

Princetonlaan 6
Postbus 80015
3508 TA Utrecht

www.tno.nl

T 030 256 42 56
F 030 256 44 75
info@nitg.tno.nl

TNO-rapport

2007-U-R0225/B

**Schetsen van het Nederlandse
grondwatersysteem in 2050**

Datum	Februari 2007
Auteur(s)	Roelof Stuurman, Paul Baggelaar en Niels van Oostrom m.m.v. Michiel van der Meulen en Gualbert Oude Essink
Opdrachtgever	Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DG Water
Projectnummer	034.69285
Aantal pagina's	156 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	10Goedgekeurd doorHans GehrelsGoedgekeurd doorHans Gehrels
Goedgekeurd door	Hans Gehrels

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Samenvatting

De komende decennia veranderen veel belangrijke factoren die ons grondwatersysteem bepalen. Momenteel heeft klimaatverandering en zeespiegelrijzing hierbij de meeste aandacht. In onderstaande tabel zijn de veranderingen in de periode 1950-2000 vergeleken met de voorspellingen.

	1950-2000	2000-2050 (KNMI)
<i>Zeespiegelrijzing</i>	7-10 cm	13-29 cm
<i>Neerslagverandering zomer</i>	+2%	-16% tot +5%
<i>Neerslagverandering winter</i>	+13%	+3% tot +12%
<i>Gemiddeld Neerslagtekort</i>	77 mm	151-220 mm
<i>Bodemdaling Laag-Nederland</i>	10-40 cm	10-45 cm (max 80 cm)

De 2000-2050 voorspellingen gelden voor 4 klimaatscenario's.

Uit deze studie blijkt dat andere grondwater beïnvloedende factoren vermoedelijk een grotere invloed op het grondwatersysteem hebben, maar dat deze versterkt worden door de klimaatsfactoren. Bovendien zijn er nog steeds na-ijleffecten van grote ingrepen in het verleden. In deze studie is geprobeerd om de belangrijkste ontwikkelingen voor de komende 50 jaar aan te geven. Hiervoor is eerst aangegeven hoe het grondwatersysteem de afgelopen 50 jaar is veranderd.

De redenen om deze studie uit te voeren zijn om zichtbaar te maken voor welke grondwateropgaven de overheid komt te staan. Hierdoor kan de overheid beter in staat zijn om scenario's en plannen op te stellen en deze op waarde te schatten. Voor andere sectoren buiten de watersector kan dit dienen om de invloed op het grondwater te verduidelijken. Dit rapport legt de focus op de ontwikkelingen zoals die nu voorzien worden en geeft, waar relevant, aan tussen welke bandbreedtes het grondwatersysteem zich zal ontwikkelen.

1950-2000

Om gevoel te krijgen voor veranderingen op deze tijdschaal van decennia, is gestart met het bestuderen van de veranderingen in het grondwatersysteem, en de oorzaken daarvan, gedurende de afgelopen periode 1950-2000. Hieruit blijkt dat de freatische grondwaterstand in Hoog-Nederland enkele decimeters is gedaald als gevolg van waterhuishoudkundige verbeteringen om de landbouwproductie te verhogen, onder andere beleidsmatig gestimuleerd door de Ruilverkavelingswet. De grondwaterwinning nam sterk toe in de zestiger jaren en veroorzaakte daling van de diepe stijghoogte en lokale freatische grondwaterstandsverlagingen. Als gevolg van beide factoren ontstond verdroging van natuurgebieden. En sinds het extreem droge jaar 1976 nam de beregening sterk toe, met als gevolg dat momenteel bij droge jaren in een korte tijd uitzonderlijk grote hoeveelheden grondwater worden onttrokken.

In deze periode werd tijdens stedelijke uitbreidingen doorgaans geen rekening gehouden met het feit dat de freatische grondwaterstand kunstmatig was verlaagd. Vooral na stopzetting van industriële onttrekkingen (gestimuleerd door de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren, 1969) ontstond op deze plaatsen dan ook wateroverlast. In ouder, bestaand stedelijk gebied ontstond in dezelfde periode grote schade die hoofdzakelijk werd veroorzaakt door de slechte toestand van het

rioolsysteem. Bij schade aan het rioolsysteem ging deze namelijk onbedoeld drainerend werken waardoor de grondwaterstand werd verlaagd en houten funderingen droog kwamen te staan.

Vooraf in Laag-Nederland bleken nieuwbouwwijken gevoelig voor wateroverlast te zijn. Dit kwam door de grondwatertechnisch gezien ongunstige locaties, gevoegd bij een slecht ontwerp en onvoldoende regelgeving.

Laag-Nederland heeft ook te maken met de continue bodemdaling. Deze lijkt 'autonoom' omdat continue peilaanpassingen noodzakelijk zijn om de draagkracht van het maaiveld te garanderen. Het grondwater kende een langzame, maar continue verzilting vanuit de Noord- en Waddenzee en de diepe (mariene) watervoerende pakketten, vooral rond de laaggelegen droogmakerijen. Dit verziltingsproces is het gevolg van een langdurig na-ijleffect sinds de grootschalige inpolderingen uit de Gouden Eeuw. De gevolgen van de inpoldering van de Flevopolder voor het grondwater zijn ook nog lang niet uitgewerkt.

In Zuidoost-Nederland, vooral in Limburg, vonden in de periode 1950-2000 enkele grote veranderingen in het grondwatersysteem plaats. Zo konden in het Mijngedebied de mijngangen sinds 1967 weer geleidelijk vollopen, waardoor de grondwaterstand nog steeds aan het stijgen is. Als gevolg hiervan is ook het maaiveld gestegen. In Duitsland nam juist de grondwateronttrekking sinds de jaren '50 sterk toe om de diepe bruinkoolgroeves droog te maken. Dit heeft tot daling van diepe stijghoogten geleid die in Nederland op tientallen kilometers afstand van de Duitse grens merkbaar is. Het is onbekend of dit ook effect heeft op het ondiepe grondwatersysteem.

2000-2050

Met behulp van de kennis over de verandering van het grondwatersysteem in de periode 1950-2000, de klimaatvoorspellingen, de voorspelde ontwikkelingen in ruimte-, grondwater- en energiegebruik en ontwikkelingen in het waterbeheer en maaiveld daling, worden de volgende veranderingen in het grondwatersysteem verwacht:

Meer neerslag in de winter zal een stijging veroorzaken van de grondwaterstand in niet-ontwaterde gebieden (hooggelegen infiltratiegebieden zoals de Veluwe of de duinen). Als gevolg hiervan kan aan de voet (of in de helling) van deze gebieden wateroverlast ontstaan. De kwel in beekdalen kan hierdoor toenemen. Slecht ontwaterde gebieden (geringe ontwateringsdiepte, grote slootafstand) zullen een stijging van de gemiddeld hoogste grondwaterstand laten zien.

In goed ontwaterde gebieden (polders, lage zandgronden) zal de wintergrondwaterstand niet erg toenemen ('aftopping' van de grondwaterstand door het drainageniveau), de zomergrondwaterstand kan door meer verdamping dieper uitzakken. In deze gebieden zal in de winter de oppervlaktewaterafvoer toenemen.

De klimaatsverandering in combinatie met het intensieve ruimtegebruik leidt tot grillige, hoge dynamiek in grondwaterstanden en oppervlakteafvoer. Om dit proces te beheersen is het beleid gericht op het zoveel mogelijk vasthouden (conserveren) en bergen.

De grondwateronttrekking voor de openbare drinkwatervoorziening zal in drie van de vier toekomstscenario's relatief stabiel blijven. Het is mogelijk dat winningen worden gesloten waardoor lokaal wateroverlast kan ontstaan. Grondwaterwinning voor industriële doeleinden zal verder afnemen. Ook hier kan sluiting lokaal tot wateroverlast leiden. Een eventuele sluiting van enkele zeer grote (miljoenen m³/jaar) industriële grondwateronttrekkingen kan tot bovenlokale en regionale wateroverlast

leiden. Daarnaast is een toename van de zout- en nutriëntenbelasting vanuit kwelgebieden op het oppervlaktewatersysteem te verwachten met gevolgen voor de waterkwaliteit. Naar verwachting zal de grondwateronttrekking voor beregening in de landbouw en recreatie sterk toenemen. Over het effect van deze kortdurende (10-15 dagen per jaar), maar op regionale schaal beschouwd, mega-onttrekking is weinig bekend (in Noord-Brabant vormt deze kortdurende onttrekking ongeveer 25% van de totale jaarlijkse grondwateronttrekking).

In het stedelijk gebied zal de verwachte klimaatsverandering en de aanleg van ondergrondse bouwwerken, WKO-installaties, saneringen en bronningen, adequaat beheer van de ondergrondse ruimte noodzakelijk maken. Als gevolg van klimaatdoelstellingen en stijgende energiekosten wordt een zeer sterke toename van WKO-installaties verwacht, waarbij risico's op interferentie ontstaan. Het is onbekend wat dit betekent voor de grondwaterkwaliteit en het grondwaterecosysteem. Al deze ondergrondse activiteiten dragen ook het risico met zich mee dat beschermende kleilagen worden beschadigd (geperforeerd). Stedelijke gebieden waar nu (incidenteel) wateroverlast optreedt en stedelijke gebieden die een geringe ontwateringsdiepte en slootafstand kennen, zullen in de toekomst gaan lijden aan wateroverlast en ingrijpen (drainage) noodzakelijk maken. Bestaande steden in gebieden waar het maaiveld sterk daalt zijn extra kwetsbaar. De afvoer van dit drainagewater kan bij intensieve buien een knelpunt gaan vormen. In droge perioden kan een daarmee gepaard gaande grondwaterstandsval een bedreiging vormen voor houten funderingen. Mogelijk moeten infiltratiesystemen worden aangelegd om dit risico te bestrijden. Ook 'op staal' gefundeerde bebouwing (inclusief wegen, riolering) kan bij lage grondwaterstanden door krimp van klei beschadigen.

De grote ruimtedruk (vooral in de Randstad) zal ook in de toekomst leiden tot hydrologische knelpunten. Het voorkomen of minimaliseren van deze risico's vormt een zware opgave voor de ontwerpers.

In glastuinbouwgebieden worden vergelijkbare ontwikkelingen als in het stedelijk gebied verwacht, namelijk de opslag van gietwater en warmte-koude in de ondiepe ondergrond. Ook hier zal goed ondergrond- en grondwaterbeheer noodzakelijk worden. In droogmakerijen en andere laaggelegen polders zal de brakke tot zoute kwel toenemen. De belangrijkste oorzaak hiervan ligt nog steeds in de Gouden Eeuw. Daarnaast zullen de recente grondwaterstandsverlagingen door inpoldering van de Haarlemmermeer (1840-1852), Wieringermeer (1927-1930) en de Flevopolders (1950-1968) het effect flink versterken. De klimaatsverandering kan een risico gaan vormen voor de regenwaterlenzen waar de akkerbouw nu in wortelt. Tijdens droge zomers kan een tekort aan zoet grondwater ontstaan en zal brak grondwater de wortelzone kunnen binnendringen. Ophoging van nieuwe bouwterreinen met behulp van Noordzeezand of brakzout zand dat uit West-Nederland (inclusief IJsselmeer) afkomstig is, kan verzilting van het oppervlaktewater veroorzaken. Naar verwachting nemen de hoogwaterpeilen, het zeewaterpeil en het waterpeil van het IJsselmeer toe. Dit kan leiden tot een toename van (soms zoute) kwel aan de binnendijkse zijde. Ook een toename van wellen door opbarsting kan ontstaan.

In veenweide- en poldergebieden zal de maaiveldval verder doorzetten en kunnen drogere zomers leiden tot het dieper uitzakken van de zogenaamde holle waterspiegels. Hierdoor zal, als geen maatregelen worden genomen, de daling van het maaiveld worden versterkt.

Naar verwachting zal vooral de natuur die afhankelijk is van hoge grondwaterstanden door regenwater (hoogveen, natte heide, vennen), kwetsbaar zijn voor klimaatsverandering. Klimaatsverandering zal namelijk leiden tot een sterkere dynamiek (grotere peilfluctuaties), wat nadelig voor deze natuurtypen is. Door toename van kwel wordt de natuur in beekdalen minder bedreigd. Om grote verdroogde natuurgebieden te herstellen zijn drastische maatregelen niet uit te sluiten. Dit kan ook effect op de omgeving van de natuurgebieden hebben.

Aanbevelingen en kennislacunes

De belangrijkste aanbeveling ten aanzien van het wijzigen van het beleid is het verbeteren van de wetgeving en beleid over de ondergrond. Er komen steeds meer ontwikkelingen die ondergronds gebeuren en het grondwater beïnvloeden. Deze ontwikkelingen zouden (beter) gestuurd moeten worden. Het tweede punt is in het algemeen het breder toepassen van duurzame (ontwerp)principes in de praktijk. Hierbij wordt gedacht aan ontwerp van stedelijke nieuwbouw, het tegengaan van verdroging en het voorkomen van opbarsting. Ook vanuit de hydrologie zijn hierover nog vragen die verwoord zijn in de kennislacunes van hoofdstuk 11.

Inhoudsopgave

Samenvatting.....	3
1	Waarom is deze studie verricht?
1.1	Inleiding
1.2	Beschouwde kenmerken van het grondwatersysteem.....
1.3	Leeswijzer.....
2	Hoe is deze studie uitgevoerd?
2.1	Belangrijke informatiebronnen
2.2	De toekomst verkennen met prognoses en scenario's
2.3	In dit rapport gehanteerde scenario's
2.4	Ontwikkeling bevolkingsomvang
2.5	Doorkijkhorizon is 'rond het midden van deze eeuw'
2.6	Voor dit rapport gehanteerde gebiedsindeling Nederland
3	Veranderingen grondwatersysteem vanaf 1950
3.1	Veranderingen grondwaterstanden en stijghoogten
3.2	Veranderingen verdeling zoet en zout grondwater
3.3	Veranderingen stromingssysteem (kwel) en relatie grondwater-oppevlaktewater
3.4	Gevolgen veranderingen grondwatersysteem vanaf 1950
3.5	Conclusies over veranderingen grondwatersysteem vanaf 1950
4	Ontwikkeling waterbeheer
4.1	Verbeteren van de afwatering ten bate van de landbouw
4.2	Beheer van het zoete oppervlaktewater
4.3	Verdrogingsbestrijding
4.4	Integratie van het waterbeleid.....
4.5	Waterbeheer 21 ^e eeuw
4.6	Het nieuwe peilbeheer
4.7	Kustbescherming
4.8	Europees beleid.....
4.9	Stedelijk waterbeheer.....
4.10	Grondwaterbeheer.....
4.11	Verwachte gevolgen waterbeheer voor grondwatersysteem.....
5	Klimaatverandering.....
5.1	Achtergronden klimaatverandering
5.2	Opgetreden klimaatverandering.....
5.3	Mogelijke klimaatverandering
5.4	Mogelijke gevolgen klimaatverandering voor de zeespiegelstand
5.5	Overige mogelijke gevolgen klimaatverandering
5.6	Samenvatting mogelijke gevolgen klimaatverandering voor grondwatersysteem.....
6	Bodemdaling.....
6.1	Tektonische bodemdaling
6.2	Bodemdaling door grondstoffenwinning
6.3	Bodemdaling door ontwatering van veengebieden
6.4	Ruimtelijke verdeling bodemdaling in Nederland
6.5	Mogelijke gevolgen bodemdaling voor grondwatersysteem

7	Ontwikkeling grondwateronttrekking	71
7.1	Grondwateronttrekking voor de bereiding van drinkwater	71
7.2	Grondwateronttrekking voor industriële doeleinden	77
7.3	Grondwateronttrekking voor agrarische doeleinden	83
7.4	Mogelijke gevolgen grondwateronttrekking voor grondwatersysteem.....	86
8	Ontwikkeling ruimtegebruik	89
8.1	Historische ontwikkelingen	89
8.2	Mogelijke ontwikkelingen	90
8.3	Ontwikkelingen zandwinning en ophoging	92
8.4	Gebruik van de ondergrond	95
8.5	Mogelijke gevolgen ruimtegebruik voor grondwatersysteem.....	97
9	Ontwikkeling energiegebruik en -productie.....	99
9.1	Opslag van CO ₂	99
9.2	Warmte- en koudeopslag	99
9.3	Bio-energie en -brandstof	103
9.4	Kernenergie.....	105
9.5	Bruinkoolwinning in het grensgebied met Duitsland.....	105
9.6	Steenkoolmijnen in Limburg	110
9.7	Mogelijke gevolgen energiegebruik en –productie voor grondwatersysteem	111
10	Mogelijke ontwikkeling grondwatersysteem tot 2050	113
10.1	Verdisconteren van het waterbeheer bij de doorkijk naar 2050.....	113
10.2	Belangrijkste mogelijke ontwikkelingen grondwatersysteem tot 2050	113
10.3	Mogelijke ontwikkelingen duinstreek.....	116
10.4	Mogelijke ontwikkelingen veengebied	118
10.5	Mogelijke ontwikkelingen zeeleigebied en droogmakerijen	120
10.6	Mogelijke ontwikkelingen rivierengebied	122
10.7	Mogelijke ontwikkelingen zandgebied	123
10.8	Mogelijke ontwikkelingen Zuid-Limburg	125
10.9	IJsselmeer en omgeving	126
10.10	Mogelijke ontwikkelingen verdeling zoet en zout grondwater	128
11	Kennislacunes.....	134
12	Referenties	136
	Bijlage(n)	
	A Opmerkingen Jan van Bakel	
	B Opmerkingen Marc Bierkens	
	C Opmerkingen Jos van Brussel	
	D Opmerkingen Jan Leunk	
	E Opmerkingen Kees Maas	
	F Opmerkingen Kees Meinardi	
	G Opmerkingen Ipo Ritsema	
	H Opmerkingen Huub Rijnaarts	
	I Opmerkingen Nicko Straathof	
	J Opmerkingen Michael van der Valk	

1 Waarom is deze studie verricht?

1.1 Inleiding

Dit rapport schetst de richting waarnaar het Nederlandse grondwatersysteem kan veranderen tot 2050. Deze beelden zijn nodig om:

- zichtbaar te maken voor welke opgaven de overheid komt te staan bij voortzetting van het huidige beleid met betrekking tot het grondwatersysteem;
- de overheid in staat te stellen scenario's en toekomstbestendig beleid te ontwikkelen voor verschillende mogelijke ontwikkelingen van het grondwatersysteem;
- de overheid houvast te bieden voor het beoordelen van beleidsvoorstellen met betrekking tot het grondwatersysteem en grote infrastructurele projecten die dat systeem kunnen beïnvloeden.

1.2 Beschouwde kenmerken van het grondwatersysteem

De in dit rapport beschreven schetsen van het Nederlandse grondwatersysteem in 2050 richten zich op de volgende systeemkenmerken:

- de freatische grondwaterstand;
- de diepe stijghoogte;
- de verdeling van zoet en zout grondwater;
- het stromingssysteem;
- de relatie grondwater – oppervlaktewater.

Verder wordt aandacht besteed aan de effecten die de veranderingen van het grondwatersysteem hebben op de grondwaterafhankelijke natuur, de landbouw, de bebouwing en de structuur van de grond.

1.3 Leeswijzer

Na dit inleidende hoofdstuk is in hoofdstuk 2 de aanpak van deze studie beschreven. Hoofdstuk 3 geeft een historisch overzicht van de veranderingen van het Nederlandse grondwatersysteem vanaf 1950. De historische en mogelijke toekomstige ontwikkelingen van relevante invloedsfactoren van het grondwatersysteem zijn vervolgens beschreven in de hoofdstukken 4 t/m 9. Dit betreft achtereenvolgens het waterbeheer (hfdst. 4), het klimaat (hfdst. 5), de bodemdaling (hfdst. 6), de grondwateronttrekking (hfdst. 7), het ruimtegebruik (hfdst. 8) en het energiegebruik (hfdst. 9). Uitgaande van deze mogelijke ontwikkelingen van de invloedsfactoren zijn mogelijke ontwikkelingen van het grondwatersysteem afgeleid. Deze vindt u beschreven in hoofdstuk 10.

Bij het afleiden van de mogelijke ontwikkelingen van het grondwatersysteem zijn we op meerdere kennislacunes gestuit. Deze hebben we opgesomd in hoofdstuk 11. Het hoofddeel van dit rapport sluit af met de lijst van referenties, alfabetisch gerangschikt (hfdst. 12).

De bijlagen van dit rapport bevatten de opmerkingen die wij van een aantal deskundigen kregen toen wij ze hun mening vroegen over de mogelijke ontwikkelingen van ons grondwatersysteem tot ongeveer het midden van deze eeuw.

Leestip

Dit rapport bevat veel materiaal. Het ‘grondwatersysteem’ is namelijk een ruim begrip, dat meerdere onderdelen omvat en van een aantal daarvan worden hier de historische ontwikkelingen beschouwd. Verder komen hier ook de ontwikkelingen van meerdere invloedsfactoren van het grondwatersysteem aan de orde. Op een aantal punten waren ook nog uitsplitsingen naar gebieden nodig, aangezien ontwikkelingen kunnen verschillen per gebied. Tenslotte is verdisconteerd dat er van veel invloedsfactoren van het grondwatersysteem meerdere toekomstige ontwikkelingen mogelijk zijn. Als u direct wilt inzoomen op de schetsen van het grondwatersysteem in 2050 kunt u volstaan met het lezen van de hoofdstukken 2 en 10.

2 Hoe is deze studie uitgevoerd?

Deze studie bestond uit drie fasen. In de eerste fase is informatie verzameld over de ontwikkelingen van het grondwatersysteem vanaf 1950, om relevante invloedsfactoren en hun relaties met het grondwatersysteem te kunnen identificeren. In de tweede fase zijn de historische en mogelijke toekomstige ontwikkelingen van de relevante invloedsfactoren van het grondwatersysteem beschreven. Tenslotte zijn hieruit in de derde fase de mogelijke ontwikkelingen van het grondwatersysteem afgeleid.

2.1 Belangrijke informatiebronnen

Bij het verzamelen van de informatie over de historische ontwikkelingen van het grondwatersysteem en over de historische en mogelijke toekomstige ontwikkelingen van zijn invloedsfactoren, hebben wij, naast de reeds bij TNO aanwezige expertise, gebruik gemaakt van een groot aantal informatiebronnen. De belangrijkste zijn hieronder vermeld.

- *Natuur- en Milieucompendium* – Dit bevat veel informatie over de toestand van het milieu en de natuur in Nederland, evenals informatie over het milieu- en natuurbeleid. Verder geeft het verwijzingen naar andere gegevensbronnen en naar actueel onderzoek. Dit compendium is een gezamenlijk product van het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), het Milieu- en Natuurplanbureau (MNP) en de Wageningen Universiteit en Researchcentrum (WUR). Het is vooral bedoeld voor beleidsmakers, maatschappelijke organisaties, pers en wetenschappers.
- *Database StatLine* - De elektronische databank van het CBS, met statistische informatie over allerlei maatschappelijke onderwerpen in de vorm van tabellen, grafieken en kaarten.
- *KNMI* – Verstrekt op zijn website informatie over de opgetreden klimaatsontwikkelingen vanaf 1950 en over de nog mogelijke ontwikkelingen tot 2050.
- *Landbouw-Economisch Instituut (LEI)* – Heeft verschillende enquêtes uitgevoerd naar het watergebruik door agrariërs.
- *‘Welvaart en Leefomgeving’* - Dit zeer recente rapport (september 2006) beschrijft een scenariostudie voor de ontwikkeling van de fysieke leefomgeving in Nederland in 2040. Het is een coproductie van het Centraal Planbureau (CPB), het Milieu- en Natuurplanbureau en het Ruimtelijk Planbureau (RPB).
- *Recente ‘toekomstgerelateerde’ rapporten*, waaronder ‘grondwater en de toekomst’ (Garritsen, 2005), ‘Quickscan Grondwater in Nederland’ (Kooiman e.a., 2005), Water innovaties (Min. Van Verkeer en Waterstaat/ De club van Maarssen, 2006), ‘Verslag van de strategische conferentie over het kennisdomein groenblauwe ruimte en klimaatverandering’ (Ruyten, 2006), ‘Inventarisatie toekomstverkenningen Delta in de toekomst’ (Puylaert, 2003).

Tenslotte hebben wij enkele deskundigen gevraagd ons in het kort hun visie op de mogelijke ontwikkelingen van het Nederlandse grondwatersysteem te geven. Hun opmerkingen zijn vermeld in de bijlagen van dit rapport. Enkele daarvan zijn ook tussengevoegd in het hoofddeel van dit rapport.

2.2 De toekomst verkennen met prognoses en scenario's

Er zijn verschillende langtermijn ontwikkelingen van het Nederlandse grondwatersysteem denkbaar, doordat de ontwikkelingen van de factoren die dit systeem beïnvloeden onzeker zijn. In dit rapport schetsen we hoe het Nederlandse grondwatersysteem er uit kan zien in 2050, door voort te bouwen op de toekomstbeelden die door verschillende instanties zijn uitgewerkt voor relevante invloedsfactoren van het grondwatersysteem, zoals het klimaat, de bodemdaling, de grondwateronttrekking, het ruimtegebruik en het beleid. Die uitwerkingen, in de vorm van prognoses of scenario's, hebben gemeen dat ze veronderstellen dat de toekomst onzeker is en zich in verschillende richtingen kan ontwikkelen. In de twee volgende subparagrafen lichten we de begrippen 'prognoses' en 'scenario's' verder toe.

2.2.1 *Prognoses*

Een prognose, soms ook wel basisprognose genoemd, beschrijft de situatie die de grootste kans lijkt te hebben zich te gaan realiseren, gegeven alle momenteel beschikbare informatie en inzichten. Daarbij is het uitgangspunt dat zich een continuering van de huidige ontwikkelingen voordoet, dan wel dat deze daarvan op een voorspelbare manier gaan afwijken, in het licht van veranderingen die zich nu al aftekenen. De basisprognose kan daarom worden ook wel worden opgevat als de uitwerking van het continuïteitsscenario. Om de onzekerheid van een prognose zichtbaar te maken, wordt soms ook het voorspelinterval gepresenteerd, op te vatten als de bandbreedte waarbinnen de ontwikkeling met een bepaalde betrouwbaarheid kan liggen.

2.2.2 *Scenario's*

Als er een ontwikkeling over een zeer langtermijn, zoals 50 jaar of meer, moet worden geschetst, dan is er doorgaans sprake van te grote onzekerheden, om nog een prognose in de zin van een meest waarschijnlijke ontwikkeling op te kunnen stellen. De onzekerheden kunnen dan beter inzichtelijk worden gemaakt door verschillende scenario's uit te werken.

Scenario's zijn beschrijvingen van contrasterende, mogelijke toekomstige werelden. Elk scenario wordt daarbij gekenmerkt door een grote interne consistentie. Ze zijn niet louter bedoeld om de toekomst te voorspellen – wat wel het geval is bij prognoses –, maar meer om een beeld te scheppen van waarschijnlijke alternatieve toekomsten, zodat we onze langtermijn strategie flexibeler kunnen maken, met draaiboeken die gereed zijn voor meerdere toekomsten. Het uitwerken van scenario's wordt daarom ook wel aangeduid als 'het opbouwen van geheugen over de toekomst'. Als zich ontwikkelingen voordoen die passen bij één van de scenario's, dan hebben we het draaiboek voor die nieuwe realiteit al klaar liggen. Een bekend voorbeeld in deze is Shell, die als enige olieproducent snel en adequaat kon reageren op de oliecrisis in de jaren '70, doordat het de consequenties van een dergelijke crisis al eerder theoretisch had uitgewerkt in een scenariostudie.

Het is inmiddels gebruikelijk om bij langtermijn studies vier scenario's te hanteren, waarbij elk scenario het kwadrant is van een assenstelsel, dat wordt gevormd door twee kernvariabelen die bepalend zijn voor de toekomstige ontwikkeling van het scenario-

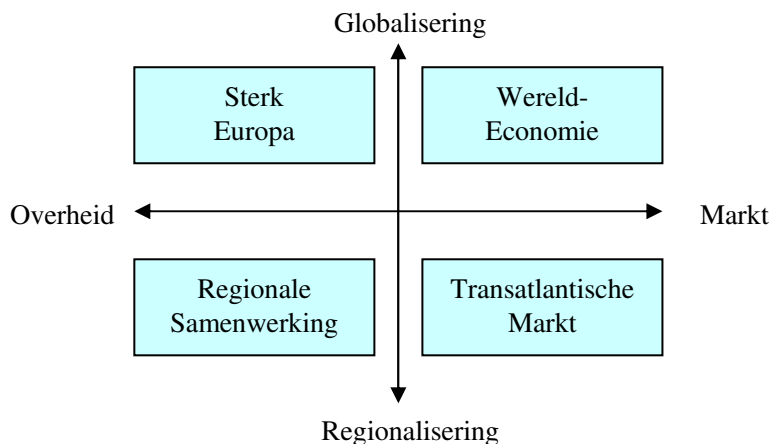
onderwerp.¹ De kernvariabelen zijn doorgaans van economische, politieke, sociale, culturele, of technologische aard.

2.3 In dit rapport gehanteerde scenario's

In dit rapport maken we gebruik van twee stelsels van vier scenario's om het grondwatersysteem in 2050 te schetsen. Ten eerste maken we gebruik van scenario's voor de ontwikkeling van het klimaat tot 2050 (en 2100) die door het KNMI zijn uitgewerkt. Deze scenario's zijn beschreven in hoofdstuk 5 ('Klimaatverandering'). Ten tweede maken we gebruik van sociaaleconomische scenario's, aangezien het grondwatersysteem ook sterk wordt beïnvloed door maatschappelijke en economische ontwikkelingen. Het betreft de vier scenario's die zijn uitgewerkt in de recente CPB-studie 'Vier vergezichten op Nederland' (CPB, 2004). Deze studie schetst mogelijke ontwikkelingen van de economie tot 2040. Dezelfde scenario's zijn ook door een aantal andere Nederlandse planbureaus en onderzoeksinstituten gehanteerd bij het uitwerken van langtermijn scenariostudies. Een recent voorbeeld daarvan is de scenariostudie voor de ontwikkeling van de fysieke leefomgeving in Nederland in 2040, die is uitgevoerd door drie planbureaus en neergelegd in het rapport 'Welvaart en Leefomgeving' (CPB, MNP en RPB, 2006). Door deze afstemming van verschillende scenariostudies zijn er nu voor dezelfde scenario's uitwerkingen beschikbaar van meerdere invloedsfactoren van het grondwatersysteem, zoals de economische groei, de bevolkingsomvang, het drinkwatergebruik, het ruimtegebruik, het energiegebruik en de omvang van de veestapel. Wij hebben hier in dit rapport dankbaar gebruik van gemaakt om consistentere toekomstvisies van het grondwatersysteem te kunnen ontwikkelen.

De vier sociaaleconomische scenario's zijn: *Wereld-Economie*, *Sterk Europa*, *Transatlantische Markt* en *Regionale Samenwerking*. Ze verschillen in: (1) de vooruitgang die er wordt geboekt met de Europese integratie en de globalisering en (2) de mate waarin overheden hun eigen rol weten terug te dringen ten gunste van 'de markt'. De scenario's zijn gekenmerkt door combinaties van instellingen van deze twee kernvariabelen, of 'sleutelonzekerheden', zoals het CPB ze noemt (zie figuur 2.1).

¹ In het verleden is ook wel gewerkt met drie scenario's, maar veel gebruikers namen dan automatisch aan dat het 'middelste' van de drie scenario's het meest waarschijnlijk is. Om dit te voorkomen wordt nu bij voorkeur een even aantal scenario's uitgewerkt, meestal vier.



Figuur 2.1: De posities van de vier langtermijn scenario's van het CPB (CPB, 2004) in het assenstelsel van de twee sleutelonzekerheden.

Hieronder een korte beschrijving van elk van de vier scenario's, mede gebaseerd op (CPB, MNP en RPB, 2006).

- *Wereld-Economie* – De EU breidt zich nog verder naar het oosten uit. Naast Turkije worden ook landen als de Oekraïne lid. De landen werken internationaal samen op het gebied van handel en de verzorgingsstaat wordt grondig herzien, ten gunste van marktgericht handelen. De overheid benadrukt de eigen verantwoordelijkheid van burgers, net als in *Transatlantische Markt*. Dit scenario kent de hoogste economische groei en materiële welvaart, maar de inkomensverschillen zijn groot. Ook de bevolkingsgroei is het hoogst, vooral door immigratie. Maar internationale samenwerking op andere gebieden dan handelsvraagstukken mislukt. Er komt bijvoorbeeld geen overeenkomst om grensoverschrijdende milieuvraagstukken op te lossen – net als in *Transatlantische Markt* -, wat mede door de wereldwijde hoge economische groei een forse milieuvervuiling geeft.
- *Sterk Europa* – Ook in dit scenario is er veel aandacht voor internationale samenwerking. De Europese instituties worden succesvol hervormd en landen geven een deel van hun soevereiniteit op. Europa wordt daardoor een invloedrijke speler op het wereldtoneel en internationale milieuvraagstukken kunnen gecoördineerd aangepakt worden. Het sociaaleconomisch beleid is gericht op solidariteit en op een gelijkmatige inkomensverdeling, net als in *Regionale Samenwerking*, maar er zijn ook enkele hervormingen (die zijn er niet in *Regionale Samenwerking*). De economische groei en de groei van de bevolking, vooral door immigratie, zijn hoger dan in *Regionale Samenwerking*.
- *Transatlantische Markt* – De uitbreiding van de Europese Unie wordt geen succes, doordat de landen teveel hechten aan hun soevereiniteit. Ze lossen problemen liever op nationaal niveau op. De grensoverschrijdende milieuvraagstukken worden niet opgelost. Wel wordt de handel tussen de Verenigde Staten en Europa vergaand geliberaliseerd, waardoor een nieuwe interne markt ontstaat. De overheid benadrukt de eigen verantwoordelijkheid van burgers, de verzorgingsstaat wordt ingeperkt en

publieke voorzieningen worden versoberd. De inkomensverschillen nemen daardoor toe. De macht van vakbonden neemt af en de arbeidsmarkt wordt daardoor flexibeler. Door de versobering van de sociale zekerheid is er meer arbeidsparticipatie, de internationale concurrentie verhoogt de prikkel om te innoveren en de grotere inkomensverschillen maken studeren aantrekkelijk. De economische groei is hoger dan in *Sterk Europa*, maar de bevolking neemt slechts matig toe.

- *Regionale Samenwerking* – De landen hechten sterk aan hun soevereiniteit, waardoor de Europese Unie geen institutionele hervormingen kan doorvoeren. Ook mondiale handelsliberalisatie komt niet van de grond, waardoor de wereld uiteenvalt in een aantal handelsblokken. Internationale milieuvraagstukken worden niet aangepakt, maar de milieudruk is relatief laag, doordat de bevolking niet groeit en de economische groei bescheiden is (minste groei van alle scenario's). De collectieve regelingen blijven in stand, met nadruk op solidariteit en een gelijkmatige inkomensverdeling. Maar door geringe prikkels in de sociale zekerheid en hoge belasting- en premietarieven is er veel werkloosheid. Door gebrek aan concurrentie is er weinig noodzaak voor bedrijven om te innoveren.

2.4 Ontwikkeling bevolkingsomvang

De bevolkingsomvang oefent grote druk uit op het grondwatersysteem, zij het indirect, via andere – en verderop in dit rapport beschreven – sociaaleconomische invloedsfactoren, zoals grondwateronttrekking (zie hoofdstuk 7), ruimtegebruik (zie hoofdstuk 8) en energiegebruik (zie hoofdstuk 9). In deze paragraaf beschrijven we de historische en de mogelijke toekomstige ontwikkelingen van de bevolkingsomvang.

2.4.1 *Historie en basisprognose bevolkingsomvang*

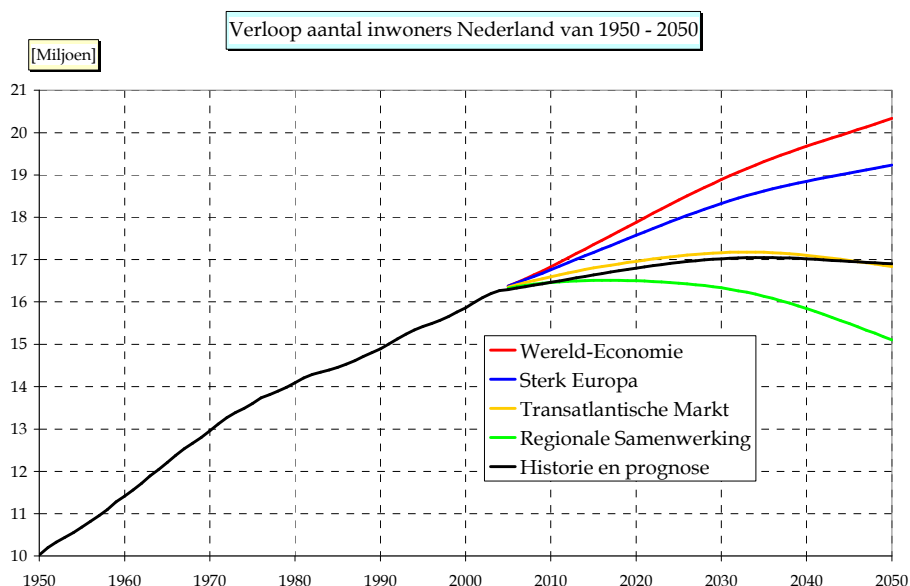
De 20^e eeuw heeft een grote en vrijwel lineaire bevolkingstoename te zien gegeven, van 5,1 miljoen inwoners in 1900, naar 10,0 miljoen in 1950 en 16,3 miljoen in 2006. Maar volgens de recente langtermijn bevolkingsprognose van het CBS (2004) zal het aantal inwoners nog slechts licht toenemen tot 17,0 miljoen in 2035, waarna er een bevolkingskrimp zal optreden tot 16,9 miljoen in 2050. Het positieve migratiesaldo (aantal immigranten minus aantal emigranten) kan het negatieve geboorteoverschot dan niet meer compenseren. Dit krimpen van de bevolking in de 21^e eeuw is overigens ook in andere landen voorspeld en is heel bijzonder te noemen, aangezien een structurele bevolkingsdaling zonder oorlog, ramp, of epidemie niet eerder is voorgekomen. De omvang van de beroepsbevolking, gedefinieerd door het aantal mensen tussen de 20 en 65 jaar, zal de komende decennia dalen, terwijl het aantal ouderen (> 65 jaar) juist zal toenemen.

2.4.2 *Scenario's voor ontwikkeling van de bevolkingsomvang*

Naast de Cisbevolkingsprognose, die de meest waarschijnlijke toekomstige ontwikkeling beschrijft, hebben het CBS en het RIVM² gezamenlijk onlangs ook vier scenario's gepubliceerd die alternatieve toekomst beschrijven (De Jong en Hilderink, 2004). Het zijn dezelfde scenario's die het CPB heeft gehanteerd voor het schetsen van de langtermijn ontwikkelingen van de economie (CPB, 2004 en zie ook hun beschrijving in § 2.3).

² Inmiddels Natuur- en Milieuplanbureau geheten.

