgende eeuw, rapport van de denktank, Den Haag.
- Unie van Waterschappen (ed.), 1997, Waterschapsalmanak 1997/1998, 's-Gravenhage.
- Valk, M. van der, 1994, Toelichting op de kwel- en infiltratiekaart, Dienst water en milieu, Provincie Utrecht, Utrecht.
- Veelenturf, P.W.M., E.A.P. Haesen & J.H. Spaans, 1996, Grondwaterbesparing door de Limburgse industrie, Tabel I. In: H₂O (29), nr. 6/96, p. 150 - 159, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Veelenturf, P.W.M., 1995, Drinkwatervoorziening in Limburg; de alternatieve(n)-aanpak. In: H₂O (28), nr. 12/95, p. 366 - 370, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Velde, G. van de, 1991, Produktietoename en verdamping van landbouwgewassen. In: Waterwinning en verdroging, mededeling nr. 115, KIWA N.V., Hoofdafdeling Speurwerk, Nieuwegein.
- Ven, G.P. van de, e.a., 1986, Water, Atlas van Nederland, deel 15, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Ven, G.P. van de, 1987, Jan Blanken en de Waterstaat. In: De physique existentie dezes lands, Jan Blanken inspecteur-generaal van de Waterstaat (1755 - 1838), Uitgeverij AMA boeken, Beesterzwaag.
- Ven, G.P. van de (red.), 1993, Leefbaar laagland, Uitgeverij Matrijs, Utrecht.
- Vermeulen, P.T.M., e.a., 1996, Landelijke Hydrologische Systeemanalyse, Deelrapport 6, Het gebied ten oosten van de IJssel (Salland, etc.). De regionale grondwaterstromingsstelsels rond de stuwwallen van Montferland, Salland en Twente en het dekzandplateau van de Graafschap en Salland, TNO-Rapport nr. GG-R-95-91 (B), TNO Grondwater en Geo-Energie, Delft.
- VEWIN (ed.), 1989, Waterleidingstatistiek 1988, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1989 a, Grondwater: nu bedreigd, straks verloren? VEWIN Jaarbrochure Grondwater 1989, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1989 b, Tienjarenplan, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1991, Waterleidingstatistiek 1990, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1991 a, Nota waterverbruik, '....maar mag het een beetje minder', Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1991 b, Tarievenoverzicht, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1992, Duinen en drinkwater doordacht en duurzaam, mogelijkheden voor het samengaan van natuur en activiteiten voor de watervoorziening, VEWIN-Jaarbrochure Grondstoffen 1992, Rijswijk.

- VEWIN (ed.), 1993, Bloemen houden van water, Waterwinning en natuur, VEWIN-Jaarbrochure Grondstoffen 1993, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1994, Waterleidingstatistiek 1993, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1994 a, 140 jaar Drinkwaterleiding in Nederland 1853 - 1993, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1994 b, Tarievenoverzicht, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1995, Tarievenoverzicht, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1996, Waterleidingstatistiek 1995, Rijswijk.
- VEWIN (ed.), 1997, Waterleidingstatistiek 1996, Rijswijk.
- Visser, W.C., 1958, De landbouwwaterhuishouding van Nederland, Rapport no. 1, Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland, T.N.O., 's-Gravenhage.
- Vries, J.J. de, 1974, Groundwater flow systems and stream nets in the Netherlands, Dissertatie V.U. Amsterdam, Editions Rodopi N.V., Amsterdam.
- Vries, J.J. de, 1974 a, Groundwater flow systems and stream nets in the Netherlands, Dissertatie V.U. Amsterdam, Editions Rodopi N.V., Amsterdam. In: Vries, J.J. de, 1994 (derde herziene druk), Inleiding tot de hydrologie van Nederland, Rodopi B.V., Amsterdam.
- Vries, J.J. de, 1982, Anderhalve eeuw hydrologisch onderzoek in Nederland, Overzicht van de ontwikkeling van de wetenschappelijke kennis van het water in Nederland tussen 1830 en 1980, beschouwd vanuit een geohydrologische gezichtshoek, Editions Rodopi b.v., Amsterdam.
- Vries, J.J. de, 1992, Zoet en zout grondwater in Nederland als afspiegeling van de paleo-hydrologische ontwikkelingen. In: GEA driemaandelijks tijdschrift van de Stichting Geologische Activiteiten voor belangstellenden in de geologie en mineralogie, Vol. 25, nr. 2, p. 41 - 68. Nederlandse Geologische Vereniging; Stichting Geologische Activiteiten, Amsterdam
- Vries, J.J. de, 1994 (derde herziene druk), Inleiding tot de hydrologie van Nederland, Rodopi B.V., Amsterdam.
- Vries, J.J. de, 1995, Van wichelroe naar wetenschap, De ontwikkeling van de grondwaterhydrologie rond de eeuwwisseling. In: Stromingen, Vakblad van de Nederlandse Hydrologische Vereniging, Jaargang 1, nummer 1, p. 5 - 15, Nederlandse Hydrologische Vereniging, Groningen.
- Vries, J.J. de & E.A. Cortel, 1990, Introduction to hydrology, lecture notes, Vrije Universiteit, Amsterdam.
- Walsweer, A.G., 1994, Meststoffenwet / Wet Bodembescherming / Meststoffenwet 1947, Nederlandse Staatswetten, ed. Schuurman & Jordens, nr. 191 I, W.E.J. Tjeenk Willink, Deventer.
- Water and Power Resources Service (ed.), 1981, U.S. Department of the Interior, Washington.
- Weerts, H.J.T., 1996, Complex confining layers, Architecture and hydraulic properties of Holocene and Late Weichselian deposits in the fluvial Rhine-Meuse delta, The Netherlands, Faculteit Ruimtelijke Wetenschappen Universiteit Utrecht, Utrecht.



- Wergroep Midden West-Nederland, 1976, Hydrologie en Waterkwaliteit van Midden West-Nederland, Regionale studies 9, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen.
- Wergroep Midden West-Nederland, 1976 a, Hydrologie en Waterkwaliteit van Midden West-Nederland, Regionale studies 9, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen. In: Vries, J.J. de, 1994 (derde herziene druk), Inleiding tot de hydrologie van Nederland, Rodopi B.V., Amsterdam.
- Wet Bodembescherming, 1986, Hoofdstuk I, artikel 1, Stb. 374, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Wijk, A. van & C.A.J. Appelo, 1993, Moerassic Park, Wateroverlast in het Vondelpark. In: NRC Handelsblad, Wetenschap & Onderwijs, 16 december 1993, p. 3, Rotterdam.
- Wijk, A.L.M. van, e.a., 1988, Effekten van grondsoort en ontwatering op de opbrengst van akkerbouwgewassen, Rapport 31, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen.
- Wijmer, S., 1990, Grondwater beneden peil, verdroging in Nederland, Sdu uitgeverij, 's-Gravenhage.
- Wijmer, S., 1992, Water om te drinken, VEWIN, Rijswijk.
- Willems, W.J. & N.J.P. Hoogervorst, 1991, Vermesting van bodem en grondwater. In: RIVM (ed.), Nat. Milieu Verk. 2 1990 - 2010, Samsom H.D. Tjeenk Willink bv, Alphen aan den Rijn.
- Willemsen, A., e.a., 1994, Status of cold storage in aquifers in the Netherlands in 1994. In: proceedings of the International Symposium on Aquifer Thermal Energy Storage, The University of Alabama, Tuscaloosa, Alabama, USA.
- Wit, K.E., 1974, Hydrologisch onderzoek Midden West-Nederland, Nota ICW 792, Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW), Wageningen.
- Witte, J.P.M., e.a., 1993, Demnat: A national model for the effects of water management on the vegetation. In: Hooghart, J.C. & C.W.S. Posthumus (red.), 1993, The use of hydro-ecological models in the Netherlands, Proceedings and Information no. 47, TNO Committee on Hydrological Research (CHO-TNO), Delft.
- Witte, J.P.M., 1998, National water management and the value of nature, Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen.
- WZHO (ed.), 1995, Brochure Waterwinnen in de Alblasserwaard, Gouda.
- WZHO, 1996, WZHO start proef diepinfiltratie met WRK-water. In: H₂O (29), 18/96, p. N29, Tijdschrift voor watervoorziening en afvalwaterbehandeling, VEWIN, Rijswijk.
- Zagwijn, W.H. & C.J. van Staaldunin, 1975, Toelichting bij de geologische overzichtskaarten van Nederland, Rijks Geologische Dienst, Haarlem.
- Zagwijn, W.H., e.a., 1985, Geologie, Atlas van Nederland, deel 13, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Zagwijn, W.H., 1991 (tweede druk), Nederland in het Holoceen, Geologie van Nederland, Deel 1, Rijks Geologische Dienst, Haarlem, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage.
- Zijl, W. & M. Nawalany, 1993, Natural groundwater flow, Lewis Publishers, CRC Press Inc., Boca Raton.

Lijst van tabellen

Hoofdstuk 1 *Enkele begrippen en hun samenhang*

- Tabel 1 Porositeiten van verschillende sedimenten.
- Tabel 2 k-waarden voor verschillende soorten afzettingen (gegevens uit U.S.A.).
- Tabel 3 Voorbeelden van kD-waarden
- Tabel 4 Voorbeelden van c-waarden voor verschillende soorten afzettingen

Hoofdstuk 2 *Hydrologische kringloop*

- Tabel 5 Mondiale verdeling van vaste aarde (bodem) en water.
- Tabel 6 Mondiale verdeling van het zoete water
- Tabel 7 Mondiale verdeling van het zoete water exclusief de hoeveelheid als ijs gebonden
- Tabel 8 Schatting van de hoeveelheid water, betrokken in de hydrologische kringloop op het mondiale landoppervlak
- Tabel 9 Schatting hoeveelheid water in de hydrologische kringloop op het mondiale mariene (aan zee gebonden) oppervlak
- Tabel 10 Verdeling droog en nat oppervlak in Nederland
- Tabel 11 Schatting hoeveelheid water in de hydrologische kringloop in Nederland

Hoofdstuk 3 *Klimaat, klimaatverandering en waterhuishouding*

- Tabel 12 Gemiddelde neerslag per maand in Nederland (1951 - 1980)
- Tabel 13 Verloop van een aantal meteorologische grootheden te De Bilt over de periode 1931 - 1994

Hoofdstuk 5 *Hydrogeologie van Nederland*

- Tabel 14 Relatie verkregen gegevens en gebruikte methode

Hoofdstuk 7 *Hydrochemie van het grondwater*

- Tabel 15 Hydrochemische indeling op basis van chloridegehalte
- Tabel 16 Toename chloridebelasting bij stijging zeeniveau
- Tabel 17 Interne zoutbelasting van Midden West-Nederland
- Tabel 18 Chloridegehalte in Lek en Nieuwe Waterweg
- Tabel 19 Hardheidsindeling van het Nederlandse water
- Tabel 20 Kwaliteitsdoelstelling voor stikstof in zoet grondwater
- Tabel 21 Relatie chemische samenstelling van de neerslag - plaats van de neerslag voor de kustnabije regio
- Tabel 22 Relatie chemische samenstelling van de neerslag - plaats van de neerslag langs een west-oost lijn over Nederland
- Tabel 23 De Stuyfzand classificatie
- Tabel 24 Gebruik stikstof- en fosfaatkunstmeststoffen in een aantal Europese landen
- Tabel 25 Maximaal toegestane fosfaatbelasting (P_2O_5)
- Tabel 26 Gemiddelde concentratie van nitraat en fosfor in grondwater op een diepte van ongeveer 9 m beneden maaiveld in verschillende jaren

- Tabel 27 Relatie concentratie bestrijdingsmiddel - drinkwaternorm - diepte beneden maaiveld
 Tabel 28 Zuiveringstechnieken per soort vervuilingcomponent