In het scenario *Wereld-Economie* zal het aantal inwoners in Nederland blijven groeien en het hoogste uitkomen, namelijk 20,3 miljoen in 2050 (zie figuur 2.2). Ook in het scenario *Sterk Europa* blijft het aantal inwoners groeien om in 2050 uit te komen op 19,2 miljoen. In het scenario *Regionale Samenwerking* is er sprake van een lichte groei tot 16,5 miljoen in 2016 waarna er een krimp optreedt tot 15,1 miljoen inwoners in 2050. In het scenario *Transatlantische Markt* is er een lichte groei tot 17,2 miljoen in 2033 en daarna een krimp tot 16,8 miljoen in 2050. Dit laatste verloop vertoont sterke overeenkomsten met dat van de basisprognose. De verschillen tussen de uitkomsten van de scenario's worden voornamelijk bepaald door verschillen in de omvang van de immigratie. Het maximale verschil treedt op tussen de uitkomsten van de scenario's *Wereld-Economie* en *Regionale Samenwerking* en bedraagt 5,2 miljoen inwoners voor 2050. Dit zeer grote verschil illustreert de grote onzekerheid over de langtermijn ontwikkeling van het aantal inwoners in Nederland.



Figuur 2.2: Historisch verloop aantal inwoners van 1950 – 2004 en toekomstig verloop van 2005 – 2050 volgens de basisprognose en vier scenario's. Samengesteld uit gegevens van CBS Bevolkingsstatistiek, CBS Bevolkingsprognose 2004 en CBS/RIVM Lange-termijn bevolkingsscenario's (De Jong en Hilderink, 2004).

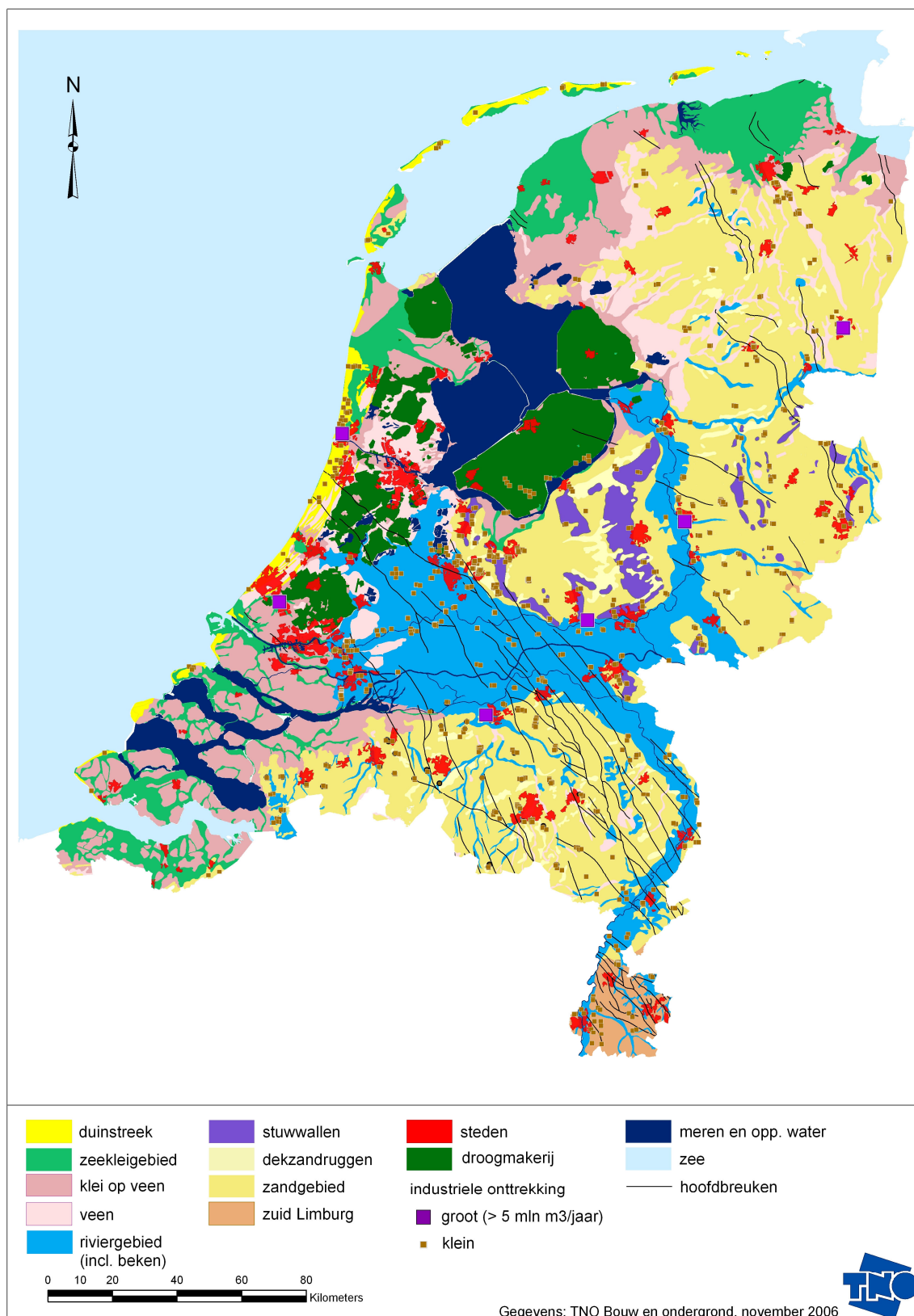
2.5 Doorkijkhorizon is 'rond het midden van deze eeuw'

De in de titel van dit rapport vermelde doorkijkhorizon - het jaar 2050 - moeten we niet te letterlijk nemen, maar globaal opvatten als 'rond het midden van deze eeuw'. Een reden is dat we onze doorkijk mede baseren op toekomstbeelden van enkele sociaaleconomische invloedsfactoren van het grondwatersysteem, die door verschillende Nederlandse planbureaus 'slechts' tot 2040 zijn uitgewerkt. Gezien de grote onzekerheden bij het vooruitkijken over een termijn van 40 à 50 jaar, zullen we ons in bepaalde gevallen moeten beperken tot het schetsen van ontwikkelingsrichtingen van relevante kenmerken van het grondwatersysteem tot ongeveer het midden van deze eeuw.

2.6 Voor dit rapport gehanteerde gebiedsindeling Nederland

Doordat de ontwikkelingen van het grondwatersysteem ruimtelijke verschillen zullen vertonen, hanteren we op enkele plaatsen in dit rapport een zodanige gebiedsindeling van Nederland, dat deze verschillen kunnen worden aangegeven. Naast grove gebiedsindelingen als laag- en Hoog-Nederland, zijn de belangrijkste onderscheiden gebieden (zie ook figuur 2.3):

- duinstreek
- veengebied
- zeekleigebied
- droogmakerijen
- rivierengebied
- zandgebied
- Zuid-Limburg
- IJsselmeer en omgeving



Figuur 2.3: De in dit rapport gehanteerde gebiedsindeling van Nederland (incl. locaties grote industriële grondwater-onttrekkingen, zie figuur legende klein, voor drinkwater voorziening).

3 Veranderingen grondwatersysteem vanaf 1950

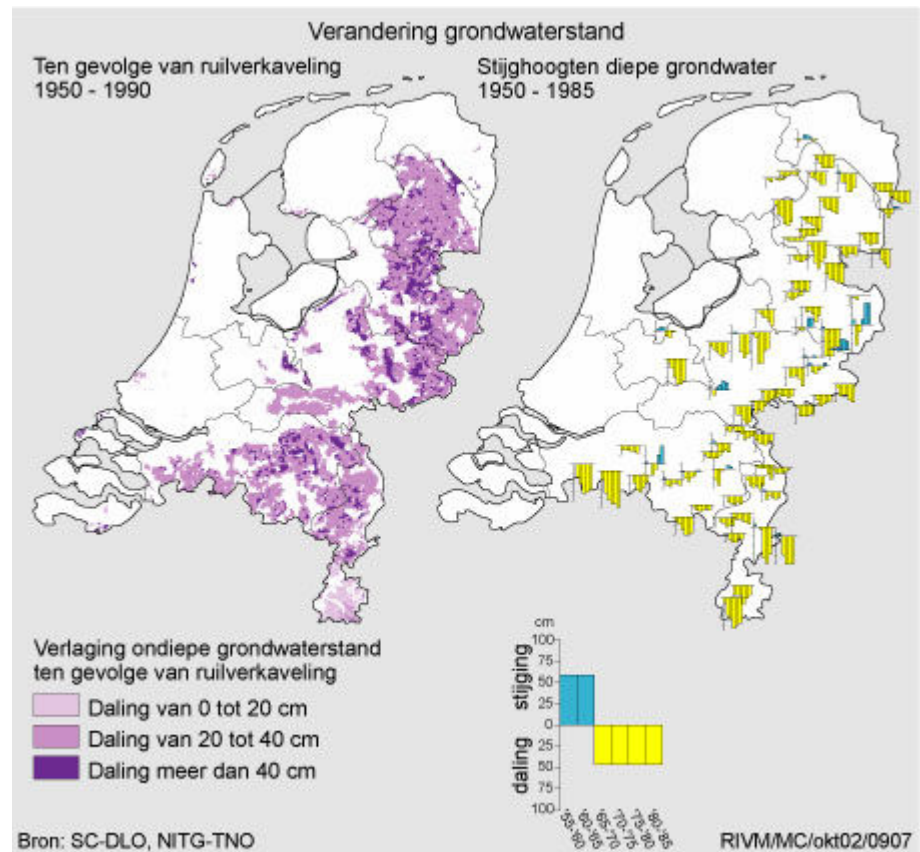
Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de veranderingen van het grondwatersysteem vanaf 1950. Het dient om de belangrijkste invloedsfactoren van het systeem te kunnen identificeren. In de volgende hoofdstukken (4 t/m 9) worden dan de historische en de mogelijke toekomstige ontwikkelingen van relevante invloedsfactoren van het grondwatersysteem geschetst.

3.1 Veranderingen grondwaterstanden en stijghoogten

3.1.1 *Veranderingen grondwaterstanden*

Het ondiepe grondwater is vanaf 1950 in een groot deel van hoog Nederland met enkele decimeters gedaald (zie figuur 3.1, links). Dit is voornamelijk veroorzaakt door waterhuishoudkundige ingrepen voor de landbouw. Tussen 1950 en 1980 zijn namelijk veel grootschalige ruilverkavelingen uitgevoerd, met als hoofddoel de gebieden beter geschikt te maken voor landbouwmachines. Daartoe zijn ondermeer kavels vergroot en zijn waterlopen en wegen rechtgetrokken. Het waterbeheer is in veel gebieden ook aangepast aan de landbouw. Dit alles leidde tot verlaging van de grondwaterstand of een afname van de kweldruk, met verdroging van de natuur als resultaat. Plaatselijk zijn zelfs dalingen van 40 tot 120 centimeter opgetreden, vermoedelijk veroorzaakt door een combinatie van de bovengenoemde aanpassingen voor de landbouw en de toename van de grondwaterwinning voor bijvoorbeeld de drink- en industriewatervoorziening (zie hiervoor hoofdstuk 7).

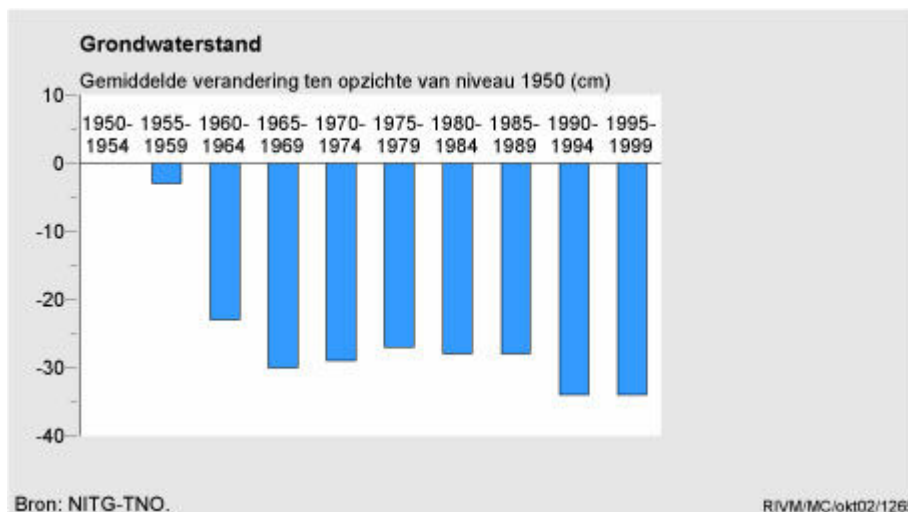
In Laag-Nederland heeft de continue maaiveldddaling in het veenweidegebied en de daarop volgende verlagingen van het oppervlaktewaterpeil tot absolute verlagingen van het grondwaterpeil geleid. In de droogmakerijen is deze maaiveldddaling minder relevant maar is de afgelopen decennia het freatisch grondwatervlak gedaald door verbetering en verdieping van buisdrainage.



Figuur 3.1: Verandering van de grondwaterstand in de periode 1950 – 1990 (links) en verandering van de stijghoogte van het diepe grondwater van 1950 – 1985 (rechts), in beide gevallen in het hoge deel van Nederland. Overgenomen uit Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Grondwatersituatie, landelijk beeld, 1950-1990, versie 03, 2 december 2003.

3.1.2 Veranderingen stijghoogten

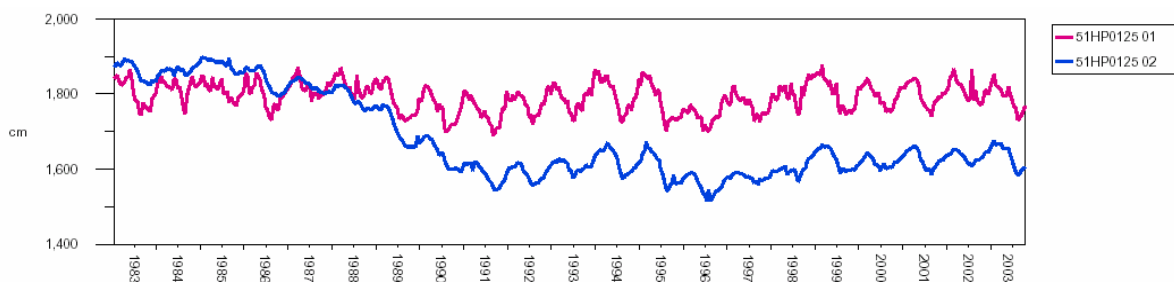
De gemiddelde stijghoogte van het diepe grondwater in Nederland, is de afgelopen 50 jaar met ruim 30 centimeter afgenomen (zie figuur 3.2). De afname is in het midden van de jaren '50 begonnen en komt op een groot aantal plaatsen voor (zie figuur 3.1, rechts). In de periode 1950-1969 neemt de stijghoogte af met circa 30 centimeter, maar vanaf 1970 lijkt zich een stabilisatie voor te doen. Een verdere daling treedt dan pas weer op vanaf het begin van de jaren '90. Het ligt voor de hand dat de daling verband houdt met de toename van de winning van grondwater voor de drink- en industriewatervoorziening (zie hiervoor hoofdstuk 7). Maar de stabilisatie in de periode 1970 – 1990 kan daardoor niet verklaard worden, zodat het onduidelijk is of en in welke mate de daling zal doorzetten.



Figuur 3.2: Gemiddelde verandering van de diepe stijghoogte ten opzichte van het niveau in 1950. Overgenomen uit Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Grondwaterstijghoogte, 1950-1999, versie 03, 2 december 2003.

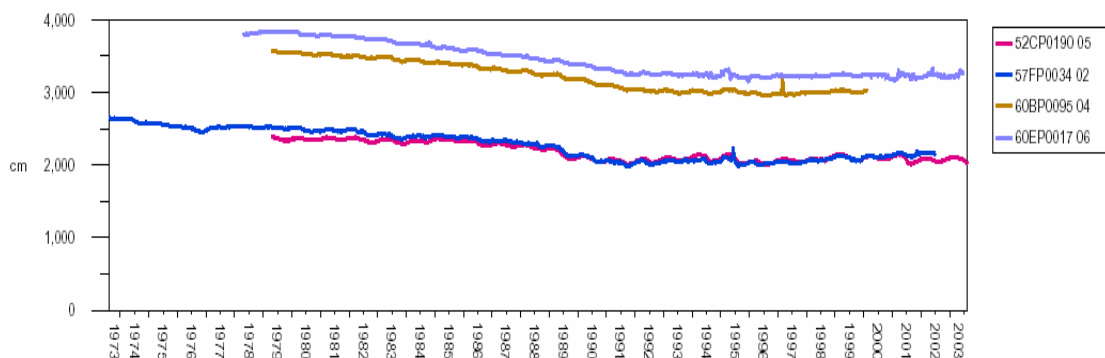
Voorbeelden stijghoogteverloop in Zuid-Nederland

In de jaren '90 hebben relatief sterke dalingen plaatsgevonden in de diepe Neogene (zoet-)watervoerende pakketten, vooral in de spanningswaterpakketten waar de onttrekkingen voor de openbare drinkwatervoorziening plaatsvinden. In figuur 3.3 wordt als voorbeeld het verloop van de freatische grondwaterstand en de diepe stijghoogte in een meetpunt bij Mierlo (oostelijk deel Roerdalslenk) getoond. In de jaren '80 lag de stijghoogte nog boven de grondwaterstand (potentiële kwel), maar aan het begin van de jaren '90 daalde de stijghoogte met circa 2 meter waardoor ter plaatse een infiltratiesituatie is ontstaan.



Figuur 3.3: Het stijghoogteverloop in een peilbuis te Mierlo (51HP0125). De diepe stijghoogte (blauw) wordt in de Kiezeloölietzanden gemeten. De verticale as is in cm t.o.v. NAP en loopt hier van 1.400 cm (14,0 m) tot 2.000 cm (20,0 m).

In figuur 3.4 wordt het stijghoogteverloop in verschillende diepe meetpunten (Waubach zanden) getoond die zich bevinden in de Roerdalslenk (Centrale Slenk) in Limburg. De meetpunten bevinden zich in een raai tussen de Duitse grens en Asten, respectievelijk in Vludrop (60E17), Peij (60B95), Weert (57E34) en Asten (52C190). Ook deze meetpunten tonen een stijghoogtedaling en wel in de orde van 4-5 meter.

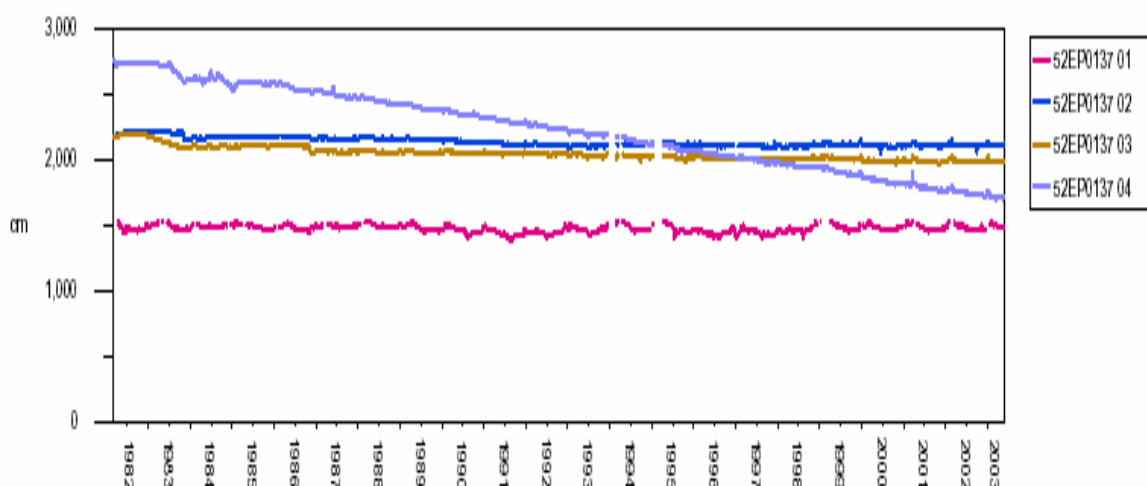


Figuur 3.4: Het stijghoogteverloop van het diepe Neogene grondwater in een aantal filters tussen de Duitse grens en Helmond. De verticale as is in cm t.o.v. NAP en loopt hier van 0 cm tot 4.000 cm (40,0 m).

Bovenstaande stijghoogtedalingen worden veroorzaakt door grondwaterwinning voor de drinkwatersector, mogelijk gecombineerd met de onttrekkingen in Duitsland voor de bruinkoolwinning. Het effect van deze daling is dat de opwaarts gerichte grondwaterstroming is afgenomen of zelfs omgedraaid. In dit laatste geval zal het 'pure', duizenden jaren oude diepe grondwater op termijn beïnvloed worden door het ondiepe grondwater dat van mindere kwaliteit is.

Stijghoogtedaling in de Venloslenk onder de Boomse klei

Slechts op enkele plaatsen zijn waarnemingsfilters onder de Klei van Boom beschikbaar. Dit slecht doorlatende pakket wordt meestal als de hydrogeologische basis van het Nederlandse zoetwaterlichaam beschouwd. De paar filters die wel beschikbaar zijn laten echter een continue daling van de stijghoogte zien (zie het voorbeeld in figuur 3.5). De metingen in de Venloslenk, bij Broekhuizenenvorst, tonen aan dat deze diepe stijghoogte sinds de aanleg van het meetpunt jaarlijks ongeveer 50 cm daalt. Het filter bevindt zich in een pakket met zout grondwater. Deze daling hangt zo goed als zeker samen met de bruinkoolwinning in Duitsland (afstand 50 - 70 km). Het is niet bekend wat het effect van de daling op het Nederlandse grondwater of het maaiveld is.

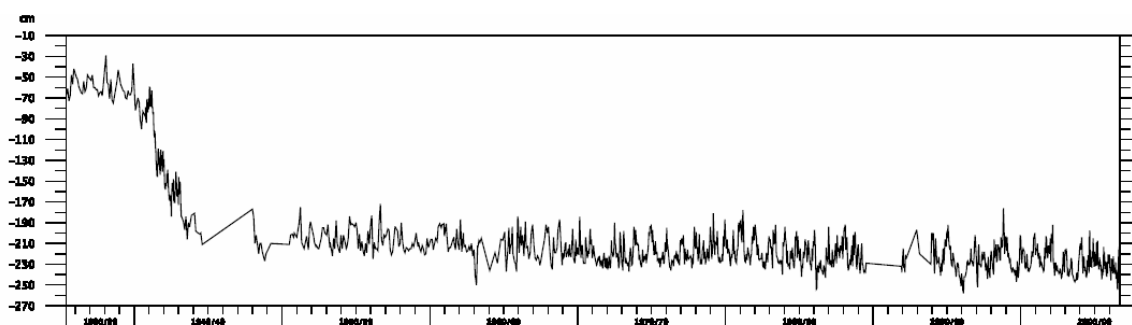


Figuur 3.5: Voorbeeld van de continue daling van de stijghoogte onder de Boomse Klei (filter 04). De peilbuis ligt bij Broekhuizenenvorst, in de Venloslenk. De verticale as is in cm t.o.v. NAP en loopt hier van 0 cm tot 3.000 cm (30,0 m).

Andere belangrijke stijghoogteveranderingen

Enkele grote (waterhuishoudkundige) ingrepen gedurende de afgelopen 50 jaar hebben invloed gehad op grondwaterstand en stijghoogte. De belangrijkste zijn:

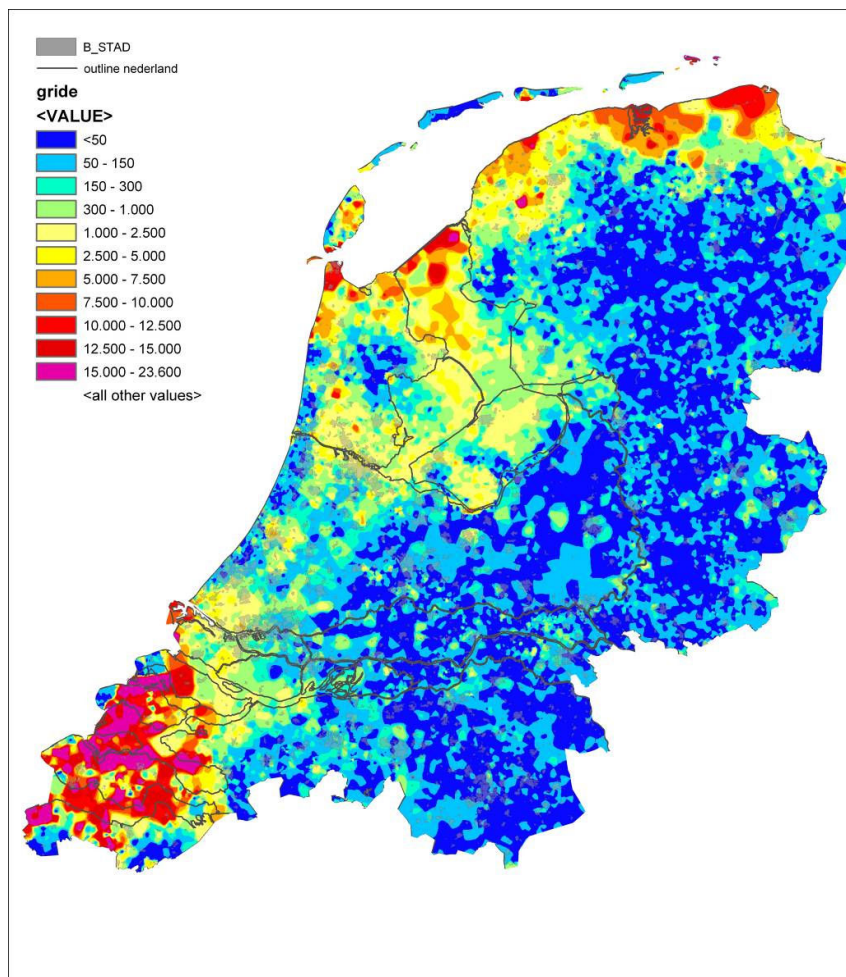
1. de grondwaterwinning in de duinen. Hierdoor daalde de grondwaterstand en stijghoogte in de omgeving van de duinen. In de jaren zestig werd gestart met de duininfiltratie waardoor een gedeeltelijk herstel optrad,
2. stopzetten brongaswinning. In west-Nederland, en vooral boven het Noordzeekanaal, werd met behulp van tienduizenden installaties brongas gewonnen. Dit vond plaats onder de Holocene deklaag. Onder invloed van de WVO zijn deze winningen grotendeels gesloten. Op veel plaatsen is deze sluiting duidelijk zichtbaar als een toename in de stijghoogte,
3. de inpoldering van de Noordoost- en Flevopolders heeft een grote invloed gehad op de stijghoogte onder het 'oude' land. Op de Veluwe is de stijghoogte nog steeds niet gestabiliseerd. Figuur 3.6 toont een voorbeeld van de stijghoogtedaling in Overijssel als gevolg van de aanleg van de Noordoostpolder. Als gevolg van deze daling is veel schade ontstaan: maaiveld daling en schade aan funderingen. Door de aanleg van randmeren is dit effect na de aanleg van de Flevopolders minder.



Figuur 3.6: Verloop stijghoogte in Overijssel aan de rand van de Flevopolder (noot: eerste tijdvak op de horizontale as is 1933-1939, laatste vak 2000-2006). Duidelijk is de stijghoogtedaling door de aanleg van de Noordoostpolder te zien. De verticale as is in cm t.o.v. NAP en loopt hier van -270 cm (-2,7 m) tot -10 cm (-0,1 m).

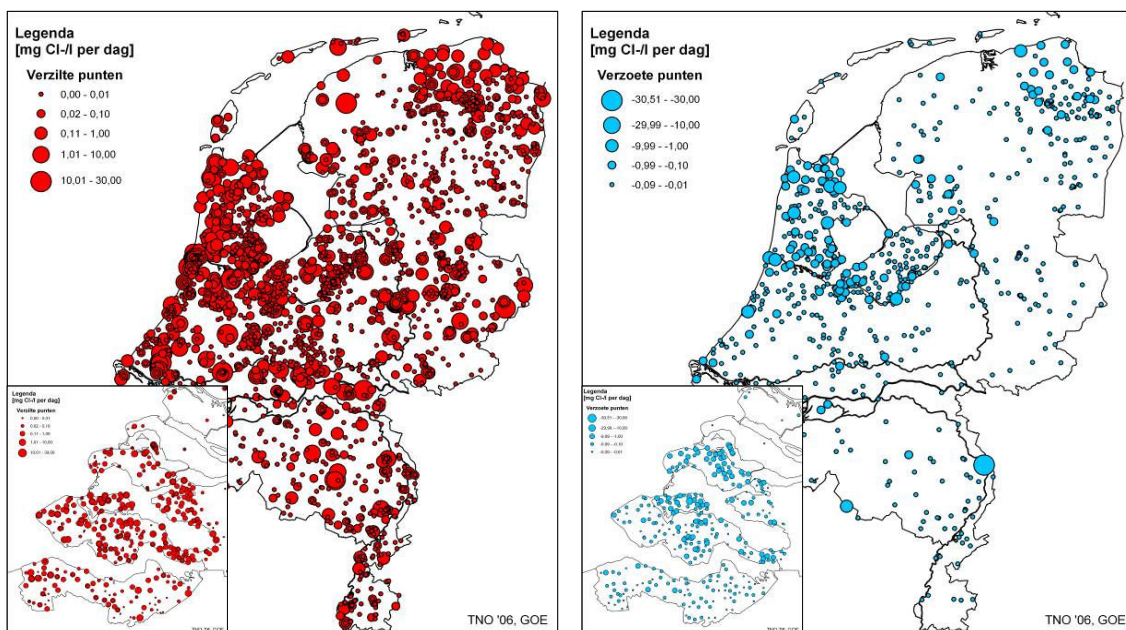
3.2 Veranderingen verdeling zoet en zout grondwater

Het grondwater in het topsysteem van het Nederlandse kustgebied is vaak brak tot zout (figuur 3.7).



Figuur 3.7: Chlorideconcentratie ter plaatse van de onderkant van de deklaag, gebaseerd op chloridemonsters, VES-metingen en boorgatmetingen (Oude Essink et al., 2004).

De verzoetings- en verziltingspatronen in het Nederlandse grondwatersysteem zijn gevarieerd en complex. Over het algemeen blijkt dat vooral in het kustgebied (inclusief het IJsselmeergebied) zowel sterke verzilting als verzoeting optreedt (figuur 3.8). Nadere analyse van de chlorideconcentratie-analyses leert ons verder dat gedurende de afgelopen vijftig jaar in de kustprovincies een sterke verzilting van het regionale grondwatersysteem heeft plaatsgevonden.



Figuur 3.8: Overzicht van de locaties van observatiebuizen in Nederland (en de Provincie Zeeland in detail) waar de chlorideconcentratie minimaal twee keer is gemeten. Zowel verzilting (toename chlorideconcentratie als een functie van de tijd) als verzoeting van het grondwater treedt op. Bron: DINO Qua.

3.2.1 De huidige verzilting in Nederland

Het detecteren van de locaties waar het grondwater in Nederland op dit moment verzilt is niet eenvoudig te bepalen. De complexe geologie van met name het topsysteem zorgt ervoor dat de zoet-zout verdeling ruimtelijk sterk varieert. Het verziltingsproces speelt zich af onder de grond, waarbij chlorideconcentratiemetingen ons van informatie voorzien. Deze tijdreeksen van de chlorideconcentratie dienen lang genoeg te zijn, aangezien grondwaterstroming en verzilting trage processen zijn. Helaas zijn er niet veel lange tijdreeksen in Nederland in de gebieden waar zoet, brak en zout grondwater aanwezig zijn. Metingen in het brakke of zoute grondwater dienden immers geen economisch belang; onder drinkwateronttrekkingspunten in de duingebieden had men alleen interesse in het zoete deel van het watervoerend pakket.

Verzilting gaat vaak samen met verdroging. In droge periodes wordt in veel gebieden langs de kust niet beregend met het sloot-, polder- of boezemwater omdat het te zout is, zodat vervolgens op de landbouwpercelen droogteschade wordt geconstateerd, terwijl er anders zoutschade zou zijn opgetreden. Verder is het oppervlaktewater in grote delen langs de kust al zodanig verzilt dat geen berekening met oppervlaktewater (meer) plaatsvindt. Toch is zout water in de wortelzone geen grootschalig probleem, terwijl er lokaal wel sprake kan zijn van verzilting.

In de volgende gebieden zijn knelpunten op het gebied van verzilting te melden.

- Zeeland

In Zeeland zijn veel percelen, vooral de laaggelegen poelgronden, zo verzilt dat intensieve teelt niet meer mogelijk is (Beenhakker, 2002). Naast het gebruiken van deze verzilte percelen voor weidebouw worden deze percelen ook vaak opgekocht en omgezet naar brak natuurgebied.

Men heeft in Zeeland de mentaliteit dat verzilting er altijd al is geweest, dat verzilting onlosmakelijk met Zeeland is verbonden en dat de inwoners er mee hebben te leren leven (zie bijvoorbeeld Koot et al., 2006).

- West-Nederland

In het Hoogheemraadschap van Rijnland is verziltingsbestrijding, nu en in de toekomst, één van de belangrijkste aandachtspunten in het beheersgebied (Kiwa, 2005). Volgens het hoogheemraadschap is 60% van de verzilting van het oppervlaktewater te wijten aan zoute kwel en in de toekomst wordt dit meer (schatting 70-80% in 2050). De vracht vanuit de zoute kwelpolders neemt toe, ongeveer evenredig met het debiet. Dit is aantoonbaar zowel in de Haarlemmermeerpolder als de Noordplaspolder. Vooral rond Goeree Overflakkee is de schommeling van de chlorideconcentratie groot (Droogtestudie, 2003). In het noorden van Goeree Overflakkee wordt gezocht naar locaties om zoet water op te slaan. Deze voorraden kunnen gebruikt worden bij een te hoge zoutconcentratie in het gebied. Op dit moment worden de watergangen doorgespoeld met zoet water, om ervoor te zorgen dat de chlorideconcentratie niet boven de 200 mg/l komt. Toch treden er in de huidige situatie af en toe problemen op met betrekking tot doorspoelen. In geval van extreme droogte kan in Schieland een beregeningsverbod worden ingesteld. Zo is in de droge zomer van 2003 vanwege de lage Rijnaflow het inlaatpunt van het waterschap Rijnland bij Gouda verzilt door indringen van zout water vanuit de zee. Bij herhaling zou dit structurele gevolgen kunnen hebben voor het boomkwekerijgebied van Boskoop en omgeving.

- Texel

Op grote delen van Texel is zoute kwel aanwezig. Hierdoor is het oppervlaktewater in veel gevallen brak, of soms zelfs zout. Het ondiepe grondwater is echter in het algemeen zoet. De neerslag die ter plaatse van het perceel valt, vormt een 'zoetwaterlens' op het zoute grondwater.

Zoutschade in de akkerbouw door brak grondwater kwam in het verleden regelmatig voor maar is momenteel van marginaal belang omdat het grondwaterpeil is verlaagd (Provincie Noord-Holland, 2002).

- Flevopolders

De chlorideconcentratie is in het oppervlaktewater van Flevoland van nature veel hoger dan de wettelijke norm van 200 mg/l (Waterschap Zuiderzeeland). Deze hoge concentratie wordt veroorzaakt doordat het grondwater in Flevoland veel chloride bevat; voor 1930 heerste hier immers de zoute Zuiderzee. Lokaal zijn er grote verschillen. Daarnaast is de chlorideconcentratie seizoensafhankelijk, met de hoogste waarden in de zomer. In Flevoland zijn de meeste wateren licht brak, met een gemiddeld chloridegehalte van 333 mg/l.

3.2.2 Oorzaken verzilting

Aan de verzilting liggen de volgende twee dominante oorzaken ten grondslag.

1. Toename van het peilverschil tussen zeeniveau en maaiveld gedurende de afgelopen eeuwen

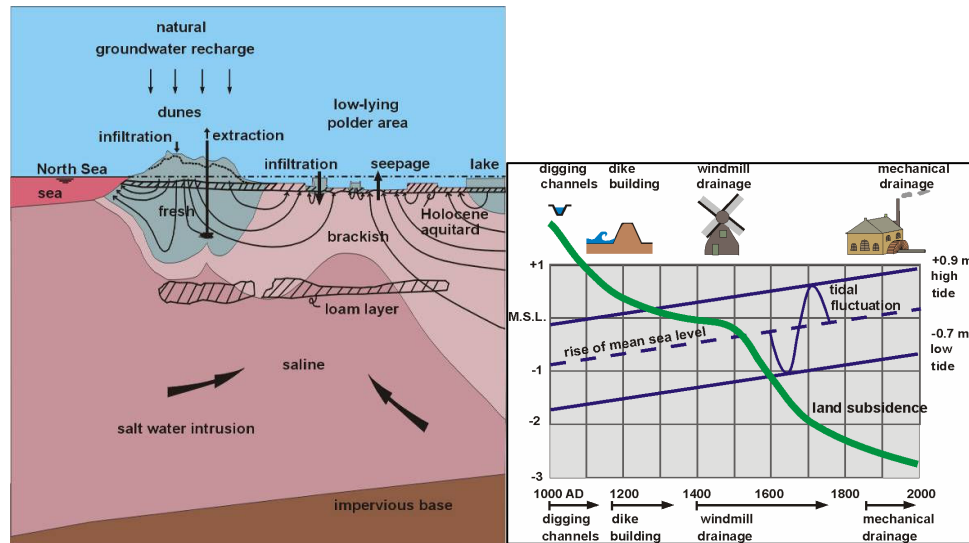
Het grote peilverschil van minimaal enkele meters tussen het zeeniveau en het achterliggende polderland heeft tot gevolg dat zeewater de watervoerende pakketten binnendringt in een, in grondwatertermen, relatief hoog tempo en dat zout grondwater

opwelt vanuit diepe (mariene) watervoerende pakketten (figuur 3.9a). Door de verlaging van het waterpeil als gevolg van de daling van het landoppervlak begon het grondwater tussen de verschillende poldergebieden, elk met een eigen gecontroleerd polderpeil lager dan het gemiddeld zeeniveau, sneller te stromen. Kwelwater in de centrale delen van de diepe polders gaat in het kustgebied vaak vergezeld met een brakke compositie. Daarnaast vindt infiltratie van oppervlaktewater plaats in het duingebied en de ondiepe zoetwatermeren. De autonome verzilting van de ondergrond is een omvangrijk, langzaam en nauwelijks omkeerbaar proces. Dit proces is al vele eeuwen aan de gang en wordt veroorzaakt door de continue daling van het waterpeil en daaraan gelieerd het maaiveld. Natuurlijke ontwikkelingen en antropogene activiteiten liggen hieraan ten grondslag. Vooral de aanleg van de laaggelegen droogmakerijen vanaf het begin van de Gouden (17^e) Eeuw heeft gedurende de afgelopen eeuwen een sterke toestroming van zout grondwater veroorzaakt. Deze ontwikkelingen in het verleden hebben nog steeds invloed op de verdeling van zoet, brak en zout grondwater. Zelfs bij een constant peilverschil zal het autonome verziltingproces nog een aantal eeuwen duren.

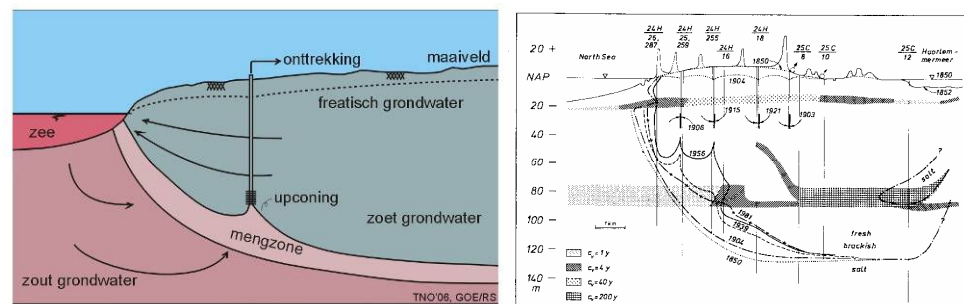
De afgelopen eeuwen is het verschil in zeeniveau en gemiddelde grondwaterstand in de poldergebieden toegenomen (figuur 3.9b). Zoutwater intrusie vanuit de Noordzee lijkt te zijn toegenomen in het kustgebied; immers, de invloed van de nabijgelegen zee is hier groot, het zoutgehalte in het grondwater is relatief hoog en dit deel van Nederland ligt voor het merendeel onder zeeniveau.