Hoofdstuk 8 *Beschikbaarheid en gebruik van zoet grondwater*

- Tabel 29 Totale verbruik en totale winbare hoeveelheid zoet grondwater. Schatting voor 1967
 Tabel 30 Verbruikscijfers 1995. Water geleverd door waterleidingbedrijven
 Tabel 31 Herkomst grondstof waterleidingbedrijven in 1985 en 1995
 Tabel 32 Schatting totale Nederlands waterconsumptie (1990)
 Tabel 33 Waterverbruik per provincie in 1960 en 1990
 Tabel 34 Ontwikkeling hoofdelijk huishoudelijk drinkwatergebruik
 Tabel 35 Besteding hoofdelijk huishoudelijk watergebruik in 1995
 Tabel 36 Relatie temperatuur in °C te De Bilt en huishoudelijk watergebruik
 Tabel 37 Totaal landelijk waargenomen (1990) en geraamd toekomstig huishoudelijk gebruik.
 Tabel 38 Industrieel waterverbruik in 1960 en toekomstige raming
 Tabel 39 Industrieel waterverbruik in 1986
 Tabel 40 Watergebruik industrie en COAR in 1990 en toekomstige raming
 Tabel 41 Enkele voorbeelden van waterbesparing in de Nederlandse industrie
 Tabel 42 Ontwikkeling van de levering van 'industriewater'
 Tabel 43 Totaal waargenomen 'overig verbruik' 1990 en ramingen
 Tabel 44 Reductie in de agrarische sector
 Tabel 45 Productie-ontwikkeling in de agrarische sector
 Tabel 46 Behoeftte zoet grondwater
 Tabel 47 Grondwaterbehoefte van de landbouw
 Tabel 48 Beregening in de provincie Overijssel
 Tabel 49 Beregening van grasland in de provincie Noord-Brabant
 Tabel 50 Onttrokken hoeveelheden grondwater in Noord-Brabant
 Tabel 51 Onttrekking voor beregening in een regio van 7000 hectare ten zuiden van Tilburg.
 Tabel 52 Schattingen grondwatergebruik agrarische sector, inclusief de glastuinbouw, in een 10% droog jaar
 Tabel 53 Totale levering zoet water door waterleidingbedrijven
 Tabel 54 Prognose totale Nederlandse grondwateronttrekking in het jaar 2000
 Tabel 55 Prognose Nederlandse grondwateronttrekking in het jaar 2000 op basis van één van de CPB-scenario's

Hoofdstuk 9 *Winning, zuivering en prijs*

- Tabel 56 Grondwateronttrekking door de waterleidingbedrijven per provincie en per type grondwater
 Tabel 57 Winning duinwaterleidingbedrijven
 Tabel 58 Concentraties van parameters in, na diep-infiltratie onttrokken, water te Waalsdorp
 Tabel 59 Prijs drinkwater particulieren Gouda en Eindhoven
 Tabel 60 Kosten drinkwater particulieren in Europa

Hoofdstuk 11 *Gevolgen van menselijk ingrijpen*

- Tabel 61 (Gewas)verdamping en grondwateronttrekking
 Tabel 62 Gemiddelde extra opbrengstderiving voor de landbouw t.o.v. 1993

Hoofdstuk 12 *Grondwatergegevens*

Tabel 63 Typen grondwatermeetnetten in Nederland

Hoofdstuk 14 *Beleid en beheer en het daarmee samenhangend wettelijk kader*

Tabel 64 Provinciale meldings-, registratie- en vergunningplichten bij onttrekking en injectie van grondwater in 1994

Tabel 65 Milieubeschermingsgebieden met de functie waterwinning, voorheen bekend als grondwaterbeschermingsgebieden

Lijst van figuren

Hoofdstuk 1 *Enkele begrippen en hun samenhang*

- Figuur 1.1 De zones van capillair vocht en van grondwater in de bodem
- Figuur 1.2 Diepte freatisch vlak t.o.v. NAP d.d. 9 februari 1996
- Figuur 1.3 Diepte freatisch vlak t.o.v. maaiveld, gebaseerd op de gemiddelde laagste grondwaterstand
- Figuur 1.4 Geologische indeling en tijdsindeling Boven-Tertiair en Kwartair
- Figuur 1.5 Voorkomen en diepte van de Formatie van Maassluis
- Figuur 1.6 Temperatuur verdeling in °C in de Nederlandse ondergrond op een diepte van 3000 m
- Figuur 1.7 Stijghoogte van het grondwater
- Figuur 1.8 Doorlaatvermogen van het bovenste watervoerend pakket in West-Nederland
- Figuur 1.9 Porositeitsverschillen bij verschillende sortering
- Figuur 1.10 Relatie tussen porositeit en textuur
- Figuur 1.11 Kleideeltjes in losse pakking, resulterend in een hoge porositeit en geringe permeabiliteit
- Figuur 1.12 Kleideeltjes in dichte pakking, resulterend in een lage porositeit en zeer geringe permeabiliteit
- Figuur 1.13 c-waarden van het afdekkend pakket in West-Nederland
- Figuur 1.14 Freatisch aquifer
- Figuur 1.15 Afgesloten aquifer
- Figuur 1.16 Een waarnemingsput in spanningswater en in freatisch water
- Figuur 1.17 Principe van de artesische bron

Hoofdstuk 2 *Hydrologische kringloop*

- Figuur 2.1 Mondiale verdeling van land en water
- Figuur 2.2 Mondiale verdeling van het zoete water
- Figuur 2.3 De hydrologische kringloop

Hoofdstuk 3 *Klimaat, klimaatverandering en waterhuishouding*

- Figuur 3.1 Gemiddelde jaarsommen neerslag 1961 - 1990
- Figuur 3.2 Jaarsommen neerslag in 1976
- Figuur 3.3 Verdeling van de jaarsommen van de neerslag te De Bilt voor het tijdvak 1906 - 1995
- Figuur 3.4 Gemiddelde neerslag per maand in Nederland (1951 - 1980)
- Figuur 3.5 Globale neerslagverdeling in de periode 1 - 19 september 1994
- Figuur 3.6 Jaarlijkse potentiële gewasverdamping voor grasland voor de periode 1961 - 1990
- Figuur 3.7 Twee typen verdamping
- Figuur 3.8 Neerslag en verdamping
- Figuur 3.9 Neerslagoverschot
- Figuur 3.10 Neerslagoverschot De Bilt 1930 - 1991
- Figuur 3.11 Neerslagtekort in de periode april t/m augustus 1976
- Figuur 3.12 Potentiële vochttekort in de periode april t/m augustus 1976
- Figuur 3.13 Droogteschade in 1976
- Figuur 3.14 Het neerslagpatroon in de periode 1907 - 1995/96 verkregen door middeling over 13 geselecteerde stations
- Figuur 3.15 Temperatuurverloop in de periode 1880 - 1995/96 te De Bilt
- Figuur 3.16 Voeding van het grondwater
- Figuur 3.17 Kwantitatieve schatting van de huidige waterhuishouding van Nederland

Hoofdstuk 4 *Geologie van Nederland*

- Figuur 4.1 De drie deelgebieden in de provincie Limburg
- Figuur 4.2 Correlatie van formaties en lokale benamingen van de Maasterrassen in Zuid-Limburg
- Figuur 4.3 Indeling van het Boven-Tertiair en Kwartair
- Figuur 4.4 Indeling van het Kwartair met bijbehorende klimaatcurve
- Figuur 4.5 Afzettingsgebieden. Ongeveer 2,2 miljoen jaren voor Christus
- Figuur 4.6 Afzettingsgebieden. Ongeveer 1,8 miljoen jaren voor Christus
- Figuur 4.7 Afzettingsgebieden. Ongeveer 400 000 tot 300 000 jaren voor Christus
- Figuur 4.8 Afzettingsgebieden. Ongeveer 130 000 tot 110 000 jaren voor Christus
- Figuur 4.9 Verdeling van land en zee aan het einde van het Pleistoceen, 7000 jaren voor Christus
- Figuur 4.10 Ligging van het maaiveld ten opzichte van NAP aan het einde van het Pleistoceen
- Figuur 4.11 Mondiale temperatuurveranderingen in de laatste 12 000 jaar
- Figuur 4.12 Zeespiegelstijging gedurende de laatste 10 000 jaar
- Figuur 4.13 Ontwikkeling van de duinenrijen in West-Nederland
- Figuur 4.14 Situatie 9000 v. Christus. Opvulling van beekdalen met veen. Toenemende vegetatie als gevolg van stijgend grondwaterniveau
- Figuur 4.15 Situatie 6000 v. Christus. Verdere stijging van het grondwaterniveau veroorzaakt uitgestrekte moerasvorming. De afwatering neemt af
- Figuur 4.16 Situatie 3000 v. Christus. Herstel van de afwatering, mogelijk als gevolg van een afname van de hoeveelheid neerslag en zeker als gevolg van het begin van landbouw op de hogere gronden
- Figuur 4.17 Verbreiding van de Formatie van Maassluis
- Figuur 4.18 Beeld van de afzettingen rond een meanderende rivier
- Figuur 4.19 Vlechtwerk van riviervtakkingen met het bijbehorend patroon van afzettingen
- Figuur 4.20 Patroon van afzettingen bij meanderende rivieren in Nederland
- Figuur 4.21 Diktekaart, met daarin aangegeven de diepte van de bovenkant t.o.v. NAP, van de Formatie van Kreftenheye buiten de provincies Noord-Brabant en Limburg
- Figuur 4.22 Stroomgebieden van de Nederlandse rivieren
- Figuur 4.23 Verplaatsing van de loop van rivieren door het landijs
- Figuur 4.24 Diepte basis Kwartair
- Figuur 4.25 Voorkomen van de Formatie van Peelo
- Figuur 4.26 Verbreiding van het landijs. Fase waarbij de stuwwallen van de Utrechtse Heuvelrug, zuidelijke Veluwe en Montferland gevormd werden
- Figuur 4.27 Grootste verbreiding van het landijs in het Saalien
- Figuur 4.28 Terugtrekking afgewisseld met stationaire fasen van het landijs. Fase waarbij de stuwwallen in Oost-Nederland gevormd werden
- Figuur 4.29 Stilstand van het landijs tijdens verdere terugtrekking. Fase waarbij kleinere stuwwallen, zoals bij Steenwijk, gevormd werden.
- Figuur 4.30 Vorming van een stuwwal
- Figuur 4.31 Voorkomen van stuwwallen
- Figuur 4.32 Ligging van duinen en polders
- Figuur 4.33 Verdeling van land en zee ongeveer 5500 vóór Christus
- Figuur 4.34 Veranderingen in het profiel van de Nederlandse kust
- Figuur 4.35 Verband tussen zeespiegelstijging, verplaatsing van de kustlijn en het type afzetting
- Figuur 4.36 Ontwikkeling van duinen en ondergrond gedurende de laatste 20 000 jaar
- Figuur 4.37 Dikte van afdekkende lagen in de omgeving van Amsterdam
- Figuur 4.38 Dikte van afdekkende lagen in regio Arnhem - Apeldoorn
- Figuur 4.39 Overzicht van geïnundeerde gebieden mede ten gevolge van menselijk ingrijpen
- Figuur 4.40 Overzicht van de verdeling van land en zee rond 1500
- Figuur 4.41 Gebieden (polders) waar het oppervlaktewaterniveau kunstmatig beheerst wordt

- Figuur 4.42 Schematische weergave van de maaiveldaling in veengebieden ten gevolge van ontwateringsmaatregelen van het oppervlakte- en grondwater
- Figuur 4.43 Prognose van de bodemdaling als gevolg van aardgaswinning voor het jaar 2050 in de provincie Groningen
- Figuur 4.44 Vereenvoudigde vorm van de geologische overzichtskaart met een overzicht van de Holocene afzettingen