2. Toename van grondwateronttrekkingen

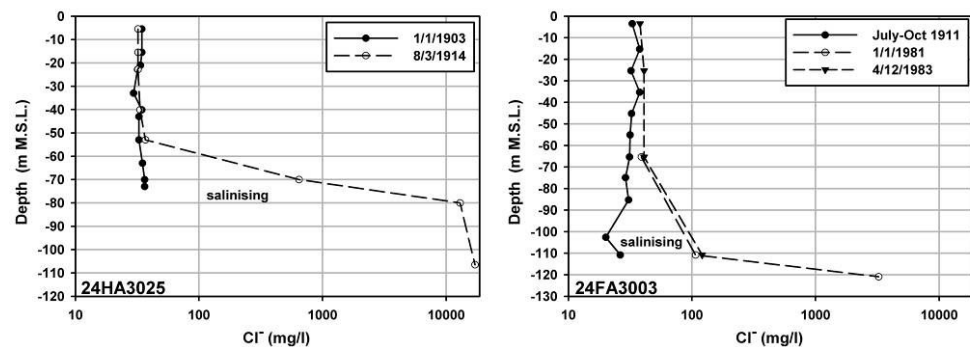
De bevolkingsgroei en de toename aan economische activiteiten heeft de afgelopen eeuw geleid tot een toename van grondwateronttrekkingen ten behoeve van de watervoorziening. Op vele locaties is het grensvlak tussen zoet en zout grondwater ter plaatse van de onttrekkingen meters omhoog gekomen (figuur 3.10a). Tot nu toe zijn reeds zo'n honderd pompstations wegens opkegeling gesloten, terwijl zo'n 20% van alle bestaande onttrekkingsvelden enige mate van verzilting ondervinden (Grakist *et al.*, 2002). Zo zijn in de jaren 1950 de zoete grondwatervoorraden in de zoetwaterlenzen in het Hollandse duingebied (DZH, Waternet, en PWN) flink afgenomen doordat er destijds grote hoeveelheden grondwater uit het eerste watervoerend pakket werd onttrokken (Roebert, 1993; Stuyfzand, 1993). Eind jaren '50 was in het duingebied tussen Katwijk aan Zee en Zandvoort het onttrekkingsdebiet uit het eerste watervoerend pakket zo'n 18 miljoen m³, terwijl het debiet vanaf de jaren '60 flink is verminderd. Sindsdien is men overgeschakeld op kunstmatige infiltratie in het freatisch watervoerend pakket vanuit waterplassen. Grondwater werd vervolgens nauwelijks meer onttrokken uit het eerste watervoerend pakket. Het omhooggekomen brakke en zout grondwater kon langzaam naar zeker weer wegzakken. In het duingebied nabij Zandvoort verplaatst het zoete grondwater zich tevens in oostelijke richting naar de diepgelegen Haarlemmermeerpolder (figuur 3.10b).



Figuur 3.9a: Schematisatie van de ondergrond in het Nederlandse kustgebied. Zoutwaterinrusie, oftewel het binnendringen en omhoog komen van zout grondwater in het grondwatersysteem, vindt op regionale schaal plaats doordat het gemiddeld polderpeil enkele meters lager ligt dan het gemiddeld zeeniveau; 3.9b: Schets van de continue daling van het maaiveld en stijging van de zeespiegel gedurende de afgelopen 1000 jaar; lag 1000 jaar geleden het maaiveld nog gemiddeld 2,5 m boven het zeeniveau, momenteel ligt het land 2,5 m onder het zeeniveau (bron: G.P. van der Ven, 1993).



Figuur 3.10a: Schematisatie van het opkegelen (upconing) van brak grondwater onder een onttrekking in de duinen in het kustgebied; 3.10b. Verandering in de positie van het brak-zout grensvlak in een geschematiseerd profiel over de duinen van Waternet ten zuiden van Zandvoort aan Zee (Stuyfzand, 1993).



Figuur 3.11: Verandering in de chlorideconcentratie in twee observatiebuizen in het duingebied van Waternet: het grondwater in het duingebied is verzilt.

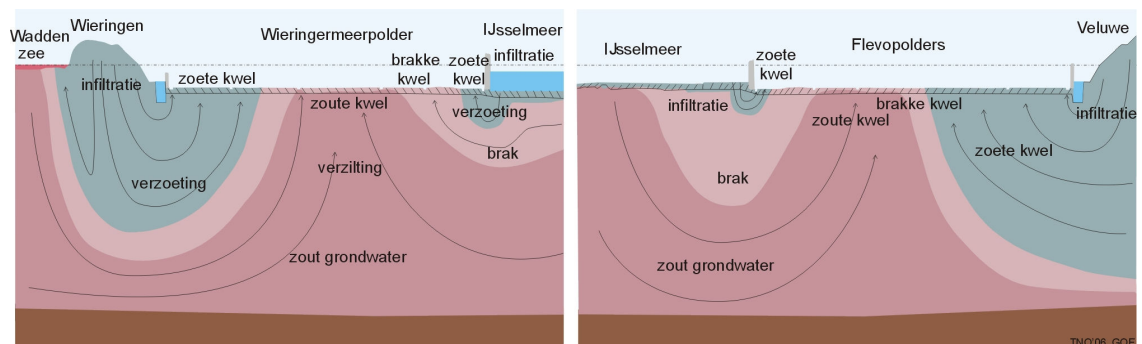
Op lokale schaal geven topografische verschillen door inpolderingen en afgravingen in het kustgebied bovendien aanleiding tot grote grondwaterstromingen en daarbij grote verplaatsingen van zoet, brak en zout grondwater, zoals hieronder toegelicht.

Inpolderingen in het kustgebied

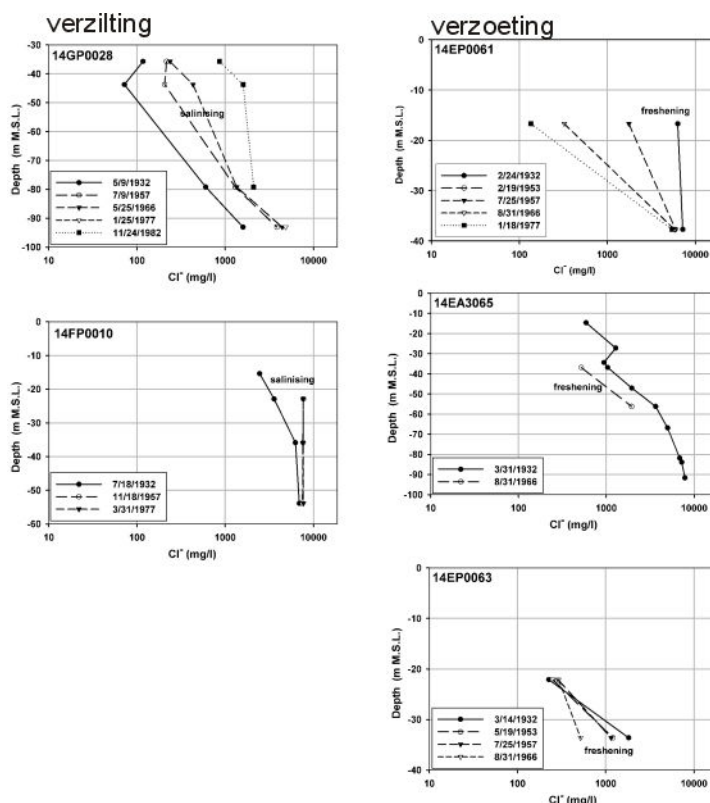
De drooglegging van de verschillende poldergebieden in het kustgebied heeft de verzilting en verzoeting op lokale schaal versneld. Zo is ter plaatse van de overgang van hooggelegen gebieden (zoals waterplassen) en laaggelegen gebieden (zoals diepe polders) verzoeting van het grondwatersysteem opgetreden. In het centrale deel van de polder vindt vaak verzilting plaats.

Een bijzonder mooi voorbeeld is de Wieringermeerpolder (figuur 3.12, links). De hoogte van de polder varieert tussen de 6 meter onder NAP. in het zuidoosten tot 1 meter boven NAP. op de terp bij Wieringerwerf (met uitzondering van de dijken). Dit voormalige deel van de zoute Zuiderzee is in 1930 drooggelegd. De polder trekt door de lage stijghoogte diep grondwater aan, waardoor veel kwel optreedt. Langs de grens tussen de diepe polder en het hooggelegen oude eiland Wieringen treedt verzoeting op. Het centrale deel van deze diepe polder verzilt. Chlorideconcentratiereeksen onderschrijven bovenstaande processen (figuur 3.13).

Een ander voorbeeld is de stroming van zoet grondwater vanuit de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug naar de diepe Flevopolders (figuur 3.12, rechts). In dit gebied welt zout grondwater aan de noordelijke zijde van de polders sterk op. In de zone tussen de relatief hooggelegen IJsselmeer en de laaggelegen Flevopolders is een soort dijkkwel aanwezig van zoet grondwater: hier treedt dus verzoeting op.



Figuur 3.12: Verzoeting en verzilting van het grondwatersysteem in de Wieringermeerpolder (links) en de Flevopolder (rechts). Door het abrupt creëren van een stijghoogteverschil is het grondwater hard gaan stromen, met als gevolg verzoeting en verzilting van het grondwatersysteem.



Figuur 3.13: Verzoeting en verziltig van het grondwatersysteem in de Wieringermeerpolder. In deze peilbuizen zijn beide processen na de aanleg van de Wieringermeerpolder in beeld gebracht.

Afgravingen in het kustgebied

Vanaf het midden van de 19^e eeuw is langs de binnenduinrand van Zuid- en Noord-Holland over vele honderden meters tot enkele kilometers, tot vele meters diep, op grote schaal zand afgegraven. Er is een zodanig nieuwe waterhuishoudkundige toestand met lagere grondwaterstanden ontstaan dat het zoete grondwater uit de duinwaterlenzen in een versneld tempo richting deze lager gelegen gebieden is gaan stromen. De zoet-zout verdeling is hierdoor in sterke mate veranderd, maar is veel sterker door de aanleg van droogmakingen dan het Haarlemmermeer.

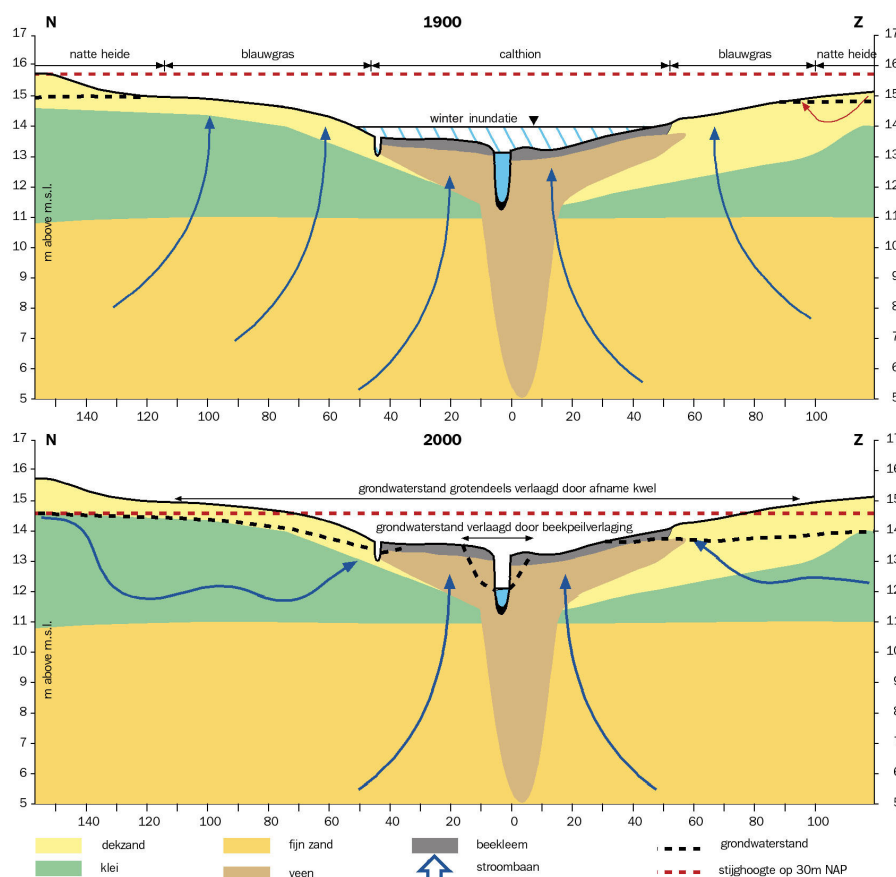
3.3 Veranderingen stromingssysteem (kwel) en relatie grondwater-oppervlaktewater

3.3.1 Hoog Nederland

Als gevolg van de landbouwoptimalisatie en het ontstaan van een intensief drainagesysteem, in combinatie met een verbetering van de afwatering, wordt ondiep grondwater versneld afgevoerd waarbij het benedenstrooms tot overstromingen kan leiden. Dit water kan nu niet meer bovenstrooms worden geborgen (natte heide, vennen, maar ook in beekdalen) en het grondwater aanvullen. Mede hierdoor is de stijghoogte afgenomen. Deze stijghoogte is daarnaast gedaald door grondwaterwinning. In het Merkske stroomgebied is deze daling over beide oorzaken 50-50% verdeeld. Als gevolg van de stijghoogtedaling is kwel afgenomen. Omdat veel beken zijn uitgediept en beekpeilen zijn verlaagd, stroomt dit kwelwater voor een groot deel direct in de bodem van de beek en beïnvloedt het niet het beekdal. Er bestaan veel beken waar nog alleen (schoon) kwelwater direct de waterloop instroomt en zich daar vermengt met

(vuil) water. Dit proces in combinatie met het verdwijnen van winterinundaties heeft de natuurlijke milieuomstandigheden voor beekdalvegetaties zeer nadelig veranderd. Als gevolg van het wegvallen van de kwel en inundaties zijn regenwaterlenzen ontstaan en zijn de standplaatsen droger en zuurder geworden.

Door deze intensieve ontwatering liggen de kleinere waterlopen (greppels, sloten, bovenlopen) van het oppervlaktewatersysteem in de zomer langdurig droog, terwijl de hoofdwaterlopen (beken) zeer weinig water afvoeren en zeer lage peilen bezitten. Uitzonderingen zijn beken die worden gevoed met RWZI-water of wateraanvoer hebben en beken waarin stuwen aanwezig zijn.



Figuur 3.14: Verandering van het watersysteem rond een beekdal. Kwel stroomt vaak direct in de bodem van de waterloop omdat zowel de stijghoogte als het beekpeil zijn verlaagd.

3.3.2 Laag-Nederland

In het (landelijk) poldergebied is de afgelopen 50 jaar het peilbeheer door betere gemalen en verbetering van de afwatering geoptimaliseerd. Dit heeft geresulteerd in geringere peilfluctuaties (oppervlaktewater). Voor de natuur in boezemlanden en veenweidegebieden heeft dit als nadelig gevolg dat zuurdere standplaatsomstandigheden zijn ontstaan. De vroegere inundaties zorgden voor een buffering van de wortelzone. Op veel locaties is tijdens ruilverkaveling geprobeerd natuurgebieden nat te houden waardoor een soort van 'tuintpotnatuur' is ontstaan. In de landbouwgebieden rond deze 'tuintpotten' zijn de peilen verlaagd. Het gevolg is dat in de zomer vaak vervuild oppervlaktewater vanuit de landbouwgebieden naar de natuur moet worden aangevoerd om het waterpeil te handhaven. In kwelgebieden komt het

daarnaast vaak voor dat in de natuurgebieden geen kwel meer is omdat deze kwel naar de landbouwgebieden met het alge waterpeil stroomt. Daar wordt de schone (calciumrijke) kwel vermengd met vervuild drainagewater waarbij vervuild mengwater overblijft.

Het veenweidegebied is in deze 50 jaar gemiddeld 50 cm gedaald³. In veel gevallen zijn de veenweidegebieden infiltratiegebieden omdat zij worden omringd door droogmakerijen (kwel).

Typerend voor het oppervlaktegrondwater relatie in het poldergebied is het verschijnsel dat de grondwaterstand in de winter een bol verloop kent en deze in de zomer hol is. Door verbeterde drainage is de bolle grondwaterstand verlaagd en zakt in de zomer de holle grondwaterstand dieper uit.

3.4 Gevolgen veranderingen grondwatersysteem vanaf 1950

3.4.1 *Verdroging grondwaterafhankelijke natuur*

Nederland wordt weliswaar gekenmerkt door veel water, maar toch komt er op een aantal plaatsen verdroging voor. Volgens een definitie van de overheid kunnen alleen natuurgebieden verdrogen (V&W, 1994): *'Een natuurgebied wordt als verdroogd aangemerkt als de hoeveelheid beschikbaar grondwater van de juiste kwaliteit onvoldoende is om de natuurwaarden te garanderen. Een gebied wordt ook als verdroogd aangemerkt als ter compensatie van een te lage grondwaterstand of een te geringe kweldruk water van een andere, gebiedsvreemde kwaliteit moet worden aangevoerd.'* Als een landbouwgebied een vochttekort vertoont is er geen sprake van verdroging, maar van droogteschade (zie hiervoor § 3.5.2).

*Effecten van verdroging*⁴

Nederland is de afgelopen 50 jaar een stuk droger geworden. In 1998 hebben de provincies vastgesteld dat er in Nederland ongeveer 600.000 ha verdroogd gebied is, oftewel ruim 17% van het totale landoppervlak. Dit heeft veel planten die afhankelijk zijn van de grondwaterstand en/of van specifieke kwelmilieus in grote problemen gebracht, of zelfs doen verdwijnen. Het betreft veelal voor Nederland karakteristieke planten van natte en vochtige standplaatsen. Ook dieren, bijvoorbeeld insecten die voor hun voortplanting zijn aangewezen op specifieke grondwater- en/of kwelafhankelijke plantensoorten, worden in hun voortbestaan bedreigd.

Om de verlaging van de grondwaterstand te compenseren wordt door waterbeheerders ook wel water van elders aangevoerd. Maar dit is doorgaans systeemvreemd water, dat meer meststoffen bevat dan het systeemeigen water, waardoor vervuiling van het aquatische ecosysteem kan optreden.

Oorzaken van verdroging

De geconstateerde verdroging blijkt vooral veroorzaakt door waterhuishoudkundige ingrepen, zoals ontwatering en versnelde afwatering (drainage), om te voldoen aan de

³ De term 'veenweide' houdt impliciet continue maaiveldaling in. Geen weide zonder ontwatering en ontwatering doet het maaiveld dalen.

⁴ Mede gebaseerd op: Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Oorzaken en effecten van verdroging, versie 03, 2 december 2003.

eisen die het grondgebruik stelt. In de meeste gevallen betrof het ingrepen om de landbouwproductie te bevorderen (zie ook § 4.1). Er is geschat dat de waterhuishoudkundige ingrepen verantwoordelijk zijn voor 60% van de verdroging van natuurgebieden (Beugelink et al., 1995). Bijna 20% wordt veroorzaakt door grondwateronttrekking voor de bereiding van drinkwater en 10% door grondwateronttrekking voor industriële doeleinden en voor beregening. De resterende 10% is bijgedragen door de toename van verhard oppervlak (minder infiltratie), bebossing (meer verdamping) en zandwinning. Overigens zal de geschatte bijdrage van 60% door waterhuishoudkundige ingrepen ook de bijdrage omvatten van de toegenomen verdamping door de productieverhoging van de landbouw.

Verdroging in hoog Nederland

In hoog Nederland is verdroging meestal het gevolg van te lage grondwaterstanden. In de overgangsgebieden van hoog naar laag Nederland is er doorgaans sprake van een te geringe kweldruk, waardoor de aanvoer van calciumrijk grondwater (sterk) is verminderd. Door de lange verblijftijd in de ondergrond (soms wel langer dan 100 jaar) lossen uit de zandlagen waar het water door stroomt bepaalde stoffen op, zoals calcium en ijzer. Waar dit water als kwel weer aan het maaiveld komt, ontstaan derhalve zeer specifieke omstandigheden, met voor die situatie kenmerkende plantensoorten. Het wegvallen van de kwel leidt ertoe, dat deze plantengemeenschappen onder zware druk staan. De kwel kan wegvallen door toename van de grondwaterwinning en door versnelde afwatering, waardoor de kwel het maaiveld niet meer kan bereiken.

Verdroging in laag Nederland

In het lagere, westelijke deel van Nederland, met uitzondering van de duinen, speelt de verlaging van de grondwaterstand een ondergeschikte rol als oorzaak van de verdroging. Hier is vooral de aanvoer van systeemvreemd water ter regulering van het waterpeil en de waterkwaliteit de belangrijkste oorzaak van verdroging. Dit komt onder andere door de brakke kwel (verzilting) in de laaggelegen polders, die problemen veroorzaakt voor het agrarisch gebruik. Verder verliest de moerasnatuur in laag Nederland steeds meer gebiedseigen water door de maaiveldddaling van het omringende veenweidegebied.

Verdroging in het duingebied⁵

In de duinen is verdroging opgetreden door verlaging van de grondwaterstand als gevolg van de drinkwaterwinning en door de aanvoer van gebiedsvreemd water - voorgezuiverd water uit de Rijn en het IJsselmeer.

De winning van drinkwater uit de duinen is begonnen in de tweede helft van de negentiende eeuw. Door de dalende grondwaterstand zijn de vegetaties en bijbehorende plantensoorten van veel oorspronkelijk vochtige duinvalleien verdwenen. Ook de aanleg van bossen in de duinen droeg bij aan de verdroging door een grotere verdamping. Om de tekorten aan grondwater aan te vullen, is in 1940 voor het eerst water van elders aangevoerd voor oppervlakte-infiltratie. Het duingebied Berkheide bij Katwijk is als eerste geïnfiltreerd met boezemwater. Andere gebieden zijn later met rivierwater geïnfiltreerd. Rond 1960 heeft deze methode op grote schaal ingang gevonden. Deze oppervlakte-infiltratie leidde plaatselijk tot het vochtig worden van de duinen, maar had ook eutrofiëring en verontreiniging van deze van oorsprong voedselarme gebieden tot gevolg. Deze negatieve beïnvloeding is echter al flink

⁵ Mede gebaseerd op: Webmagazine CBS, versie maandag 23 januari 2006.

teruggedrongen, sinds door het Infiltratiebesluit Bodembescherming uit 1993 de voorzuivering is toegenomen.

De duinwaterleidingbedrijven hebben vanaf 1995 speciale maatregelen tegen de verdroging in de duingebieden genomen, zoals vermindering van de winning, het afgraven van duingedeelten tot op het niveau van het grondwater en het dempen van onttrekkingskanalen en infiltratieplassen. In duingebieden waar dergelijke anti-verdrogingsmaatregelen zijn genomen, is het aandeel plantensoorten dat kenmerkend is voor vochtige duinvalleien toegenomen. Dankzij de recente gemiddeld nattere jaren is ook in de gebieden waar geen herstelmaatregelen zijn genomen het aantal plantensoorten van vochtige duinen toegenomen, zij het in mindere mate.

De drinkwaterbedrijven voeren inmiddels – al dan niet in samenwerking met provincies, waterschappen en natuurbeheerders – ook projecten uit rond een aantal grondwaterwinplaatsen om verdroging tegen te gaan met waterhuishoudkundige maatregelen. Dit is namelijk vaak goedkoper dan het sluiten van grondwaterwinningen.

3.4.2 *Grondwaterproblemen stedelijk gebied*

De laatste decennia van de 20^e eeuw ontstonden veel grondwaterproblemen in de stedelijke omgeving. Deze kunnen als volgt worden onderverdeeld:

1. wateroverlast (te hoge grondwaterstanden)
 - a. maaiveldddaling: vooral in laag Nederland hangt wateroverlast vaak samen met de daling van het maaiveld door klink en zetting. In feite blijft de grondwaterstand hetzelfde, maar neemt de ‘ontwateringsdiepte’⁶ door de maaiveldddaling af,
 - b. onzorgvuldig bouw- en woonrijp maken: de afgelopen decennia werd het noodzakelijk om uitbreidingen van het stedelijke gebied ook in de van oudsher nattere gronden te zoeken. Vooral in het westen van Nederland maken deze uitbreidingen een goed ontwerp (geotechnisch, hydrologisch) noodzakelijk. Dat dergelijke ontwerpen niet eenvoudig zijn, bewijst het feit dat veel recent gereed gekomen VINEX-wijken al lijden aan wateroverlast,
 - c. onzorgvuldig aanbrengen van ‘verticale drainage’: Verticale drainage is een beproefd concept om de consolidatie tijdens ‘bouwrijp maken’ te versnellen. In het algemeen wordt hierbij op zeer korte afstand (interval 1-3 meter), vaak meer dan 10 meter lange, drainagebuizen verticaal aangebracht. Hierbij is het de bedoeling dat geen contact wordt gemaakt met het spanningswaterpakket onder de Holocene deklaag. Daarom wordt getracht niet het zogenaamde ‘Basisveen’ te doorboeren. Op plaatsen waar de top van het Pleistoceen reliëfrijk is, of het Basisveen afwezig was, heeft wel kortsluitingsstroming (kwel) via deze drainagebuizen kunnen ontstaan. Ook bij de aanleg van (snel-)wegen in West-Nederland wordt verticale drainage toegepast en is als gevolg hiervan de deklaag geperforeerd,
 - d. slecht onderhoud drainage: zowel bij nieuwbouw als in bestaand stedelijk gebied is regelmatig gebruik gemaakt van drainage. In veel gevallen is weinig bekend over de ligging van deze drainagesystemen, laat staan dat deze drainagesystemen worden onderhouden. Verstopping of schade (o.a. bij aanleg leidingen en kabels) leidt snel tot wateroverlast,

⁶ Ontwateringsdiepte is de afstand tussen het maaiveld en de grondwaterstand.

- e. stop zetten of vermindering grondwaterwinning: in veel steden is de industriële grondwaterwinning afgenomen waardoor wateroverlast is ontstaan (bijvoorbeeld Enschede, Eindhoven, Bloemendaal). Hier liggen verschillende mechanismen aan ten grondslag:
 - i. tijdens de uitbreiding van stedelijk gebied is alleen rekening gehouden met de bestaande grondwatersituatie en niet met de grondwatersituatie zoals hij er uit zou zien bij stopzetting van de grondwaterwinning,
 - ii. in bestaand stedelijk gebied vielen beken, vennen en waterlopen als gevolg van de grondwateronttrekking droog en werden vaak dichtgegooid. Bij sluiting van de winning stijgt de grondwaterstand tot boven de oorspronkelijke (historische) grondwaterstand door het ontbreken van deze drainage.
 - f. Rioolrenovatie: veel rioolsystemen zijn door verzakkingen beschadigd en daarbij grondwater gaan draineren. Hierbij is de grondwaterstand geleidelijk gedaald. Na herstel van het rioolsysteem zal de grondwaterstand weer stijgen (schatting: 30-50 cm). Vermoedelijk stijgt de grondwaterstand, zowel absoluut als relatief, tot boven de oorspronkelijke, omdat a.g.v. de verlaging zetting is opgetreden waarbij het maaiveld is gedaald en de weerstand is toegenomen (toename opbolling).
2. wateronderlast (te lage grondwaterstanden): verlaging van grondwaterstanden heeft tot enorme financiële schade geleid. Vooral paalrot heeft geleid tot schadegevallen per woning in de orde van 100.000 Euro. Een belangrijke oorzaak is riool lekkage. Andere oorzaken kunnen zijn:
- a. grondwateronttrekking,
 - b. peilverlaging van het oppervlaktewater,
 - c. verharding van het oppervlak waardoor de grondwateraanvulling afneemt,
 - d. (plaatselijk) toename verdamping,
 - e. het dichten van waterlopen,

3.4.3 *Landbouwkundige droogteschade*

Het verlagen van de grondwaterstand heeft ook geleid tot landbouwkundige droogteschade. Er is vanaf de jaren '70 een groot aantal schaderegelingen getroffen tussen landbouwers en grote grondwateronttrekkers – doorgaans drinkwaterbedrijven -, ter compensatie van de landbouwkundige opbrengstderving. Het aantal schaderegelingen is vanaf het midden van de jaren '90 echter aan het stabiliseren.⁷ Dit is te verklaren uit de afvlakking van het drinkwatergebruik vanaf de jaren '90 (zie § 7.1).

3.4.4 *Opbarsting*

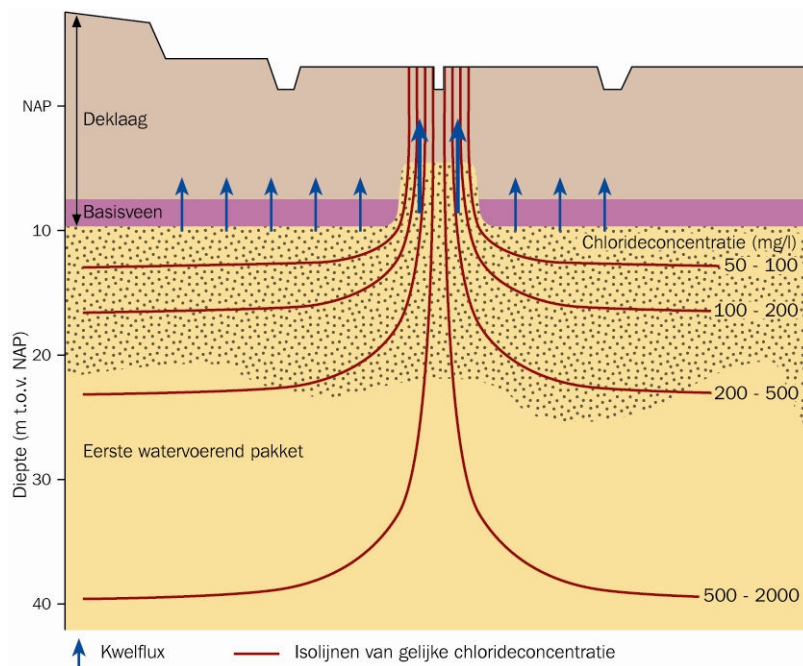
Opbarsting kan ontstaan als de (Holocene) deklaag niet meer bestand is tegen de waterdruk in het onderliggende watervoerende pakket. Tijdens dit opbarstingsproces scheurt de deklaag plaatselijk en ontstaat preferente, opwaarts gerichte grondwaterstroming. In het veld zijn deze vaak herkenbaar als wellen⁸. Veel wellen zijn in het verleden ontstaan bij het graven van sloten onder droge omstandigheden of tijdens de aanleg van beschoeiingen of andere activiteiten waarbij de deklaag (deels) geperforeerd werd.

⁷ Persoonlijke mededeling van Gerrit Bakker, medewerker van de Commissie Deskundigen Grondwaterwet.

⁸ Wellen kunnen ook een natuurlijker oorsprong hebben, namelijk op plaatsen waar de deklaag bestaat uit zandige geulopvullingen.

Recent onderzoek (De Louw et al., 200*) toont dat wellen op twee manieren een grote invloed op het watersysteem hebben:

1. de geconcentreerde opwaartse grondwaterstroming in wellen voert grondwater van relatief grote diepte aan (figuur 3.15). In West-Nederland is dit water meestal zout,
2. wellen zijn de belangrijkste verziltingsbron in droogmakerijen, ze leveren een veel grotere bijdrage dan diffuse kwel. Dit proces biedt ook kansen. Als wij in staat zijn wellen af te sluiten, kan de verzilting van het poldersysteem aanzienlijk worden teruggedrongen.



Figuur 3.15: Schematische weergave van geconcentreerde opwaartse grondwaterstroming in een wel, waarbij water van grote diepte wordt aangevoerd.

Er zijn veel recente gevallen bekend van opbarsting. Deze zijn alle veroorzaakt door besparing op hydrogeologisch vooronderzoek en onzorgvuldig handelen. Enkele voorbeelden zijn:

1. Getsewoud (Nieuw-Vennep): Tijdens nieuwbouw (VINEX) op één van de natste plaatsen in de Haarlemmermeer zijn sloten opgebarsten. De herstelkosten bedroegen tientallen miljoenen euro's,
2. Schiphollijn: bij de aanleg van de Schiphollijn is een wel ontstaan, vermoedelijk doordat de beschoeiing van spoorsloten door beweging van de spoorberm is gaan werken. Ter plaatse kunnen geen bomen op de spoordijk groeien als gevolg van verzilting,
3. Klapwijkse Polder (Pijnacker): Tijdens de aanleg van een bouwput voor een tunnel onder de spoorlijn is de bodem opgebarsten. Er was niet genoeg aandacht besteed aan het opbarstingsrisico. Omdat opbarsting nauwelijks valt te herstellen zijn de bouwplannen aangepast (hogere kosten).

3.4.5 Bodemdaling

De daling van de freatische grondwaterstand heeft in veen- en kleigebieden geleid tot daling van het maaiveld. Dit onderwerp komt in hoofdstuk 6 aan de orde.

3.5 Conclusies over veranderingen grondwatersysteem vanaf 1950

De belangrijkste veranderingen van het Nederlandse grondwatersysteem vanaf circa 1950 waren:

1. de freatische grondwaterstand is in grote delen van hoog Nederland verlaagd door waterhuishoudkundige ingrepen om de landbouwproductie te bevorderen. Op lokale schaal ontstonden er ook verlagingskegels door grondwateronttrekking voor de drink- en industriewatervoorziening. De verlagingen leidden in combinatie met punt 2 ondermeer tot verdroging van de natuur;
2. de diepe stijghoogte is in grote delen van hoog Nederland met gemiddeld 30 cm gedaald. Deze daling, die voor een groot deel al optrad van 1950 – 1970, werd vooral veroorzaakt door grondwateronttrekking voor de drink- en industriewatervoorziening;
3. in Zuid-Nederland komen diepe stijghoogteverlagingen voor van meters, deze worden veroorzaakt door grondwaterwinning en bemaling van bruinkoolmijnen in Duitsland;
4. vanaf het extreem droge jaar 1976 zijn er in de hooggelegen zandgebieden van Nederland ook zeer lokale en kortdurende diepe verlagingskegels van de stijghoogte, door agrarische grondwateronttrekkingen voor de beregening van landbouwgronden;
5. in het kustgebied en het IJsselmeergebied zijn zowel sterke verzilting als verzoeting van het grondwater opgetreden, terwijl in de kustprovincies vooral verzilting van het grondwater is opgetreden;
6. het stromingssysteem; door verdichting en verdieping van greppels en buisdrainage is de afwatering van ondiep grondwater versneld, waardoor meer afvoerpieken, een lagere basisafvoer en minder grondwatervoeding optreedt;
7. de belangrijkste veranderingen van het grondwatersysteem zijn veroorzaakt door: (1) intensivering en verbetering ont- en afwatering, (2) toename permanente grondwaterwinning, (3) toename gewasproductie, (4) winning bruinkool in Duitsland, (5) maaiveld daling, (6) riool lekkage- en herstel, (7) beregening, (8) sluiting grondwateronttrekkingen voor brongas, industrie en drinkwater, (9) aanleg NO-polder en Flevopolders en (10) de inpolderingen van de Gouden (17^e) Eeuw (langdurig na-ijleffect).

4 Ontwikkeling waterbeheer

Na de historische ontwikkelingen van het Nederlandse grondwatersysteem vanaf 1950, beschreven in het voorgaande hoofdstuk, worden in de nu volgende hoofdstukken 4 t/m 9 de historische en de mogelijke toekomstige ontwikkelingen van relevante invloedsfactoren van het grondwatersysteem geschetst.

We starten met het waterbeheer, aangezien dat mede de randvoorwaarden schept waarbinnen het grondwatersysteem zich kan ontwikkelen. Verder zagen we in het voorgaande hoofdstuk al dat deze factor – in de vorm van waterhuishoudkundige maatregelen – zo'n grote invloed heeft uitgeoefend op ons grondwatersysteem. De paragrafen 4.1 t/m 4.10 beschrijven de ontwikkelingen van het waterbeheer, aan de hand van een aantal onderdelen van dat beheer. Dit hoofdstuk sluit af met conclusies over de gevolgen van het waterbeheer voor het grondwatersysteem (§ 4.11).

In § 10.1 lichten we toe hoe we het waterbeheer hebben verdisconteerd bij het schetsen van het grondwatersysteem in 2050.

4.1 Verbeteren van de afwatering ten bate van de landbouw

Voor de Tweede Wereldoorlog lag het accent bij de Nederlandse landbouw op kleinschalige, arbeidsintensieve landbouw. Maar door de verdergaande industrialisering en internationale concurrentie werd het voortbestaan van deze bedrijven kwetsbaar. In de jaren '50 van de vorige eeuw was het devies dan ook intensivering, mechanisatie en schaalvergroting (Van den Bergh, 2004). In de jaren '50 en '60 van de vorige eeuw is bijvoorbeeld de Flevopolder ontwikkeld om tegemoet te komen aan de behoefte aan meer landbouwgrond. Doordat bij de eerdere aanleg van de Noordoostpolder grote problemen ontstonden met verlaagd grondwater van het naastgelegen vasteland, is de Flevopolder gescheiden gehouden van het vasteland door de Randmeren. De grond die door de aanleg van de Flevopolder beschikbaar kwam, is gebruikt om in andere delen van het land het aantal bedrijven te laten afnemen. De boeren konden ervoor kiezen om daar een bedrijf op te starten, zodat andere boeren konden uitbreiden.

In deze jaren was er op het al bestaande land behoefte om de productiviteit van de landbouw te verhogen. Dit vereiste meer ontwatering en een verbetering van de afwatering. Daartoe zijn vooral in de periode 1950 – 1980 veel waterhuishoudkundige ingrepen toegepast, waarbij ondermeer beken en rivieren zijn gekanaliseerd. De detailontwatering en de drainage werden sterk gericht op de landbouwbelangen. Pas na enige tijd werd duidelijk dat de versnelde afvoer van het water ook tot verdroging van natuurgebieden leidde. Bovendien bleek – vooral in de zomer van het extreem droge jaar 1976 - de hydrologische veerkracht van de landbouwgebieden om droge perioden te kunnen doorstaan sterk aangetast. Dat jaar kende dan ook een explosieve groei van het aantal agrarische beregeningsinstallaties (zie § 7.3). Deze eenzijdige benadering van het waterbeheer had dus grote nadelige neveneffecten. Hoewel de natuurbeschermingsorganisaties met name sinds de jaren '60 steeds meer aandacht vroegen voor de natuurbelangen, bleef de Ruilverkavelingswet lange tijd formeel gericht op de landbouwbelangen. Pas met de Landinrichtingswet in 1985 werd de doelstelling van de wet het behartigen van alle belangen in het landelijk gebied (Van den Bergh, 2004).

Later is in de Derde Nota Waterhuishouding (1989) het begrip ‘integraal waterbeheer’ geïntroduceerd, waarbij wordt uitgegaan van de samenhang in het hele watersysteem, met aandacht voor het oppervlaktewater en het grondwater en voor hun onderlinge relatie. Verder wordt er door de waterbeheerders veel meer rekening gehouden met de belangen van de verschillende grondgebruikers die er in hun beheersgebied zijn.

Inmiddels is er een trend om beken en rivieren weer meer ruimte te geven en te laten meanderen, zodat de waterkwaliteit kan verbeteren en er ook meer mogelijkheden voor waterberging ontstaan.

4.2 Beheer van het zoete oppervlaktewater

De Watersnoodramp van 1953 heeft geleid tot de Deltawet, die de basis heeft gelegd voor de Stormvloedkeringen. Hiermee is de verzoeting van het Haringvliet gerealiseerd.

De Tweede Nota Waterbeheer (NW2) is in 1985 verschenen en was deels gebaseerd op de PAWN-studie, die als gevolg van de extreme droogte in 1976 gestart is. De belangrijkste fysieke gevolgen van deze nota waren de aanleg van stuwen in de grote rivieren en het verdelen van rivierafvoeren over de verschillende riviertakken om daarmee het IJsselmeer gericht te kunnen voeden. Tevens is later besloten tot de aanleg van de Kleinschalige Wateraanvoer (KWA) richting Rijnland en van de Brielse-Meer-leiding richting Delfland.

In zowel de Derde als de Vierde Nota Waterbeheer (respectievelijk 1989 en 1998) is de verdringingsreeks droogte opgenomen (zie hieronder). Deze stelt de prioriteiten indien er een groot tekort is aan zoet water is gedurende de zomer. Peilhandhaving in veen- en natuurgebieden kent daarmee een hoge prioriteit in tegenstelling tot bijvoorbeeld de landbouwgebieden. Waterschappen hebben de mogelijkheid om op basis van de ‘Keur’ een (nood)verordening op te stellen waarin beregning aan banden gelegd kan worden.

Verdringingsreeks droogte⁹

- 1 Veiligheid en voorkomen van onomkeerbare schade
 - Stabiliteit van waterkeringen
 - Klink en zettingen (veen en hoogveen)
 - Natuur (geboden aan bodemgesteldheid)
- 2 Nutsvoorzieningen
 - Drinkwatervoorziening
 - Energievoorziening
- 3 Kleinschalig hoogwaardig gebruik
 - Tijdelijke beregning kapitaalintensieve gewassen
 - Proceswater
- 4 Overige belangen (economische afweging)
 - Scheepvaart
 - Landbouw
 - Natuur (zolang geen onomkeerbare schade optreedt)
 - Industrie
 - Waterrecreatie
 - Binnenvisserij

⁹ Staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat, Evaluatienota waterbeheer aanhoudende droogte 2003. Brief aan de Tweede Kamer der Staten Generaal, 29 april 2004

Binnen de categorieën 1 en 2 is sprake van een prioriteitsvolgorde. Binnen de categorieën 3 en 4 vindt onderlinge prioritering plaats op basis van minimalisatie van de economische maatschappelijke schade.

4.3 Verdrogingsbestrijding

De verdrogingsbestrijding is een beleidswijziging die veel invloed heeft gehad op het grondwater en het grondwaterbeheer. Nadat in de jaren '70 van de vorige eeuw geconstateerd werd dat de natuur verdroogde, is er in 1985 beleid geformuleerd om dit tegen te gaan. De overheidsdoelstelling om in 2000 het verdroogde gebied met 25% procent terug te brengen, is lang niet gehaald – er was toen nog slechts 3% hersteld. In het Nationaal Milieuplan 3 (1997) heeft de overheid als doelstelling geformuleerd om in 2010 40% van het areaal verdroogd natuurgebied – zoals vastgesteld in 1985¹⁰ – volledig hersteld te hebben, maar ook deze doelstelling zal lang niet gehaald worden. De Taskforce Verdroging (bestaande uit vertegenwoordigers van overheidslagen, drinkwatersector en terreinbeheerders) heeft in mei 2006 een advies uitgebracht om de stagnerende verdrogingsbestrijding een nieuwe impuls te geven. De aanbevelingen uit dit advies zijn op hoofdlijnen:

- Een sterkere aansturing en regie
- Realistische doelen
- Doelgericht toepassen van instrumenten
- Geconcentreerde inzet van middelen en mensen

De verdroging is in eerste instantie voornamelijk bestreden door de grondwaterwinningen aan te pakken. Daartoe zijn in de Grondwaterwet een vergunningenstelsel en grondwaterheffing ingesteld op het winnen van grondwater, wat ertoe geleid heeft dat de drinkwaterproducenten en bedrijven zijn gaan zoeken naar alternatieven, zoals het gebruik van oppervlaktewater. In de duinen wordt nu bijvoorbeeld water geïnfiltreerd om in ieder geval de zoetwaterbel op peil te houden.

De (inmiddels opgeheven) Commissie Integraal waterbeheer (CIW) heeft voorgesteld om de doelen van de verdrogingsbestrijding beter hanteerbaar en afrekenbaar te maken door ze te koppelen aan de gebiedskenmerken GGOR, OGOR en AGOR:

- het OGOR is het Optimale Grond- en Oppervlaktewater Regime. Dit kan aan de hand van wetenschappelijke gegevens voor verschillende functies worden opgesteld (zoals voor natuur en landbouw);
- het GGOR is het Gewenste Grond- en Oppervlaktewater Regime. Het wordt vastgesteld op basis van een afweging van verschillende belangen in het betreffende gebied.
- het AGOR is het Actuele Grond- en Oppervlaktewater Regime. Het wordt bepaald op basis van metingen in het betreffende gebied, zonodig aangevuld met modelberekeningen.

De CIW beoogde de verdrogingsbestrijding integraal onderdeel te maken van het regionale waterbeheer door de doelen te koppelen aan deze gebiedskenmerken.

De bestrijding van verdroging door het beter bestemmen van natuur en omliggende functies ten opzichte van het natuurlijke watersysteem, is een langdurig en complex

¹⁰ Aangezien niet bekend is hoe groot het areaal verdroogd gebied in 1985 was, gaat men er nu van uit dat het gelijk is aan het areaal verdroogd gebied in 1994, het eerste jaar waarin een landsdekkende inventarisatie van verdroogde natuurgebieden is uitgevoerd.

spoor. Voornamelijk dit spoor moet de laatste jaren zorgen voor voortgang in de verdrogingsbestrijding, maar uit de Verdrogingskaart van Nederland blijkt dat dit stagneert.

4.4 Integratie van het waterbeleid

Begin jaren '90 is er een grote opschaling van de waterschappen in gang gezet. Dit heeft geleid tot een verdergaande professionalisering. De trend is dat waterschappen en gemeenten afspraken maken, waarna het waterschap het beheer van stedelijke watergangen overneemt. De gemeenten hebben steeds meer invloed op het beheer van het stedelijke grondwater en de zorgplicht voor inzameling van regen- en afvalwater gekregen. De Kaderrichtlijn Water en de bestrijding van wateroverlast vereisen een stroomgebiedsbenadering. Deze lijn van integratie van het waterbeleid is met onder andere de introductie van GGOR en de toekomstige waterwet doorgezet.

Hiermee wordt het concept integraal waterbeheer zoals dat ook in de Vierde Nota Waterhuishouding is opgenomen, vorm gegeven. Ten eerste een verdere integratie tussen grond- en oppervlaktewater. De afstemming met de ruimtelijke ordening en het milieubeleid én de organisatie eromheen zijn ook verbeterd.

DG Water heeft in juni 2006 hun nieuwe visie op het waterbeheer van de toekomst gepresenteerd in "Waterkoers 2". Zij hebben een trend geconstateerd van "beheren en keren" naar "anticiperen en meebewegen met water". Deze visie is niet alleen gericht op het inhoudelijke waterbeleid, maar vooral op welke rol en positie de overheid zou moeten innemen. De heersende ideeën van vanzelfsprekendheid van water en veiligheid tegen het water moeten aangepast worden en meer besef van de waarde van water en risico's die behoren bij het leven in een delta moet centraal staan. Het waterbeleid zal ook meer en meer vanuit Europa opgesteld gaan worden, mede in het kader van de stroomgebiedsbenadering. De (landelijke) overheid moet meer sturen met stimulerende kaders dan met gedetailleerde regels.

Waterkoers 2 (ministerie van Verkeer en Waterstaat)

In waterkoers 2 staat de volgende paradigmawisseling centraal: van keren en beheren naar anticiperen en meebewegen met water.

Uitgesplitst naar 5 thema's zijn de volgende paradigmawisselingen opgeschreven:

- Van water als vanzelfsprekendheid naar water als schaars goed
- Van ruimte stuurt water naar water stuurt ruimtelijke ontwikkeling
- Van stoffen meten naar (stroom)gebiedskwaliteit leveren
- Van overheid beschermt tegen overstromen naar heldere keuzes over leven met waterrisico's
- Van top down gedetailleerd regelen naar ruimte bieden binnen stimulerende kaders

4.5 Waterbeheer 21^e eeuw

De Commissie Waterbeheer 21^e eeuw is eind jaren '90 ingesteld door het ministerie van V&W en de Unie van Waterschappen. De commissie kreeg als opdracht een waterbeheer te formuleren dat is afgestemd op ontwikkelingen als zeespiegelrijzing, bodemdaling, temperatuurstijging en veranderingen in neerslag- en afvoerpatronen. Het in 2000 uitgebrachte rapport van de commissie betekende een belangrijke stap in de ontwikkeling van het waterbeheer naar een meer ruimtelijk georiënteerd beleid (WB21,

2000). De nieuwe principes voor het waterbeheer zijn samen te vatten in de volgende drie principes:

- Vasthouden, bergen en dan afvoeren
- Meer ruimte voor water
- Water als (mede-)ordenend principe

4.5.1 *Vasthouden, bergen en dan afvoeren*

De kern van de boodschap is dat we moeten proberen het water niet meteen in volle omvang te lozen op de grotere watergangen. De afvoerpieken zouden beperkt moeten blijven om zo de grotere watersystemen niet verder te belasten dan absoluut noodzakelijk en water beschikbaar te hebben voor droge perioden. Dit betekent dat er gezocht moet worden naar oplossingen in de haarvaten van het systeem. Berging kan gerealiseerd worden door meer open water of retentiegebieden, maar het vasthouden van water zal veelal gerealiseerd worden door (tijdelijke) opslag in het grondwater.

Dit betekent dat in het landelijk gebied drainage minder gewenst wordt geacht en de grondwaterstanden na een regenbui hoger zouden kunnen oplopen. Het minder strak handhaven van het oppervlaktewaterpeil draagt bij aan het verminderen van de pieken. Dit zal echter alleen toegepast kunnen worden als dit geen grote bezwaren voor de functies en de waterkwaliteit betekent.

In het stedelijk gebied zal gezocht worden naar alternatieven voor drainage en mogelijkheden voor infiltratie van regenwater. Juist de stedelijke gebieden kennen een grote afvoerpiek. Het infiltreren van regenwater kan leiden tot (tijdelijk) hogere grondwaterstanden. Het bouwrijp maken van nieuwbouwlocaties zal, om in lijn met het beleid te werken, meer geënt zijn op ophogen in plaats van drainage. Vanuit dit beleid is te verwachten dat de grondwaterstanden in nieuwe stedelijke gebieden relatief hoger zullen worden dan in de huidige stedelijke gebieden. Voor bestaand stedelijk gebied met grondwateroverlast is drainage nu echter nog vaak de enige reële oplossing.

4.5.2 *Ruimte voor de rivier*

Ondanks het beleid om het water meer vast te houden, is de verwachting dat de maatgevende rivierafvoer de komende jaren zal stijgen. Om hierop voorbereid te zijn, is de beleidslijn 'Ruimte voor de Rivier' opgesteld. De maatregelen zijn erop gericht het doorstroomprofiel van de rivier te vergroten, zonder direct alleen dijkverhoging te beschouwen. Verdieping van de rivier en uiterwaarden of verbreding van het zomer- en/of winterbed zijn dan mogelijke maatregelen.

Verdieping van de rivier leidt tot een verminderde wegzijging naar de omgeving of een vergroting van de drainerende werking van de rivier, afhankelijk van de hoogte van het rivierpeil ten opzichte van de omgeving. Zo kan bijvoorbeeld verdieping van de Grensmaas leiden tot een verlaging van de grondwaterstanden in de omgeving. Verbreding van het zomerbed kan eenzelfde invloed hebben op de grondwaterstanden in de omgeving door een vergroot oppervlak waarlangs het oppervlaktewater en grondwater met elkaar in contact staan.

4.5.3 *Water als (mede-)ordenend principe*

Bij de locatiekeuzes voor en inrichting van bijvoorbeeld nieuwbouw of natuur zou meer rekening gehouden moeten worden met het (grond-)water. Onder andere hiervoor is de Watertoets verplicht gesteld. Hoewel de Watertoets (nog) niet echt van invloed is op de locatiekeuze, zal het principe dat het watersysteem zwaarder mee moet tellen bij de

keuze, in de nabije toekomst stand houden. Bij de inrichting wordt wel vaak rekening gehouden met het watersysteem, wat leidt tot een robuuster watersysteem en minder behoefte om de grondwaterstand aan te passen aan de nieuwe functie.

Dit beleid wordt echter bemoeilijkt door de hoge ruimtedruk en het verweven zijn en blijven van functies. Het beleid zal dan ook alleen een bijdrage kunnen leveren aan het iets meer volgen van de natuurlijke omstandigheden bij het maken van een sociaal-economische keuze. Maar tegelijkertijd kan dit principe wel het argument zijn om in de toekomst meer maatschappelijk ingrijpende keuzes te kunnen maken.

4.6 Het nieuwe peilbeheer

Mede in lijn met het bovenstaande over water als (mede-)ordenend principe, kan de ontwikkeling van het Gewenst Grond- en Oppervlaktewater Regime (GGOR) gezien worden. Hoewel de Projectgroep Waternood een gedetailleerde methodiek voorstelde om dit regime tot stand te laten komen (Projectgroep Waternood, 2000), zijn vooral de onderliggende principes interessant voor de toekomstige ontwikkelingen van het peilbeheer.

Allereerst staat GGOR voor een betere afstemming tussen het grondwaterregime en het grondgebruik. Dit kan betekenen dat er marges in het oppervlaktewaterpeil benut kunnen worden voor peilfluctuatie om daarmee de grondwaterstand actiever te sturen of deze natuurlijker te laten verlopen. Het optimale grondwaterregime is gebaseerd op de groeiomstandigheden voor gewassen/vegetatie ter plaatse en de eisen van de landbouw om het terrein met machines te kunnen betreden. Dit betekent dat de mest uitgereden moet kunnen worden en dat rond de oogsttijd de grond voldoende droog is om bijvoorbeeld de aardappelen zonder al te veel klei te kunnen oogsten. In het “Besluit Gebruik Meststoffen” staat aangegeven dat in de meeste gevallen mest niet tussen half september en 1 februari mag worden uitgereden. Indien de bodem dan nog bevroren is, mag de mest ook nog niet uitgereden worden, in verband met uitspoeling. Dit betekent dat de grond aan het eind van de winter al voldoende draagkrachtig (ontwaterd!) moet zijn voor de tractoren.

Het tweede aspect is een verbetering in de onderbouwing van de keuze voor een peilregime. Dit betekent dat er meerdere varianten doorgerekend worden en de keuze expliciet gemaakt wordt. Dit grijpt ook aan op de ontwikkeling van een kosten-batenanalyse in het kader van de Kaderrichtlijn Water, hoewel deze er voor het peilbeheer nog niet officieel is.

Het derde aspect is een grotere koppeling tussen de ruimtelijke ordening en het oppervlaktewaterpeilbeheer. De eisen die vanuit de verschillende grondgebruiksvormen gesteld worden aan de grondwaterstanden kunnen regelmatig tegenstrijdig zijn. Dit vereist enerzijds een nauwkeurig opgesteld peilbesluit en anderzijds dat daar waar onvoldoende tegemoet gekomen kan worden aan de eisen, er keuzes gemaakt worden in de ruimtelijke ordening. Dit kan zich uiten in een voorstel tot wijziging van bepaalde functies op knelpuntlocaties of het accepteren van een slechte waterhuishoudkundige ondersteuning van de aanwezige functies op die locaties. Gezien de ontwikkelingen in het waterbeheer zullen het aantal knelpuntlocaties vermoedelijk toenemen en dit zal dan ook tot expliciete keuzes in het waterbeheer en ruimtelijke ordening (moeten) leiden.

4.7 Kustbescherming

In het kader van de bescherming tegen de zee voor de komende eeuw zijn de volgende voorkeursalternatieven voor de zwakke plekken gekozen:

- Callantsoog: 200 meter zeewaarts
- Noordwijk: 50 meter zeewaarts
- Scheveningen: extra zand op het strand
- Delfland: extra duinenrij en breder strand
- Zeeuws-Vlaanderen: strekdammen en zand

Vaak is hierbij sprake van een extra duinenrij of verbreding van het strand zeewaarts. Dit betekent dat onder deze duinen de bestaande zoetwaterbel kan uitdijen en daarmee de mogelijkheden voor drinkwaterwinning en natuur vergroten.

4.8 Europees beleid

De Kaderrichtlijn Water (EU, 2000) en de Grondwaterrichtlijn stellen Europese regels omtrent de toestand van het grondwater. De Grondwaterrichtlijn gaat voornamelijk over de kwaliteit van het grondwater. De KRW stelt eisen aan de omvang van de grondwaterlichamen, waarbij een duurzame staat van instandhouding als uitgangspunt geldt. Dit betekent dat uit grondwaterlichamen niet meer water onttrokken mag worden dan wat er langjarig gemiddeld netto infiltreert en geïnjecteerd wordt. Uiteraard geldt dat bij de beoordeling van de waterbalans rekening gehouden moet worden met de huidige en toekomstige belangen behorend bij een te grote onttrekking en alternatieven. Bij een grote menselijke druk op een grondwaterlichaam zal nagegaan moeten worden of deze druk langjarig acceptabel gevonden zal worden. Het uitputten van zoete grondwatervoorraden betekent in West-Nederland dat de verzilting erger zal worden en in Oost-Nederland verdroging van natuur en beken.

Bovendien wordt de toestand van een grondwaterlichaam als 'slecht' beoordeeld indien terrestrische natuur door de kwaliteit of kwantiteit van het grondwater onvoldoende ondersteund wordt. Met andere woorden: een tekort aan grondwater van de juiste kwaliteit die leidt tot verdroging van de natuur wordt door de KRW in principe niet geaccepteerd. Daarmee wordt de verdrogingsbestrijding gesteund door de Europese regels (ook de Vogel- en Habitatrichtlijnen) en dat kan leiden tot een hernieuwde impuls.

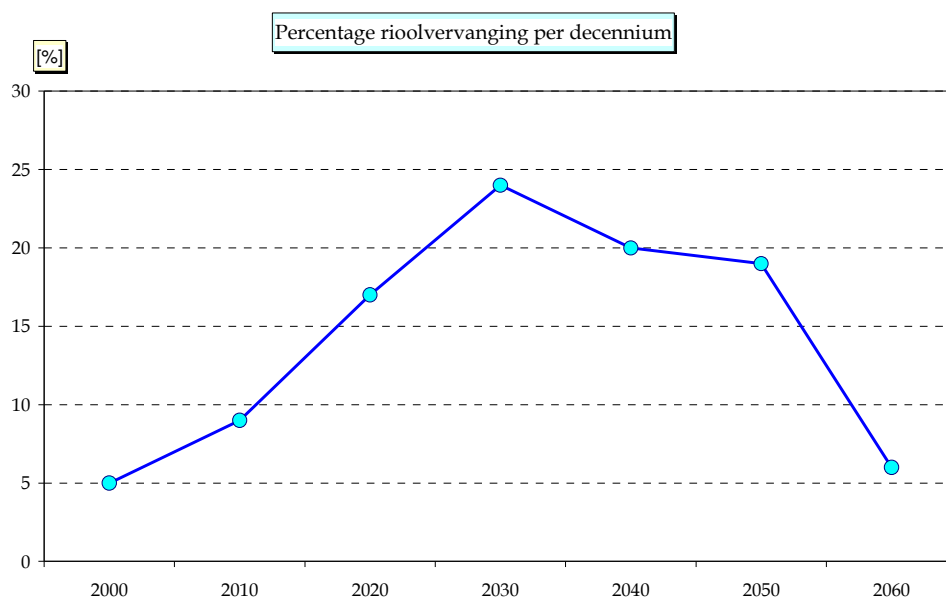
Opmerkingen Kees Meinardi:

De KRW is zeer gunstig voor het grondwater. In tegenstelling tot de Nitraatrichtlijn bevat deze namelijk een resultaatsverplichting en geen inspanningsverplichting. Niet alleen gunstig voor realiseren van goede grondwaterkwaliteit maar ook voor een goede kwantitatieve toestand, in relatie tot wetlands en de basisafvoer van waterlopen.

4.9 Stedelijk waterbeheer

De grondwaterzorgplicht betekent voor gemeenten mogelijkheden en verplichtingen om problemen met grondwateroverlast en –onderlast actiever te benaderen. Dit zal naar verwachting leiden tot een toename van de monitoringsinspanningen en een vergroting van de hoeveelheid drainage in het stedelijk gebied, gezien het feit dat dit het meest gangbare instrument ter bestrijding van grondwateroverlast is. Het bouw- en woonrijp maken zal dan mogelijkwerijs gestaag beter afgestemd worden op het grondwater, aangezien gemeenten in de woonfase de klachten van bewoners meer dan voorheen zullen aanpakken.

De gemeenten hebben ook de rioleringstaak. Uit gegevens van de stichting Rioned¹¹ over de leeftijd van de riolering, is een schatting te maken van de vervanging van riolering in de komende decennia. Het COELO¹² komt tot de conclusie dat de technische levensduur van de riolering ongeveer 50 jaar is, maar in de praktijk wordt de riolering vaak na 70 jaar vervangen. Gegeven een gemiddelde levensduur van 60 jaar, kunnen de gegevens van Rioned vertaald worden naar de toekomst. Dit leidt tot onderstaande figuur 4.1.



Figuur 4.1: Te verwachten percentage rioolvervangning per decennium.

Tot de jaren '60 van deze eeuw zal dan de nu bestaande riolering volledig vervangen worden. Hier zijn nog wel een aantal kanttekeningen bij noodzakelijk.

- Het COELO en Rioned constateren beide dat er op dit moment een achterstallig onderhoud aan de riolering is van 6 respectievelijk 8%.
- De riolering is sinds de jaren '50 van de vorige eeuw relatief veel in slechtere gronden gelegd, doordat er toen een grote uitbreiding van het woningareaal was. Deze riolering gaat dus minder lang mee.

¹¹ Stichting Rioned, Riool in cijfers 2005-2006, augustus 2005

¹² COELO, Kostenontwikkeling in de waterketen 1990-2010, Centrum voor Onderzoek van de Economie van de Lagere Overheden, mei 2004.

- De kwaliteit van de materialen voor het riool was tussen 1945 en 1975 van mindere kwaliteit.

Bovenstaande punten leiden ertoe dat de piek in vervanging naar verwachting eerder komt te liggen en hoger zal zijn, voor zover de financiën en technische haalbaarheid dat mogelijk maken.

Het niet renoveren van riolen kan leiden tot het manifesteren van grondwateronderlast, als de gebroken riolen grondwater draineren.. Het vervangen van riolering kan echter leiden tot grondwateroverlast, indien de gebroken riolering een (eigenlijk ongewenste) drainerende functie heeft gekregen. In deze situaties of standaard in sommige wijken wordt er drainage mee gelegd bij de riolering om dit te voorkomen. Dit draagt dus ook bij aan het versnellen van de aanleg van drainage.

4.10 Grondwaterbeheer

Volgens de Grondwaterwet is de provincie de beheerder van het grondwater. Zij dient een register bij te houden van onttrekkingen en infiltraties en tevens de vergunningverlening te regelen. Reden voor de toenmalige keuze om de provincie het beheer te geven, is het feit dat grondwateronttrekkingen invloed kunnen hebben op meerdere functies. De provincie als algemene democratie is daarmee de aangewezen partij om die afweging te maken. Ook was toen het waterkwaliteitsbeheer vaak nog bij provincies ondergebracht, dus deze waren ook operationeel betrokken bij het waterbeheer.

Volgens de nieuwe waterwet zal het waterschap de beheerstaken voor het grondwater toebedeeld krijgen. De uitzonderingen die hierop gemaakt worden zijn de warmte- en koudeopslag, drinkwaterwinningen en de grote industriële onttrekkingen vanaf 500.000 m³ per jaar. Tevens zijn deze handelingen altijd vergunningplichtig (geen minimumdebiet). De provincie behoudt wel de verantwoordelijkheid voor het provinciaal grondwaterbeleid en de vergunningverlening bij deze drie categorieën. De redenen voor het behouden de vergunningverlening bij de provincie in plaats van de beheerder (waterschap) zijn een beperkte kennisopbouw en beleidskaders voor de WKO en de aangenomen beperkte invloed van het diepe grondwater op de rest van het watersysteem.¹³

De belangrijkste middelen die de beheerder heeft zijn de vergunningverlening en het instellen van een heffing op grondwateronttrekkingen. Dankzij het vastleggen van een grondwaterbeleid kan de beheerder besluiten om al dan niet een vergunning te verlenen. Niet-vergunningplichtige onttrekkingen kunnen vallen onder de algemene regels en/of een meldingsplicht, zodat de beheerder in ieder geval inzicht heeft in de onttrekkingen.

Er zijn nu twee grondwaterbelastingen in Nederland: een Rijksbelasting en een provinciale heffing voor de beheerder.

Rijksbelasting

Het is op basis van de Wet Belastingen op Milieugrondslag verplicht om Rijksbelasting te betalen over de onttrokken hoeveelheid grondwater. Er zijn een aantal vrijstellingen van deze belasting, maar ook in die gevallen moet er nog steeds een vergunning op

¹³ Tweede Kamer der Staten-Generaal, Regels met betrekking tot het beheer en gebruik van watersystemen (Waterwet). Memorie van Toelichting. Dossiernummer 30 818, vergaderjaar 2006-2007.

basis van de Grondwaterwet bij de provincie aangevraagd worden. De vrijstellingen zijn

- berekening of bevoeiing (minimaal 90% van het debiet wordt hiervoor gebruikt)
- het droog houden van een bouwput (maximaal 4 maanden en 50.000 m³/maand)
- proefonttrekking (maximaal 4 maanden en 50.000 m³/maand)
- spoelwater voor productverpakkingen die meerdere keren worden gebruikt
- geringe capaciteit (pompcapaciteit is kleiner dan of gelijk aan 10 m³/uur)
- warmte- en koudeopslag (het grondwater wordt zonder bewerking weer geïnfiltrerd)
- sanering van grondwater
- noodvoorzieningen die uitsluitend worden gebruikt in bijzondere omstandigheden
- landijsbanen
- zout grondwater (meer dan 300 mg Cl/l)

Voor de belastingplichtige onttrekkingen gelden drie standaardtarieven:

- Een algemeen tarief: € 0,1826 /m³
- Onttrekking met een OEDI: € 0,0591 /m³
- Retourbemalingen: € 0,00 /m³

Indien er tegelijkertijd een infiltratie van water plaatsvindt, kan er een infiltratieaftrek van € 0,1530 /m³ toegekend worden, waardoor de netto-belasting op € 0,0296 /m³ komt.

Provinciale grondwaterheffing

De provincie kan op basis van de Grondwaterwet een heffing op grondwateronttrekkingen instellen. Deze heffing dient ter compensatie van de kosten die gemaakt worden voor het grondwaterbeheer. Dit zijn eveneens kosten voor de verdrogingsbestrijding en het compenseren van andere belangen, voor zover deze schade niet rechtstreeks te verhalen is op een grondwaterwinning. Hieronder de tarieven van drie provincies, zoals die op hun websites staan vermeld:

- Provincie Noord-Brabant: € 0,019 /m³
- Provincie Utrecht: € 0,0153 /m³
- Provincie Overijssel: € 0,0136 /m³

Verontreinigingsheffing

Veel industrieën gebruik(t)en grondwater voor de productieprocessen. Na gebruik lozen deze bedrijven het grondwater veelal op het oppervlaktewater, waarvoor zij dan een verontreinigingsheffing op basis van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewateren moeten betalen aan de waterbeheerder. Per vervuilingseenheid rekenen de waterschappen gemiddeld € 56 om dit te mogen lozen op het oppervlaktewater. De heffing voor het lozen van grondwater op oppervlaktewater komt op dezelfde ordegrootte als de grondwaterbelasting, hoewel dat uiteraard afhankelijk is van het zuurstofverbruik; de belangrijkste parameter om de vervuilingswaarde te bepalen. Deze lozingsheffing is een belangrijke impuls voor de bedrijven geweest om water te besparen en/of minder grondwater te gebruiken (zie ook § 7.2). Bij brakwaterwinning vervalt de grondwaterbelasting en is de WVO-heffing veel groter dan de provinciale grondwaterheffing.

4.11 Verwachte gevolgen waterbeheer voor grondwatersysteem

Het huidige peilbeheer heeft nog steeds veel aandacht voor de landbouw, terwijl er toch gestaag meer aandacht komt voor de natuur. Het ligt in de verwachting dat dit beeld niet veel zal wijzigen naar de toekomst toe. Wel kunnen er veranderingen komen ten

aanzien van het extensiveren van de landbouw rondom natuurgebieden, wellicht in combinatie met concepten als blauwe diensten. Een meer openlijk gericht peilbeheer met aandacht voor de ruimtelijke ordeningsaspecten kan bijdragen aan een vorm van trendbreuk: functies kunnen op grotere schaal verschoven worden ten gunste van het waterbeheer. Het ligt hier voor de hand om deze trendbreuk voornamelijk toe te schrijven aan een meer overheidgeoriënteerde scenario. Echter kan gesteld worden dat de landbouw in vooral West-Nederland al geen echt grote marges kent, waardoor juist in een marktgeoriënteerd scenario de landbouw zelf ook behoefte heeft aan functiewijzigingen.

Voor het stedelijk gebied geldt dat de ontwikkeling in het stedelijk grondwaterbeheer momenteel snel gaat en eigenlijk pas recent is opgekomen. Het maken van een voorspelling richting 2050 hoe de overheden en private partijen hiermee omgaan, wordt daarmee moeilijk. Het zal voornamelijk van de ambitie van de gemeenten en de vraag vanuit de probleemeigenaren afhangen hoe voortvarend dit aspect aangepakt wordt. De juridische en organisatorische mogelijkheden om in te grijpen zijn geschapen of worden dat op zeer korte termijn. De verwachting zoals dat ook in dit rapport naar voren komt, is dat de problemen zullen toenemen door de voor het beheer externe ontwikkelingen. In ieder geval kan gesteld worden dat het oplossen van grondwaterproblemen in het stedelijk gebied een aangelegenheid is die niet individueel verholpen kan worden. Hoe de oplossing georganiseerd wordt, zal afhangen van het scenario, maar de collectiviteit zal er altijd in blijven zitten.

Het waterkwaliteitsbeheer is uiteraard gunstig voor de natuur: dat is de uiteindelijke doelgroep die hier het meest van profiteert. De landbouw is traditioneel gezien een van de grote bronnen van eutrofiëring. De huidige ontwikkeling is om landbouw, RWZI en eutrofiëring door peilbeheer (oxidatie veen e.d.) in perspectief te plaatsen ten opzichte van de kwaliteitsdoelstellingen, als gevolg van vooral de KRW. Dit zal ongetwijfeld leiden tot meer gebiedsdifferentiatie naast een landelijk beleid ter vermindering van de belasting. Voor de freatische grondwaterstanden is het nemen van een beslissing belangrijk ten aanzien van de knelpunten tussen (stereotype) (1) diepe en strakke grondwaterstanden voor de landbouw, (2) natuurlijk fluctuerend peilbeheer voor de natuur en (3) eutrofiëringproblemen in de natuurgebieden die ontstaan door mobiliseren van fosfaat bij wisselende peilen of het inlaten van gebiedsvreemd water.

De verdrogingsbestrijding zal door de KRW verder ondersteund worden, maar blijft waarschijnlijk een moeizaam proces. Hier lijkt een tegenstelling tussen de economie enerzijds (natuur kent weinig economische waarde en landbouw vertegenwoordigt dit wel) en de mogelijkheden van de overheid anderzijds (vrijmaken middelen en sociale wenselijkheid tot nemen van ingrijpende maatregelen ten aanzien van de landbouw en de positionering van de natuurgebieden). Een scenario met een sterke overheid zal in ieder geval wel leiden tot een verdergaande optimalisatie van de natuur in lijn met de huidige ontwikkelingen. Een meer economisch scenario kan ertoe leiden dat juist de overheid meer mogelijkheden heeft om keuzes te maken voor een beperkt aantal natuurgebieden. In deze scenario's neemt (de groei van) de hoeveelheid natuur af ten gunste van economische ontwikkelingen en kan leiden tot het "koesteren" van de mooie stukken.

De wateroverlastmaatregelen zullen leiden tot het vasthouden van grondwater ter plaatse. In de steden is een ontwikkeling om meer open water te eisen bij het ontwerp van stedelijke uitbreidingen. Ook wordt er in steden gewerkt aan het terugkeren van

vroegere kenmerkende waterlopen of grachten. Deze watergangen hebben veelal een drainerende functie en zijn dusdanig ingrijpend in de omgeving dat er bij het ontwerp meteen gekeken wordt naar de gehele waterhuishouding. Grondwaterproblemen kunnen hiermee dus aangepakt worden.

Een bijzondere positie nemen de VINEX-wijken in. Deze wijken worden vaak door sociaal-economische keuzes op hydrologisch minder gunstige (of soms op ronduit ongunstige) plaatsen gepland. In een aantal gevallen leidt het onvoldoende aandacht hebben voor de (grond)wateraspecten tot grondwaterproblemen. Het is nog niet automatisch zo dat er bij de ontwikkeling en uitvoering voldoende rekening gehouden wordt met het grondwater. Als positief kan echter opgemerkt worden dat de commotie rondom de locatiekeuze bij een ongunstige locatie leidt tot meer aandacht voor water in het ontwerp, waarmee problemen technisch voorkomen kunnen worden.

Vanuit de lagenbenadering bij de Ruimtelijke Ordening en de Commissie WB21 is er aandacht voor water als ordenend principe. Het landelijke waterbeleid is hier nog steeds op gericht, maar in de realiteit blijkt dat water (nog) niet leidend is in de ruimtelijke ordening. Dit komt voornamelijk door zwaarwegende criteria als bereikbaarheid en sociaal-economische factoren. De heersende en vermoedelijk toenemende ruimtedruk in Nederland zal een negatieve invloed kunnen hebben op het toepassen van water als ordenend principe. Daarentegen kan een nog groter besef vanuit klimaatverandering hierin een sociale omslag betekenen. Meervoudig ruimtegebruik blijkt in de praktijk moeilijk te realiseren en verkeert dan ook nog in een fase met kleinschalige toepassingen. In het verlengde van hetgeen gesteld is in de eerste alinea is het niet eenvoudig om te bepalen of een mogelijke trendbreuk zal optreden en ten tweede of dit zal komen vanuit de economische optimalisatie of vanuit een meer sturende overheid.

Meer op conceptueel niveau is er wellicht sprake van een kentering in het waterbeheer. Na een periode van grootschalig land winnen (Flevopolders, droogmakerijen) en op kleinschalig niveau verdringen van water uit de economisch duurdere gebieden (dempen grachten, bouwen met drainage in plaats van open water), lijkt er een tegengestelde beweging te komen. In de (nieuwe) stedelijke gebieden wordt water weer prominenter teruggebracht en benut als meerwaarde voor de omgeving. Deze meerwaarde wordt zowel door de economie (beter verkoopbare woningen) als de overheid (kwaliteit leefomgeving, voorkomen problemen) gedragen. Op grootschaliger niveau wordt er gesproken over vergaande vernatting of inundatie van diepe polders. Dit laatste is begrijpelijkerwijs echter nog niet vaak toegepast. Dit zal waarschijnlijk alleen gebeuren indien én de overheid bereid en in staat is harde keuzes te maken én de economische mogelijkheden in die gebieden sterk beperkt worden.

5 Klimaatverandering

De belangrijkste invloedsfactor van het grondwatersysteem is het klimaat. Het wordt steeds duidelijker dat het klimaat aan het veranderen is. Dit hoofdstuk beschrijft de achtergronden van de verandering (§ 5.1), de opgetreden verandering (§ 5.2), de mogelijke toekomstige veranderingen (§ 5.3), de mogelijke gevolgen daarvan voor de zeespiegel (§ 5.4) en voor overige invloedsfactoren of kenmerken van het grondwatersysteem (§ 5.5). Dit hoofdstuk sluit af met een samenvatting van de mogelijke gevolgen van klimaatverandering voor het grondwatersysteem (§ 5.6).

5.1 Achtergronden klimaatverandering

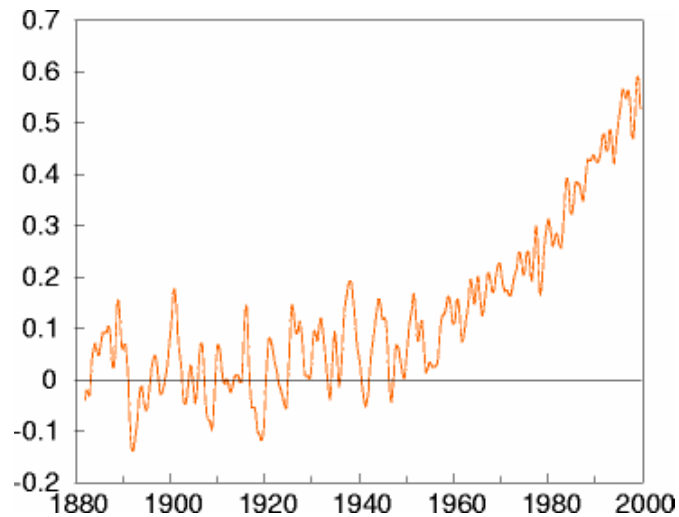
De mens heeft in de 20^e eeuw veel broeikasgassen in de atmosfeer gebracht, door industrie, ontbossing, verkeer, huishoudelijk energieverbruik, landbouw en veeteelt. Het belangrijkste broeikasgas is CO₂, maar daarnaast spelen ook methaan (CH₄), lachgas (N₂O), CFK's en ozon (O₃) een rol. Door de grotere concentratie van deze gassen is het broeikaseffect van de dampkring versterkt, wat leidt tot een warmer klimaat en meer neerslag. Vermoedelijk zal de gemiddelde temperatuur op aarde in de 21^e eeuw nog 1,4 tot 5,8 °C toenemen. Wereldwijd gezien zal dit gepaard gaan met een toename van de hevigheid van regenbuien en een extra zeespiegelrijzing die tussen de 9 en 88 cm kan bedragen. Inmiddels hebben meer dan 100 landen in Kyoto bindende afspraken gemaakt om de emissies van broeikasgassen terug te dringen, maar de effecten daarvan kunnen pas op zeer lange termijn zichtbaar worden. Het verdrag verplicht geïndustrialiseerde landen om de uitstoot van broeikasgassen in de periode 2008 – 2012 gemiddeld 5% (voor Nederland is dat 6%) onder het niveau van 1990 te brengen. En de Europese Commissie stelt in haar recent gepubliceerde energiestrategie (januari 2007) dat Europa de uitstoot van CO₂ in 2020 20% moet hebben verlaagd ten opzichte van het niveau van 1990. De Commissie acht deze verlaging nodig om de temperatuurstijging in de 21^e eeuw onder de 2 °C te houden.