Hoofdstuk 5 *Hydrogeologie van Nederland*

- Figuur 5.1 Geologisch profiel over De Meern
- Figuur 5.2 Geohydrologisch profiel over De Meern
- Figuur 5.3 West-oost profiel door het West-Nederlandse duingebied
- Figuur 5.4 Zuid-noord profiel door het West-Nederlandse duingebied
- Figuur 5.5 Verschil in grondwaterniveaus in een stuwwal
- Figuur 5.6 Globale indeling van de slecht doorlatende basis (Hydrologische basis) naar aard en ouderdom
- Figuur 5.7 Dikte van het Plio-Pleistocene watervoerend pakket
- Figuur 5.8 Globaal patroon van het doorlaatvermogen van de Plio-Pleistocene pakketten
- Figuur 5.9 Vereenvoudigde weergave van de ligging van de belangrijkste slecht doorlatende, scheidende formaties
- Figuur 5.10 Globale totale doorlaatvermogen
- Figuur 5.11 Dikte van het, met grondwater verzadigde, kalksteen pakket in Zuid Limburg
- Figuur 5.12 De aquifers in de provincie Limburg
- Figuur 5.13 Hydrologische situatie en processen in West-Nederland
- Figuur 5.14 Geohydrologische doorsnede door Nederland
- Figuur 5.15 Geohydrologische doorsnede door het gebied Utrechtse Heuvelrug - Veluwe
- Figuur 5.16 Geohydrologisch profiel in het oosten van Nederland
- Figuur 5.17 Geohydrologische opbouw Onder-Krijt zanden nabij Losser en Enschede

Hoofdstuk 6 *Beweging van het grondwater*

- Figuur 6.1 Stroming ten gevolge van drukverschillen
- Figuur 6.2 Regionale indeling op grond van grondwaterstromingsstelsels
- Figuur 6.3 Isohypsen van het freatisch grondwater nabij Brummen (provincie Gelderland) op 28 augustus 1978
- Figuur 6.4 Isohypsen van het grondwater in het eerste watervoerend pakket nabij Delft (provincie Zuid-Holland) op 28 augustus 1979
- Figuur 6.5 Opstelling om de wet van Darcy te demonstreren
- Figuur 6.6 Radiale stroming naar een put in het centrum van een cirkelvormig eiland
- Figuur 6.7 Verschillende stromingspatronen in één regio
- Figuur 6.8 Onderscheiden stromingspatronen
- Figuur 6.9 West-oost doorsnede over de Utrechtse Heuvelrug en de Veluwe ter illustratie van de structuur van regionale systemen en geneste ondiepe lokale systemen
- Figuur 6.10 Verlaging van de diepe grondwaterspiegel veroorzaakt wijziging van de grondwaterstroming met het gevolg dat verontreinigd grondwater uit de ondiepere aquifer het kwelgebied binnenstroomt. Lokaal infiltreert op deze wijze meer zuur regenwater
- Figuur 6.11 Schematische weergave van een grootschalig stromingsstelsel
- Figuur 6.12 Ouderdom van het grondwater in verschillende aquifers. Ouderdom vastgesteld op basis van isotopenonderzoek

- Figuur 6.13 Verloop van de stijghoogte h van het diepe grondwater in een polder in de situatie met kwel onder de dijk
- Figuur 6.14 Kwel- en infiltratiegebieden in de provincie Utrecht
- Figuur 6.15 Diepliggend zoet/brak-grensvlak ten gevolge van diepe kwel in het gebied van de Loosdrechtse Plassen
- Figuur 6.16 Temperatuur van het grondwater in de Nederlandse ondergrond op een diepte van 125 m -mv
- Figuur 6.17 De ontwikkeling van het stromingspatroon in het gebied van de voormalige Zuiderzee en in de randgebieden. Duidelijk is de invloed van de inpoldering op het stromingspatroon
- Figuur 6.18 Verplaatsing en verdikking van de overgangszone tussen het grondwater met een chloridegehalte van 195 mg/l Cl^- en 16 350 mg/l Cl^- in de periode 1905 - 1981 in het gebied ten zuiden van Zandvoort
- Figuur 6.19 Locatie van de bruinkoolwinning in het Duits - Nederlandse grensgebied
- Figuur 6.20 Tijdstijghoogtereeksen in de put 60E P 0017 te Vlodrop
- Figuur 6.21 Tijdstijghoogtereeksen in de put 52E P 0137 nabij Broekhuizenvorst
- Figuur 6.22 Stromingslijnen in een profiel in het Duits - Nederlandse grensgebied. Situatie vóór het begin van de diepe ontwatering ten behoeve van de bruinkoolwinning
- Figuur 6.23 Stromingslijnen in een profiel in het Duits - Nederlandse grensgebied. Situatie na enige jaren diepe ontwatering ten behoeve van de bruinkoolwinning

Hoofdstuk 7 *Hydrochemie van het grondwater*

- Figuur 7.1 Kustlijn in het Eem-interglaciaal
- Figuur 7.2 Diepte van het zoet/brak-grensvlak, overeenkomend met 150 mg Cl^- per liter
- Figuur 7.3 Diepte van het zoet/brak-grensvlak in een west-oost geohydrologische doorsnede van Nederland
- Figuur 7.4 Grondwaterstromingspatroon tussen Utrechtse Heuvelrug en Veluwe met als veronderstelling een voeding van 200 mm/jaar op de Utrechtse Heuvelrug
- Figuur 7.5 Zoetwaterlens in een zoutwateromgeving zoals zich voordoet bij een eiland in zee
- Figuur 7.6 Geologische en hydrochemische ontwikkeling in het duingebied Haarlem - Hillegom in West-Nederland
- Figuur 7.7 Verplaatsing van de isohaline 8250 mg/l in de periode 1850 - 1981 in de duinen ten zuiden van Zandvoort
- Figuur 7.8 De invloed van injectie van rivierwater op het zoet/brak/zout grensvlak in de periode 1956 - 1990 in het duingebied Meijndel nabij 's-Gravenhage
- Figuur 7.9 Instroming van zout water onder een zoetwaterlens als gevolg van zeespiegelrijzing
- Figuur 7.10 Reductie van de omvang van de zoetwaterlens in de West-Nederlandse duinen in de komende duizend jaar bij vijf verschillende scenario's van zeeniveaustijging
- Figuur 7.11 Hoeveelheid zoute kwel in de Haarlemmermeer polder in de komende duizend jaar bij vijf verschillende scenario's van zeeniveaustijging
- Figuur 7.12 Ontwikkeling van de verhouding zoet - brak - zout in de komende duizend jaar zonder zeeniveaustijging en bij vijf verschillende scenario's van zeeniveaustijging
- Figuur 7.13 Berekende extra zoutbelasting in de provincie Friesland na 2047 (in kg NaCl/ha/jaar) vanuit het eerste watervoerend pakket op het oppervlaktewater bij een totale zeespiegelstijging van 30 centimeter in de periode 1997 - 2047
- Figuur 7.14 Verticaal chlorideprofiel beneden de voormalige Zuiderzeebodem
- Figuur 7.15 Ligging van het profiel A - A' in de regio Bergen op Zoom - Halsteren
- Figuur 7.16 Vervanging van zoet - brak en zout grondwater in de regio Bergen op Zoom - Halsteren (profiel A - A' van figuur 7.15)
- Figuur 7.17 Verzilting van het oppervlaktewater in een gemiddeld jaar

- Figuur 7.18 Schema van de grondwaterstroming in de ondergrond van West-Nederland
- Figuur 7.19 Zoutschade in 1976 uitgedrukt als verliespercentage van de gewasopbrengst bij optimale watervoorziening
- Figuur 7.20 Chloridegehalte van het oppervlaktewater in Delfland in de zomer 1976
- Figuur 7.21 Jaargemiddelde van de chloridevracht van de Rijn (in kg Cl⁻ per seconde) aan de Duits - Nederlandse grens in de periode 1885 - 1996. De chloridevracht wordt berekend uit het product van het chloridegehalte (gebaseerd op dagverzamelmonsters) en het debiet
- Figuur 7.22 Chloridegehalte in Lek en Nieuwe Waterweg in de periode 1973 - 1992
- Figuur 7.23 Hardheidskaart
- Figuur 7.24 Methaanconcentratie in het grondwater op 100 winplaatsen in de periode 1984 - 1992
- Figuur 7.25 Locatie en type grondwaterwinplaatsen
- Figuur 7.26 Factoren die de hydrochemie van het grondwater beïnvloeden
- Figuur 7.27 Chlorideconcentratie in neerslag
- Figuur 7.28 Variatie van de SO₂-concentratie in de lucht ten gevolge van verandering in de industriële SO₄-uitstoot op twee locaties in de periode 1965 - 1986
- Figuur 7.29 Verandering in de depositie van lood
- Figuur 7.30 Schematische weergave van de processen die een rol spelen bij vermesting
- Figuur 7.31 Stikstofstromen van en naar landbouwbodems in 1995
- Figuur 7.32 Fosfaatbelasting van landbouwgrond in 1989 in kg P₂O₅ per hectare
- Figuur 7.33 Stikstofbelasting van landbouwgrond in 1989 in kg N per hectare
- Figuur 7.34 Ontwikkeling van de N-emissie naar landbouwbodem
- Figuur 7.35 Landelijk beeld van fosfaat (P) in het ondiepe grondwater in 1991
- Figuur 7.36 Landelijk beeld van nitraat (N) in het ondiepe grondwater in 1991
- Figuur 7.37 Bemestingsniveau fosfaat op cultuurland in kg/ha in 1990
- Figuur 7.38 Bemestingsniveau fosfaat op cultuurland in kg/ha in 1995 (scenario)
- Figuur 7.39 Verloop van het nitraatgehalte in het opgepompte grondwater (ruwwater) en in het reinwater (geleverde water) in het pompstation te Reuver
- Figuur 7.40 Effecten van een bemestingsscenario en het ontbreken daarvan op de nitraatconcentratie in het grondwater
- Figuur 7.41 Verbruik bestrijdingsmiddelen in de landbouw in enkele landen in 1987
- Figuur 7.42 Relatief oppervlak cultuurgrond waar de drinkwaternorm van Atrazine (> 0,1 µg/l) in het bovenste grondwater werd overschreden
- Figuur 7.43 Ontwikkeling van het gehalte Atrazine in het grondwater op het pompstation te Vierlingsbeek bij verschillende scenario's
- Figuur 7.44 Globale verdeling van Nederland in regio's met een bodem met een relatief hoge c-waarde (I) en met een relatief lage c-waarde (II)

Hoofdstuk 8 *Beschikbaarheid en gebruik van zoet grondwater*

- Figuur 8.1 Winbaar geachte hoeveelheid grondwater per deelgebied
- Figuur 8.2 Jaargemiddelden waterafvoer van de Rijn te Lobith 1977 -1995
- Figuur 8.3 Maandgemiddelden waterafvoer van de Rijn te Lobith 1991 - 1995
- Figuur 8.4 Jaargemiddelden waterafvoer van de Maas te Eijsden 1977 -1995
- Figuur 8.5 Maandgemiddelden waterafvoer van de Maas te Eijsden 1991 - 1995
- Figuur 8.6 Verloop van het gebruik van grondwater voor drinkwaterdoeleinden 1950 - 1995. Water geleverd door waterleidingbedrijven
- Figuur 8.7 Bevolkingsgroei in de periode 1900 - 1997
- Figuur 8.8 Ontwikkeling hoofdelijk gebruik in de periode 1955 - 1995
- Figuur 8.9 Ontwikkeling bevolkingstoename en aansluitingspercentage



- Figuur 8.10 Raming toekomstig jaarlijks waterverbruik door bevolking en industrie, zoals opgesteld in 1967
- Figuur 8.11 Productie openbare watervoorziening 1900 - 1995
- Figuur 8.12 Afgeleverd water door de waterleidingbedrijven, onderverdeeld naar herkomst van het water, in de periode 1950 - 1995
- Figuur 8.13 Ontwikkeling van het huishoudelijk drinkwatergebruik in de periode 1955 - 1996
- Figuur 8.14 Gebieden waar een openbare drinkwatervoorziening op 1 januari 1899 bestond
- Figuur 8.15 Gebieden waar een openbare drinkwatervoorziening op 1 januari 1949 bestond
- Figuur 8.16 Aansluitingspercentages aan drinkwaterleidingen op 1 januari 1960
- Figuur 8.17 Ontwikkeling van het drinkwatergebruik in een aantal Europese landen
- Figuur 8.18 Ontwikkeling van de eigen grondwaterwinning van industrie en COAR in de periode 1955 - 1990. Situatie 1955 als uitgangspunt genomen
- Figuur 8.19 Cumulatief verdampingsoverschot in mm over de zomerperiode ten opzichte van de beregeningsgift in mm gedurende dezelfde periode in de provincie Overijssel
- Figuur 8.20 Ontwikkeling in de grondwateronttrekkingen voor de beregening in de periode 1985 - 1993, alsmede het beregenbaar oppervlak
- Figuur 8.21 Registratieplichtige en/of vergunningplichtige grondwateronttrekkingen in Noord-Brabant in de periode 1987 - 1993
- Figuur 8.22 Tijdstijghoogtelijn van put T-A1/1 te Alphen (voortschrijdend gemiddelde)
- Figuur 8.23 Tijdstijghoogtelijn van put 50E B 0009 en 50E B 0006 resp. te Alphen en ten noordwesten van Alphen
- Figuur 8.24 Tijdstijghoogte lijn van put 50E B 0009 en 50E B 0006 resp. te Alphen en ten noordwesten van Alphen (voortschrijdend gemiddelde)
- Figuur 8.25 De ontwikkeling van hoeveelheden onttrokken grondwater in Zuid-Nederland
- Figuur 8.26 De grondwatersituatie in de omgeving van de Drunense Duinen (prov. Noord-Brabant) vroeger en nu
- Figuur 8.27 Ontwikkeling van het grondwatergebruik in de periode 1972 - 2015 (exclusief beregening in de landbouw) in European Renaissance-scenario, in- en exclusief waterbesparingsbeleid

Hoofdstuk 9 *Winning, zuivering en prijs*

- Figuur 9.1 Ontwikkeling van het aantal drinkwaterbedrijven in Nederland (1880 - 1993)
- Figuur 9.2 Schema van een put met onderwaterpomp en putkop met kelder van betonringen
- Figuur 9.3 Overzicht van de locaties van de bij de provincie geregistreerde grondwaterwinplaatsen met een capaciteit groter dan 50 000 m³/jaar in 1990
- Figuur 9.4 Locaties van grondwaterwinplaatsen voor de openbare watervoorziening onderverdeeld in type grondwaterwinning
- Figuur 9.5 Locaties van grondwaterwinplaatsen voor de industriële watervoorziening met een capaciteit groter dan 50 000 m³/jaar in 1988
- Figuur 9.6 Herkomst van het, door de waterleidingbedrijven, geleverde water in 1936
- Figuur 9.7 Principe van toegepaste diep-infiltratie in Waalsdorp
- Figuur 9.8 Grondwaterwinning en grondwateraanvulling in de duinen in de periode 1850 - 1990
- Figuur 9.9 Principe van de opstelling voor de infiltratieproef van de WRK te Nieuwegein
- Figuur 9.10 Schema van een eenvoudige vorm van grondwaterzuivering
- Figuur 9.11 Schema van waterzuivering bij winning van oevergrondwater

Hoofdstuk 10 *Grondwater als opslagplaats voor thermische energie*

- Figuur 10.1 Principe van warmte- en koude-opslag
 Figuur 10.2 Gas- en electriciteitsbesparing door toepassing van koude-opslag bij het Groene Hart Ziekenhuis te Gouda in de periode 1993 - 1996
 Figuur 10.3 Principe van koude-opslag recirculatie. Zoals geïnstalleerd bij Wavin te Hardenberg

Hoofdstuk 11 *Gevolgen van menselijk ingrijpen*

- Figuur 11.1 Locatie van de verdroogde gebieden
 Figuur 11.2 Tijdstijghoogteverloop in twee filters in meetpunt 51 HP 0125, gemeente Mierlo, op respectievelijk ca. 30 en ca. 150 m diepte beneden NAP
 Figuur 11.3 Wijziging van de gemiddelde grondwaterstand in de periode 1973 tot en met 1977 ten opzichte van de gemiddelde grondwaterstand in de periode 1956 tot en met 1960
 Figuur 11.4 Verdroging van natuur- en landschapsgebieden. Aangegeven is de mate van verdroging van natte/vochtige standplaatstypen in bos en natuurterrein
 Figuur 11.5 Afname van natte cultuurgrond in de periode 1955 - 1976
 Figuur 11.6 Het verloop van de neerslag in 1989
 Figuur 11.7 Het gemeten verloop van de grondwaterstand in 1989 in een peilbuis (45F B 0060) bij Schaijk in de provincie Noord-Brabant
 Figuur 11.8 Vergelijking van grondwaterstands daling als gevolg van drinkwaterwinning en van beregening in relatie tot de beschouwde gebiedsgrootte
 Figuur 11.9 Relatie droge stof opbrengst van aardappelen - ontwateringsdiepte
 Figuur 11.10 Met NAGROM berekende gemiddelde verlagingen van de stijghoogte van het eerste watervoerende pakket in Noord-Nederland voor twee oorzaken: grondwateronttrekkingen in 1986 en ontwateringsmaatregelen in beekdalen sinds 1950
 Figuur 11.11 Effect van een 50% afname van de onttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening op de Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG) in de provincie Utrecht
 Figuur 11.12 Effect van een 50% afname van de onttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening op de kwelintensiteit in de provincie Utrecht
 Figuur 11.13 Effect van een 50% afname van de onttrekking ten behoeve van de drinkwatervoorziening op de biotoop in de provincie Utrecht
 Figuur 11.14 Locatie van het natuurreservaat De Reitma
 Figuur 11.15 Vereenvoudigd profiel over het natuurreservaat De Reitma

Hoofdstuk 12 *Grondwatergegevens*

- Figuur 12.1 Overzicht van de verschillende typen putten waarin de grondwaterstand of stijghoogte gemeten kan worden
 Figuur 12.2 Grondwaterstandsverloop in het freatisch pakket in meetpunt 41E L 0007 01 nabij Winterswijk
 Figuur 12.3 Meetnetputten uit het Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit en de Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit in 1991

Hoofdstuk 14 *Beleid en beheer en het daarmee samenhangend wettelijk kader*

Figuur 14.1 Dwarsdoorsnede van een fictief gebied met de indicatie van de bij beleid en/of beheer betrokken organisaties

Figuur 14.2 Waterschappen in Nederland

Figuur 14.3 Planningstructuur van het waterbeheer in Nederland. Samenhang tussen ruimtelijke ordening, waterbeleid en milieubeheer

Lijst van afkortingen

CBS	Centraal Bureau voor de Statistiek
CHO-TNO	Commissie voor Hydrologisch Onderzoek TNO
CML	Centrum voor Milieukunde Rijksuniversiteit Leiden
COAR	Commerciële, Openbare, Agrarische en Recreatieve watervoorziening
CoGroWa	Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven
C.O.L.N.-T.N.O.	Commissie Onderzoek Landbouwwaterhuishouding Nederland - TNO
CPB	Centraal Planbureau
DINO	Database Informatie Nederlandse Ondergrond
DGV-TNO	Dienst Grondwaterverkenning TNO
FAO	Food and Agriculture Organization (of the United Nations)
GeBeVe	Gebiedsgerichte Bestrijding Verdroging
GVG	Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand
HBSCS	Hogere Bosbouw en Cultuurtechnische School
HSL	Hoge Snelheids Lijn
ICW	Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
ILRI	International Institute for Land Reclamation and Improvement
IPO	Interprovinciaal Overleg
IVM	Instituut voor Milieuvraagstukken Vrije Universiteit
IWACO	IWACO Adviesbureau voor water en milieu
IWSA	International Water Supply Association
KIWA	Tegenwoordig als zelfstandige naam gebruikt. Voorheen een afkorting van Keurings Instituut voor Waterleiding Artikelen.
K.N.G.M.G.	Koninklijk Nederlands Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LNV	(Ministerie van) Landbouw, Natuurbeheer en Visserij
LTO	Land en Tuinbouw Organisatie (Nederland)
MBI	Milieu Beleids Indicator
MER	Milieu - Effectrapport
mld	miljard
mln	miljoen
MOW	Maandoverzicht van het weer in Nederland (KNMI)
NAGROM	NAtionaal GRondwater Model
NAP	Normaal Amsterdams Peil
NITG-TNO	Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO
NMP	Nationaal Milieubeleidsplan
NOA	Nationaal Onderzoekprogramma Aardwarmte
NOGEPA	Netherlands Oil and Gas Exploration and Production Association
Novem	Nederlandse onderneming voor energie en milieu bv
OLGA	On Line Grondwater Archief
PAWN	Policy Analysis for the Water Management of the Netherlands
PBNA	Tegenwoordig als zelfstandige naam gebruikt. Voorheen een afkorting van Polytechnisch Bureau Nederland Arnhem
PWN	Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland
REGIS	REgionaal Geohydrologisch Informatie Systeem
RGD	Rijks Geologische Dienst
RID	Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening
RIKZ	Rijks Instituut voor Kust en Zee
RIN	Rijks Instituut voor Natuurbeheer
RIV	Rijksinstituut voor Volksgezondheid



RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiene
RIWA	Samenwerkende Rijn- en Maaswaterleidingbedrijven
RIZA	Rijksinstituut voor Intergraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling
RMNO	Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek
RU	Rijks Universiteit
SDU = Sdu	Staatsdrukkerij en Uitgeverij
SEP	Samenwerkende Electriciteits Productiebedrijven
STOWA	Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
TNO	(Nederlandse Organisatie voor) Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek
TNO-GG	TNO Grondwater en Geo-Energie
TU	Technische Universiteit
UN DTCD	United Nations Department of Technical Cooperation for Development
VEWIN	Vereniging van Exploitanten van de Waterleidingbedrijven in Nederland
Vomil	(Ministerie van) Volksgezondheid en Milieuhygiëne
VRO	(Ministerie van) Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening
VROM	(Ministerie van) Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer
V & W	(Ministerie van) Verkeer en Waterstaat
Waprog	NV Waterleidingmaatschappij voor de provincie Groningen
WBE	Waterbedrijf Europoort
W & L	(Afdeling) Water en Landinrichting (Prov. Noord-Brabant)
WMN	NV Waterleidingbedrijf Midden-Nederland
WNWB	NV Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant
WOB	Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant
WRK	N.V. Watertransportmaatschappij Rijn-Kennemerland
WVO	Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren
WVP	Watervoerend pakket
WWH	Wet op de Waterhuishouding
WZHO	NV Watermaatschappij Zuid-Holland Oost

Register

Het register heeft betrekking op de pagina's 1 tot en met 192.

Van enkele termen die op meerdere pagina's voorkomen, zijn alleen de belangrijkste vermeldingen in het register opgenomen. Als een term voorkomt in een figuur, onderschrift of in een tabel is het nummer van de pagina vermeld en niet het figuur- of tabelnummer. Auteurs en uitgevende instanties zijn niet onder hun naam opgenomen. Als regel zijn deze in de literatuurlijst vermeld. Van de geologische formatienamen zijn alleen de belangrijke in het register opgenomen.