5.2 Opgetreden klimaatverandering

5.2.1 *Temperatuurstijging*

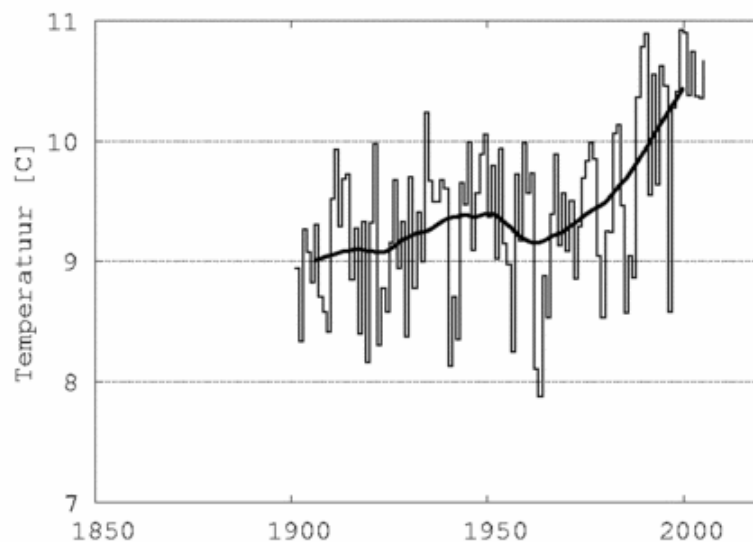
De gemiddelde temperatuur op aarde is sinds 1880 met circa 0,6 °C gestegen, waarbij de meeste stijging optrad in de tweede helft van de 20^e eeuw (zie figuur 5.1). Uit modelberekeningen is geconcludeerd dat de opwarming in de afgelopen 30 jaar vermoedelijk vooral door de mens is veroorzaakt, terwijl de temperatuurstijging vóór 1975 voornamelijk verband hield met natuurlijke oorzaken.¹⁴

¹⁴ Volgens de website van het KNMI, Waargenomen klimaatverandering, versie 26 mei 2006.



Figuur 5.1: De verandering van de gemiddelde temperatuur op aarde vanaf 1880, na correctie voor (1) variaties in zonnestraling, (2) vulkaanuitbarstingen en (3) El Niño. Bron: Website van KNMI, Klimaat en klimaatverandering.

Voor wat betreft Nederland is een klimaatverandering door het broeikaseffect moeilijker aantoonbaar, doordat ons weer zo sterk variabel is. Maar er zijn wel parallellen met de wereldwijde opwarming te signaleren. Zo is de temperatuur sinds 1900 met gemiddeld 1,2 °C gestegen (zie figuur 5.2), waardoor de tien warmste jaren sinds 1900 alle na 1988 voorkomen. Vooral de maanden februari en maart zijn de afgelopen 20 jaar veel warmer geworden. Het is alleen nog niet aan te geven wel deel van deze veranderingen komt door het versterkte broeikasgas en welk deel door natuurlijke fluctuaties.



Figuur 5.2: Gemiddelde jaartemperatuur in De Bilt tussen 1900 en 2005, evenals het voortschrijdend 30-jaar gemiddelde (dikke lijn). Bron: Website van KNMI, Waargenomen klimaatverandering, versie 26 mei 2006.

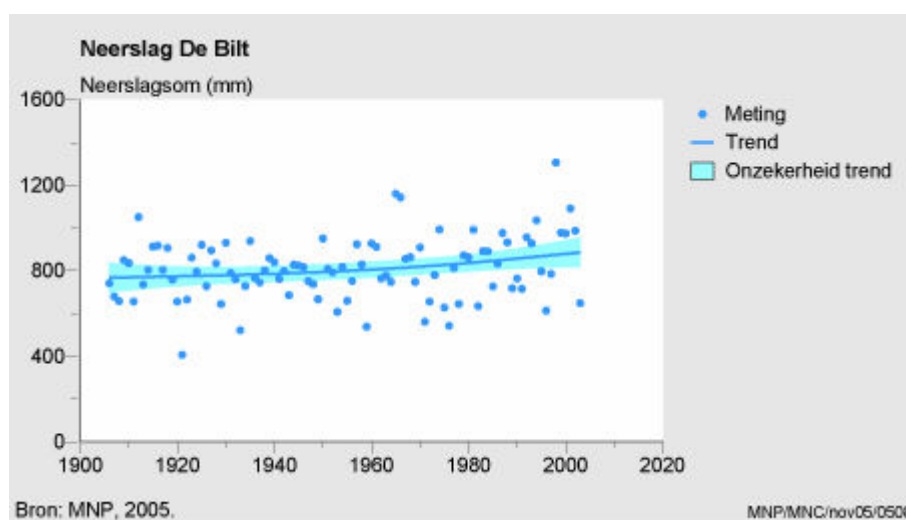
De stijging van temperatuur resulteerde ook in een afname van het aantal vorstdagen en een toename van het aantal zomerse dagen. Verder is ook de lengte van het groeiseizoen toegenomen. Deze lengte wordt bepaald door het aantal dagen per jaar dat ligt tussen de

eerste periode van tenminste zes dagen met een gemiddelde temperatuur boven 5 °C en de eerste periode na 1 juli van zes dagen met een gemiddelde temperatuur onder 5 °C. Voor De Bilt was de lengte van het groeiseizoen in de periode 1961-1990 gemiddeld 269 dagen. Maar de laatste 15 jaar duurde het groeiseizoen gemiddeld 293 dagen, dus 24 dagen langer dan voorheen.¹⁵

5.2.2 Toename van de neerslag

In de gematigde streken op het Noordelijk Halfrond, waartoe ook Noordwest Europa behoort, is de neerslag in de 20^e eeuw gemiddeld met 5 à 10% toegenomen. Dit wordt gedeeltelijk veroorzaakt doordat warmere lucht meer waterdamp kan opnemen, maar ook het feit dat de luchtstroming meer westelijk is geworden speelt een rol. Verder is in Europa de hevigheid van extreme neerslag in de afgelopen 50 jaar toegenomen, evenals het aantal zeer natte dagen (met minimaal 20 mm neerslag).¹⁶

Ook in Nederland is de neerslag in de 20^e eeuw toegenomen. Uit een statistische trendanalyse blijkt dat het gemiddelde van de jaarsom van de neerslag in De Bilt 118 mm is toegenomen in de periode van 1906 t/m 2003 (zie figuur 5.3), een toename van 18%.



Figuur 5.3: Verloop van de jaarsom van de neerslag te De Bilt van 1906 t/m 2003, inclusief de geschatte trendlijn (en zijn betrouwbaarheidsinterval) voor het gemiddelde van deze jaarsom. Overgenomen uit Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Neerslagsom in Nederland, 1906-2003, versie 01, 6 december 2005.

Deze toename komt voornamelijk voor rekening van de periode oktober-maart. De neerslagsom nam namelijk 26% toe in de winter, 21% in het voorjaar en 26% in de herfst, terwijl deze in de zomer nauwelijks is toegenomen (3%). In de winter nam ook de neerslaghoeveelheid in lange periodes met veel regen toe: de hoogste 10-daagse neerslagsom per winter is sinds 1906 met 29% gestegen. In de zomer is daarentegen geen duidelijke trend in extreme neerslag vastgesteld.¹⁷

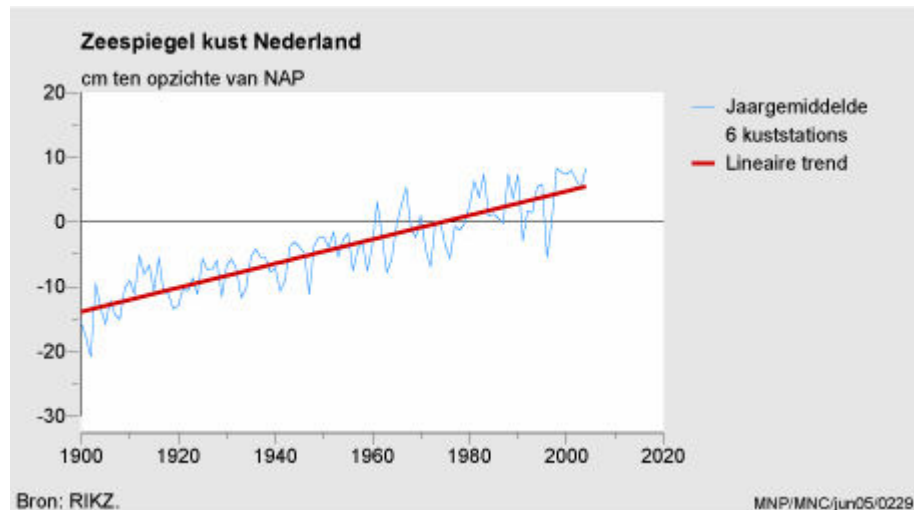
¹⁵ Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Lengte groeiseizoen in Nederland, 1900-2003, versie 05, 8 oktober 2002.

¹⁶ Volgens de website van het KNMI, Waargenomen klimaatverandering, versie 26 mei 2006.

¹⁷ Volgens de website van het KNMI, Waargenomen klimaatverandering, versie 26 mei 2006.

5.2.3 *Opgetreden zeespiegelrijzing*

Door de stijging van de temperatuur op aarde is de zeespiegel voor de Nederlandse kust de afgelopen 100 jaar met circa 20 cm gestegen (zie figuur 5.4), oftewel gemiddeld met circa 0,2 cm per jaar. Dit is veroorzaakt door de stijging van de temperatuur op aarde in de afgelopen 100 jaar, die enerzijds heeft gezorgd voor het afsmelten van landijs en anderzijds voor het opwarmen en daardoor uitzetten van het oceaanaanwater.



Figuur 5.4: Verloop van de zeespiegelstand van 1900 t/m 2004, inclusief de geschatte lineaire trendlijn. Overgenomen uit Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Zeespiegelstand aan de Nederlandse kust, 1900-2004, versie 06, 6 september 2005.

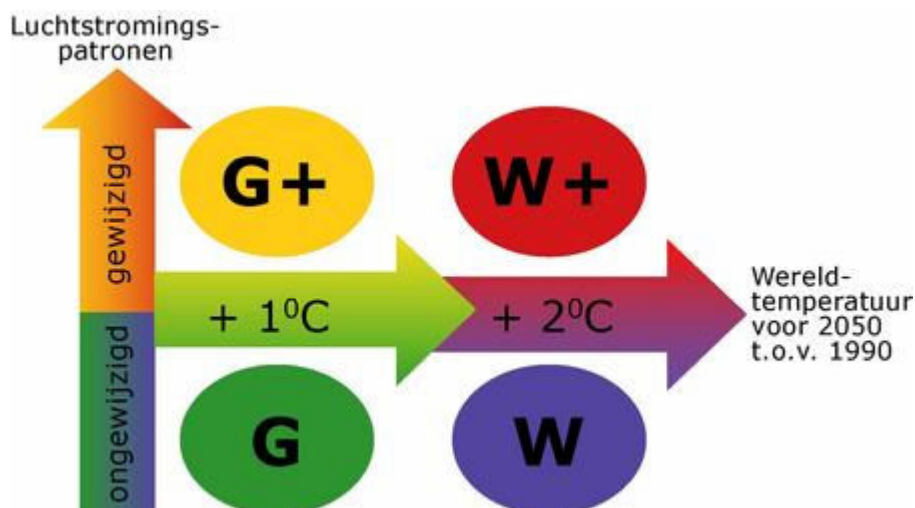
Over de periode 1993-2005 bedroeg de jaarlijkse zeespiegelrijzing gemiddeld ruim 0,3 cm, wat duidt op een recente versnelling. Maar het is niet uit te sluiten dat deze mede is veroorzaakt door natuurlijke schommelingen in het zeeniveau door variaties in zeestromingen.

De relatieve zeespiegelrijzing aan de Nederlandse kust is het totale effect van zeespiegelrijzing en bodemdaling. De bodemdaling in Nederland varieerde in de 20^e eeuw, afhankelijk van de plaats, gemiddeld tussen 0 en 0,4 cm per jaar.

5.3 **Mogelijke klimaatverandering**

5.3.1 *Lange-termijn klimaatscenario's voor Nederland*

Onlangs heeft het KNMI vier nieuwe klimaatscenario's voor de lange termijn uitgewerkt, de zogenaamde KNMI'06-scenario's (KNMI, 2006). De scenario's, aangeduid als Gematigd, Gematigd+, Warm en Warm+, verschillen in: (1) de mate van stijging van de gemiddelde wereldtemperatuur van 1990 – 2050, namelijk hetzij 1 °C of 2 °C en (2) of er wel of geen wijziging optreedt in de luchtstromingspatronen boven West-Europa. De posities van de vier scenario's in het assenstelsel van deze twee sleutelonzekerheden zijn weergegeven in figuur 5.5.



Figuur 5.5: De posities van de vier klimaatscenario's van het KNMI (KNMI, 2006) in het assenstelsel van de twee sleutelonzekerheden.

Samen omvatten de vier scenario's een groot deel van de mogelijke toekomst. Ze kunnen even waarschijnlijk worden geacht en zijn ook voldoende waarschijnlijk om als basis te kunnen dienen voor 'impact'-studies, die de mogelijke gevolgen van klimaatverandering in beeld willen brengen.

De berekeningsresultaten van de vier scenario's blijken eensluidend te zijn voor wat betreft de volgende kenmerken van klimaatverandering:

1. de opwarming zet door, waardoor zachte winters en warme zomers vaker voorkomen;
2. de winters worden gemiddeld natter en ook de extreme neerslaghoeveelheden nemen toe;
3. de hevigheid van extreme regenbuien in de zomer neemt toe, maar het aantal zomerse regendagen wordt juist minder;
4. de zeespiegel blijft stijgen.

De KNMI'06-scenario's hebben andere sleutelonzekerheden dan de CPB-scenario's van de economische groei (zie § 2.3) en zijn dan ook niet eenduidig aan die scenario's te koppelen. Volgens het KNMI kan hooguit gesteld worden dat de G en G+ scenario's beter passen bij de wereldbeelden *Sterk Europa* en *Regionale Samenwerking* (beide gekenmerkt door een grote rol van de overheid), terwijl de W en W+ scenario's beter passen bij de wereldbeelden *Wereld-Economie* en *Transatlantische Markt* (beide gekenmerkt door een grote rol van de markt).

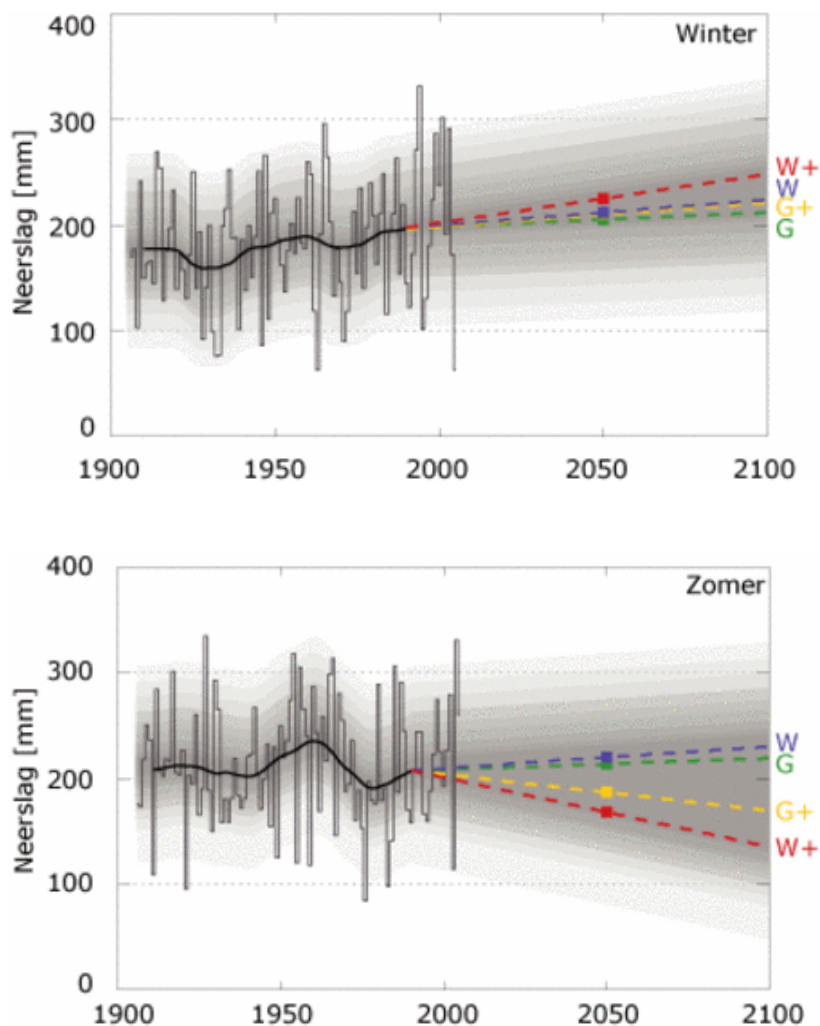
5.3.2 Trends in winter- en zomertemperaturen

De vier scenario's tonen in 2050 een opwarming ten opzichte van het basisjaar 1990 (berekend als gemiddelde van de 30-jaar periode 1976 – 2005) die varieert van 0,9 °C tot 2,3 °C in de winter en van 0,9 °C tot 2,8 °C in de zomer.

5.3.3 Trends in winter- en zomerneerslag

In de scenario's zonder wijziging van de luchtstromingspatronen (G en W) neemt de neerslag zowel in de zomer als in de winter toe met circa 3% per graad wereldwijde temperatuurstijging (zie figuur 5.6). In de scenario's mét wijziging van de luchtstromingspatronen scenario's (G+ en W+) neemt de neerslag nog meer toe in de winter (circa +7% per graad), maar juist af in de zomer (circa -10% per graad). De

afname in de zomer komt vooral door de afname van het aantal dagen met regen. Er is dus nog veel onzekerheid of de neerslag in de zomer zal toenemen (G en W), of zal afnemen (G+ en W+).



Figuur 5.6: Winterneerslag (december-februari) en zomerneerslag (juni - augustus), van 1906 - 2005 en volgens de vier klimaatscenario's van 1990 - 2050 (gekleurde lijnen). De dikke zwarte lijn is het voortschrijdend 30-jaarsgemiddelde van de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. Overgenomen van KNMI-website, Uitgebreide gegevens KNMI'06, Neerslag, versie 30 oktober 2006.

5.3.4 Verdamping en neerslagtekort

In alle vier de scenario's neemt de potentiële verdamping¹⁸ toe in de zomermaanden (juni, juli en augustus). In 2050 zal deze toename liggen tussen 3% (G-scenario) en 15% (W+-scenario), ten opzichte van de situatie rond 1990.

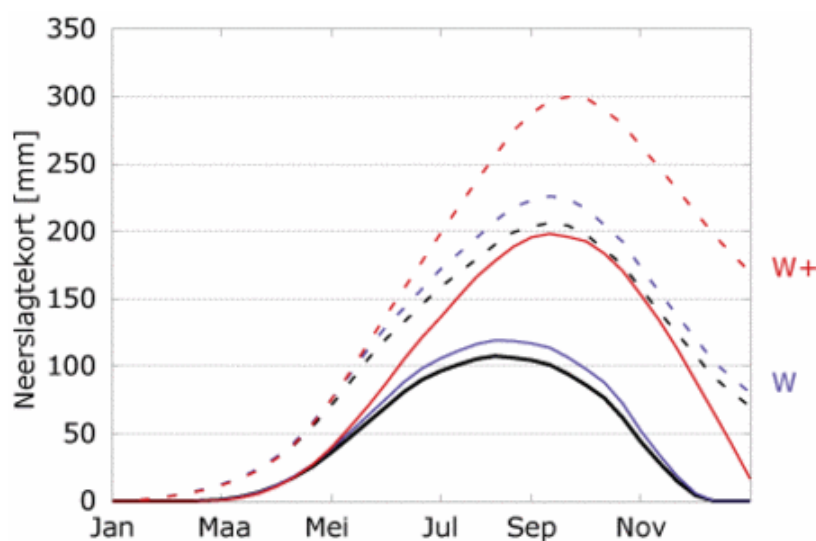
Het neerslagtekort, gedefinieerd als de potentiële verdamping minus de neerslag, neemt in elk van de scenario's toe. De toenames lopen van 7 mm (+5%) in het G-scenario tot 76 mm (+53%) in het W+-scenario (zie tabel 5.1).

¹⁸ De potentiële verdamping is de verdamping bij optimale vochtvoorziening. Deze wordt ook wel aangeduid als de Makkink-verdamping.

Tabel 5.1: Gemiddeld neerslagtekort in de periode 1906 – 2000 en mogelijk te verwachten rond 2050 volgens de vier KNMI'06-scenario's (KNMI, 2006).

Gemiddeld	1906 - 2000	G	G+	W	W+
Neerslagtekort	144 mm	151 mm	179 mm	158 mm	220 mm

In de G+-en W+-scenario's is er een grotere kans op een tekort aan water in de zomer (figuur 5.7). Dit kan vooral op de hoger gelegen zandgronden leiden tot een lagere landbouwproductie. Deze scenario's hebben ook extra natte winters, waardoor vooral in het voorjaar in laag Nederland het grasland drassiger kan zijn, wat maaien of beweiden bemoeilijkt.



Figuur 5.7: Cumulatief neerslagtekort in Nederland voor het historische klimaat van 1906-2000 (zwarte lijnen) en volgens twee klimaatscenario's (W en W+) in 2050. Voor elke datum geldt steeds dat het cumulatief neerslagtekort in 50% van de jaren onder de doorgetrokken lijn ligt en in 90% van de jaren onder de onderbroken lijn. Overgenomen van KNMI-website, Effecten van klimaatverandering, versie 18 augustus 2006.

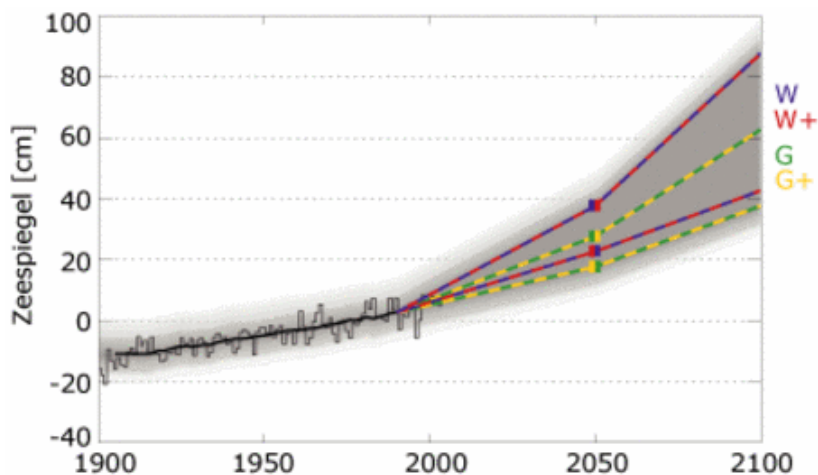
De herhalingsjijd van een neerslagtekort zoals in 2003 (217 mm vanaf 1 april) neemt in elk scenario af ten opzichte van de huidige 9,7 jaar. In het G-scenario neemt deze af tot 7,9 jaar en in het W+-scenario tot 2,0 jaar.

Het is overigens ook mogelijk dat de zomers minder droog zullen worden dan het KNMI in zijn scenariostudies berekent. Er is namelijk geen rekening gehouden met het feit dat planten bij een hogere CO₂-concentratie van de atmosfeer efficiënter water gebruiken en daardoor minder transpireren (Witte et al., 2006).

5.4 Mogelijke gevolgen klimaatverandering voor de zeespiegelstand

Volgens de KNMI'06-scenario's zal rond 2050 de absolute zeespiegelrijzing aan de Nederlandse kust tussen de 15 en 35 cm bedragen ten opzichte van 1990 (zie figuur 5.8 en tabel 5.2). Doordat oceanen traag reageren op opwarming van de lucht, zal de zeespiegelrijzing na 2050 sterker toenemen dan daarvoor. Tegen 2100 zal de stijging

ergens tussen de 35 en 85 cm bedragen. Er is veel onzekerheid over de gevoeligheid van de zeespiegelrijzing voor een verhoging van de luchttemperatuur, wat tot uiting komt in grote bandbreedtes. Het al of niet optreden van wijzigingen in de luchtstromingspatronen blijkt daarentegen geen invloed te hebben op de berekende zeespiegelrijzing.



Figuur 5.8: Gemiddelde jaarlijkse zeespiegelstand [cm NAP] langs de Nederlandse kust, van 1900 - 2004 en volgens de vier klimaatscenario's van 1990 - 2100. De dikke zwarte lijn is het voortschrijdend 30-jaarsgemiddelde van de waarnemingen. De grijze band illustreert de jaar-op-jaar variatie die is afgeleid uit de waarnemingen. Overgenomen van KNMI-website, Uitgebreide gegevens KNMI'06, Zeespiegel, versie 18 augustus 2006.

Tabel 5.2: De zeespiegelrijzing ten opzichte van 1990 in de KNMI'06-scenario's (KNMI, 2006). Ter vergelijking: de afgelopen 100 jaar bedroeg de zeespiegelrijzing ongeveer 20 cm.

Zeespiegelrijzing	G en G+	W en W+
1990 - 2050	15 – 25 cm	20 – 35 cm

Tabel 5.2: De zeespiegelrijzing ten opzichte van 1990 in de KNMI'06-scenario's (KNMI, 2006). Ter vergelijking: de afgelopen 100 jaar bedroeg de zeespiegelrijzing ongeveer 20 cm.

Binnen de wetenschappelijke wereld is er nog discussie over de omvang van de zeespiegelrijzing. Er zijn wetenschappers die deze genoemde cijfers als een onderschatting van de mogelijke toekomst beschouwen. De zeespiegelrijzing kan in 2100 zelfs ergens tussen de 50 en 140 cm bedragen ten opzichte van 1990 (Rahmstorf, 2006).

Door de zeespiegelrijzing zal via de diepe droogmakerijen in het westen nog meer zout grondwater opwellen, maar dat effect is slechts gering vergeleken bij het grote naja-effect van de verschillende inpolderingen en de voortgaande bodemdaling in deze droogmakerijen.

Woordvoerster Natuur- en Milieuplanbureau (ANP, 7 november 2006)

Mocht de zeespiegel met meer dan 1,5 meter gaan stijgen, dan zijn er kostbare maatregelen nodig, zoals de aanleg van een tweede duinenrij langs de gehele kust en de afvoer van het rivierwater van de Rijn via de IJssel naar de Waddenzee. Een andere maatregel is het concentreren van het wonen en werken in de hogere delen van Nederland. Het MNP vindt het overigens opvallend dat geen van de politieke partijen zich in het verkiezingsprogramma uitspreekt over de vraag of de overheid de verantwoordelijkheid moet nemen voor de mogelijke gevolgen van de zeespiegelstijging, of dat de marktwerking dat moet doen.

5.5 Overige mogelijke gevolgen klimaatverandering

5.5.1 *Hogere piekafvoeren grote rivieren, lagere afvoeren in droge perioden*

Door de toename van de winterneerslag in de stroomgebieden van Maas en Rijn zullen de piekafvoeren van de grote rivieren toenemen, het meest in het W+ scenario. Bovendien zal in berggebieden meer neerslag vallen als regen in plaats van als sneeuw, waardoor de Rijnafvoer in de winter zal toenemen. Door de combinatie van bodemdaling, zeespiegelrijzing en hogere piekafvoeren van de grote rivieren zal de kans op overstromingen en wateroverlast toenemen. Nederland zal dus voor grote uitdagingen komen te staan om zijn bescherming tegen het water op peil te kunnen houden.

In de zomer neemt in het W+-scenario de gemiddelde neerslag sterk af, terwijl de verdamping toeneemt, althans zolang er voldoende vocht aanwezig is. Dit leidt tot lagere afvoeren van Rijn en Maas en vaker belemmeringen van de scheepvaart door een lage waterstand. De lagere rivierafvoeren en de hogere temperaturen zullen ook de waterkwaliteit verslechteren en de beschikbare hoeveelheid koelwater doen afnemen. Tenslotte zal de combinatie van lagere rivierafvoeren en zeespiegelrijzing leiden tot het verder binnendringen van zout water vanuit zee.

5.5.2 *Hoger peil van het IJsselmeer*

Door de toename van de Rijnafvoer kan het IJsselmeerpeil fors stijgen. Een stijging van het winterpeil met circa 50 cm is niet ondenkbaar. Er zal ook een sterkere peilfluctuatie tussen zomer en winter ontstaan terwijl de waterkwaliteit in de zomer kwetsbaarder wordt door opwarming.

Naast de toename van de Rijnwateraanvoer, maakt ook de stijging van de zeespiegel het noodzakelijk om de spuisluizen in de Afsluitdijk aan te passen. Nu kan het IJsselmeerwater nog bij eb worden geloosd.

Voor wat betreft het grondwatersysteem zal een hoger IJsselmeerpeil leiden tot:

1. meer kwel in een zone langs het IJsselmeer. Daardoor zullen plaatselijk hogere grondwaterstanden ontstaan en zal er een toename in waterafvoer zijn,
2. opbarsting van de deklaag in een zone langs het IJsselmeer. Dit zal een sterke toename van kwel geven en daarmee een grote kans op (meer) verzilting.

5.5.3 *Stijging waterpeilen poldergebied*

In West-Nederland zal naar waterberging moeten worden gezocht: dit kan horizontaal in (tijdelijke) bergingsgebieden maar ook verticaal door stijging van bijvoorbeeld meerpeilen toe te staan.

5.5.4 *Toename grondwateronttrekking in zomer*

Door de toename van de temperatuur en de verdamping in de zomer zal zowel de grondwateronttrekking voor de bereiding van drinkwater als de grondwateronttrekking voor de beregning toenemen.

Voor een voorzieningsgebied in het zuidoosten van Noord-Brabant is nagegaan wat de klimaatverandering kan betekenen voor de grondwateronttrekking voor de bereiding van drinkwater. Uitgaande van de WB21-klimaatscenario's (zie onderstaand tekstkader) is afgeleid dat deze onttrekking voor de maanden juli en augustus rond het jaar 2050 circa 6% hoger kan zijn ten opzichte van de situatie rond 1990 (Cirkel et al., 2005 en 2006). Het jaarlijks drinkwatergebruik zal daardoor ongeveer 2% hoger worden. Verder bleek dat de gebruikspieken hoger zullen worden en vaker zullen optreden. De verhoogde zomeronttrekking zal de stijghoogten en/of grondwaterstanden extra verlagen, wat een tijdelijke bijdrage kan geven aan de verdroging in de omgeving.

Doordat de KNMI'06-scenario's pas recent zijn gepubliceerd, zijn de meeste klimaateffectstudies uitgegaan van de voorgaande klimaatscenario's van het KNMI, die in 2000 op basis van de toen beschikbare resultaten van klimaatonderzoek zijn samengesteld voor de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw (KNMI, 2001). Deze zogenaamde WB21-scenario's zijn aangeduid als 'laag', 'midden' en 'hoog'. Het middenscenario gaat uit van dezelfde mondiale temperatuurstijging als het G-scenario en het G+-scenario, namelijk 1 °C in 2050, terwijl het hoog-scenario uitgaat van dezelfde mondiale temperatuurstijging als het W-scenario en het W+-scenario, namelijk 2 °C in 2050. In de WB21-scenario's is de temperatuurstijging in Nederland gelijk aan de mondiale temperatuurstijging, maar in de KNMI'06-scenario's niet. Vooral in de scenario's met verandering in luchtstromingspatronen (G+ en W+) is de temperatuurstijging in Nederland groter dan de mondiale temperatuurstijging. De hevige neerslag in de winter neemt in de KNMI'06-scenario's minder toe dan in de WB21-scenario's.

Door de drogere zomers en het langere groeiseizoen, zal er op de zandgronden nog meer beregend gaan worden met grondwater. Dit zal lokaal en tijdelijk grote verlagingen van de stijghoogte geven, die plaatselijk zullen doorwerken naar de grondwaterstand. Maar naar verwachting zal de beregning in de toekomst niet zo'n grote vlucht nemen dat de grondwaterstand meters daalt, doordat er veel grondwater beschikbaar is.¹⁹ In het poldergebied kan ook meer beregning gaan ontstaan, o.a. ter afkoeling. Aardappelen gaan boven een bodemtemperatuur van 30 graden uitgroeien waardoor de oogst wordt aangetast.

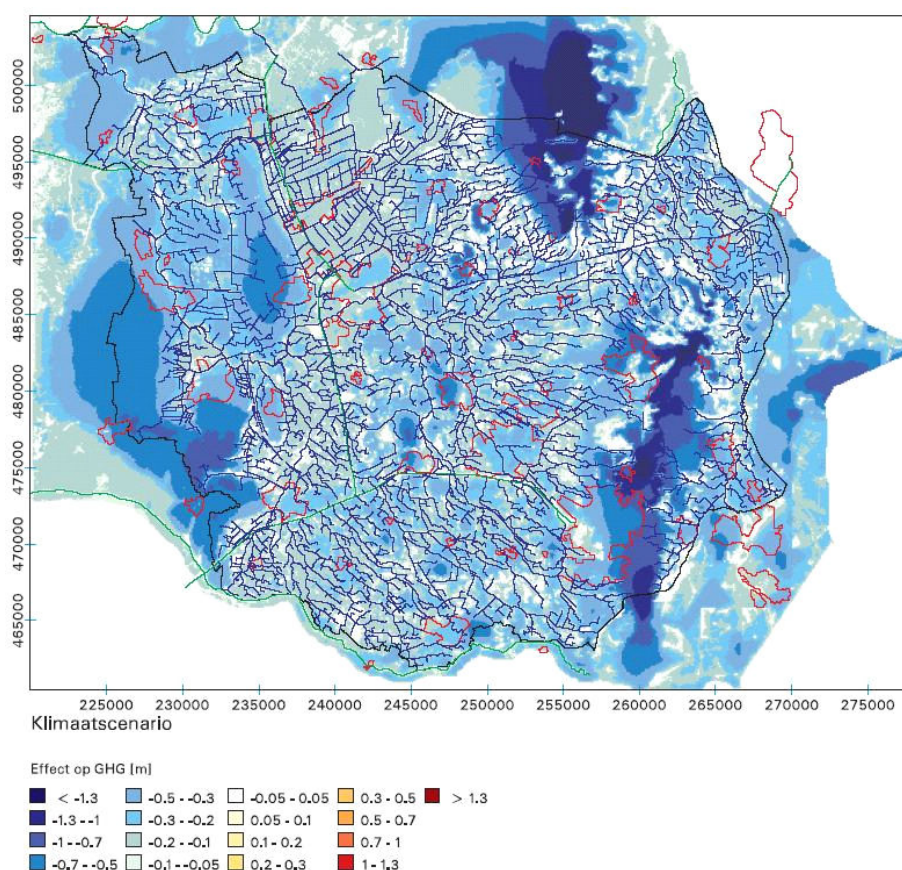
5.5.5 *Verandering grondwaterstanden*

De geschetste klimaatveranderingen zullen ten opzichte van de huidige situatie leiden tot gemiddeld hogere grondwaterstanden in winter en voorjaar en tot gemiddeld lagere grondwaterstanden in zomer en najaar. De seizoensfluctuaties zullen dus geproforceerder worden. Verder zullen er vaker extreem lage grondwaterstanden voorkomen, vooral in het W+-scenario. Het is zelfs mogelijk dat in het W+-scenario op bepaalde locaties de gemiddelde grondwaterstanden zowel in zomer als in winter lager zullen zijn dan momenteel, als de zeer lage zomerstanden niet meer voldoende kunnen worden teniet gedaan in de winter (zie bijvoorbeeld Cirkel et al., 2005 en 2006).

¹⁹ Persoonlijke mededeling Kees Meinardi, destijds als geohydroloog verbonden aan het toenmalige RIVM.. Zie zijn opmerkingen in bijlage F van dit rapport.

Uitgaande van het WB21-klimaatscenario 'midden', is bijvoorbeeld geschat dat de gemiddelde grondwaterstand in 2050 4 à 5 cm kan zijn toegenomen (Haasnoot et al., 1999). De belangrijkste kenmerken van dat scenario ten opzichte van het klimaat rond 1990 zijn een toename van de gemiddelde zomerneerslag van 1% en van de gemiddelde winterneerslag van 6% in 2050. In gebieden met vrije afwatering zal de gemiddelde grondwaterstand meer stijgen dan in de gebieden met peilbeheersing.

In 2004 is door TNO met een grondwatermodel gesimuleerd wat de klimaatverandering voor gevolgen zal hebben voor de GHG en de GLG in 2100 in het beheersgebied van het Waterschap Regge en Dinkel (Minnema en Snepvangers, 2004). Daarbij is uitgegaan van het WB21-klimaatscenario 'hoog', met als belangrijkste kenmerken ten opzichte van het klimaat rond 1990 een toename van de gemiddelde zomerneerslag van 4% en van de gemiddelde winterneerslag van 25% in 2100. Verder is er een toename van het jaarlijks maximum van de 10-daagse winterneerslag van 40%. De simulatie voor dit extreem natte scenario gaf aan dat het grondwatersysteem vrijwel overal natter wordt, met name in de winter. De gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) van de hoge stuwwallen in het oosten en westen komt veel hoger te liggen, zelfs tot enkele meters (zie figuur 5.9).



Figuur 5.9: Effect van het WB21-klimaatscenario 'hoog' op de GHG in 2100, ten opzichte van de GHG rond 1990.

In de lagere beekdalen in Twente is de verhoging van de grondwaterstand in de orde van enkele decimeters. Dit zal voor de ondiepe grondwaterstanden in de beekdalen veel effect hebben op de agrarische opbrengsten. Ook in de lagere wijken van steden, zoals

Almelo, zorgt een grondwaterstandverhoging van enkele decimeters direct voor grondwateroverlast. De gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) wordt alleen in de hogere stuwwallen hoger. Dit wordt veroorzaakt door de sterke verhogingen in de winter, welke in deze trage grondwatersystemen na-ijlen in de zomer.

De toename van kwel, wederom met name in de winter, zal in de lagere beekdalgebieden hogere waterafvoer en meer kans op overstromingen geven. De modelberekeningen geven aan dat er gemiddeld per jaar 9% meer water moet worden afgevoerd. De hoeveelheid grondwater die via maaiveld wordt afgevoerd ('overland flow') neemt zelfs toe met 18% in dit klimaatscenario.

De hiervoor vermelde kwantitatieve resultaten van hydrologische klimaatseffect-studies zijn overigens nog onder voorbehoud. We weten immers nog onvoldoende wat de veranderende klimaatsomstandigheden kunnen gaan betekenen voor de grondwateraanvulling.²⁰ Want een toename van de neerslagintensiteit kan leiden tot meer oppervlakkige afvoer en dus minder infiltratie. Verder zal het verhoogde CO₂-gehalte van de atmosfeer ook hydrologische gevolgen hebben, niet alleen doordat er meer biomassa zal ontstaan die meer neerslaginterceptie zal geven, maar ook doordat planten dan efficiënter met water zullen omgaan en dus minder zullen transpireren (zie Witte et al., 2006).

5.5.6 *Schade door lage grondwaterstanden*

Droge zomers en de daarmee gepaard gaande grondwaterstandsval vormen een bedreiging voor landbouw en natuur. Daar is nu al vaak sprake van terwijl dit naar verwachting in de toekomst vaker zal voorkomen. Ook infrastructuur (wegen, dijken) en bouwwerken lopen risico bij verlaging van grondwaterstanden. Dit geldt voor bouwwerken die zijn gefundeerd op houten palen, maar ook voor woningen die op staal, direct op kleilagen, zijn gefundeerd en de klei door grondwaterdaling kan krimpen. Vooral rond bomen kan dit proces versterkt optreden²¹.

5.5.7 *Toename kwel en verzilting West-Nederland*

Door de toename van de neerslag zal de kwel in de lage delen van het land toenemen. Er zal meer water moeten worden weggepompt, waardoor meer brak en zout grondwater uit de diepere ondergrond zal omhoogkomen. Maar dit effect is slechts gering ten opzichte van het na-ijleffect van de verschillende inpolderingen (zie § 3.2). Veel akkerbouw is afhankelijk van zoete neerslaglenzen. Droge zomers kunnen deze lenzen verkleinen.