A

aandeel oppervlaktewater in drinkwatervoorziening	134, 140, 143, 189
aansluitingskosten	120, 145
aansluitingspercentage	112, 113, 116, 117, 118
aanvulling (van de grondwatervoorraad)	12, 19, 21, 23, 26, 27, 28, 88, 110, 153
aardgaswinning	49
aardwarmte	4
actieve koelfiltratie	107, 108
adsorptie	107, 145
afdekkende lagen	45, 46
afgesloten aquifer	12
afgesloten grondwater	12
afstroming	16, 47
afwatering	36, 157, 181
afwateringskanalen	132
afzetting	Zie fluviaatiele -, glaciale - of mariene -
afzettingsgebieden van formaties	33
afzettingsgesteenten	6
agrarisch en particulier grondwatergebruik	124-131
agrarische ontrekkingen	115, 124-131, 175, 177
agrarische sector	22, 102, 103, 112, 115, 116, 124, 125, 126, 131, 134, 135, 136, 163, 172, 190
'algemene regels'	183, 185
Alkmaar	45
Alpen	25, 40
Alphen (Noord-Brabant)	129, 130
amines	92
ammoniumverbindingen	143, 144
Amstelland	86
Amsterdam	45, 72, 137, 147, 148, 149, 162, 163, 171, 172, 184
Apeldoorn	46
anti-verdrogingsmaatregelen	162, 163, 164
Antwerpen	148
Apeldoorn	46
aquiclude	10 (zie ook: ondoorlatende laag)
aquifer	10, 12, 13, 26, 38, 57, 63, 64, 66, 68, 77, 82, 91, 131, 137, 143, 150 (zie ook: watervoerende laag en/of watervoerend pakket)
aquitard	10 (zie ook: slecht doorlatende laag)
Archief van Grondwaterstanden TNO	167
Arnhem	46



aromaten	107, 108
artesisch water	13
artesische bron	13
Assen	11
Atrazine	105, 106, 142
B	
bacteriën	91
Badon-Ghijben, W.	171
basis Holoceen	34
basis Kwartair (basis Pleistoceen)	40, 41
bebossing	21, 153
Beemster	63
beheer	73, 157, 160, 166, 168, 175-187, 189, 191
beheersing van het grondwaterpeil	163, 187
beheersinstrumentarium	183
behoefte zoet grondwater	126
beleid	96, 102, 146, 162, 164, 175-187, 189, 191
beleidsontwikkeling	184
Beleidsplan Drink- en Industrierwatervoorziening	109, 178, 180
beleidsterreinen	176, 180
beluchting	120, 144, 145
bemaling	46, 48, 49, 51, 63, 86, 171
bemestingsoverschot	102
bemestingsniveau	102, 103
bemestingsscenario	104
bemeteren (van de onttrekkingen)	118, 123, 124
beregend oppervlak	127, 128, 129
beregening (agrarische en particuliere)	23, 58, 91, 112, 115, 118, 124-131, 134, 135, 146, 156, 157, 181, 183, 186
beregeningsgift	127
beregeningsinstallaties	127, 128, 131
beregeningskosten	164
beregeningsproblematiek	126-131
beregeningsverbod	183
Bergen op Zoom	86
bergingscapaciteit	13
bergingscoëfficiënt	13
bergingsfactor	13
bescherming	46, 73, 106, 153, 176, 178, 185, 186
beschikbaarheid (van zoet grondwater)	60, 109, 110, 111, 143, 180, 181, 189
Besluit Gebruik Dierlijke Meststoffen	104, 185, 186, 187
besparing (energie)	149, 150, 151
besparing (water)	122, 134, 136, 146
besteding (watergebruik)	119
bestrijdingsmiddelen	91, 95, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 180
Bethunepolder	72
bevolkingsgroei	112, 113
beweging	1, 16, 63, 73
bewustwording	119
Biesbosch	145

binnenmeren	15
biologische behandeling	107, 108
biologische in-situ reinigingstechnieken	108
biologische reductie	145
biotoop	68, 158, 159, 160, 162
bodem	1, 6, 15, 21, 23, 26, 36, 45, 54, 78, 85, 89, 91, 95, 96, 104, 106, 107, 108, 115, 116, 132, 143, 146, 149, 157, 158, 163, 168, 175, 185, 186, 191
bodem- en grondwatersaneringen	116, 132, 134, 135
bodembescherming	6, 104, 107, 178, 184, 185, 186, 187
bodemdaling	26, 48, 49, 84, 163
bodemsanering	107, 108, 116, 132, 134, 135, 184
bodemverontreiniging (-vervuiling)	95, 108, 173, 184
bodemvocht	1, 16, 23, 158
bodemwater	1
boorgat	77, 137, 190
boormonsters	51
brak (water)	13, 15, 26, 29, 37, 51, 52, 53, 59, 63, 71, 72, 73, 77, 78, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 90, 107, 109, 123, 132, 171
brak/zout-grensvlak	73, 77
brandputten	165, 166
brandweer (gebruik door -)	115, 123
Broekhuizenvorst	74, 75
bronbemalingen (grondwater gebruik bij -)	115, 116, 132, 134, 135, 183
bruinkoolwinning	73, 74, 75, 76, 131
Brummen	64
Brussel	148
bufferwerken	145
C	
capillair vocht	1
capillaire opstijging	12, 23
Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS)	99
Centraal Planbureau (CPB)	134, 136
Centrale Slenk	66, 74, 78, 154
chloridebelasting	84
chlorideconcentratie (in neerslag)	93
chloridegehalte	13, 51, 73, 77, 87, 88, 89, 92, 94, 165
chloridevracht	88
classificatie	10, 91
classificatie van het grondwater	94, 173
coagulatie	107, 108
Commerciële, Openbare, Agrarische en Recreatieve watervoorziening (COAR)	113, 114, 115, 122, 134, 135
Commissie Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (CoGroWa)	182
connaat water	4, 5
Consumentenbond	147
consumptie	13, 16, 78, 118, 119, 147
criterium van multifunctionaliteit	185

cumulatieve verdampingoverschot	127
c-waarde (verticale weerstand)	10, 11, 45, 51, 106, 107
D	
daling van de grondwaterstand	153, 156 (zie ook: verdroging)
darcy (eenheid)	7, 8
Database Informatie Nederlandse Ondergrond (DINO)	168
De Bilt	19, 20, 22, 23, 25, 26, 93, 119, 167
De Kooy	20
De Meern	52
De Regt Special Cable	77
De Reitma	160, 161
De Uithof (Utrecht)	150
debiet	17, 25, 37, 40, 65, 66, 88, 110
deklaag	6, 11, 45, 51, 58, 66, 71
Delfland	86, 88
Den Haag	141, 148
Den Helder	20
Denekamp	162
denitrificatie	96, 99
depositie vanuit de lucht	95
derde Nota waterhuishouding	162, 163, 173, 179
detectieapparatuur	190
Deventer	46
Dienst Grondwaterverkenning TNO	77, 167, 172
Dienst Landbouwkundig Onderzoek	165
diep grondwater	4
diep-infiltratie	141, 142, 143, 146
diepte freatisch vlak	1, 2, 3
dieptebe grenzing	1
diffuse verontreiniging	95, 146, 189, 190
dijkdoorbraken	180
diktekaart van de zoetwaterlaag	109
distributiekosten	146
doorlaatcapaciteit (kD-waarde)	8, 9, 66 (zie ook: doorlaatvermogen en/of transmissiviteit)
doorlaatcoëfficiënt (k-waarde)	7 (zie ook: doorlaatfactor)
doorlaatfactor (k-waarde)	7, 8, 66, 78 (zie ook: doorlaatcoëfficiënt)
doorlaatvermogen (kD-waarde)	7, 8, 9, 10, 51, 55, 56 (zie ook: doorlaatcapaciteit en/of transmissiviteit)
doorlatendheid	7, 8, 9, 10, 29, 38, 58, 68 (zie ook: permeabiliteit)
Dosis Effect Model Natuur Terrestrisch (DEMNAT)	159
Drabbe, J.	171
drainage	26, 63, 99, 120, 153, 157, 163
Drenthe	8, 11, 52, 110, 118, 126, 140, 158, 160, 184, 186
drinkwater	57, 58, 78, 88, 90, 92, 104, 106, 110, 114, 120, 124, 126, 137, 140, 143, 145, 146, 147, 148, 171, 187, 189
drinkwaterkwaliteit	77, 171
drinkwaternorm	104, 105, 106

drinkwatervoorziening	71, 92, 109, 112, 113, 116, 117, 118, 120, 121, 125, 137, 147, 153, 157, 158, 159, 160, 171, 172, 175, 179, 182, 187
drinkwaterwinning	29, 137 - 145, 157, 180
droogmakerijen	63
droogte	20, 22, 157, 172, 183
droogtegraad	22, 23, 115, 128, 129, 131, 135
droogteschade	23, 24, 163, 164
droogte van 1976	Zie: jaar 1976
drukverschillen	63
duinen	35, 37, 43, 44, 45, 50, 56, 58, 63, 78, 79, 81, 82, 83, 109, 133, 141, 142, 171
duingebied	53, 81, 82
duinfiltratie	82, 141, 142, 145
duinwater	114, 137, 140, 141, 171
Duinwaterbedrijf Zuid-Holland	141, 147
duinwaterleidingbedrijven	141
Duinwater-Maatschappij	137, 171
duinwaterwinning	140, 141, 142, 171
Duitse graden (hardheid)	89
Duitsland	73, 74, 75, 76, 99, 131, 154
duurzaam beheer	189
duurzame watervoorziening	131
E	
ecologische waarden	153
Eem-interglaciaal	78
Eems (stroomgebied)	40
EG-richtlijnen	186
eerste Nota waterhuishouding	176
eigen onttrekkingen (winning)	114, 115, 121, 122, 134, 135, 146
eigen winning van industrie en COAR	122, 134
eigendomsrecht	182
Eindhoven	66, 147
elektriciteitscentrales	115, 121
elektrisch geleidingsvermogen	165
Elp	160
Elperstroom	160, 161
emissiebeperkende activiteiten	103
energiebesparing	150, 151
energie-opslag	149-151
Enkhuizen	83
Enschede	60, 61, 186
eutrofiëring	92, 95, 158
Evaluatienota Water	179, 180
evenwichtsbemesting	102
excretie	96
F	
FAO	99
filter	7, 12, 13, 74, 77, 91, 137

filtering	144
Flevoland	126, 140, 184, 186
flocculatie	107
fluctuaties	25, 110, 145
fluviaatiele afzettingen	37, 38, 39, 78
fluviaatiele formaties	90
fluviaatiele sedimenten	41
Formatie van Gulpen	57
Formatie van Harderwijk	58
Formatie van Houthem	57
Formatie van Kedichem	52
Formatie van Kreftenheye	38, 39
Formatie van Maassluis	4, 5, 37, 53
Formatie van Maastricht	57
Formatie van Oosterhout	4
Formatie van Peel	41
Formatie van Sterksel	52, 66
Formatie van Tegelen	66
formatiewater	4, 6
fosfaat	92, 96, 99, 100, 102, 103, 104, 158, 168, 186
fosfaatbelasting	97, 99, 102, 180
fosfaatnormstelling	102
fosfor	95, 103
fossiel water	5, 69
freatisch pakket (freatische aquifer)	12, 13, 82, 83, 167
freatisch vlak	1, 2, 3, 12, 13, 48, 54, 58, 66, 79, 109, 132, 136, 163
freatisch water	12, 13
freatische grondwaterwinningen	92, 104, 131
Friesland	48, 49, 84, 85, 90, 110, 118, 126, 140, 146, 172, 184, 185, 186
fysische boorgatmetingen	51
G	
gas (aardgas)	4, 7, 49, 150, 151
Gebiedsgerichte Bestrijding Verdroging (GeBeVe)	162
gebiedsvreemd oppervlaktewater	162
gedeeltelijk afgesloten aquifer	12
gegevensverwerking	165, 168
geïnfiltreerd oppervlaktewater	82, 114, 141, 142, 143
geïnjecteerd oppervlaktewater	82, 141, 142
Gelderland	64, 110, 118, 126, 140, 146, 173, 183, 184, 186
Gelderse Vallei	59, 69, 71, 78, 80
geleidingsvermogen	77, 165
gemeente	124, 147, 155, 166, 181, 184, 186, 187
Gemeentewaterleidingen Amsterdam	72, 172
gemiddelde grondwaterstand	154, 155, 156, 157
gemiddelde jaarsom	19, 20, 25
Gemiddelde Voorjaars Grondwaterstand (GVG)	158, 159
geologie	29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 57, 63

geologische kaart	49
geologische tijdschaal	4, 29, 31, 32
geregenereerd water	4
geregistreerde grondwaterwinningen	124, 138, 139
gewasopbrengst	88, 182
gewasproductie	153
gewasverdamping	21, 158
Ghyben-Herzberg-relatie	80, 81, 171
glaciaal sediment	41
glaciale afzettingen	41, 42, 43
glacialen (tijdperk)	32
Goedereede	124
Gouda	147, 150
gravitatieve stromingsstelsels	63
Griftpark (stad Utrecht)	108
groeiseizoen	22, 115, 125, 157, 160, 190
Groene Hart Ziekenhuis (Gouda)	150
grond	7
grondeigenaar	182
grondwater	1
grondwateraanvulling	21, 26, 27, 28
grondwaterbehoefte	126
grondwaterbelasting	146, 147 (zie ook: grondwaterheffing)
grondwaterbescherming	175, 186
grondwaterbeschermingsgebied	105, 185, 186
grondwaterbeweging	43
grondwaterheffing (grondwaterbelasting)	120, 122, 145, 146, 147, 150, 183
grondwaterisohypsen	65
grondwaterisohypsenpatroon	64
Grondwaterkaart van Nederland	173
grondwatermeetnetten	165, 166
grondwaterniveau	13, 26, 36, 47, 49, 82, 130, 132, 157, 181
grondwateronttrekking	63, 73, 99, 109 - 136, 140, 150, 156, 157, 158, 159, 172, 175, 182, 185
grondwateroverlast	181, 163
grondwaterplan	162, 183
grondwaterreservoir	7, 29, 43
grondwaterspiegel	1, 12, 154
grondwaterstand (grondwaterpeil)	3, 12, 48, 63, 64, 109, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 160, 165, 166, 167, 181, 191
grondwaterstandsval	177 (zie ook: verdroging)
grondwaterstandsverlaging	48, 158 (zie ook: verdroging)
grondwaterstandsverloop	167
grondwaterstroming	1, 10, 26, 63, 65, 68, 108, 153, 173
grondwaterstromingspatroon	64, 68, 80
grondwaterstromingsstelsels	63, 64, 173
grondwaterstudies	51, 64
grondwatersysteem	26
grondwatertrappenkaart	165
grondwatervervuiling	77 (zie ook: verontreiniging)
Grondwaterwet	149, 178, 181, 182, 183, 187

Grondwaterwet Waterleidingbedrijven (GWW)	182
grondwaterwinning	29, 38, 43, 45, 48, 54, 56, 65, 68, 75, 77, 91, 122, 123, 125, 134, 138, 139, 140, 142, 143, 147, 153, 154, 156, 158, 171, 189
grondwaterwinplaatsen	91, 92, 138, 139
grondwaterzuivering	108, 144
Groningen (provincie -)	49, 84, 110, 118, 126, 140, 147, 184, 185, 186
grote rivieren	17, 19, 26, 32, 37, 38, 63, 86, 88, 110, 143, 175, 180 (zie ook: Maas, Rijn en Schelde)
H	
Haarlemmermeer	63, 81, 82
Haarlemmermeerpolder	53, 83
Halsteren	85, 86
hard water	89
Hardenberg	150
hardheid	89, 90, 94
heffingen	102, 186 (zie ook grondwaterheffingen)
hergebruik van water	134, 189
herkomst geleverd water	114, 140, 141
Hilversum	72
Hinderwet	182
hogere zandgronden	131
Holoceen	29, 34, 37, 43, 44, 54
Holocene afzettingen	50
Holocene deklagen	73, 85
Hondsrug	90
Hooge Burch (te Zwammerdam)	150
Hoogheemraadschap	87, 175, 185
Hoogheemraadschap van Delfland	87, 88
Hoog Soeren	138
Hoorn	20
huishoudelijk watergebruik	112, 116-120
huishoudwater (water 'ongeschikt voor consumptie')	120
hydraulische gradiënt	65
hydrochemisch milieu	92
hydrochemische indeling	77, 92, 94
hydrogeochemie	191
hydrogeologie	7, 41, 51, 52, 53, 54, 57, 59, 63
hydrogeologische eigenschappen	54
hydrogeologische indeling	7
hydrogeologische kartering	1, 45, 51, 52
hydrogeologische kenmerken	54
hydrogeologische studies	51
hydrologische basis	1, 4, 5, 51, 52, 53, 55
hydrologische kringloop	1, 4, 5, 15, 16, 17, 18
Hydrologische Systeemanalyse	63
I	
ijs	15, 16, 17, 32, 34, 41
IJssel	40, 64, 68, 69, 80, 87, 143
IJsselmeer	17, 175

IJsselmeerpolders	63, 73 (zie ook: Flevoland)
ijstijden	32
ijstongen	41
ijzer	90, 91, 142, 143, 144
ijzerverbindingen	143
ijzerbacteriën	91
ijzerionen	91
industrialisatie	171
industrie	7, 109, 110, 112, 113, 114, 121, 122, 123
industrieel watergebruik	65, 116, 120 - 123, 139
industriële activiteit	93
industriële onttrekkingen	65, 121 - 123, 139
industriewater (water ‘ongeschikt voor consumptie’)	120, 123
infiltratie	1, 12, 26, 28, 47, 69, 72, 77, 78, 79, 82, 88, 107, 141, 142, 143, 146, 173, 183, 185
infiltratiegebied	43, 59, 67, 68, 71, 72, 78, 106
infiltratieputten	1, 12, 141
informatiesysteem	165
inpoldering	63, 73, 81, 82, 171
Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding (ICW)	156
instroming (van grond- en oppervlaktewater)	17, 18, 27, 28, 82, 111
integraal waterbeheer	179, 180, 191
intensieve beluchting	145
intensieve veehouderij	102
intensivering van de landbouw	125
Interimwet Bodemsanering	184
intermediaire stroming	67, 68
interglacialen (tijdperk)	32
Interprovinciaal Overleg IPO	132
intrinsieke doorlatendheid	7
inundaties	84, 85
inversiegebieden	79, 85
inzijging	27, 28, 110, 153
ionenwisseling	107, 108, 145
isohypsen	64, 65
isohypsenkaart	64, 153
isotopenonderzoek	69, 70
IWACO	173
J	
jaar 1976	19, 20, 23, 24, 87, 88, 89, 109, 126, 155, 167, 177 (zie ook: zomer van 1976)
jaarsommen	19, 20
jonge duinen	43
Jülich	73, 74
Jutphaas	8, 11
juveniel water	4



K

kalium	91, 95, 142
kalkgehalte	68, 89, 90
kanalisering	153
kartering	1, 45, 51, 52, 172
kationuitwisseling	94
kD-waarde (doorlaatvermogen)	8, 9, 51 (zie ook: doorlaatcapaciteit en/of transmissiviteit)
Kenozoïcum	29
Kernhem (wijk in Ede)	120
kerntaken	191
Ketelmeer	95
Kiezeloöliet Formatie	57
KIWA	90, 158, 162
klimaat	19 - 26, 27, 34, 190
klimaatmodellen	23
klimaatschommelingen	37
klimaatverandering	23, 25, 82, 191
klimaatwisselingen	29, 40
klimatologische invloeden	130
klink	48
KNMI	17, 19, 25, 28, 119, 156
koeldoeleinden	114, 122
koelwatergebruik	114, 121
koolzuur	143
Kopenhagen	148
korrelgrootteverdeling	9
kostprijnsverschillen	145
krimp	49
kringloop	Zie: hydrologische kringloop
Kruiningen	8, 11
kunstmatische infiltratie	82, 141, 142, 143
kunstmatische verlaging	132
kustdoorbraken	46
kustlijn	34, 35, 37, 44, 78, 83
kustzone	44, 45
k-waarde (doorlaatfactor)	7, 8 (zie ook: doorlaatcoëfficiënt)
kwaliteitsaspect	89, 181, 184
kwaliteitsbewaking	146
kwaliteitscontrole	77, 165
kwaliteitsdoelstelling	92
kwaliteitsnormering	91, 92
kwantiteitsaspect	181, 182
kwantiteitswaterschap	176
Kwartair	4, 29, 31, 32, 37, 40, 41
kwelgebied	67, 68, 69, 71, 72, 107, 132, 173 (zie ook: natte natuurgebieden)
kwelsnelheid	66
kwelzone	68
kwetsbaarheid (van het grondwater)	45, 91, 140, 183, 186

L

landbouw	1, 13, 22, 23, 29, 71, 87, 90, 96, 105, 125, 126, 127, 131, 135, 153, 156, 164, 172, 173, 175, 176, 179, 181, 182, 185, 186
landbouwbuizen	165,166
landbouwmachines	157
Landelijk Grondwater Model (LGM)	158
Landelijk Hydrologische Systemanalyse	63, 173
Landelijk Meetnet Grondwaterkwaliteit (LMG)	168, 169
landelijke registratie	124
landijs	32, 40, 41, 42, 43
Landinrichtingsdienst	182
landsgrenzen	18, 26, 27
Langerak	143
leidingwater	118
Leidraad Bodembescherming	107
Leidraad Bodemsanering	107
Lek	89, 143
lekkage	95, 123
Lekkerkerk	184
levering door waterleidingbedrijven	112 - 124, 134, 140
Limburg	1, 7, 18, 29, 30, 57, 58, 74, 103, 104, 110, 118, 126, 140, 147, 154, 168, 184, 186
Lith	143
lokale stroming	67, 68
lokale verontreiniging	95, 106
lood	95, 104, 168
loofbos	21
Loosrechtse Plassen	69, 71, 72, 80
luchtstrippen	107, 108
Lyon	148