5.5.8 *Toename wateroverlast*

In het lage deel van Nederland zal op een groot aantal locaties vaker wateroverlast optreden, in de vorm van ondergelopen landbouwgronden, kassen, woningen en wegen. In hoog Nederland zullen lokale waterproblemen optreden in de beekdalen. Om deze problemen te kunnen voorkomen zal de bergingscapaciteit vergroot moeten worden. Voor laaggelegen nieuwbouwlocaties dient daartoe ruimte te worden gereserveerd. Voor wat betreft het landelijke gebied is te verwachten dat alleen regio's met grote

²⁰ Dit is ook de strekking van opmerkingen van Kees Maas, geohydroog bij Kiwa Water Research (zie bijlage E) en Michael van der Valk, wetenschappelijk secretaris-lid van het Nationaal Comité IHP-HWRP (zie bijlage J).

²¹ Bomen kunnen in een kleibodem verlagingcirkels genereren die meer dan 100 cm bedragen

economische groei zullen investeren in waterberging, zoals de veenweidegebieden in het westen van het land (CPB, MNP en RPB, 2006).

De drainagesystemen in veel laaggelegen, bebouwde gebieden zullen moeite hebben die gebieden droog te houden. Mede in dit licht – en ook met het oog op de mogelijke toename van bebouwd gebied in de intrekgebieden van hun waterwinningen – hebben de drinkwaterbedrijven onlangs door Kiwa een studie laten uitvoeren naar de mogelijkheden van het winnen van stedelijk grondwater voor de bereiding van drinkwater (Vink et al., 2006). Daaruit bleek overigens dat deze mogelijkheden in de meeste van de 22 Nederlandse steden waar de afgelopen 10 jaar grondwateroverlast is opgetreden zeer beperkt zijn. De belangrijkste reden is dat een verlaging van de grondwaterstand door grondwateronttrekking in steden met veel oude gebouwen en een zettingsgevoelige ondergrond tot grote schade kan leiden.

5.5.9 *Gevolgen voor de natuur*²²

De grotere dynamiek van het watersysteem zal ongunstig zijn voor waterscheiding-venen (hoogvenen). Vennen zullen vaker droogvallen en meer last krijgen van eutrofiëring. Ook de oligotrofe, regenwaterafhankelijke natuur zal het moeilijker krijgen.

De natuur in kwelgebieden krijgt wellicht meer kans. Meer neerslag leidt namelijk tot een toename van de grondwateraanvulling en hogere grondwaterstanden in infiltratiegebieden.

Er zullen meer moerasbossen ontstaan die de zomerse droogte aan kunnen.

5.6 **Samenvatting mogelijke gevolgen klimaatverandering voor grondwatersysteem**

Ons grondwatersysteem zal dynamischer worden doordat de jaargemiddelde neerslag zal toenemen. De jaarfluctuaties zullen toenemen, door de nattere winters en de drogere zomers. Maar er zullen ook vaker extreem lage grondwaterstanden voorkomen, vooral in het W+-scenario.

Door de toename van de temperatuur en de verdamping in de zomer zal de grondwateronttrekking voor de bereiding van drinkwater toenemen. De verhoogde zomeronttrekking zal de stijghoogten en/of grondwaterstanden extra verlagen, wat een tijdelijke bijdrage kan geven aan de verdroging in de omgeving.

Door de drogere zomers en het langere groeiseizoen, zal er op de zandgronden nog meer beregend gaan worden met grondwater. Dit zal lokaal en tijdelijk grote verlagingen van de stijghoogte geven, die plaatselijk zullen doorwerken naar de grondwaterstand.

In het lage deel van Nederland zal op een groot aantal locaties vaker wateroverlast optreden, in de vorm van ondergelopen landbouwgronden, kassen, woningen en wegen. In hoog Nederland zullen lokale waterproblemen optreden in de beekdalen.

De toename van de neerslag en de voortgaande zeespiegelrijzing zullen leiden tot nog meer verzilting van het grondwater van laag Nederland. Maar deze effecten zijn gering

²² Persoonlijke mededeling Nicko Straathof, medewerker van Natuurmonumenten. Zie zijn opmerkingen in bijlage I van dit rapport.

ten opzichte van het na-ijleffect van de inpolderingen, dat nog lang door zal gaan. Regenwaterliezen worden wel kleiner.

Door de toename van de Rijnaafvoer kan het IJsselmeerpeil fors stijgen, het winterpeil mogelijk zelfs 50 cm. Als dit gebeurt zal er meer kwel zijn in een zone langs het IJsselmeer. Daardoor zullen plaatselijk hogere grondwaterstanden ontstaan en zal er een toename in waterafvoer zijn. Het hogere peil kan ook leiden tot opbarsting van de deklaag in een zone langs het IJsselmeer. Dit zal een sterke toename van kwel geven en daarmee een grote kans op (meer) verzilting.

Bij extreem hoge zeespiegelrijzing zal het opbarsten van bodems in droogmakerijen en diepere veenpolders een onbeheersbaar probleem kunnen worden.²³

Voor de buitenste ring van droogmakerijen (zone langs en aan de voet van 'ringvaarten') is zeer kwetsbaar voor opbarsting. Bouwen kan daarom het best in het centrum van droogmakerijen plaatsvinden²⁴.

²³ Persoonlijke mededeling Marc Bierkens, professor Geografische Hydrologie aan de Universiteit Utrecht. Zie zijn opmerkingen in bijlage B van dit rapport.

²⁴ Brongaswinningen bevonden zich vroeger hoofdzakelijk in deze zone omdat daar, in tegenstelling tot meer centraal in de polder, artesisch grondwater aanwezig was.

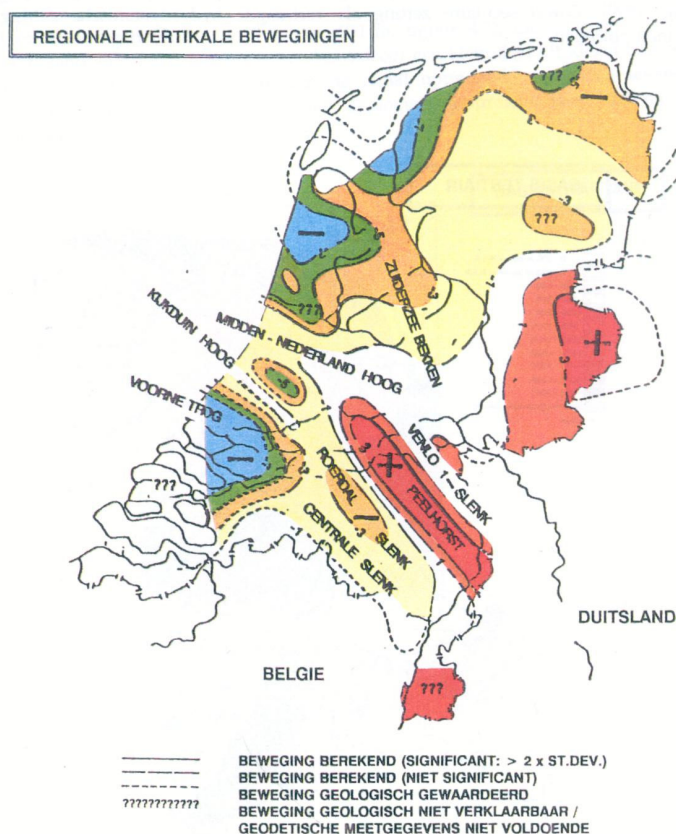
6 Bodemdaling

Bodemdaling beïnvloedt de waterhuishouding, zeker in combinatie met de zeespiegelrijzing en grotere extremen in neerslag. Door bodemdaling heeft laag Nederland te kampen met meer zout water en is er een grote behoefte aan zoet doorspoelwater. De bodemdaling heeft ook gevolgen voor de stabiliteit van boezemkaden, infrastructuur en gebouwen.

Er zijn drie verschillende oorzaken voor de daling van de bodem in Nederland. Ten eerste de autonome tektonische ontwikkelingen in de diepere geologische lagen. Daarnaast zijn er directe regionale effecten van gas-, bruinkool- en zoutwinning in en nabij Nederland. Tenslotte geldt voor de lagere delen van Nederland met klei en vooral veen dat er door de ontwatering een relatieve grote bodemdaling is ingezet.

6.1 Tektonische bodemdaling

Als gevolg van het schuiven van platen van de aardkorst is de diepere ondergrond van Nederland constant in beweging, zowel horizontaal als verticaal (zie figuur 6.1). Daarnaast heeft ook het abrupte einde van de laatste ijstijd geleid tot het omhoogkomen van de diepere ondergrond van Nederland. Door het smelten van de ijskap is namelijk de belasting van het landoppervlak ineens afgenomen en is het land gaan stijgen, terwijl door de toegenomen watermassa van de zee de zeebodem is gaan dalen. Daardoor is het westelijke en het noordelijke deel van Nederland gaan dalen, terwijl het oostelijke deel, Limburg en een deel van Noord-Brabant zijn gaan stijgen. Zowel de daling als de stijging bedraagt enkele centimeters per eeuw (Lorenz et al., 1991).



Figuur 6.1: Regionale verticale bewegingen in Nederland (cm/eeuw). Overgenomen uit (***).

6.2 Bodemdaling door grondstoffenwinning

De winning van aardgas in de provincie Groningen leidt tot een daling van de bodem. Dit is het rechtstreekse gevolg van een drukvermindering in de diepe lagen. Sinds 1964 is de daling in het centrum van het gebied maximaal 24 cm geweest. In 2050 kan de maximale bodemdaling 30 à 40 cm bedragen..

Voor de winning van bruinkool langs de Duitse grens wordt jaarlijks circa 1,2 miljard m³ grondwater onttrokken (zie ook § 9.5). Als gevolg hiervan zal de bodem van Noord-Limburg dalen, maar het is nog niet duidelijk hoeveel.

Grondwaterwinning kan ook leiden tot een bodemdaling door een verhoogde korrelspanning in de ondergrond. Het reduceren of stopzetten van een grondwaterwinning leidt tot het slechts deels ongedaan maken van deze bodemdaling. Voor de mijnbouw in Limburg was een zeer diepe ontwatering van de mijnschachten nodig (zie ook § 9.6). Na het verlaten van deze mijnen en het stoppen van de ontwatering, zijn de grondwaterstanden en diepe stijghoogten in de omgeving gestegen. Als gevolg hiervan is het maaiveld in die omgeving inmiddels met gemiddeld 25 cm gestegen. De stijging bedraagt 1 à 2 cm per jaar.

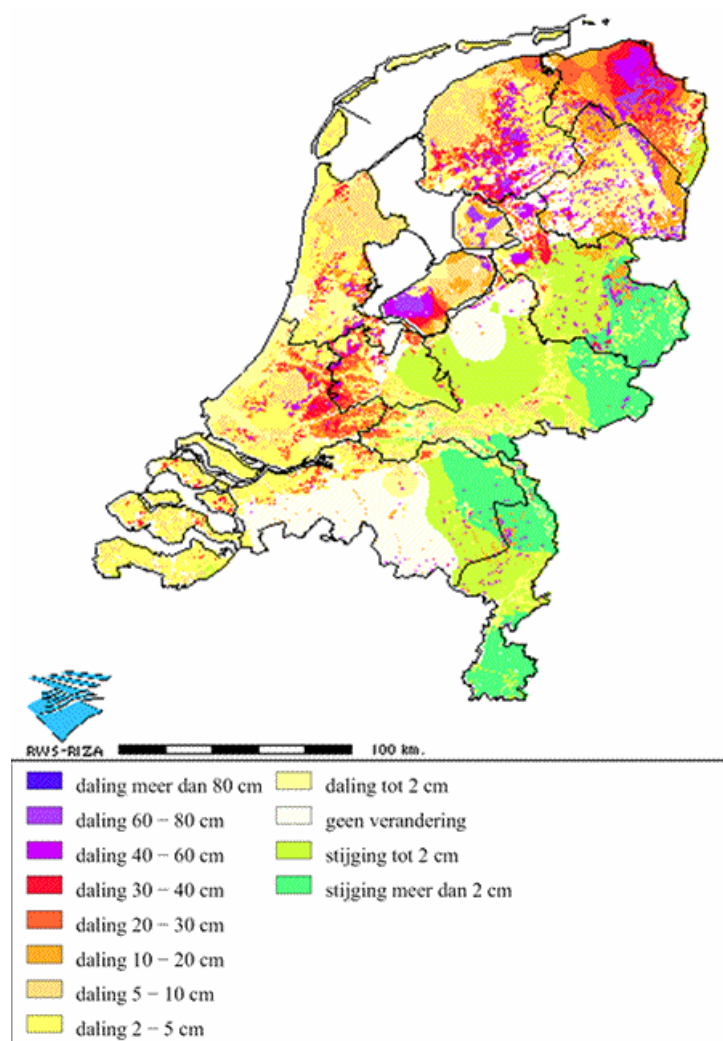
De zoutwinning kan bij Harlingen een bodemdaling van 25 cm in 2050 geven en bij Veendam kan deze daling 65 cm in 2050 bedragen. Soms kan er door zoutwinning ook een acute trechtervormige inzakking van de bodem ontstaan.

6.3 Bodemdaling door ontwatering van veengebieden

Het droogleggen van de polders leidt tot zetting, klink, krimp en oxidatie. De zetting is het gevolg van de verminderde waterspanning en dus vergrote korrelspanning in de bodem. Oxidatie treedt op in veengebieden, waar het veen blootgesteld wordt aan zuurstof en eigenlijk 'verbrand'. Voor oxidatie geldt dat dit proces volledig onomkeerbaar is. De daling van veengebieden zal voortdurend doorgaan, het enige dat hiertegen gedaan kan worden, is het oppervlaktewaterpeil zo hoog mogelijk houden teneinde de dalingssnelheid beperkt te houden. Vermoedelijk zal de bodem van de diepere polders in West-Nederland de komende 50 jaar tussen de 10 en 45 cm dalen.

6.4 Ruimtelijke verdeling bodemdaling in Nederland

In figuur 6.2 is de voor 2050 geschatte bodemdaling in Nederland weergegeven. Hierbij is de veenoxidatie gerelateerd aan de temperatuurverhoging van +1 °C van het WB21-scenario 'midden'. Uit deze kaart blijkt dat de oostelijke delen van het Groene Hart en Friesland als gevolg van veenoxidatie nog veel zullen dalen. En het zuidelijk deel van de Flevopolder zal nog verder dalen als onderdeel van het nog steeds consolideren van de bodem. Ook het effect van de gaswinning in Groningen is duidelijk te zien.



Figuur 6.2: Geschatte bodemdalingeffecten in 2050, voor het WB21-klimaatscenario 'midden'.
Overgenomen uit (Kors et al, 2000).

Tabel 6.1 geeft een overzicht van de ordegrootte van de bodemdaling per oorzaak en gebied.

Tabel 6.1: Ordegrootte van bodemdaling per oorzaak en gebied. Grotendeels overgenomen van website www.droogtestudie.nl en verder op enkele punten aangevuld.

Oorzaak	Gebied	Ordegrootte daling/stijging
geologische processen	Noordwest Nederland	daling 7 tot 8 cm per eeuw
	Zuidoost Nederland	stijging 7 tot 8 cm per eeuw
oxydatie	in veengebieden die niet onder water staan	bij huidige praktijk ontwatering in veengebieden, daling van zo'n 100 cm/eeuw, door oxydatie en zetting. Afhankelijk van dikte veenlaag, hoe lang dit doorgaat (laag is in Friesland 1 à 2 m dik en in Noord- en Zuid-Holland vele m (in veengebieden komt 60% bodemdaling door oxydatie). Bij temperatuurstijging treedt extra oxydatie op (zie figuur 6.2)
rijping, klink & zetting	bij grondwaterstanddaling lokaal in onverzadigde zone en regionaal in freatisch vlak	
aardgaswinning	Noordoost Nederland	nu maximaal 24 cm daling, kan in 2050 30 à 40 cm bedragen, afhankelijk van mate van nieuwe gaswinning.
zoutwinning	Friesland	bij Harlingen daling ~ 20 cm tot 2030 en ~ 25 cm tot 2050.
	Groningen	bij Veendam maximaal 65 cm daling tot 2050.
	Twente	na dalingen in verleden weinig dalingen te verwachten
steenkoolwinning	Zuid-Limburg	stijging op locaties tot 1 à 2 cm per jaar, door vullen van mijnen met water. in het verleden is bodem op die locaties gedaald.
bruinkoolwinning	Noord-Limburg & Brabant	onduidelijk; grote dalingen van stijghoogten en van grondwaterstanden door bruinkoolwinning tussen Keulen, Aken en Roermond. Gevolgen voor bodemdaling zijn onduidelijk.
grondwater-onttrekkingen	klei- en veengebieden	daling van 5 tot 10 cm voor elke 1 m daling in grondwaterstand, volgens onderzoek in Friesland en naar aan te leggen Markerwaard.
totaal klink, oxydatie, geologie, aardgaswinning	natuurgebieden	daling tot 2050 maximaal 10 cm, omdat er vanuit wordt gegaan dat peilen vrij hoog worden gehouden.
	zuidelijk Flevoland	daling tot 2050 10 tot 70 cm; extra zetting door rijping grond.
	voorbeeld Krimpenerwaard	lokaal kunnen heel grote verschillen in bodemdaling ontstaan. In de Krimpenerwaard zijn hoogteverschillen in gebied sinds 1850 met 50 tot 100 cm toegenomen.

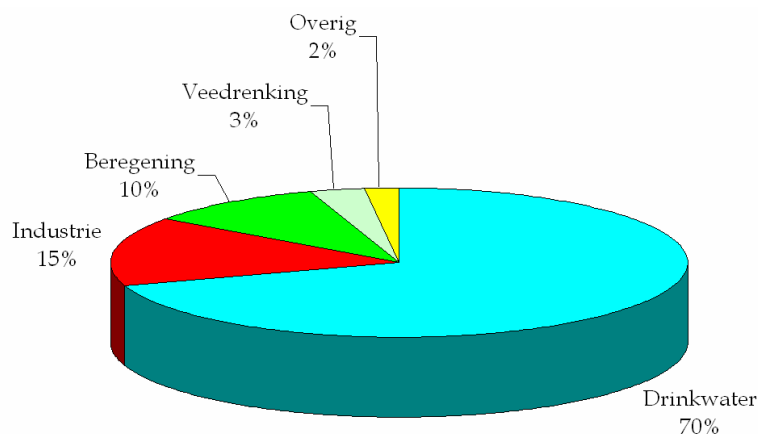
6.5 Mogelijke gevolgen bodemdaling voor grondwatersysteem

De geologische beweging is te zien als een vorm van kanteling van Nederland over de ZW-NO-diagonaal. Maar deze beweging is niet groot, slechts enkele centimeters aan het eind van deze eeuw. De mogelijke absolute zeespiegelrijzing is vele malen groter. Voor het grondwatersysteem zal deze kanteling dan ook weinig betekenen.

In combinatie met de zeespiegelrijzing is de daling van de bodem in de polders van het westen en noorden het meest zorgelijk. De extra bodemdaling kan hier namelijk oplopen tot 80 centimeter in 2050. De situatie rondom de diepste polders kan betiteld worden als problematisch. Vooral de energievraag en de zoutwaterlozing door bemaling leiden tot het stellen van vragen omtrent de natuurlijke duurzaamheid. In de toekomst zal het grondwater dichterbij het maaiveld komen of de grondwaterstand zal worden verlaagd om de maaiveld daling te volgen. Deze peilindexatie leidt tot een vergroting van de (veelal brakke) kwel in deze polders en een verhoogd risico van opbarsten van de bodem (zie § 3.4.4). De marges in de ontwateringsdiepte om de functies goed te kunnen bedienen, zijn vrij klein. Bij de keuze voor handhaven van het huidige oppervlaktewaterpeil (geen peilindexatie) kan zeker in de toekomst het noodgedwongen accepteren van wateroverlast of ingrijpende functieveranderingen noodzakelijk worden. Het voortschrijdende proces en tempo van bodemdaling kan vermoedelijk alleen worden tegengegaan door de peilverlaging te beperken. De gangbare weg van 'peil volgt functie' moet dan worden omgezet in 'functie volgt peil' (zie ook § 4.11). In meerdere beleidsstukken wordt dit nieuwe principe reeds genoemd, maar in de praktijk is het, gegeven de belangen die er spelen, moeilijk om dit ook toe te passen. In Plan de Venen is dit opgenomen als een uitgangspunt en bij de Krimpenerwaard wordt eveneens gezocht naar mogelijkheden.

7 Ontwikkeling grondwateronttrekking

In Nederland wordt grondwater onttrokken voor de bereiding van drinkwater en voor industriële, agrarische en overige doeleinden. De totale grondwateronttrekking ligt momenteel vermoedelijk ergens tussen de 1.000 en 1.200 miljoen m³/jaar, waarvan ruim tweederde deel door de drinkwaterbedrijven (zie figuur 7.1). De ontwikkelingen van deze onttrekkingen zijn beschreven in de volgende paragrafen.



Figuur 7.1: Geraamde huidige samenstelling van de grondwateronttrekking in Nederland, bij gemiddelde klimatologische omstandigheden. Afgeleid uit cijfers van de VEWIN, het CBS en het LEI.

7.1 Grondwateronttrekking voor de bereiding van drinkwater

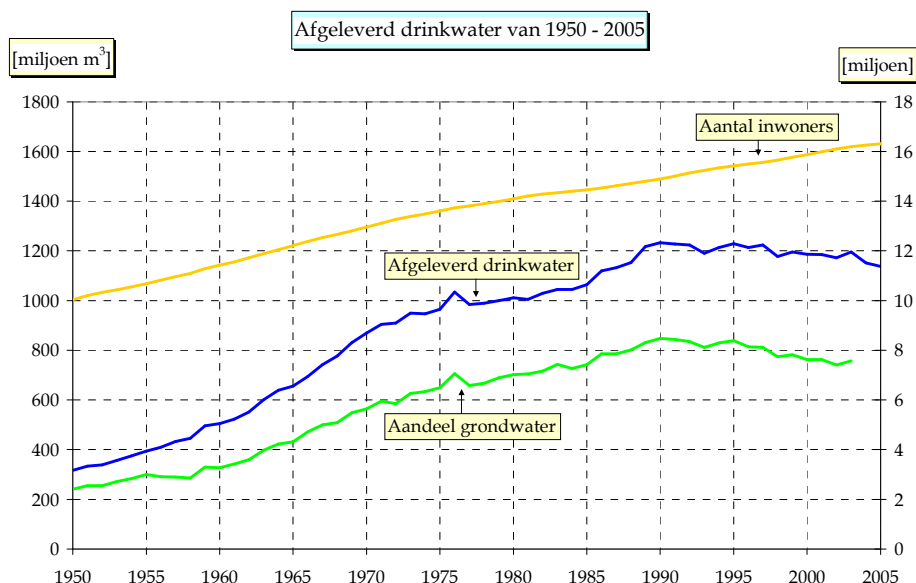
7.1.1 Historische ontwikkelingen

In Nederland wordt momenteel het meeste grondwater onttrokken door de drinkwaterbedrijven. Deze onttrekking bedroeg 766 miljoen m³ in 2005.²⁵

In 1853 begon de openbare drinkwatervoorziening met het gebruik van grondwater voor de bereiding van drinkwater. Het bood namelijk ten opzichte van oppervlaktewater hygiënische voordelen, zoals een reductie van cholera-epidemieën en tevens had het een constantere kwaliteit en een betere smaak (Stuyfzand en Bannink, 2003).

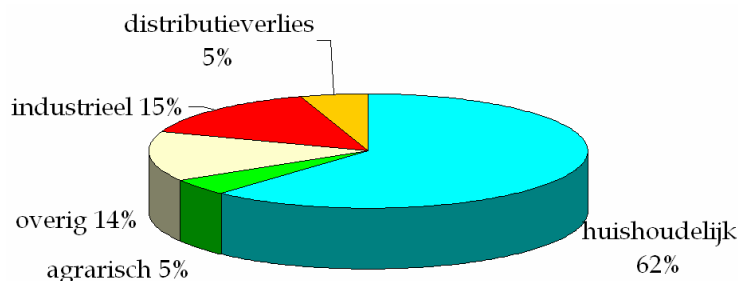
Door de bevolkingsgroei en de stijging van het hoofdelijke watergebruik steeg het drinkwatergebruik aanvankelijk zeer sterk, van 70 miljoen m³ in 1900 en 316 miljoen m³ in 1950 tot 1.236 miljoen m³ in 1990, waarna het min of meer constant is gebleven tot 1995, om dan geleidelijk terug te lopen tot 1.137 miljoen m³ in 2005. De afbuiging die – ondanks de min of meer lineaire bevolkingstoename – vanaf 1990 heeft plaatsgevonden (zie figuur 7.2), is veroorzaakt door trendbreuken van het huishoudelijk, het agrarisch en het bedrijfsmatig drinkwatergebruik (Baggelaar en Geudens, 2005).

²⁵ Daarnaast werd 490 miljoen m³ oppervlaktewater gewonnen. Na verrekening van productie verliezen en veranderingen in voorraadvorming, resteerde er 1.137 miljoen m³ drinkwater en 79 miljoen m³ ander water (zijnde water niet van drinkwaterkwaliteit). Bron: Waterleidingstatistiek 2005, VEWIN, Rijswijk.



Figuur 7.2: Verloop van de in het Nederlandse leidingnet afgeleverde hoeveelheid drinkwater – met tevens het aandeel grondwater – en van het aantal inwoners vanaf 1950. Samengesteld uit cijfers van het CBS en de VEWIN Waterleidingstatistieken. Het aandeel grondwater is hier zonder het oeverfiltraat.

Het gebruik door huishoudens vormt veruit het grootste aandeel van het totale drinkwatergebruik. In 2003 werd circa 62% van het drinkwater voor huishoudelijke doeleinden gebruikt (zie figuur 7.3). Ondanks de voortgaande bevolkingsgroei is vanaf 1990 het huishoudelijk drinkwatergebruik sterk afgevlakt, vooral door het verzadigd raken van de huishoudens met watergebruikende voorzieningen (met name douches en wasmachines) en de toenemende technische waterbesparing (zoals door spoelonderbrekers van toiletten en zuinigere wasmachines). Het agrarisch drinkwatergebruik is daarentegen vooral afgenomen door het overgaan op eigen winningen door agrariërs vanaf ongeveer 1994 à 1995. Verder zal ook het inkrimpen van de veestapel hebben bijgedragen aan de vermindering van het agrarisch drinkwatergebruik. Tenslotte is nog het bedrijfsmatig drinkwatergebruik gedaald vanaf 1990, vooral door oplopende waterkosten en door de introductie van efficiëntere waterbesparende technieken, waardoor de autonome gebruiksgroei door economische groei meer dan gecompenseerd werd. Er wordt ook in toenemende mate door industrieën overgegaan op ander water, zijnde water niet van drinkwaterkwaliteit.



Figuur 7.3: Uitsplitsing van het drinkwatergebruik in 2003 naar de deelgebruiken. Samengesteld uit gegevens van de Waterleidingstatistiek 2003, VEWIN, Rijswijk.

Door fusies zijn er in Nederland nog maar 12 drinkwaterbedrijven, tegen 215 in 1950. Zij winnen het water momenteel op 218 winplaatsen, waarvan 204 grondwaterwinplaatsen en 14 oppervlaktewaterwinplaatsen. In 1992 waren er nog 262 winplaatsen, waarvan 246 grondwaterwinplaatsen en 16 oppervlaktewaterwinplaatsen. De schaalvergroting door de fusies heeft er toe geleid dat enkele kleine winningen zijn gesloten. Enkele grote winningen zijn daarbij uitgebreid of hun vergunningscapaciteiten zijn beter benut. Maar het is niet te verwachten dat deze - vooralsnog beperkte - winningconcentratie veel kan doorzetten, enerzijds doordat vergunningscapaciteiten nog maar nauwelijks zijn uit te breiden en anderzijds doordat de kosten van transportleidingen dan te hoog zullen worden.

De drinkwaterbedrijven gebruikten in 1992 water van de volgende herkomst (Stuyfzand en Bannink, 2003):

- 35% spannings- of semispanningswater (grondwater) uit diepe zandige watervoerende pakketten,
- 27% freatisch grondwater uit ondiepe zandige watervoerende pakketten,
- 4% Rijnsoeverfilteraat (grondwater),
- 2% grondwater uit kalksteen of mergel in Limburg.
- 19% oppervlaktewater (voornamelijk uit Rijn en Maas, na verblijf in een spaarbekken) en
- 13% kunstmatig infiltraat (grotendeels uit Rijn en Maas, na voorzuivering).

Het drinkwater werd in 1992 dus voor 68% voorzien uit grondwater. In 2005 was dat 61%²⁶. Dit percentage is slechts langzaam gedaald, ondanks inspanningen van de overheid om het grondwater meer te ontzien, in het kader van het beleid tegen verdroging. Het is overigens niet te verwachten dat dit percentage tot onder de 50% zal dalen. De overheid heeft namelijk al eerder – in het Beleidsplan Drink- en Industriewatervoorziening (1995) - te kennen gegeven dat het drinkwater in Nederland voor minimaal 50% uit grondwater bereid moet worden, aangezien het makkelijker te zuiveren is en het ook uitkomst biedt bij grootschalige en langdurige vervuiling van het oppervlaktewater. Verder verliest het oppervlaktewater aantrekkelijkheid als grondstof voor drinkwater, nu steeds duidelijker wordt dat het hormonale stoffen, medicinale resten en andere moeilijk te verwijderen verontreinigingen kan bevatten. Tenslotte beschikken de drinkwaterbedrijven door de daling van het drinkwatergebruik vanaf 1990 over ongebruikte vergunningscapaciteit van grondwaterwinningen, waarmee een eventuele toenemende vraag kan worden opgevangen.

In Noord-Holland heeft het Provinciaal Waterleidingbedrijf Noord-Holland (PWN) zijn grondwaterwinningen in de duinen (totaal circa 15 miljoen m³/jaar) grotendeels stopgezet en vervangen door de winning van IJsselmeer- en Lekwater, dat vervolgens door membraanfiltratie wordt gezuiverd in de 'waterfabriek' te Heemskerk. Hierbij speelde echter sterk de wens om de natuur van het duingebied zoveel mogelijk te ontzien. Aangezien dit probleem minder speelt in de rest van het land, is het vooralsnog niet te verwachten dat deze overgang van grondwaterwinning naar oppervlaktewaterwinning grote navolging gaat krijgen.

Het grootste deel van de grondwaterwinning voor de bereiding van drinkwater vindt plaats op de hogere zandgronden van het midden, zuiden en oosten van Nederland en in het rivierenlandschap (zie figuur 7.4).

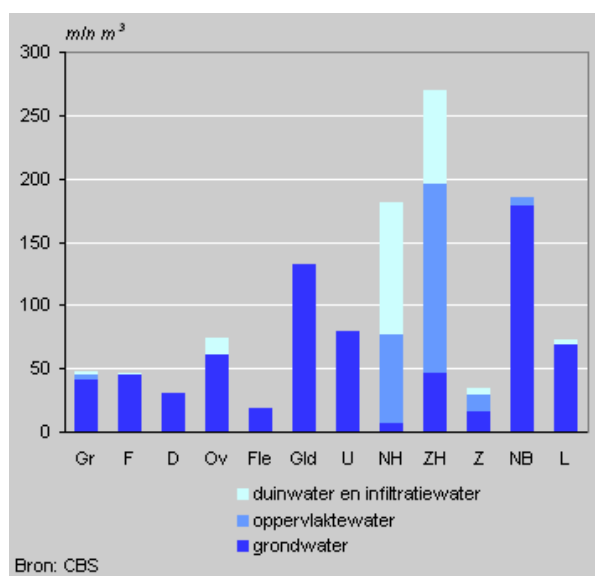
²⁶ Waterleidingstatistiek 2005, VEWIN, Rijswijk.



Figuur 7.4: De ligging van de grondwaterlichamen waaruit grondwater wordt onttrokken voor de bereiding van drinkwater en/of voor industriële doeleinden.

Figuur 7.5 toont per provincie de aandelen van de drie grondstoffen voor drinkwater in 2002. Het meeste grondwater wordt opgepompt in Noord-Brabant (179 miljoen m³ in 2002), gevolgd door Gelderland (133 miljoen m³ in 2002). Door de slechtere grondwaterkwaliteit (brak, of zout water) kan er in de zeekleigebieden van het westelijke en noordelijke deel van Nederland vrijwel geen natuurlijk grondwater

worden gewonnen. De bevolking in het westen wordt daarom voor een groot deel van drinkwater voorzien door de winning van kunstmatig geïnfiltreerd rivierwater in de kuststrook. Drinkwater uit oppervlaktewater wordt voornamelijk geproduceerd in Zuid-Holland (148 miljoen m³ in 2002) en Noord-Holland (70 miljoen m³ in 2002). De toename van het gebruik van oppervlaktewater komt geheel voor rekening van deze twee provincies.

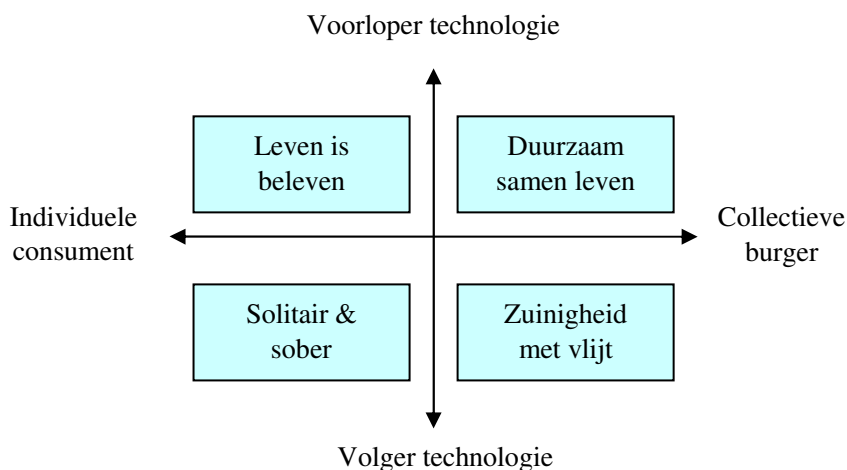


Figuur 7.5: Het aandeel van de drie grondstoffen van drinkwater per provincie in 2002. Bron: Webmagazine CBS.

7.1.2 Mogelijke ontwikkelingen

Volgens een recent opgestelde prognose zal het drinkwatergebruik in Nederland blijven afnemen, namelijk van 1.152 miljoen m³/jaar in 2004 tot 1.106 miljoen m³/jaar in 2020 (Baggelaar en Geudens, 2005). Deze basisprognose kwam tot stand uit een beredeneerde extrapolatie van de historische ontwikkeling, waarbij is verdisconteerd voor de technische en gedragsmatige ontwikkelingen die zich thans reeds aftekenen. Bij het opstellen van de prognoses is onderscheid gemaakt naar zo homogeen mogelijke deelgebruiken, zodat maximaal gebruik kon worden gemaakt van de inzichten in de patronen en invloedsfactoren van elk deelgebruik. Onderscheiden zijn het kleingebruik (hoofdzakelijk gerelateerd aan huishoudelijke activiteiten), het agrarisch gebruik, het overig middengebruik, het grootgebruik (hoofdzakelijk gerelateerd aan industriële activiteiten) en het distributieverlies.

In een flankerende studie zijn vier scenario's van het drinkwatergebruik in Nederland uitgewerkt (Hummelen, 2006). Daarbij is gebruik gemaakt van dezelfde rekenmodellen als gehanteerd voor de basisprognose, zij het met andere instellingen voor consumentengedrag, technologie en rol van de overheid. De scenario's verschillen in twee maatschappelijke sleutelonzekerheden (zie figuur 7.6), namelijk burgerschapstijl (individueel versus collectief gericht) en snelheid van technologieontwikkeling en –implementatie (Nederland als voorloper of als volger).

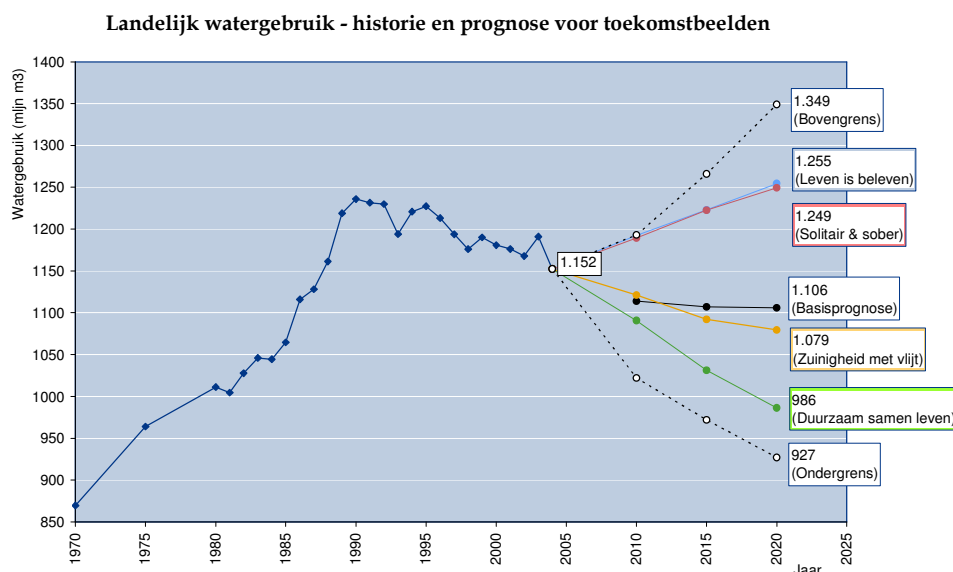


Figuur 7.6: De posities van de vier lange-termijn scenario's voor het drinkwatergebruik in het assenstelsel van de twee sleutelonzekerheden.

Bij elk van de vier scenario's is uitgegaan van dezelfde bevolkingsgroei als gehanteerd bij het opstellen van de basisprognose van het drinkwatergebruik. De scenario's zijn voor wat betreft de economische groei gekoppeld aan de CPB-scenario's (CPB, 2004), om gebruik te kunnen maken van de bij de CPB-studie ontwikkelde lange-termijn voorspellingen van economische groei per bedrijfsklasse. De gehanteerde koppelingen waren: *Leven is beleven* met *Wereld-Economie*, *Duurzaam samen leven* met *Sterk Europa*, *Zuinigheid met vlijt* met *Transatlantische Markt* en *Solitair & sober* met *Regionale Samenwerking*.

Voor elk van de vier scenario's valt de ontwikkeling van het drinkwatergebruik nog binnen de onzekerheidsgrenzen van de basisprognose (zie figuur 7.7). Volgens twee scenario's zal het drinkwatergebruik toenemen en volgens de andere twee zal het afnemen. De onderlinge verschillen blijken vooral af te hangen van het gedrag van de consument. In de scenario's die uitgaan van een coherente, milieubewuste samenleving - *Duurzaam samen leven* en *Zuinigheid met vlijt* - daalt het drinkwatergebruik tot 2020 nog meer dan volgens de basisprognose, respectievelijk tot 986 en 1.079 miljoen m³/jaar, terwijl het in de twee scenario's die uitgaan van de individualistisch ingestelde consument - *Leven is beleven* en *Solitair & sober* - zal toenemen tot 1.255 respectievelijk 1.249 miljoen m³/jaar. In beide gevallen is dit hoger dan het huidige watergebruik en de basisprognose.

Ipo Ritsema (manager bij TNO Bouw- en Ondergrond):
Veranderingen in het grondwatersysteem zijn ook sterk afhankelijk van politieke beslissingen. Laten wij marktwerking in de drinkwatersector toe? Dit kan leiden tot sluiting of verplaatsing van winningen, door water te importeren of waterfabrieken te starten, of ook tot export van drinkwater en toename van grondwaterwinning. Bij verbetering van efficiency valt in ieder geval te verwachten dat kleine winningen worden gesloten.