M

maaiveld	1
maaivelddaling	49 (zie ook: bodemdaling)
maandtemperatuur	19
Maas	23, 25, 38, 40, 45, 110, 111, 143, 180, 189
Maasgrindpakketten	58
Maasterrassen	29, 30
maat (waarin de hoeveelheid uitgedrukt wordt)	13
maatschappelijke kosten	103
mangaanverbindingen	143
mariene afzettingen (formaties)	37, 44, 90
meanders	37
meetpunten	165, 167, 168, 190
meetreeksen	167
Meijndel	82
meldingsplicht	146, 183, 184
melkquotering	96, 99
membraanfiltratie	107



menselijk ingrijpen	13, 46, 47, 48, 71, 73, 86, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164
menselijke activiteiten	95, 143, 145, 153, 191
menselijke consumptie (geschikt voor -)	13, 78
Mergelland plateau	58
Mesozoïcum	29
mestbeleid	96, 103
mestgiften	102
mestoverschot	102
mestproductie	96, 102
meststoffen	95, 102, 175, 185, 186, 187
Meststoffenwet	185, 186, 187
mesttekort	102
mesttransport	102
meteorisch water	4
meteorologie	13
meteorologische factoren	21
methaangas	71, 86, 90, 91, 143
Midden-Limburg	29, 57
Mierlo	154, 155
Mijdrecht	58
milieu	71, 90, 91, 92, 102, 103, 108, 123, 150, 154, 163, 175, 176, 179, 183, 185, 191
milieubeleidsplan	178, 185
milieubeschermdende maatregel	95
milieubeschermingsgebieden	185, 186
Milieu - Effectrapport (MER)	185
milieuheffing	146
Ministerie van LNV	162, 175, 186
Ministerie van Verkeer en Waterstaat	17, 26, 28, 102, 103, 109, 110, 162, 164, 172, 173, 175, 176, 178, 179
Ministerie van Volksgezondheid en Milieuhygiëne	109, 178
Ministerie van VROM	28, 118, 120, 122, 124, 134, 135, 162, 175, 178, 180, 185, 187
modelberekeningen	84, 105, 150, 158
modelleren	54, 56, 173, 190
moerasvorming	36, 234
mondiale verdeling	15, 16
monstername	77
N	
naaldbos	21
Naardermeer	171
NAtionaal GRondwater Model (NAGROM)	158, 159, 173
Nationaal Milieubeleidsplan 3	178, 180
Nationaal Onderzoekprogramma Verdroging	162
Nationale Milieuverkenning	134, 173
natte natuurgebieden	23, 146, 153, 154, 177, 189 (zie ook: kwelgebied)
natuurgebieden	23, 64, 153, 154, 163, 168
natuurlijke vegetatie	61, 116, 132
natuurwaarden	153, 154, 190

Nederlands Instituut voor Toegepaste Geowetenschappen TNO (NITG-TNO)	165, 167, 168
Nederlandse waterconsumptie	115
neerslag	4, 13, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 36, 37, 63, 69, 85, 86, 87, 92, 93, 95, 110, 119, 125, 126, 153, 156, 160, 171
neerslagoverschot	21, 22, 23, 26, 78, 109, 131, 153, 167
neerslagpatroon	20, 25, 153
neerslagtekort	22, 23, 136
NH ₃ -emissie	96
NICHE	158
Nieuwegein	144
nitraat	13, 92, 96, 99, 101, 102, 103, 104, 142, 180
nitraatbelasting	98, 99, 101, 104, 180
nitraat normstelling	92, 103
nitriet	92
nitrificatie	144
nitrosamines	92
Noordbergum	138
Noord-Brabant	20, 29, 74, 75, 85, 86, 104, 105, 110, 118, 123, 126, 128, 129, 130, 131, 133, 140, 154, 156, 157, 183, 184, 186
Noord-Holland	49, 110, 118, 126, 140, 184, 186
Noord-Nederland	159, 63
Noord-Limburg	29, 57, 154
Noordzee	27, 45, 82
normstellingen	91, 92, 102
Nota waterhuishouding	Zie: eerste -, tweede -, derde - of vierde -
Notitie Mest- en ammoniakbeleid	146
Nuon Water	120
Nutsbedrijf Regio Eindhoven	147
O	
oceanen	15
oevergrondwater	114, 140, 145, 147
oeverinfiltratie	120, 143
Oldenborgh, J. van	172
OLGA	168
olie	4, 7, 107
olie-/waterafscheiding	107
omstorting	91, 137
Onder-Krijt zanden	61
onderwaterpomp	137
onderwerken van dierlijke mest	96, 99, 103
ondoordlatende laag (aquiclude)	10, 12
ontharding	145
ontsluiting	37
ontwatering	13, 48, 75, 76, 153, 154, 157, 158, 160, 181
ontwateringsmaatregelen	48, 153, 156, 157, 159
ontwateringsproces	48

Ontwerp Structuurschema Drink- en Industriewatervoorziening 1972	178
ontwikkeling van het drinkwatergebruik	112, 113, 116-120
onverzadigde zone	1, 12, 132
Oost-Brabant	105
Oost-Nederland	42, 60, 61
opbrengstderving	164
open water	21, 22
openbare (drink)watervoorziening	114, 116, 117, 125, 131, 137, 139, 158, 182, 187
operationeel waterbeheer	166
oppervlakteverdeling	17
oppervlaktewater	15, 16, 17, 26, 27, 28, 47, 69, 84, 85, 86, 87, 88, 91, 95, 96, 102, 103, 107, 110, 114, 115, 120, 121, 128, 134, 140, 141, 143, 145, 146, 150, 162, 168, 175 - 184, 185, 189, 191
oppervlaktewaterbeheersing	45
oppervlaktewaterhuishouding	46, 88, 180
oppervlaktewaterniveau	47, 180, 181
opslag van thermische energie	149, 150, 151
opslagtanks	95
organische microverontreinigingen	91, 107
organische stof	91, 99, 104
Ossendrecht	68
oude duinen	43
Oudenbosch	20
ouderdom van formaties	4, 37, 51, 57
ouderdom van grondwater	69, 70, 92
ouderdomsbepaling	69
overbemesting	92, 94, 104, 154
overheidszorg	182
'overige aangeleverd' watergebruik	116, 123, 124, 134, 135
'overige onttrekkingen'	182
Overijssel	29, 110, 118, 126, 127, 140, 143, 162, 183, 184, 186
overstromingen	23, 180
oxidatie met UV/ozon	108
P	
Parijs	148
particuliere grondwateronttrekkingen	115, 124, 134, 190 (zie ook: eigen onttrekkingen)
particulieren (tarief)	147, 148
PAWN studie	178
peilbeheer	27, 28, 48, 180, 181
peilbuis	12, 156, 160, 165
peilputten	165, 166
peilverlaging	26, 157
permanente electrode-opstelling	77
permeabiliteit	7, 8, 9, 10, 43 (zie ook: doorlatendheid)
Perscombinatie te Amsterdam	149
Petten	83
pijpleidingen	145

Piperdiagram	94
plantengroei	68, 132
plantenvoedingsstoffen	95
Pleistoceen	4, 29, 32, 34, 37, 38, 40, 41, 54, 78
polderpeilen	51
polders	26, 43, 47, 51, 63, 66, 69, 71, 83, 86, 106, 110, 118, 171, 172
polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK)	95, 107, 108
pompcapaciteit	124
pompen	63, 124, 129, 182
pompproeven	51, 66
pompputten	77, 91, 165
pompstations	92, 137, 138, 139, 145
pompuren	124
poriën	1, 4, 6, 9, 29, 48
poriëngehalte	6, 9, 10
porositeit	4, 6, 7, 9, 10, 43, 60, 66, 78
potentiële bodemverdamping	21
potentiële gewasverdamping	21
potentiële verdamping	21, 22
potentiële vochttekort	23, 24
preferente stroombanen	108
prijs van het water	145, 146, 147, 148
productiegroei (agrarisch)	125
productievolume (agrarisch)	125
Project Infiltratie Maaskant	143
Provinciaal Grondwaterplan	162
Provinciaal Waterhuishoudingsplan	178
Provinciaal Milieubeleidsplan	178
provinciale heffingen	146
Provinciale Meetnetten Grondwaterkwaliteit (PMG)	168, 169
provinciale verordeningen	146, 184
provincies	29, 39, 84, 146, 158, 162, 168, 175, 181, 183, 185, 187
Purmer	63
putproeven	51
putdichtheid	124
putverstopping	91
pyriet	99, 104
R	
Raad voor het Milieu- en Natuuronderzoek	191
regelgeving	91, 175, 181, 182, 184, 186, 190
regionale stroming	67, 68
REGIS	168
registratieplicht	146, 183, 184
regressie	37
regulering van beken en rivieren	153
reinwater	104, 144, 145
relatieve droogte	22
restterm	17, 18, 26, 28

retourbemaling	146
Reuver	103, 104
Rijks Geologische Dienst (RGD)	165
Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening (RID)	172, 178
Rijks Instituut voor Volksgezondheid (RIV)	172
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne (RIVM)	45, 92, 97, 98, 99, 106, 121, 122, 134, 135, 136, 139, 154, 160, 166, 168, 172
Rijksuniversiteit Utrecht	150
Rijn	23, 25, 38, 40, 45, 52, 88, 110, 111, 180
Rijn-afzettingen	40
Rijswijk	65
rioleringen	163
rivierafzetting	37, 38, 39, 40
rivierwater	12, 26, 78, 82, 88, 91, 92, 141, 143, 145
rivierwater (hoeveelheden)	17, 28, 111
Rolde	160
Rome	148
rookgassen	93
Rotterdam	140
ruilverkaveling	157, 160
Ruilverkavelingswet	26, 153, 157
ruwwater	104, 120
S	
Saale ijstijd	40
Saalien	41, 42
Salland	71
samenstelling van het regenwater	92
sanering (van vervuilde bodems)	107, 108, 134, 135, 184
saneringstechniek	107
schadelijke stoffen	Zie: verontreiniging
Schelde	40
Schelde-mond	46
Schieland	86
Schoellerdiagram	94
Schoorl	172
Sectie Grondwater Meetnetten	2, 167
sedimenten	6, 9, 41
seismisch veldonderzoek	51
semi-spanningswater	12
St. Elizabethsvloed	85
slecht doorlatende basis	1, 5, 51, 55, 82 (zie ook: hydrologische basis)
slecht doorlatende laag (aquitard)	10, 55, 67, 90, 165
Slochteren (bodemdaling)	49
sloten	12, 13, 44, 157
smeltwaterbijdrage	25
snelfiltratie	120
snelheid van grondwaterstroming	65, 66
sortering	9, 137, 154
spaarbekkens	145

spanningswater	12, 13
specifieke vegetatie	132, 154
Staatsbosbeheer	160
stagnant grondwater	54
Staphorst	186
Staringcentrum	165
stedelijke gebieden	95, 120, 163, 191
Stiffdiagram	94
stijghoogte	7, 12, 13, 54, 63, 64, 65, 66, 68, 71, 72, 74, 91, 130, 153, 154, 158, 159, 160, 161, 165, 166, 172
stijghoogtegradiënt	7
stijghoogteverdeling	51
stikstofbelasting	98, 99
stikstofkunstmeststoffen	99
stikstofmineralisatie	158
stikstofstromen	96
stofbalans	95
STOWA	174
strategisch waterbeheer	166
stroming	1, 4, 7, 12, 51, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 80, 87, 158, 171
stromingspatroon	64, 65, 67, 68, 73, 154
stromingsproces	67
stromingssysteem	63
stroombanen	75, 108
stroomdiagram	27
stroomgebied	25, 40
stroomrichting	64
Stroothuizen	162
Structuurschema Drink- en Industriewatervoorziening	109, 178, 180
Studiecommissie Waterbeheer Natuur, Bos en Landschap	162
stuwwallen	41, 42, 43, 54, 56, 78
Stuyfzand-classificatie	94
sulfaat	104, 142
systeemanalyse	63, 64, 68, 69, 73, 173
T	
tariefopbouw	147
tariefstijging	125, 146
tariefverschillen	145, 147
tarieven	147
teelt (wijzigingen in -)	190
Tegelen klei	10, 11
temperatuur (grondwater)	4, 8, 21, 23, 25, 72, 158
temperatuur (omgevings-)	32, 34
temperatuur (thermische opslag)	149, 150, 151
temperatuur (diepe ondergrond)	4,6
temperatuurdaling	32
temperatuurstijging	32
terreinbeheerders	162, 175

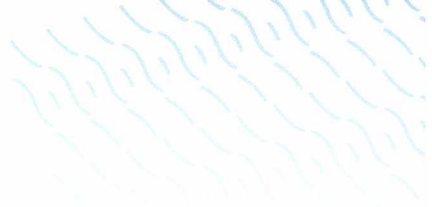
Tertiair	4, 29, 31, 57, 60
textielindustrie	122
textuur	9, 10
thermisch rendement	150
tijdstijghoogtelijnen (-reeksen)	74, 75, 129, 130, 154, 155
Tilburg (regio ten zuiden van -)	129, 130
Tilburgsche Waterleiding Maatschappij	129
toekomstig grondwatergebruik	134, 135, 136
toekomstige ontwikkelingen	189, 190, 191
topografie van het maaiveld	49
totale onttrekking	115, 131, 132, 134, 135, 136
transgressie	37, 78, 86
transmissiviteit	8, 82 (zie ook: doorlaatvermogen en/of doorlaatcapaciteit en/of kD-waarde)
transportkosten	145, 146
turf	46
turfwinning	71
tweede Nota waterhuishouding	178, 179
Tweede Structuurschema Drink- en Industriewatervoorziening	109, 178, 180
tweede waterleidingnet	120
Twente	7, 52, 105
typen grondwater	94
U	
uitlaatgassen	95
uitrijverboden	186
uitspoeling	78, 87, 90, 96
uitstroming (van grond- en oppervlaktewater)	17, 18, 27, 28
urbanisatie	153
Utrecht (provincie)	8, 11, 52, 58, 71, 108, 110, 118, 126, 140, 148, 150, 158, 159, 160, 162, 184, 186
Utrecht (stad)	90
Utrechtse Heuvelrug	42, 59, 63, 68, 69, 71, 72, 78, 80, 153
V	
vadoos grondwater	4
variabiliteit	20
veen	1, 6, 36, 44, 46, 48, 58, 163
veenvorming	36
veeteelt	29, 87, 96, 125, 172
vegetatie	21, 23, 36, 61, 115, 116, 132, 135, 153, 154, 160, 162, 191
veldonderzoek	51, 190
Velp	46
Veluwe	1, 42, 43, 45, 56, 59, 63, 68, 69, 71, 72, 78, 80, 90, 106, 172, 173
Venlo	72
verblijftijd	69
verbreiding van het landijs	42
verbruik (restterm)	17, 18, 28

verdamping	13, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 27, 49, 126, 153, 156, 158
verdamping van open water	22
verdampingsoverschot	22, 127
verdroging	23, 66, 132, 136, 143, 146, 153, 154, 155, 156, 158, 160, 161, 162, 163, 167, 168, 177, 189, 190
verdrogingsbestrijding	162, 180 (zie ook: anti-verdrogingsmaatregelen)
verdrogingsgevoelige natuur	154
verdrogingsproblematiek	64, 160
verdrogingsverschijnselen	153, 158
Verenigde Staten (U.S.A.)	6, 8, 110
vergunningplicht	146, 183, 184
verlaging	32, 37, 54, 66, 68, 71, 96, 132, 136, 156, 158
vermesting	95, 96, 103
vernatting	163, 187
vernattingsmaatregelen	163
vernattingsshade	163, 164
verontreinigd grondwater	13, 68, 90, 103, 104, 107
verontreiniging	13, 45, 54, 58, 77, 91-107, 108, 122, 124, 143, 146, 171, 178, 181, 184, 185, 187, 189, 190
Verordening Grondwaterbeschermingsgebieden	185
verplaatsing	16, 40, 44, 46, 49, 54, 73, 81, 82
verstedelijking	171, 191
verstopping	91, 151
verticale weerstand (c-waarde)	10, 11, 45, 51, 106, 107
verzadigde zone	1, 12, 132
verzilting	13, 78, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 88
verzoeting	13, 78, 79, 81, 85, 86
verzuring	94, 154, 158, 160
vierde Nota waterhuishouding	25, 163, 180, 181
Vierlingsbeek	104, 105, 106
viscositeit	7
vlechtwerken van waterstromen	37, 38
Vlodrop	74
vluchtige halogeen koolwaterstoffen	107, 108
vochthuishouding	132
Volgermeerpolder	184
Vondelpark	163
voorfilters	144
vuilstort	106
vuilstortplaatsen	77, 184
W	
Waalsdorper Vlakte	141, 142
waarnemingen	165, 167
waarnemingsfilters	74
Wageningen	156, 165
warmte- en koude-opslag	149 - 151
warmtegeleidend steenzout	72
Washington	148
waterafvoer (grote rivieren)	17, 28, 111

waterbalans	17, 18, 26, 27, 28, 176
waterbeheer	162, 165, 166, 168, 175, 176, 178, 179, 180, 191
waterbeheersing	175
waterbehoefte	113, 115
waterbesparing (in industrie)	122
waterbodems	95
watercultuur	112
watergebruik	112 - 136, 147, 165
watergebruik (totale Nederlandse -)	115
waterhuishouding	26, 27, 28, 88, 156, 162, 163, 172, 175, 176, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 187
waterhuishoudingsplan	162, 178
waterhuishoudkundig beleid	180
waterhuishoudkundig systeem	27
waterhuishoudkundige maatregelen	157, 160
waterkwaliteitsbeheer	175, 185
waterkwaliteitsbeheerder (zuiveringschap)	176
waterkwantiteitsbeheer	175, 179
waterleidingbedrijf	13, 77, 82, 109, 112-125, 132-136, 137-148, 162, 171, 182, 187, 189
Waterleidingbedrijf Midden-Nederland (WMN)	162
Waterleidingbesluit	187
Waterleiding Maatschappij Limburg	147
Waterleiding Maatschappij Noord-West-Brabant (WNWB)	123
Waterleidingmaatschappij Oost-Brabant (WOB)	105, 106, 143
Waterleidingmaatschappij Overijssel	143
Waterleidingmaatschappij voor de provincie Groningen	147
waterleidingnet	116, 117
waterleidingnet (tweede -)	120
Waterleidingwet	137, 187
Watermaatschappij Zuid-Holland-Oost	143, 147
watermonsters	51, 167
water 'ongeschikt voor consumptie'	113, 120, 121, 123, 189
wateroverlast	157, 163, 187, 191
waterschap	162, 166, 168, 175, 176, 177, 180, 181, 185, 187, 191
watersnoodramp (1953)	85, 175
waterstaatkundige maatregelen	26, 99, 115, 116, 132, 135
waterstofsulfide	143
watersysteem	64, 179, 181
watersysteembeheerder	180, 181
watertypen	94
watervoerend pakket	7, 8, 9, 10, 51, 52, 54, 55, 58, 65, 66, 74, 84, 85, 90, 124, 168, 181 (zie ook: aquifer en/of watervoerende laag)
watervoerende laag	7,10 (zie ook: aquifer en/of watervoerend pakket)
watervoorziening	29, 88, 113, 114, 117, 131, 139, 140, 157, 158, 172, 176, 178, 180, 182, 187
waterwingebieden	103, 185, 186

WAVIN	150
welputten	165, 166
West-Nederland	6, 9, 11, 26, 34, 35, 37, 44, 46, 47, 48, 53, 58, 63, 69, 73, 81, 83, 86, 87, 90, 106, 172, 175
West-Brabant	68, 85, 86, 123
Wet Bodembescherming	6, 104, 178, 184, 185, 186, 187
Wet Milieubeheer	185, 186, 187
Wet op de Waterhuishouding (WWH)	179, 182, 183, 187
Wet van Darcy	65, 66
Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren (WVO)	122, 143, 178, 185
Wet Verplaatsing Mestproductie	102
wettelijk kader	175, 181-187
winbare hoeveelheid zoet grondwater	60, 109, 110
winbare reserves	105, 109
windsnelheid	21
Winkler, T.C.	171
winning (van grondwater)	4, 26, 29, 49, 73, 77, 86, 103, 104, 109, 112, 114, 115, 120, 121, 122, 123, 131, 134, 135, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 145, 171, 182
winning van oppervlaktewater	143
winning van ondiep methaangas	71
Winschoten	72
Winterswijk	167
woningbestand	163
World Health Organisation (WHO)	78
Z	
zacht water	89
zandfiltratie	107, 108
Zandvoort aan Zee	73, 81
zandwinningsputten	71
zeeduinen	43, 60
zeegaten	46
Zeeland	8, 11, 85, 110, 118, 126, 140, 184, 186
zeespiegel	34, 35, 37, 44
zeespiegelstijging (zeespiegelrijzing)	23, 26, 35, 44, 82, 83, 84, 85, 190, 191
Zeijen	8
zink	104, 168
zoet (grondwater)	7, 13, 15, 16, 29, 37, 38, 43, 47, 51, 59, 60, 63, 71, 72, 77, 78, 79, 80-87, 92, 105, 107, 109, 110, 112, 125, 126, 132, 134, 135, 136, 140, 141, 171, 175, 180, 181
zoet/brak-evenwicht	13, 53, 59, 73, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 109, 171 (zie ook: verzilting en/of verzoeting)
zoet/brak-grensvlak	13, 26, 51, 52, 53, 59, 60, 61, 69, 72, 73, 77, 78, 79, 80, 81, 83, 86, 109
zoet/brak/zout-evenwicht	73, 77, 81, 82, 84, 86, 171 (zie ook: verzilting en/of verzoeting)
zoete kwel	72
zoetwaterlens	80, 82, 83
zoetwaterlichaam	81

zoet/zout-grens	13
zomer van 1976	87, 153, 155, 177
zonneshijn	21, 25
zout (water)	4, 13, 15, 29, 37, 47, 63, 71, 77, 78, 80-87, 90, 171, 172, 175
zoutbelasting	69, 84, 85, 86, 87, 88
zoute kwel	49, 69, 71, 83, 86, 132, 191
zoutkoepel	72
zoutwachterkabel	77
Zuiderzee	46, 73, 84, 85, 171
Zuid-Holland	65, 110, 118, 124, 126, 140, 183, 184, 185, 186
Zuid-Limburg	1, 29, 30, 57
Zuid-Nederland	131
zuivering van grondwater	143
zuivering van oppervlaktewater	143
zuiveringskosten	145
zuiveringsschappen	176
zuiveringsinstallatie	145
zuiveringstechnieken	107, 108
Zutphen	46
Zwammerdam	150
zwembaden	113, 123
Zwolle	143



Curriculum vitae

Florentin Charles Dufour werd geboren in 1941 in Haarlem. Zijn schoolopleiding volgde hij in Amsterdam, Antwerpen en Bilthoven.

Hij studeerde Mijnbouwkunde aan de Technische Hogeschool in Delft met als afstudeerrichting 'Osporing'; voornamelijk bestaande uit geologie en geofysica.

In zijn werkkring bij Cesco bv, later Fugro-Cesco bv, werkte hij als projectleider in een offshore tinerts exploratieprogramma in Indonesië. Later gevolgd door grondmechanisch georiënteerde projecten ten behoeve van offshore olie- en gaswinning in de Perzische Golf, Middelandse Zee en de Noordzee.

In 1977 trad hij in dienst van de Dienst Grondwaterverkenning TNO waar hij in verschillende managementfuncties werkzaam was. In de periode 1980 - 1984 leidde hij een omvangrijke haalbaarheidsstudie en voorbereidingsproject voor de winning van aardwarmte ten behoeve van energievoorziening in de glastuinbouw in het Westland.

In de periode 1985 - 1989 was hij projectleider van de tweede fase van het project 'Water Resources Assessment Yemen Arab Republic'. Hierbij werd de waterhuishouding van bepaalde gebieden van Noord-Jemen in kaart gebracht.

In de periode 1989 - 1994 was hij in Nederland betrokken bij projecten betreffende duurzame geo-energie. Vanaf 1994 is hij zelfstandig adviseur en publicist.