Figuur 7.7: Historische en mogelijke toekomstige ontwikkeling van het drinkwatergebruik in Nederland tot 2020. Weergegeven zijn de ontwikkelingen volgens de basisprognose (inclusief de bijbehorende onzekerheidsgrenzen) en volgens vier scenario's. Overgenomen uit (Hummelen, 2006).

Er zijn nog geen schetsen van het drinkwatergebruik in 2050 uitgewerkt, maar het is niet aannemelijk dat de ontwikkelingen zich zo sterk zullen blijven voortzetten als boven geschetst tot 2020, vooral doordat de voor 2020 gehanteerde hoofdelijke huishoudelijke gebruiken in de twee uiterste scenario's (*Leven is beleven* en *Duurzaam samen leven*) al dermate extreem zijn, dat nóg extremere waarden moeilijk denkbaar zijn. Als we tevens het aantal inwoners in 2050 volgens de vier CPB-scenario's verdisconteren (zie § 2.4), dan is de sterkste toename van het drinkwatergebruik te verwachten in het scenario *Leven is beleven* (dat is gekoppeld aan het CPB-scenario *Wereld-Economie*). Dit zal ook leiden tot meer grondwateronttrekking door de drinkwaterbedrijven, mede doordat de overheid in dit scenario minder restricties zal opleggen.

Voor wat betreft de andere drie scenario's zullen – na verdiscontering van het aantal inwoners – de drinkwatergebruiken in 2050 niet meer ver van elkaar afliggen en vermoedelijk ook niet meer dan 10 à 20% afwijken ten opzichte van het gebruik in 2004. In deze scenario's zal er daarom weinig extra grondwateronttrekking door de drinkwaterbedrijven zijn.

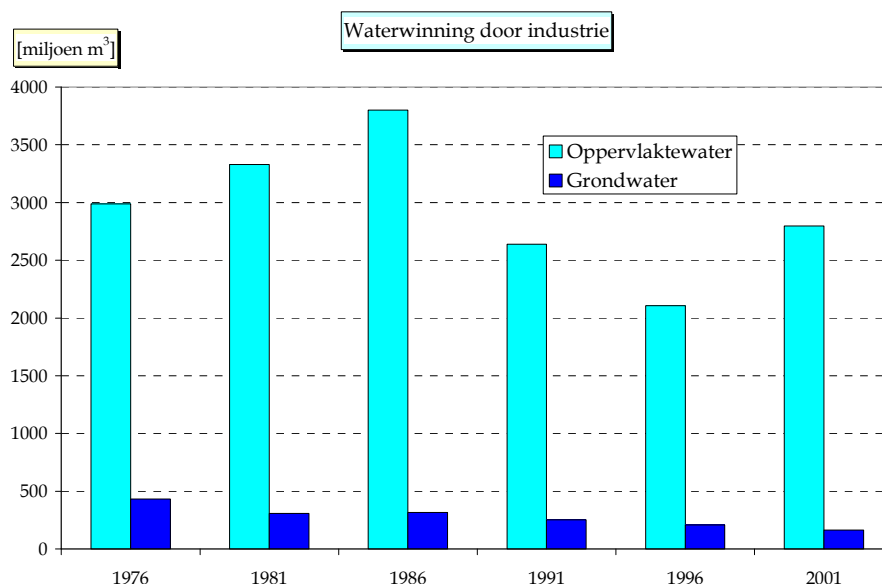
7.2 Grondwateronttrekking voor industriële doeleinden

7.2.1 Historische ontwikkelingen

De industrie gebruikt water als grondstof, als proceswater, of voor koeling. Het meeste daarvan, ongeveer 90 à 95%, is oppervlaktewater, dat hoofdzakelijk wordt ingezet voor koeling, voornamelijk bij de chemische industrie en raffinaderijen.

De hoeveelheid door de industrie gewonnen grond- en oppervlaktewater is van 1976 tot 2001 slechts weinig afgenomen (zie figuur 7.8), namelijk van 3.420 miljoen m³ in 1976

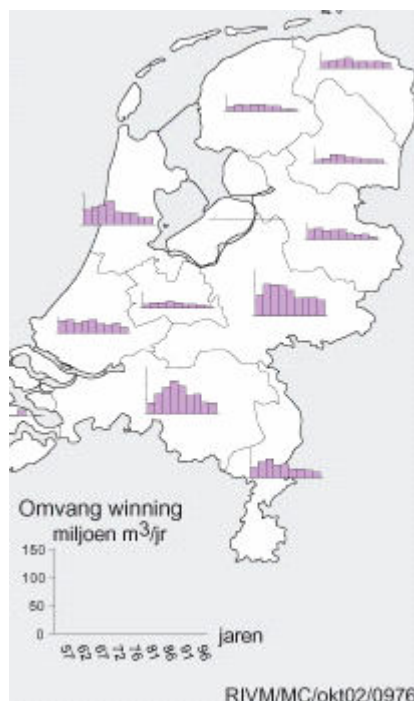
tot 2.960 miljoen m³ in 2001.²⁷ In het warmere jaar 1986 bedroeg dit 4.118 miljoen m³. De onttrekking van grondwater door de industrie heeft in de jaren 1970 een piek bereikt van circa 500 miljoen m³/jaar, maar in 1996 was deze weer terug op het niveau van 1950, namelijk circa 200 miljoen m³/jaar. En in 2001 was het nog verder gedaald, tot 164 miljoen m³. In 1976 droeg het grondwater nog voor 12,7% bij aan de totale waterwinning door de industrie, maar in 2001 was dat al meer dan gehalveerd tot 5,5%. Ongeveer de helft van het onttrokken grondwater wordt ingezet als koelwater.



Figuur 7.8: Verloop van de hoeveelheid gewonnen oppervlaktewater en grondwater door de industrie in de periode 1976 - 2001. Samengesteld uit cijfers van het CBS.

Het teruglopen van het aandeel grondwater sinds de jaren 1970 was waarschijnlijk een reactie op de invoering van de Wet Verontreiniging Oppervlaktewater (1969) die de industrieën aanzette tot een efficiënter watergebruik. Verder werd de grondwateronttrekking vanaf 1980 ook beperkt door oplopende waterkosten, door de invoering van een stringenter grondwaterbeleid om verdroging tegen te gaan en door de introductie van efficiëntere waterbesparende technieken, waardoor de autonome gebruiksgroei door economische groei meer dan gecompenseerd werd. De afnamen zijn het grootst in de provincies waar het meeste grondwater door industrieën wordt gewonnen, namelijk Gelderland, Noord-Brabant, Noord- en Zuid-Holland en Limburg (zie figuur 7.9).

²⁷ CBS (2003). StatLine: Watervoorziening industrie (div. bedrijfsgr.), delfstoffenwinning, elek.cent., CBS, Voorburg/Heerlen.



Figuur 7.9: Verloop van de grondwateronttrekking voor industriële doeleinden per provincie, in de periode 1957 – 1996. Overgenomen uit Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Grondwaterwinning door de industrie en waterleidingbedrijven, 1950-2000, versie 03, 12 september 2002.

7.2.2 Mogelijke ontwikkelingen

De verdere ontwikkelingen van de grondwateronttrekking voor industriële doeleinden zullen worden bepaald door de economische ontwikkelingen, door de mate van waterbesparing (zoals door hergebruik dankzij membraantechnologie), door de mate van substitutie (vervanging van grondwater door een andere watersoort of andersom) en door het beleid.

Economische groei

In elk van de vier CPB-scenario's is er een economische groei tot 2040 (CPB, 2004), waarbij de groei na 2020 afneemt. Het scenario *Wereld-Economie* geeft de meeste groei, terwijl het scenario *Regionale Samenwerking* de minste groei geeft (zie tabel 7.1). In drie van de scenario's is de groei echter minder dan in de periode 1980 – 2001, toen de jaargemiddelde groei 2,5% bedroeg. Dat wordt alleen overtroffen in het scenario *Wereld-Economie*.

Tabel 7.1: Gemiddelde jaarlijkse groei van het bruto binnenlands product per scenario, zowel voor de periode 2002 – 2020, als voor de periode 2021 – 2040 (CPB, 2004).

Periode / Scenario	WE	SE	TM	RS
2002 – 2020	2,9%	1,8%	2,2%	1,0%
2021 - 2040	2,3%	1,4%	1,6%	0,4%

Voortgaande waterbesparing

Door zuiniger wordende productieapparatuur zal het proceswatergebruik verder afnemen. Bepaalde processen behoeven zelfs helemaal geen water meer, bijvoorbeeld omdat wordt gekoeld met lucht in plaats van met water. Daarnaast nemen de mogelijkheden voor hergebruik en kringloopsluiting (een gesloten waterketen) toe, doordat de membraantechnologie zich steeds verder ontwikkelt en ook steeds goedkoper wordt (zie hieronder). De Kaderrichtlijn Water verkleint de stap naar kringloopsluiting. Op basis van deze Europese richtlijn moeten oppervlaktewateren per 2015 voldoen aan strengere waterkwaliteitsnormen. Om dit te realiseren zullen de waterkwaliteitsbeheerders de lozingsvergunningen van bedrijven aanscherpen en zullen bedrijfszuiveringen worden verbeterd (Baggelaar en Geudens, 2005).

Verbeterde zuiveringsmethoden

Een zuiveringsmethode sterk in opkomst is de membraanfiltratie. Deze brengt niet alleen voor veel industrieën hergebruik van water – en daarmee kringloopsluiting – dichterbij, maar zorgt er ook voor dat waterbronnen van geringe kwaliteit, zoals oppervlaktewater, brak en (zelfs) zout grondwater, in aanmerking komen, niet alleen voor industriële doeleinden, maar zelfs voor de bereiding van drinkwater. Bij membraanfiltratie wordt water door een dun membraan met zeer fijne poriën geperst. In principe is het daarmee mogelijk volkomen zuiver H₂O te produceren uit een willekeurig vervuilde grondstof (Van Dijk et al., 2001). De bedrijfsvoering is robuust en ook op kleine schaal economisch en technisch haalbaar. Het scheidend vermogen neemt toe als de grootte van de poriën afneemt. Met afnemende poriegrootte is membraanfiltratie te classificeren als microfiltratie (MF), ultrafiltratie (UF), nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO). Deze laatste vorm van membraanfiltratie is bijvoorbeeld geschikt voor de bereiding van drinkwater uit zeewater.

*Mogelijke ontwikkelingen industriële grondwateronttrekking per scenario*²⁸

- *Wereld-Economie* – Er is een sterke groei van de industrie, vooral van de voedings- en genotmiddelenindustrie, de chemische en de aardolie-industrie (CPB, 2004). Maar er wordt veel water bespaard en hergebruikt, doordat de technologie daarvoor goedkoper en beter beschikbaar is geworden. Er zijn ook meer industrieën die grondwater gaan winnen, om het relatief dure drinkwater te vervangen. De overheid stelt zich immers minder streng op ten aanzien van het grondwater, aangezien dat het economisch belang moet dienen. De substitutie van drinkwater met zelf onttrokken grondwater vindt vooral plaats waar de grondwaterkwaliteit van goede kwaliteit is, zoals in het zuiden en oosten van Nederland. De industrie gaat in deze gebieden dus een deel van het grondwater dat voor ze werd onttrokken door de drinkwaterbedrijven zelf onttrekken. In overige gebieden wordt daarvoor oppervlaktewater of brak grondwater gebruikt, dat vervolgens met membraanfiltratie wordt gezuiverd. Deze ontwikkelingen leiden tot een geringe toename van de grondwateronttrekking voor industriële doeleinden, die vooral in het zuiden en oosten van Nederland zal optreden.
- *Sterk Europa* – De economie groeit, zij het minder sterk dan in het scenario *Wereld-Economie*. De overheid stimuleert het zuinig omgaan met water en kan dat

²⁸ Deze verwachtingen zijn ondermeer afgeleid uit verwachtingen over de ontwikkelingen van het industrieel drinkwatergebruik in Nederland, zoals beschreven in (Baggelaar en Geudens, 2005) en Hummelen (2006) en uit de kenmerken van de vier scenario's (zie § *.*)

deels ook afdwingen met beleid, doordat er geschikte besparingstechnologie voorhanden is. Er zijn duidelijke beperkingen gesteld aan het gebruik van grondwater van goede kwaliteit, zodat het voorbehouden blijft aan de drinkwaterbedrijven en de voedingsmiddelenindustrie. De overige industrieën worden gestimuleerd om over te gaan op andere bronnen, zoals oppervlaktewater en brak grondwater. De technologie maakt het mogelijk dat water kosteneffectief te zuiveren tot de gewenste kwaliteit, waarbij steeds minder energie nodig is en afvalstoffen ontstaan. Dit scenario zal daarom een verdere afname te zien geven van de grondwateronttrekking voor industriële doeleinden.

- *Transatlantische Markt* – De economische groei is tussen die van *Wereld-Economie* en *Sterk Europa*. De technologieën voor waterbesparing, hergebruik en zuivering van water zijn echter minder ontwikkeld dan in die scenario's. Dit zal tot een geringe toename van de grondwateronttrekking voor industriële doeleinden leiden.
- *Regionale Samenwerking* – De groei van de economie is beperkt, het laagst van de vier scenario's. Er is stagnatie van de waterbesparing en het hergebruik van water, door de lage economische groei en de beperkte technologische mogelijkheden. Verder zijn geavanceerde zuiveringstechnieken relatief te duur. En doordat de overheid ook nog restricties stelt aan het gebruik van grondwater, zal er een verdere afname zijn van de grondwateronttrekking voor industriële doeleinden.

Door de stijging van de gemiddelde temperatuur zal er straks minder oppervlaktewater beschikbaar zijn als koelwater voor de industrie (vooral de elektriciteitscentrales). Die industrieën en centrales zullen dus vaker in de zomer stilgelegd moeten worden.

7.2.3 Grote industriële grondwateronttrekkingen (Delft DSM, Corus, Heineken)

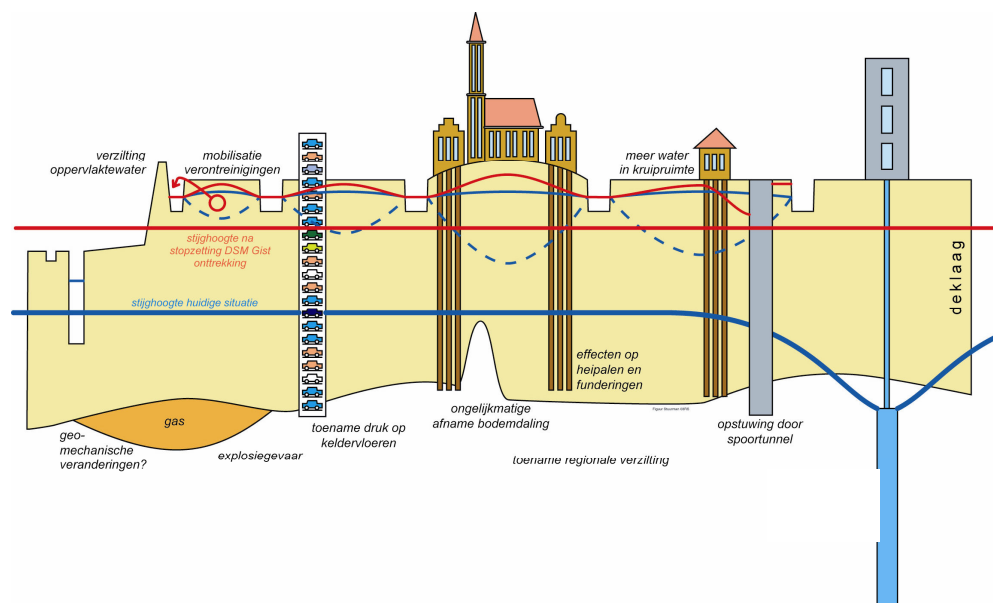
Er zijn in Nederland nog enkele zeer grote industriële grondwateronttrekkingen. Voorbeelden hiervan zijn Corus/Hoogovens in IJmuiden (15 miljoen m³/jaar), DSM in Delft (13 miljoen m³/jaar) en Heineken in Den Bosch (7 miljoen m³/jaar). Bij sluiting van grondwaterwinningen van deze ordegrootte zullen grote veranderingen in het grondwatersysteem ontstaan.



In de gemeente Delft wordt sinds 1916 grondwater op circa 25 meter diepte onttrokken voor de koeling van industriële processen (Gehrels et al., 2005). In 1996 kreeg DSM

Gist een vergunning voor de onttrekking van 13,8 miljoen m³ per jaar. De laatste jaren was de onttrekking circa 12,3 miljoen m³. In de winter wordt 25% minder onttrokken dan in de zomer. Het onttrokken water heeft een chloridegehalte van 1.500 – 3.000 mg/l. Het koelwater wordt via een pijpleiding bij Scheveningen in zee geloosd. DSM wil deze grondwaterwinning sterk reduceren. Hierdoor zal de stijghoogte in een straal van circa 5 km minimaal 1 meter stijgen tot 10 meter dicht bij de put.

De sluiting van een grote stedelijke grondwateronttrekking kan grote gevolgen hebben voor de omgeving zoals grondwateroverlast, waterkwaliteitsproblemen (inclusief verzilting) en geotechnische effecten (zie figuur 7.10).



Figuur 7.10: Schematische weergave van de problemen die kunnen ontstaan bij het sluiten van een grote grondwateronttrekking.

De belangrijkste veranderingen zijn:

- Wateroverlast door verhoging freatische grondwaterstand,
- Schade/verzakking kelders, parkeergarages als gevolg van verhoging stijghoogte (waterdruk),
- Plaatselijke verhoging van freatische grondwaterstand door opstuwend grondwater (bij kelders, tunnels etc.),
- Toename kwel in laaggelegen gebieden waardoor verzilting van het oppervlaktewater kan ontstaan,
- Verstoring van Warmte-koude installaties of gietwatersystemen door verandering van de grondwaterstroming (richting, snelheid),
- Verstoring van actieve saneringen of ongewenste verplaatsing of mobilisatie van verontreinigingen door verandering van de ondiepe grondwaterstroming,

Bij de gevolgen van het sluiten van een grote grondwateronttrekking zullen alle andere veranderingen, zoals door klimaatverandering of zeespiegelrijzing, verbleken.

In IJmuiden wordt door Corus circa 15 miljoen m³/jaar zout grondwater op 220 meter diepte onttrokken, dat wordt gebruikt als koelwater. Voor de onttrekking (provinciale grondwaterheffing) en lozing (WVO) moet Corus respectievelijk 150.000 en 700.000 Euro betalen (Gast, 2006). Omdat de onttrekking op grote diepte, onder verschillende

kleilagen plaatsvindt, zal een eventuele sluiting in de toekomst vermoedelijk minder effect hebben dan boven geschetst.

Het sluiten van de textielindustrie in Twente en de daarmee gepaard gaande grondwateronttrekking leidde tot sterke wateroverlast. En in 2003 is Philips verzocht om hun besluit om de grondwaterwinning in Eindhoven (2,2 miljoen m³/jaar) te stoppen, tijdelijk op te schorten. De stopzetting zou namelijk de grondwaterstand in grote delen van de stad met circa 100 cm doen stijgen. De overheden dragen nu op voor de kosten. Er wordt onderzocht of Brabant Water zijn winning in Eindhoven ter compensatie kan vergroten. De slechte waterkwaliteit van het ondiepe water vormt echter een knelpunt.

7.3 Grondwateronttrekking voor agrarische doeleinden

7.3.1 *Historische ontwikkelingen*

In de agrarische sector wordt water gebruikt voor beregening, voor veedrenking en voor reiniging van vee en stallen. Uit de - gefragmenteerd beschikbare - cijfers over de grondwateronttrekking voor agrarische doeleinden kan worden geconcludeerd dat de grondwateronttrekking voor beregening in de jaren '90 varieerde van 40 miljoen m³ in een nat jaar, tot 175 miljoen m³ in een droog jaar²⁹. Verder zijn vanaf ongeveer 1994 à 1995 veel veehouders in het zuiden en oosten van Nederland ook eigen grondwaterwinningen gestart voor veedrenking en reiniging. Deze winningen onttrekken nu vermoedelijk 30 à 35 miljoen m³ grondwater per jaar. Dit vormt echter geen extra grondwateronttrekking, maar een substitutie van grondwater dat daarvoor nog door de waterbedrijven werd onttrokken om deze agrariërs drinkwater te leveren.

Op veel plaatsen in de zandgrondgebieden van Nederland bevinden zich inmiddels talrijke kleinschalige grondwateronttrekkingen voor agrarische doeleinden. Dit verschijnsel van agrarische grondwaterwinning heeft in twee golven opgang gemaakt. De eerste golf startte in de zomer van het extreem droge jaar 1976. De droogte had toen een grote impact, vooral op de gebieden waar het water versneld werd afgevoerd dankzij de waterhuishoudkundige ingrepen die in het kader van de ruilverkavelingen in de jaren '50 en '60 waren uitgevoerd. Veel agrariërs hebben toen winputten laten slaan om hun land te kunnen beregenen.

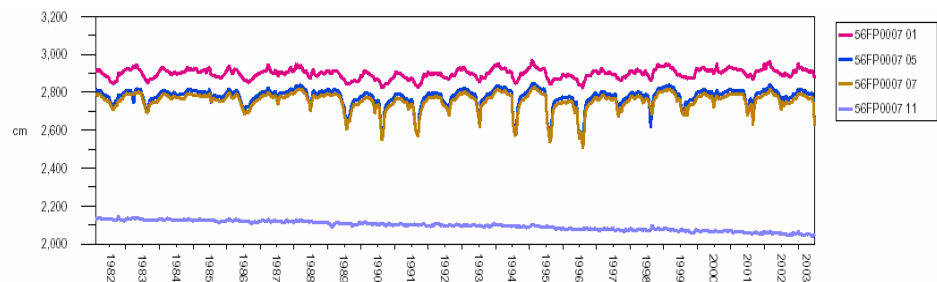
De beregening biedt uitkomst als in het groeiseizoen de vochtvoorraad in de bodem onvoldoende wordt aangevuld door neerslag of vanuit het diepere grondwater. Het vindt plaats op grasland, in de akkerbouw (aardappelen, suikerbieten en snijmaïs), tuinbouw op de open grond en de glastuinbouw. De omvang van de beregening is sterk afhankelijk van de weersomstandigheden tijdens het groeiseizoen. In de periode tussen 1992 en 1999 varieerde de grondwateronttrekking voor beregening van 40 miljoen m³ in het natte jaar 1998 tot 175 miljoen m³ in het droge jaar 1995 (Brouwer et al., 2000).³⁰ Daarnaast speelt ook de grondsoort een rol. Op zandgronden is beregenen sneller nodig dan op andere grondsoorten. Zelfs in natte jaren wordt nog beregend op zandgronden, terwijl dat voor andere grondsoorten dan niet nodig is. Tenslotte speelt het grondgebruik een rol. Bij aardappelen wordt bijvoorbeeld veel meer beregend dan bij andere akkerbouwgewassen (Hoogeveen et al., 2003).

²⁹ In Noord-Brabant wordt in een droog jaar in totaal ca 400 miljoen m³ grondwater onttrokken. Ongeveer 100 miljoen is voor beregening. Deze hoeveelheid wordt echter in een paar dagen (10-15) onttrokken.

³⁰ Dit omvat niet de grondwateronttrekking voor beregening door de tuinbouw. Maar in de tuinbouw wordt hoofdzakelijk beregend met oppervlaktewater en regenwater.

Het grondwater leverde in de periode tussen 1992 en 1999 70 tot 80% van het beregeningswater, het overige deel werd geleverd door oppervlaktewater (Brouwer et al., 2000). In de provincies Gelderland, Noord-Brabant en Limburg wordt voornamelijk beregend met grondwater, terwijl in Groningen, Friesland, Noord- en Zuid-Holland voornamelijk wordt beregend met oppervlaktewater.

De grondwateronttrekking voor beregening heeft lokaal en tijdelijk – in droge perioden – tot extreem grote verlagingen van de stijghoogte geleid (zie figuur 7.11).



Figuur 7.11: Het stijghoogteverloop van het freatische-, het diepe Neogene- en het zeer diepe Paleogene grondwater bij Reusel. In filter 6 is duidelijk de tijdelijke daling te zien die veroorzaakt wordt door beregening. De verticale as is in cm t.o.v. NAP en loopt hier van 2.000 cm (20,0 m) tot 3.200 cm (32,0 m).

De tweede golf van agrarische grondwaterwinningen startte in het midden van de jaren '90, toen het door de steeds hoger wordende drinkwaterprijs – ondermeer door de invoering van grondwaterbelasting – voor veel veehouders voordelig werd zelf grondwater voor veedrenking en reiniging te winnen. De Grondwaterwet kent immers geen vergunningsplicht voor een grondwaterwinning met een capaciteit van ten hoogste 10 m³/uur. Er zijn daardoor overigens ook particulieren met grote tuinen en bepaalde bedrijven, zoals autowasstraten, campings en bungalowparken, die kleinschalige eigen grondwaterwinningen zijn gestart. Deze tweede golf leidde voor een aantal drinkwaterbedrijven tot een abrupte afname van de jaarlijkse levering van drinkwater aan de agrarische sector, van in totaal vermoedelijk 30 à 35 miljoen m³. Maar vanaf circa 2000 lijkt deze ontwikkeling zich niet verder door te zetten (zie figuur 7.12). Wellicht doordat de meeste agrariërs waarvoor de overgang naar een eigen winning financieel voordeel bood en ook mogelijk was (door een geschikte grondwaterkwaliteit) deze stap inmiddels al hadden genomen.



Figuur 7.12: Verloop van het drinkwatergebruik door agrariërs van 1991 – 2003. Duidelijk is hier het effect van het overgaan op eigen winningen door agrariërs te zien. Dit ‘vluchtgedrag’ treedt voornamelijk op in de periode 1994 – 2000. Gebaseerd op cijfers van het Landbouw-Economisch Instituut.

Het overgaan op eigen grondwaterwinning voor veedrenking en reiniging – het ‘vluchtgedrag’ – blijkt vooral te zijn opgetreden in de provincies Drenthe, Overijssel, Gelderland, Noord-Brabant en Limburg (CIW, 1999). Het heeft niet geleid tot een toename van de grondwateronttrekking voor agrarische doeleinden, maar slechts tot substitutie van uit grondwater bereid drinkwater door zelf gewonnen grondwater. Want in de gebieden waar het vluchtgedrag speelt, gebruiken de drinkwaterbedrijven hoofdzakelijk grondwater als grondstof voor het drinkwater. Maar door het vluchtgedrag wordt de betreffende hoeveelheid grondwater diffuus onttrokken over een uitgestrekt gebied, in plaats van op de winplaats van het drinkwaterbedrijf. Er zullen daardoor veel lokale verlagingen van de grondwaterstanden in het bovenste watervoerende pakket en/of de stijghoogten in de diepere watervoerende pakketten zijn ontstaan, die zullen hebben bijgedragen aan de verdroging van natuurgebieden.

Het grote aantal agrarische grondwateronttrekkingen kan overigens lokaal ook hebben geleid tot kwaliteitsverslechtering van het diepere grondwater, door onzorgvuldig doorboorde afdekkende lagen.

7.3.2 Mogelijke ontwikkelingen

Uit een onderzoek van het Landbouw-Economisch Instituut in het kader van de Droogtestudie Nederland blijkt dat de toekomstige ontwikkeling van de grondwaterwinning voor beregening bepaald wordt door twee tegengestelde invloedsrichtingen (Hoogeveen et al, 2003). Zo zal de grondwaterwinning voor beregening toenemen door:

1. de klimaatverandering, waardoor het watertekort in de zomer zal toenemen, evenals de kans op extreme droogtes (zie § 5.3),
2. de schaalvergroting van agrarische bedrijven (toename van de bedrijfsgrootte) die inmiddels op gang is gekomen door strengere milieuregelgeving, internationale concurrentie en de zogenaamde ‘reconstructie’ en
3. de verschuiving in gewaskeuze naar vollegrondsgroenten.

Het beleid, de ontwikkelingen van de grondwaterkwaliteit en het afnemende areaal landbouwgrond (zie § 8.2) kunnen daarentegen een afname bewerkstelligen. Het is echter de vraag of het beleid daarin overal ver kan gaan zonder de landbouw te schaden, doordat gebieden met weinig oppervlaktewater sneller last hebben van droogte en daardoor afhankelijk zullen blijven van grondwater. Voor wat betreft de grondwaterkwaliteit speelt ondermeer de toenemende verzilting in Zeeland, Flevoland en het noordwesten van Friesland, waardoor er daar minder grondwater beschikbaar komt voor beregening.

De verschillende invloedsrichtingen overwegende, mogen we bij ongewijzigd beleid een toename van de grondwateronttrekking voor beregening verwachten. Deze toename zal het sterkst zijn in het W+-klimaatsscenario.

De verdere ontwikkeling van de grondwaterwinning voor veedrenking en reiniging zal afhangen van de prijs van het drinkwater, de schaalgrootte van de veehouderijen, de omvang van de veestapel en het beleid ten aanzien van kleine grondwaterwinningen. De prijs van het drinkwater bepaalt de grens van het jaarlijks drinkwatergebruik waarboven het voor een agrariër financieel voordeel biedt om een eigen grondwaterwinning te exploiteren, het zogenaamde 'kantelpunt' (Baggelaar et al., 1997). Dit kantelpunt ligt momenteel ergens tussen de 1.400 en 1.800 m³/jaar, maar als de drinkwaterprijs relatief meer toeneemt dan de kosten van een eigen winning komt het lager te liggen.

De schaalvergroting van agrarische bedrijven zal leiden tot een toename van de eigen winningen door agrariërs, doordat de nieuwe, grotere bedrijven het kantelpunt zullen passeren waarboven een eigen winning financieel interessant is.

Door het MNP is onlangs voor de vier eerder genoemde CPB-scenario's (zie § 2.3) de ontwikkeling van de omvang van de Nederlandse veestapel tot 2040 uitgewerkt (CPB, MNP en RPB, 2006). In drie van de vier scenario's daalt het aantal melkkoeien en varkens. De afname is het grootst in de twee scenario's met een sterke rol van de overheid, namelijk *Regionale Samenwerking* en *Sterk Europa*. Maar in het scenario *Wereld-Economie* zal het aantal melkkoeien met 25% toenemen, door liberalisering van de landbouwmarkt en afschaffing van de melkquota.

We gaan er hier van uit dat de ontwikkeling van de grondwaterwinning voor veedrenking en reiniging bij ongewijzigd beleid vooral zal worden bepaald door de ontwikkeling van de omvang van de veestapel. In de scenario's *Regionale Samenwerking*, *Sterk Europa* en *Transatlantische Markt* zal dan de grondwaterwinning voor veedrenking en reiniging afnemen, terwijl deze in het scenario *Wereld-Economie* zal toenemen.

7.4 Mogelijke gevolgen grondwateronttrekking voor grondwatersysteem

De totale grondwateronttrekking is in Nederland al enkele jaren aan het teruglopen, enerzijds door een licht dalend drinkwatergebruik en anderzijds door een afname van de industriële grondwaterwinning.

Alleen in het scenario *Wereld-Economie* is er nog een sterke toename van de grondwateronttrekking te verwachten. Door de sterke groei van de bevolking, de economie en het aantal melkkoeien in dit scenario, zal, mede mogelijk gemaakt door de terughoudende rol van de overheid, de grondwateronttrekking voor zowel drinkwatergebruik, industriële doeleinden als veedrenking en reiniging toenemen. Rond de betreffende winlocaties, doorgaans gelegen in Hoog-Nederland, zullen daardoor de stijghoogten en/of grondwaterstanden verlagen en kan de kwel afnemen. Het is ook niet

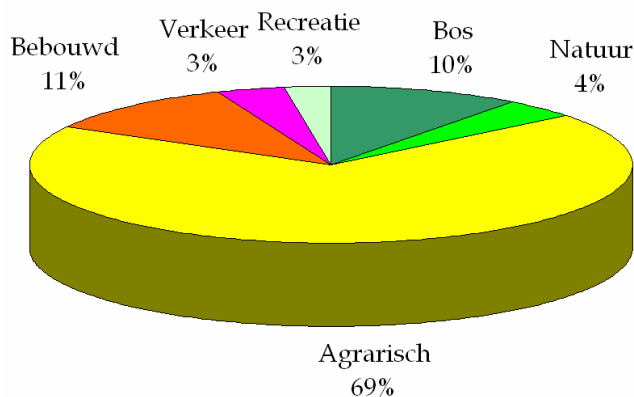
geheel uit te sluiten dat de grondwaterwinning in de Noord-Hollandse duinen weer wordt opgestart, zij het op een duurzamere wijze.

Maar in de overige drie sociaal-economische scenario's zal de grondwateronttrekking afnemen. Dit zal lokaal tot verhoging van de stijghoogten en/of grondwaterstanden leiden en tot een toename van de kwel.

Door het droger worden van onze zomers en het verlengen van het groeiseizoen, zal de grondwateronttrekking voor beregening toenemen. Deze beregening vindt vooral plaats op de hogere zandgronden en leidt tot kortdurende, maar forse verlagingen van de stijghoogte. Deze kunnen ook doorwerken naar de grondwaterstanden, wat dan tijdelijk zal leiden tot meer verdroging. Dit secundaire klimaatseffect zal het sterkst zijn in het W+-klimaatscenario.

8 Ontwikkeling ruimtegebruik

Het Nederlandse landoppervlak bestaat momenteel voor 69% uit agrarisch gebied (zie figuur 8.1).

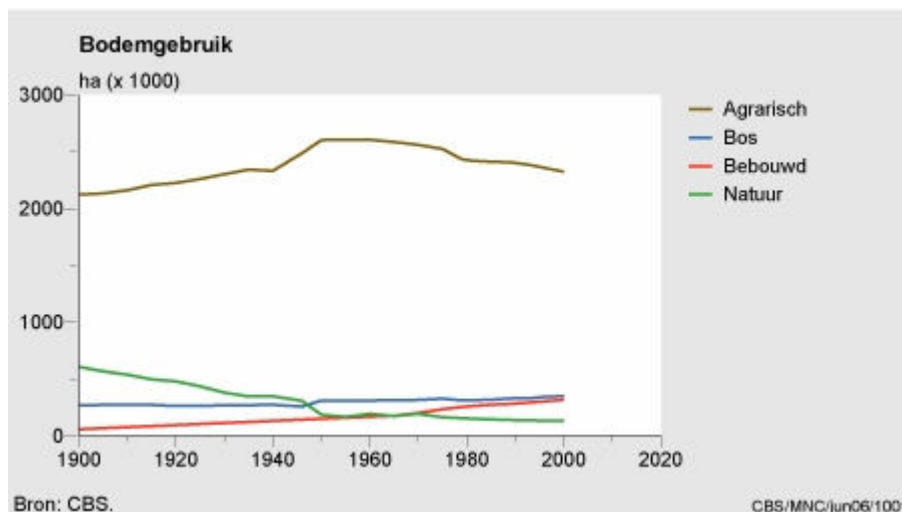


Figuur 8.1. Gebruik van het Nederlandse landoppervlak in het jaar 2000.³¹ Samengesteld uit cijfers van het CBS.

8.1 Historische ontwikkelingen

Figuur 8.2 toont de ontwikkeling van de vier belangrijkste componenten van het bodemgebruik van 1900 – 2000. Van 1900 tot 1945 nam het agrarisch gebied door ontginningen geleidelijk toe van 67% tot 72% en daarna nam het abrupt toe tot 75% rond 1950, door de inpoldering van de Zuiderzee. Maar na 1965 is het agrarisch gebied weer geleidelijk afgenomen tot 69%, doordat woongebieden, industrie en infrastructuur ruimte opeisten. Het oppervlak natuurlijk terrein is in Nederland van 1900 tot 1990 continu gedaald, van 19% naar 4%, maar daarna min of meer gelijk gebleven. Hierbij zal ook de aanleg van de Ecologische Hoofdstructuur (EHS) een rol hebben gespeeld. Het oppervlak bos schommelde in de eerste helft van de 20^e eeuw rond de 8% en is daarna heel geleidelijk toegenomen tot 10%. Het bebouwde gebied is daarentegen vanaf 1900 alleen maar toegenomen, namelijk van 3% tot 11%.

³¹ Het bebouwd gebied omvat woongebieden, detailhandel en horeca, openbare voorzieningen, sociaal-culturele voorzieningen en bedrijfsterreinen, maar ook semi-bebouwde gebieden, zoals stortplaatsen, wrakkenterreinen, begraafplaatsen en bouwterreinen.



Figuur 8.2: Ontwikkeling van de vier belangrijkste componenten van het bodemgebruik in Nederland van 1900 - 2000. Het oppervlak bebouwde gebied is hier exclusief het semi-bebouwde gebied. Overgenomen uit Milieu- en Natuurcompendium. MNP, Bilthoven, CBS, Voorburg en WUR, Wageningen. Bodemgebruik: ontwikkeling vanaf 1900, versie 03, 19 juni 2006.

8.2 Mogelijke ontwikkelingen

8.2.1 Agrarisch gebied

Volgens een recente scenariostudie van drie Nederlandse planbureaus zal het agrarisch gebied in de periode tot 2040 in elk van de vier scenario's blijven dalen, doordat 10 à 15% van het gebied geleidelijk een andere functie krijgt (CPB, MNP en RPB, 2006). De afname zal het sterkst zijn rondom de Randstad, maar ook rondom stedelijke gebieden in Noord-Brabant, Utrecht en Gelderland.

Ondanks de afname van het agrarisch gebied, zullen de schaalvergroting en specialisatie van de agrarische sector in alle scenario's doorgaan. De akkerbouw zal zich concentreren in Groningen, de Flevopolders en Zeeland, maar ook daar verliest deze terrein, vooral aan de melkveehouderij. In het scenario *Wereld-Economie* zal, door liberalisering van de landbouw en afschaffing van de melkquota, de melkveehouderij op de grootschalige open kleigronden van Groningen en Zeeland en de zandgronden van Drenthe veel rendabeler worden dan de akkerbouw.

De geleidelijke omschakeling van akkerbouw naar de melkveehouderij in elk van de scenario's geeft meer mogelijkheden voor waterberging, doordat grasland vaker mag onderlopen dan akkerland, namelijk eenmaal per 10 jaar versus eenmaal per 25 jaar. De intensieve veehouderij zal, ondanks een krimp, de komende decennia nog vooral in Noord-Brabant, Gelderland en Limburg blijven.

Het areaal glastuinbouw omvat nu circa 0,4% van het landoppervlak van Nederland, waarbij het minder dan 0,1% beslaat van de noordelijke provincies en meer dan 3% van Zuid-Holland (het Westland). In het scenario *Wereld-Economie* zal het glastuinbouwgebied in Zuid-Holland groeien tot 4,5% van het landoppervlak, terwijl het in het scenario *Regionale Samenwerking* zal dalen tot 1,5%.

In de glastuinbouw in West-Nederland wordt al meer dan 10 jaar water opgeslagen in het ondiepe watervoerende pakket dat gebruikt wordt als gietwater. Hiervoor bestaan twee methoden:

1. ondiep brak grondwater wordt opgepompt, ontzilt met behulp van omgekeerde osmose, om vervolgens weer in dit ondiepe watervoerende pakket te worden geïnfilteerd. Er ontstaat zo een volume zoet grondwater dat, wanneer nodig, weer kan worden opgepompt. De restbrijn³² wordt in een dieper, zouter watervoerende pakket geïnjecteerd,
2. regenwater dat op de daken valt wordt geïnfilteerd.

Dit zijn goede alternatieven voor de veel voorkomende open gietwaterreservoirs, die namelijk veel ruimte innemen. Op sommige plaatsen wordt geëxperimenteerd met gietwateropslag onder de vloer van kassen. Deze infiltratiemethoden kennen wel knelpunten. Zo heeft de provincie Zuid-Holland bedenkingen over de injectie van brijn in het diepe pakket en ziet daarom liever dat gietwater uit regenwater wordt gebruikt. Zij proberen deze methode te stimuleren en hopen dat de glastuinbouw hierdoor minder drinkwater gaat gebruiken. Een belangrijk knelpunt hierbij is dat ondernemers niet zelfvoorzienend kunnen zijn. Zij hebben meer gietwater nodig dan er regen op de daken van hun kassen valt. Een oplossing zou kunnen bestaan uit het verzamelen van regenwater uit de omgeving (woningwijken, industrieterreinen) of mogelijk uit het oppervlaktewater in tijden dat er teveel oppervlaktewater is of dreigt te ontstaan. Naar verwachting zullen in de toekomst meer regen-gietwatersystemen ontstaan.

8.2.2 *Bebouwd gebied*

De toenemende druk op de fysieke omgeving zal in drie van de vier scenario's afvlakken door de afname van de bevolkingsgroei en in die scenario's is er na 2020 bijvoorbeeld geen extra ruimte meer nodig voor bedrijventerreinen. Alleen in het scenario *Wereld-Economie* blijft die druk groeien. Tot 2020 blijft er in alle scenario's een grote vraag naar woningen, daarna neemt de nieuwe ruimtevraag voor wonen af, variërend van een bescheiden daling in *Wereld-Economie* tot een negatieve ruimtebehoefte in de Randstad en oostelijk Nederland in *Regionale Samenwerking*. De nieuwe vraag naar woningbouwlocaties en bedrijventerreinen zal zich vooral op de Randstad richten en in mindere mate op Flevoland, Gelderland en Noord-Brabant. In de rest van Nederland is de ruimtevraag beperkt en zullen verschijnselen van de krimp zich het eerst manifesteren.

Door de oprukkende stadsranden zullen de drinkwaterbedrijven geconfronteerd worden met meer bebouwd gebied in de intrekgebieden van hun waterwinningen. In dat licht hebben ze onlangs door Kiwa een studie laten uitvoeren naar de mogelijkheden van het winnen van stedelijk grondwater voor de bereiding van drinkwater (Vink et al., 2006). Daaruit bleek dat het winnen van stedelijk grondwater het meest kansrijk is bij steden waar industriële winningen worden teruggedraaid of stopgezet. Op deze locaties is namelijk geen extra zetting te verwachten, kan de winning (deels) worden overgenomen, zijn de effecten van de winning al goed onderzocht en is de chemische samenstelling van het onttrokken grondwater bekend.

Het verharde oppervlak zal in drie van de vier scenario's toenemen tot 2040. In de scenario's *Sterk Europa* en *Transatlantische Markt* met circa 20%, maar in het scenario *Wereld-Economie* met bijna 50%. Die laatste uitbreiding is te vergelijken met de toename van het bebouwd gebied tussen 1970 en 2000. Door de toename van het verharde oppervlak zal er nog meer water oppervlakkig moeten worden afgevoerd, wat in laag Nederland tot problemen bij de gemalen kan leiden. En verder zullen er vaker riooloverstorten optreden, wat een slechtere oppervlaktewaterkwaliteit kan geven.

³² Brijn is het restproduct dat bij ontzilting van brak of zout grondwater overblijft. Water met een extreem hoog zout gehalte.

8.2.3 *Natuurgebied*

Tot 2020 zal in elk van de vier scenario's het areaal natuurgebied het meest uitbreiden, voornamelijk door de aanleg van de Ecologische Hoofdstructuur – die in 2018 gereed moet zijn – en door aanleg van groene recreatiegebieden. Bij een sterk Europees milieubeleid zal de milieudruk op natuurgebieden door stikstof en zure depositie afnemen, waardoor deze zich deels kunnen herstellen. Dit zal gelden voor de scenario's met een grote rol voor de overheid, zijnde *Sterk Europa* en *Regionale Samenwerking*. Maar de verdroging zal in elk scenario een probleem blijven voor de natuur, doordat de landbouw een dominante rol blijft spelen en in alle scenario's verder zal intensiveren (CPB, MNP en RPB, 2006). Doordat deze intensivering het sterkt is in de scenario's met sterke marktwerking – *Wereld-Economie* en *Transatlantische Markt* – zal de verdroging in die scenario's het minst afnemen.

8.2.4 *Grondwater en de recreatie- en sportsector*

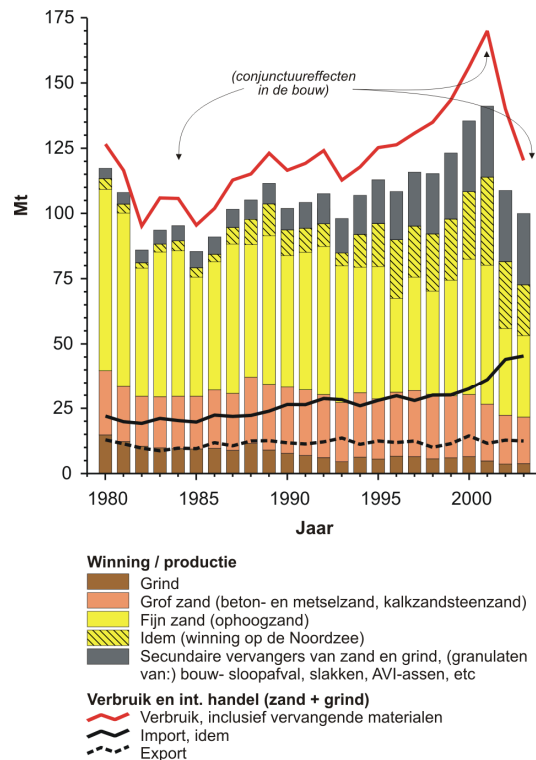
In zuidelijk Europa gebruikt de recreatie heel veel grondwater. De golfsector in Portugal en Spanje veroorzaakt hierdoor uitputting en verzilting van kustaquifers. In Nederland zijn dergelijke effecten (nog) lang niet aan de orde, maar er verandert wel het een en ander. Zo is de afgelopen decennia het oppervlak aan golfvelden sterk toegenomen. Deze terreinen moeten regelmatig beregend worden en met name de recente droge jaren was dat nog vaker het geval. Over totale hoeveelheden is weinig bekend. De golfsector probeert het gebruik wel te remmen, voornamelijk ingegeven door de 'oude' grondwaterbelasting, toen nog belasting moest worden betaald voor beregening³³.

In de hockeysector heeft een snelle overgang plaatsgevonden van natuurgras naar kunstgras. Door de beperkte ruimte- en de bevolkingsdruk in Nederland valt te verwachten dat dit ook in de voetbalsector gaat plaatsvinden. De aanleg van kunstgras kan lokaal het grondwater- en oppervlaktewatersysteem beïnvloeden. De velden worden namelijk gedraineerd en meestal afgevoerd op het oppervlaktewater. Dit gaat ten koste van de lokale grondwatervoeding.

8.3 **Ontwikkelingen zandwinning en ophoging**

In Nederland wordt jaarlijks circa 150 miljoen ton aan oppervlakedelfstoffen verbruikt, wat neerkomt op ongeveer 10 ton per inwoner per jaar. In de jaarlijkse behoefte wordt voorzien met ongeveer 100 miljoen ton aan materialen uit eigen bodem, waarvan 90% zand, 5% grind, 4% klei en 2% kalksteen / mergel (zie figuur 8.3). Zandwinning is dus veruit de belangrijkste vorm van oppervlakedelfstoffenwinning in Nederland, zeker wanneer bedacht wordt dat de grindwinning en mergelwinning langzaam worden afgebouwd.

³³ Sinds 2006 hoeft geen grondwaterbelasting worden betaald voor beregening. Voorheen moest dit wel bij een gebruik van meer dan 40.000 m³/jaar. Deze oude regeling stimuleerde ook in de recreatiesector het bewust omgaan met grondwater. Deze noodzaak is onder de huidige regeling veel minder urgent.



Figuur 8.3: Verloop van de Nederlandse voorziening in zand en grind voor de bouw.

Zandwinning en ophoging kunnen op verschillende manieren de grondwatersituatie beïnvloeden:

1. een 'natte' zandwinning uit een waterhuishoudkundig geïsoleerde put (geen directe verbinding met het oppervlaktewatersysteem) gedraagt zich tijdens de zandwinning als een tijdelijke, lokale grondwateronttrekking doordat het volume zand wordt aangevuld door grondwater uit de omgeving,
2. een zandwinplas neemt het peil aan dat ongeveer het gemiddelde is van de oorspronkelijke gradiënt in de grondwaterstand ter plaatse. Hierdoor ontstaat aan de grondwaterstroomopwaartse zijde een permanente grondwaterstandsverlaging en aan de andere zijde een verhoging. De toegenomen verdamping speelt ook een rol,
3. een 'natte zandwinning' en zandputten die in open verbinding staan met het oppervlaktewatersysteem kunnen gaan functioneren als een grondwateronttrekking. Dit is bijna zeker het geval als deze locaties aan de voet van hoger gelegen gebieden (duinen, stuwwallen, rivierterrassen, dekzandruggen) liggen,
4. in Laag-Nederland is de weerstandbiedende Holocene deklaag verwijderd en beïnvloedt het peil in de waterplas permanent de stijghoogte in de omgeving,
5. in de Bollenstreek wordt 'neutraal' grond gewonnen. Hier wordt de grond tot een diepte van 10 meter onder maaiveld omgespoten. Als gevolg hiervan kunnen weerstandbiedende lagen beschadigd raken of verdwijnen,
6. ondermeer in Noord-Brabant kunnen (agrarische) grondeigenaren geld verdienen door hun percelen af te graven. Het gevolg is dat deze gronden vaak gedraineerd worden en het watersysteem zowel kwalitatief en kwantitatief nadelig veranderen. In de toekomst kan bij een natter klimaat zelfs het risico op

wateroverlast ontstaan, maar ook remmend werken bij de realisatie van de GGOR,

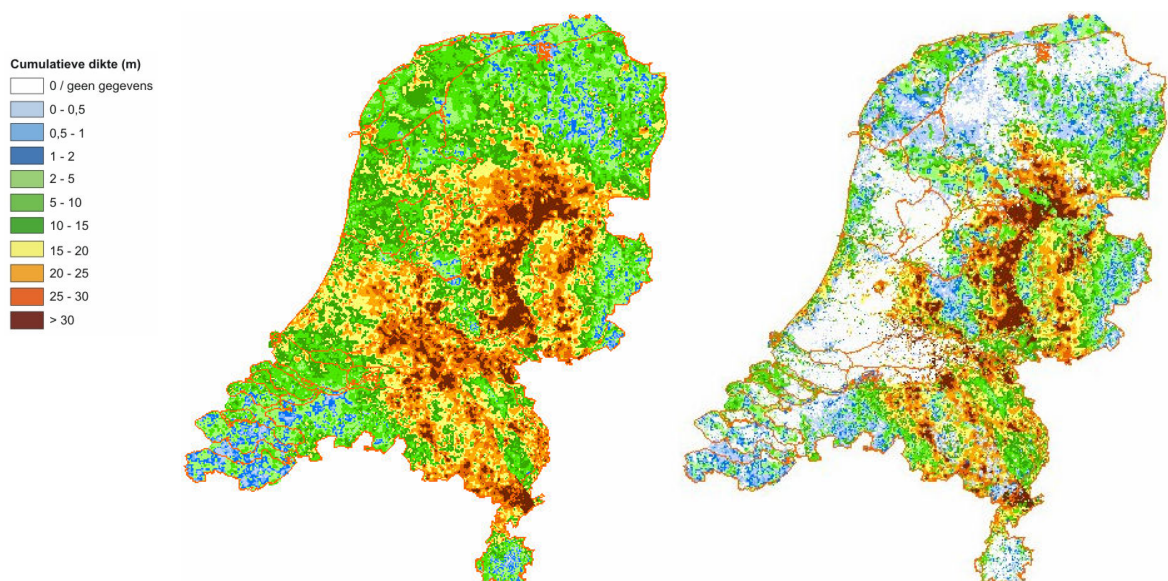
7. bij een verdieping en verbreding van de Maas kan de toestroom van grondwater toenemen en de grondwaterstand in de omgeving verlagen,
8. waterkwaliteit: bij zandwinning - vooral 'droge' winning - kunnen van nature aanwezige mineralen, zoals pyriet, oxideren, waarbij zware metalen (onder andere arseen), sulfaat en ijzer in oplossing komen.

Hydrologisch gezien komt het baggeren van zand neer op het verplaatsen van materiaal uit de verzadigde zone naar de onverzadigde zone (inclusief bebouwing). Bij een gemiddeld poriënvolume van 30% leidt winning tot een toestroom van een volume aan grondwater van ongeveer 70% van dat van het gewonnen zand. Deze indirecte 'grondwateronttrekking' komt neer op circa 20 miljoen m³/jaar (rekenend met een zanddichtheid van 1,8 ton/m³).

Historische ontwikkeling zandwinning

Binnen de zandvoorziening is het onderscheid relevant tussen ophoogzand (over het algemeen fijn zand voor het ophogen en aanvullen van terreinen) en industriezand (grof zand voor toepassing in beton- en metselmortels, asfalt, drainages, etc.). Ophoogzand kan in principe vrijwel overal in Nederland gewonnen worden. Voor industriezand zijn we aangewezen op Zuid- en Oost-Nederland (zie figuur 8.4).

Om het ruimtebeslag van zandwinning te beperken is de productie vanaf de jaren '60 geconcentreerd in steeds grotere, diepere plassen. Het ruimtebeslag vanaf die periode wordt geschat op 100 à 150 ha/jaar. De tendens hierin is dalend, wat zijn oorzaken heeft in het landelijke grondstoffenbeleid vanaf eind jaren '80. De winning van ophoogzand is in deze periode bijvoorbeeld verschoven naar de Noordzee; momenteel wordt in bijna de helft van de ophoogzandbehoefte voorzien met zeezand (zie figuur 8.3). Verder heeft het gebruik van secundaire materialen (granulaten van bouw- en sloopafval, uit de metaalindustrie, vuilverbrandingsassen, etc.), gezorgd voor een toenemende vervanging van natuurlijk zand. Tot slot is er sprake van een groeiend importoverschot, vooral de laatste jaren. Al met al is er bij een stijgende behoefte aan zand sprake van een afnemende binnenlandse productie uit landlocaties.



Figuur 8.4: Het voorkomen van grof zand in de Nederlandse ondergrond tot 30 m –mv. Links: totale voorraad, rechts: geologisch winbare voorraad.

8.3.1 Ophoging en grondwater

Van het in Nederland toegepaste zand wordt vooral ophoogzand in en op de bodem toegepast. De toename van het bebouwde oppervlak in Nederland was tussen 1996 en 2000 circa 3.400 ha/jaar. Er mag van worden uitgegaan dat voor elk van de projecten ophoogzand is gebruikt, bij een verbruik van 50 miljoen m³ gaat het dan om een laag van gemiddeld iets minder dan een meter.

De grondwatereffecten zijn afhankelijk van de wijze van bouwrijp maken. Zowel bij de cunetten methode als bij integrale ophoging werd namelijk het bestaande sloten- en/of greppelsysteem dichtgegooid. De grondwaterstand zal hierdoor stijgen. Om deze stijging te beheersen zijn daarom ontwateringsdiepte-normen bepaald op basis waarvan drainage is ontworpen. Dat hierbij veel fout kan gaan bewijzen de grootschalige wateroverlastproblemen in VINEX-gebieden.

De toename aan gebruik van zeezand veroorzaakt ook een geringe verzilting van het ondiepe grondwater. Dit zeezand wordt weliswaar voor gebruik gespoeld, maar bezit daarna nog steeds veel hogere zoutconcentraties dan 'zoet' zand.

Toekomst van de zandwinning

In de komende decennia mag worden verwacht dat het importoverschot en het aandeel zeezand nog enigszins zullen toenemen. Het aandeel secundaire granulaten in de voorziening zal naar verwachting niet significant stijgen, gezien de al zeer hoge benuttingsgraad van afval- en reststoffen in Nederland. Het verbruik van bouwmaterialen per hoofd van de bevolking is al jaren min of meer stabiel. De bovenstaande trends in de voorziening wijzen op een afnemende zandwinning op land en daarmee een afname van de effecten van delfstoffenwinning op de grondwaterhuishouding. Maar bij een grote bevolkingsgroei en grote economische groei, zoals in het scenario *Wereld-Economie*, kunnen deze effecten weer toenemen.

Significantere veranderingen zijn te verwachten in de wijze van zandwinning. Op dit moment wordt industriezand (ruim 10 à 15 miljoen m³/jaar) gewonnen uit grootschalige winningen. Recent is voor het landelijke grondstoffenbeleid het idee van productieplanning losgelaten en is het kunnen realiseren van winprojecten aan de markt overgelaten. Uit draagvlakoverwegingen mag worden verwacht dat er een schaalverkleining zal optreden en dat zandwinning beter zal moeten worden geïntegreerd in inrichtingsprojecten. De toename van meer kleinschalige, lokale zandwinningen kan een bijdrage leveren aan het vergroten van (oppervlakte)waterberging, maar zal daarnaast op een toenemend aantal plaatsen de grondwatersituatie beïnvloeden.

8.4 Gebruik van de ondergrond

In de 20^e eeuw zocht men naast stedelijke uitbreiding in de horizontaal, tevens naar uitbreiding in de hoogte. Maar sinds enkele decennia wordt er ook meer en meer gebruik gemaakt van de ondergrond. Tot nu toe zijn deze ondergrondse bouwwerken vooral ontwikkeld voor het parkeren van auto's (parkeergarages³⁴), voor trein- en autovervoer (o.a. HSL, Noord-Zuidlijn, Haagsche tramtunnel) en voor opslag. In toenemende mate wordt ook voor andere functies ondergronds gebouwd. Voorbeelden

³⁴ Veel parkeergarages zijn aangelegd volgens het zogenaamde 'polderprincipe'. Hierbij wordt grondwater gedraineerd en vaak weer op diepte geïnjecteerd. In Amsterdam gebeurt dit meestal in een dieper watervoerend pakket ('systeemvreemd water').

zijn het Mediamuseum in Hilversum (5 lagen onder de grond) en de uitbreiding van het Van Gogh Museum in Amsterdam.

Naar verwachting zal deze trend van ondergronds bouwen sterk doorzetten. Initiatieven als het Centrum Ondergronds Bouwen (COB), Geokoepels³⁵ (Ingenieursbureau Amsterdam, 2002), het Amsterdamse ‘Zuidas’ project en Amsterdam Ondergronds zijn in het leven geroepen om dit proces verder te stimuleren.

Op kleinere schaal gaan ook steeds meer zaken ondergronds. Voorbeelden zijn bergbezinkbassins van rioolssystemen, vuilnis-, papier- en glascontainers, kabels en leidingen (water, riool etc.). Op het gebied van de installatie van leidingen vinden momenteel grote veranderingen plaats. Nieuwe horizontale boortechneken maken het mogelijk om (water)transportleidingen op grote diepte aan te brengen. Kort geleden is vanuit Diemen ondergronds een drinkwaterleiding (diameter van 60 cm) aangelegd naar het Amsterdamse IJburg. Deze leiding bevindt zich plaatselijk op 35 meter diepte.

Naast deze snel toenemende ‘statische’ benutting van de ondergrond neemt ook het dynamische gebruik van de ondergrond een sterke vlucht. In de glastuinbouw wordt regenwater van de daken als gietwater ondergrond opgeslagen. Daarnaast komt het ook voor dat glastuinbouwers brak grondwater oppompen en met membramen ontzilten om het ontzilte, zoete water in de ondiepe ondergrond op te slaan en de overgebleven brijn in een dieper pakket te lozen (zie ook § 8.2.1).

Andere dynamische gebruiksvormen die snel toenemen zijn warmte- en koudeopslag en in situ saneringen. In het laatste geval wordt een verontreiniging beheerd waarbij vertrouwd wordt op biologische reiniging. Dit wordt gecontroleerd middels monitoring.

Bronneringen waarbij het onttrokken grondwater weer in de omgeving wordt geïnjecteerd kunnen het grondwatersysteem tijdelijk sterk beïnvloeden.

Alle bovenstaande ontwikkelingen, aangevuld met de toename of sluiting van bestaande grondwateronttrekkingen voor drinkwatervoorziening of industrie, doen het grondwatersysteem continu veranderen. Het grondwatersysteem zal dus steeds dynamischer worden. Maar enkele ongewenste effecten doen zich nu al voor:

1. ondergrondse bouwwerken kunnen het grondwater plaatselijk verhogen of verlagen. Een voorbeeld is de tramtunnel in Den Haag. Deze is loodrecht op de grondwaterstroming gebouwd en heeft een ondiep watervoerend pakket over een lengte van circa 1200 meter afgesloten. Hierdoor is het grondwater aan de westzijde met enkele decimeters ‘opgestuwd’ en aan stroomafwaartse zijde verlaagd,
2. tijdens de aanleg van de HSL is een glastuinbouwer zijn ontzilte gietwater kwijtgeraakt. Waarschijnlijk is de grondwaterstroming sterk veranderd (richting en snelheid) door de bronnering die plaatsvond tijdens de bouw van het HSL-traject.

Gezien deze ontwikkelingen wordt een beter gecoördineerde vorm van beheer nodig van de onder- en bovengrondse ruimte, waar ook het grondwater integraal deel van uitmaakt. Het ministerie van VROM³⁶ maakt voor de ondergrond een driedeling in

³⁵ Geokoepels is het idee om m.b.v. gestuurd boren o.a. in bestaand stedelijk gebied op relatief grote diepte (100-300 m), bol- of eivormige, gebruiksruimten te realiseren.

³⁶ Ministerie van VROM, Beleidsverkenning duurzaam gebruik van de ondergrond, concept december 2006

lagen: diepe ondergrond, grondwaterlaag en de ondiepe ondergrond. Voor deze studie zijn de ontwikkelingen in de grondwaterlaag en de ondiepe ondergrond van belang. Voorbeelden van de ontwikkelingen die daar spelen, en in dit rapport al genoemd, zijn:

- Warmte- en koudeopslag (zowel open als gesloten)
- Kabels en leidingen
- Ondergrondse constructies
- Grondwaterwinningen en overige onttrekkingen/infiltraties
- Grondwatersaneringen
- Wateropslag (gietwater of voorraden)

In de diepere lagen speelt de gaswinning, afvalopslag, perslucht opslag (energieopslag) en CO₂-opslag.

Iedere vorm van benutting van de ondergrond vergt een bepaalde ruimte om dat te doen en betekent een vrijwaringzone waar geen andere activiteiten kunnen of mogen plaatsvinden. Naast de fysieke ruimte die deze constructies of 'kunstmatige grondwaterlichamen' innemen, veroorzaken zij ook een verandering in het stromingspatroon die een uitstraling kan hebben naar andere 'grondwaterlichamen'. Om nu te voorkomen dat er ontwikkelingen plaatsvinden die andere, misschien waardevollere, activiteiten verhinderen, is het noodzakelijk om een ondergrondse ruimtelijke ordening op te zetten. Het ministerie van VROM is dit momenteel aan het verkennen.

Als knelpunten voor de ondergrondse ruimtelijke ordening noemt VROM de onderstaande punten. Hier zijn alleen de punten aangegeven die relevant zijn voor het grondwater:

- De effecten en eisen van de ondergrondse gebruiksvormen zijn nog onvoldoende duidelijk. Teven is de informatievoorziening omtrent locaties en aard van grondwaterverontreinigingen nog niet voldoende.
- Er zijn nog geen goede en duidelijke afwegingskaders. Er zou gedacht kunnen worden aan een soort voorkeursvolgorde die ook bij de afvalverwerking gebruikt wordt. De ondergrondse ordening kan gemaakt worden aan de hand van de drie hierboven genoemde lagen. In de nieuwe Wet Ruimtelijke Ordening worden gemeenten verplicht de ondergrond op te nemen in de bestemmingsplannen.
- In de nieuwe Waterwet zouden bepalingen opgenomen kunnen worden over de beëindiging van grondwaterwinningen. Dit levert vaak problemen in de omgeving op, maar de verantwoordelijkheid is niet duidelijk. In de huidige grondwaterwet artikel 14 wordt slechts geregeld dat er melding gemaakt moet worden van het voornemen tot beëindiging of reductie. Het probleem is dat het juridisch gecompliceerd is wie verantwoordelijk is voor mogelijke schade bij het beëindigen.
- Momenteel geldt voor het grondwaterverbruik: wie het eerst komt, die het eerst maakt. Dit wordt als ongewenst beschouwd. De gesloten systemen zouden ook ondergebracht moeten worden in de vergunningverlening. Deze systemen worden niet geregistreerd. Vermoedelijk zijn de eigenaren ook niet op de hoogte van hun verantwoordelijkheid als deze systemen gaan lekken.

8.5 Mogelijke gevolgen ruimtegebruik voor grondwatersysteem

Het agrarisch gebied zal in de periode tot 2040 in elk van de vier scenario's blijven dalen, doordat 10 à 15% van het gebied geleidelijk een niet-agrarische functie krijgt.

De geleidelijke omschakeling van akkerbouw naar de melkveehouderij in elk van de scenario's geeft meer mogelijkheden voor waterberging, doordat grasland vaker mag onderlopen dan akkerland, namelijk eenmaal per 10 jaar versus eenmaal per 25 jaar. Deze mogelijkheden worden het grootst in het scenario *Wereld-Economie*, aangezien dat scenario de grootste omschakeling naar de melkveehouderij zal geven.

Het areaal glastuinbouw in Zuid-Holland omvat nu 3% van het landoppervlak van die provincie, maar zal in het scenario *Wereld-Economie* groeien tot 4,5%. Er zal dan ook veel meer gietwateropslag plaatsvinden. Verder kunnen er problemen ontstaan met de afvoer van oppervlaktewater. In het scenario *Regionale Samenwerking* zal het areaal glastuinbouw in Zuid-Holland daarentegen halveren tot 1,5% van het landoppervlak.

De druk op de fysieke omgeving is het grootst in het scenario *Wereld-Economie*, door de sterke groei van de bevolking en de economie en door de grote marktwerking. De nieuwe vraag naar woningbouwlocaties en bedrijventerreinen zal zich vooral op de Randstad richten en in mindere mate op Flevoland, Gelderland en Noord-Brabant. In elk van de scenario's zal de stedelijke uitbreiding zich ook doen gelden in de ondergrond, in de vorm van ondergrondse bouwwerken (garages), vervoer (tunnels), opslag, leidingen en warmte- en koudeopslag. Dit alles zal het grondwatersysteem ter plaatse doen veranderen. De dynamiek van het systeem neemt hierdoor toe. Het zal nodig worden het beheer van de onder- en bovengrondse ruimte beter te coördineren en daarbij ook het grondwater integraal te betrekken.

Het verharde oppervlak zal in drie van de vier scenario's toenemen tot 2040. In de scenario's *Sterk Europa* en *Transatlantische Markt* met circa 20%, maar in het scenario *Wereld-Economie* zelfs met bijna 50%. Daardoor zal er nog meer water oppervlakkig moeten worden afgevoerd. Deze snelle afvoer kan in laag Nederland tot problemen bij de gemalen leiden. En verder zullen er vaker riooloverstorten optreden, wat een slechtere oppervlaktewaterkwaliteit kan geven. Er komt dus een toenemende behoefte aan waterberging.

De verdroging zal in elk scenario een probleem blijven voor de natuur, doordat de landbouw een dominante rol blijft spelen en in alle scenario's verder zal intensiveren (CPB, MNP en RPB, 2006). Doordat deze intensivering het sterkt is in de scenario's met sterke marktwerking – *Wereld-Economie* en *Transatlantische Markt* – zal de verdroging in die scenario's het minst afnemen.

In drie van de vier sociaal-economische scenario's zal de zandwinning op land afnemen en daarmee de effecten daarvan op de grondwaterhuishouding. Maar bij een grote bevolkingsgroei en grote economische groei, zoals in het scenario *Wereld-Economie*, kunnen deze effecten weer toenemen. Er zal in alle scenario's wel een toename zijn van kleinschalige, lokale zandwinningen. Deze kunnen een bijdrage leveren aan het vergroten van (oppervlakte)waterberging, maar zullen daarnaast op een toenemend aantal plaatsen de grondwatersituatie beïnvloeden.

9 Ontwikkeling energiegebruik en -productie

Bij een recente lange-termijn scenariostudie van drie Nederlandse planbureaus bleek dat het energiegebruik tot 2040 in twee scenario's nog flink kan toenemen, namelijk 40% in het scenario *Transatlantische Markt* en 55% in het scenario *Wereld-Economie*, zijnde het scenario met de hoogste groei van de economie en van de bevolking (CPB, MNP en RPB, 2006). Maar de Nederlandse aardgasreserves zullen opraken, zodat de afhankelijkheid van import van kolen en aardolie groter zal worden. Alternatieve energie – windenergie, biomassa en zonne-energie – zal nog lang duurder blijven dan energie uit fossiele bronnen en daardoor afhankelijk blijven van overheidsbemoeienis. Bij ongewijzigd beleid zal de alternatieve energie niet meer dan 10% bijdragen aan de energievoorziening.

9.1 Opslag van CO₂

De klimaatverandering wordt voornamelijk toegeschreven aan de toename van atmosferisch CO₂ door menselijke invloeden. Op wereldniveau (Kyoto, klimaatop Montreal) en Europees niveau (Europees emissie handelssysteem) wordt gestreefd naar een reductie van de van de CO₂-emissie. De opslag van CO₂ kan hierbij helpen. In het emissiehandelssysteem mag dit worden afgetrokken. Het valt te verwachten dat in de komende jaren wordt gestart met proefprojecten en daarna met operationele projecten. Mogelijkheden voor CO₂-opslag zijn lege olie- of gasvelden, kolenlagen, diepe zoutreservoirs en diepe aquifers. In principe heeft deze opslag geen grote directe invloed op het grondwater. Twee mogelijke invloeden zijn:

1. beïnvloeding van het grondwatersysteem door perforatie van slecht doorlatende kleilagen als deze niet goed worden afgedicht,
2. beïnvloeding van de grondwaterkwaliteit als CO₂ langs de buitenkant van de injectieputten of via andere kortsluitingen in de ondergrond opstijgt.

9.2 Warmte- en koudeopslag

Bij warmte- en koudeopslag (WKO) wordt gebruik gemaakt van de ondergrond om de energiebehoefte bij het verwarmen of koelen van woningen en/of kantoren te verminderen. Er bestaan twee manieren van warmte- en koudeopslag: de gesloten en open systemen (Van Hoegaerden, 2004).

De gesloten systemen maken gebruik van lussen of heipalen in de grond om daardoor een koelvloeistof te laten stromen. Gedurende de verblijftijd in de ondergrond zal deze vloeistof opwarmen of afkoelen, afhankelijk van het seizoen. De temperatuur in de ondergrond is gedurende het hele jaar vrij constant: dus in de zomer is de ondergrond relatief koud en 's winters relatief warm. Deze systemen hebben geen invloed op de grondwaterstromingen, maar leiden wel tot het lokaal opwarmen/afkoelen van het grondwater. Deze systemen gaan doorgaans niet dieper dan 40 meter, hoewel het voor de grotere systemen mogelijk is tot 100 meter diep lussen te leggen. Deze systemen leveren relatief bescheiden vermogens tot 0,5 MW.

De grote vermogens komen uit de open systemen, waarbij gebruik gemaakt wordt van twee putten: een warme en een koude bron. 's Zomers wordt het water uit de koude

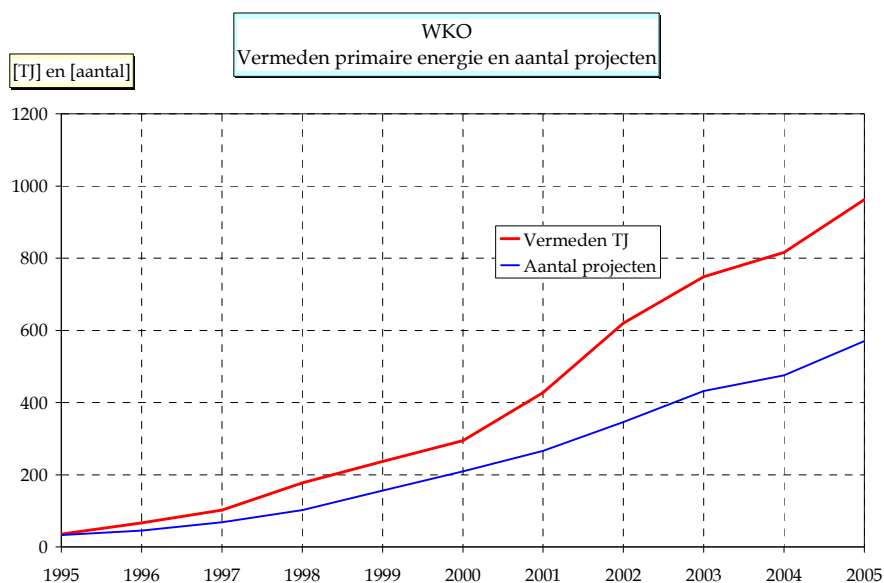
bron gebruikt voor koeling en vervolgens in de warme bron geïnjecteerd. In de winter verloopt de stroming andersom. Hiermee zijn inmiddels vermogens tot 25 MW gerealiseerd, waarmee complete complexen verwarmd en gekoeld worden. Deze open systemen hebben invloed op de (lokale) grondwaterstromingen en de thermische balans in de ondergrond.

Ter plaatse van de bronnen, zal de stijghoogte in het gebruikte watervoerend pakket veranderen. Bij de onttrekking is de stijghoogte verlaagd en waar het water weer geïnjecteerd wordt in de ondergrond, is de stijghoogte verhoogd. Aangezien de stroming door het systeem in de winter tegenovergesteld is aan de stroming in de zomer, zal de stijghoogte bij de bronnen het ene halfjaar verhoogd en het andere halfjaar verlaagd zijn.

Bij deze systemen is het van belang om de effecten op het regionale stromingspatroon en de lokale freatische grondwaterstanden in beeld te hebben. Tevens moet voorkomen worden dat de ondergrond gebruikt wordt om overbodige warmte te lozen: het systeem moet evenveel warmte onttrekken als aanleveren. Het systeem kan ook invloed hebben op het wijzigen van de zoet/zoutgrensvlakken. Daarom wordt nu de eis gesteld om uit het watervoerend pakket weg te blijven als zich ter plaatse een grensvlak bevindt. Omdat deze systemen 'open' zijn, kunnen deze met elkaar of met andere onttrekkingen interfereren. Indien de systemen goed ontworpen en uitgevoerd worden, is dit een zeer rendabele en echt duurzame vorm van energiebesparing op verwarmen en koelen van gebouwen. Voor de duurzaamheid is het enige nog onbekende aspect, het effect op de grondwaterecologie. Er wordt bij warmte- en koudeopslag namelijk een grotere dynamiek in stromingen, kwaliteit en temperatuur veroorzaakt.

Het CBS heeft in 2006 de snelheid van de ontwikkeling van warmte- en koudeopslag in de afgelopen tien jaar geïnventariseerd. De energiebesparing blijkt de afgelopen tien jaar toegenomen van 36 naar 962 TJ (zie figuur 9.1). De geïnstalleerde capaciteit in 2004 van de WKO-installaties was 469 MW, wat overeenkomt met 812 TJ. Grofweg kan dan bepaald worden dat er per MW capaciteit 1,7 TJ bespaard wordt. Dit is ook de gemiddelde grootte van een project in Nederland. In de EU werd in 2004 voor 224.000 TJ bespaard³⁷, wat dan overeenkomt met 130.000 MW.

³⁷ Eurostat (2006). General and regional statistics op website www.epp.eurostat.ec.eu.int.



Figuur 9.1: Ontwikkeling van warmte- en koudeopslag in Nederland in de afgelopen tien jaar in vermeden primaire energie (TJ) en aantal projecten. Gebaseerd op cijfers van CBS (Segers et al., 2006).

Ontwikkeling warmte- en koudeopslag tot 2050

Op basis van de ontwikkeling van WKO gedurende de afgelopen 10 jaar kunnen een aantal algemene verwachtingen voor WKO opgesteld worden. Eerst zullen hier een aantal factoren genoemd worden die de ontwikkeling of in ieder geval de verwachting daarvan kunnen stimuleren of beperken.

Stimulerende factoren ontwikkeling WKO

- In ons omringende landen wordt WKO al op een veel grotere schaal toegepast.³⁸ Nederland loopt met ongeveer 600 projecten achter. De populariteit in het buitenland zal ook in Nederland stimulerend werken.
 - Zweden: 185.000 installaties met in totaal 1700 MW
 - Frankrijk: 50.000 installaties met in totaal 550 MW
 - Duitsland: 49.000 installaties met in totaal 630 MW
 - Oostenrijk: 30.000 installaties met in totaal 610 MW
 - Finland: 30.000 installaties met in totaal 300 MW

De huidige groei van de markt voor warmtepompen ligt rond de 25% in Europa op basis van circa 365.000 warmtepompen. De EU heeft het doel om voor 2008 nog eens 250.000 warmtepompen erbij te krijgen, wat gegeven de huidige Europese ontwikkelingen (+25% per jaar) een haalbare doelstelling kan zijn.

- De verwachte schaarste aan brandstoffen en het streven minder afhankelijk van energie te worden, zal leiden tot meer duurzame energie.
- WKO-installaties hebben een zeer korte terugverdientijd in de orde van grootte 3 tot 5 jaar.
- Nederland heeft veel grondwater in relatief goed doorlatende lagen en is dus in potentie in grote gebieden geschikt voor WKO. Uit een studie van TNO voor de provincie Zuid-Holland blijkt dat een zeer groot deel van die provincie potentieel geschikt is (Weerts, 2000). Op de grondwaterkaart van de provincie Groningen is ook een groot deel aangeduid als mogelijk geschikt voor WKO.³⁹

³⁸ Green Power Market Development Group (2006). Geothermal energy overview op website www.thegreenpowergroup.org.

³⁹ Provincie Groningen (2006). Grondwaterkaart op website www.groningen.esrinl.com.

Beperkende factoren ontwikkeling WKO

- De ondergrond in Nederland wordt relatief veel gebruikt, dus risico op interferentie.
- Per locatie moet gekeken worden of die locatie, ondanks een oordeel als potentieel geschikt, ook daadwerkelijk gebruikt kan worden voor WKO.
- De bodem- en grondwaterwetgeving zijn niet echt ingericht op WKO.
- Bij de bescherming van de grondwaterkwaliteit geldt het voorzorgsprincipe.
- De “makkelijke” grote projecten worden in het beginstadium van een techniek het eerst uitgevoerd. In Nederland zijn de projecten gemiddeld 1 MW, maar in het buitenland blijkt deze rond de 10 kW te liggen (zie de vijf landen hierboven). De “kleine” projecten zijn er dus nog nauwelijks in Nederland.

Jan Leunk, medewerker Bureau Grondwater, Provincie Noord-Brabant

Bij warmte- en koudeopslag in de zoete grondwatersystemen heeft geen duidelijke keuze plaatsgevonden tussen de aantasting van deze systemen en het rendement voor de vermindering van energiegebruik en CO₂-reductie. Er bestaan betere oplossingen. Bij onvoldoende milieurendement is sprake van misbruik van de bodem. De ‘onschuld’ van ons zuivere diepe grondwater wordt aangetast. Grootschalige WKO’s brengen een groot risico met zich mee dat niet natuurlijke stoffen in dit diepe grondwater terecht komen. Er ontstaat ook een spanningsveld tussen de waterproducenten en deze WKO’s. Mogelijk is WKO in brak-zout grondwater een kleiner probleem.

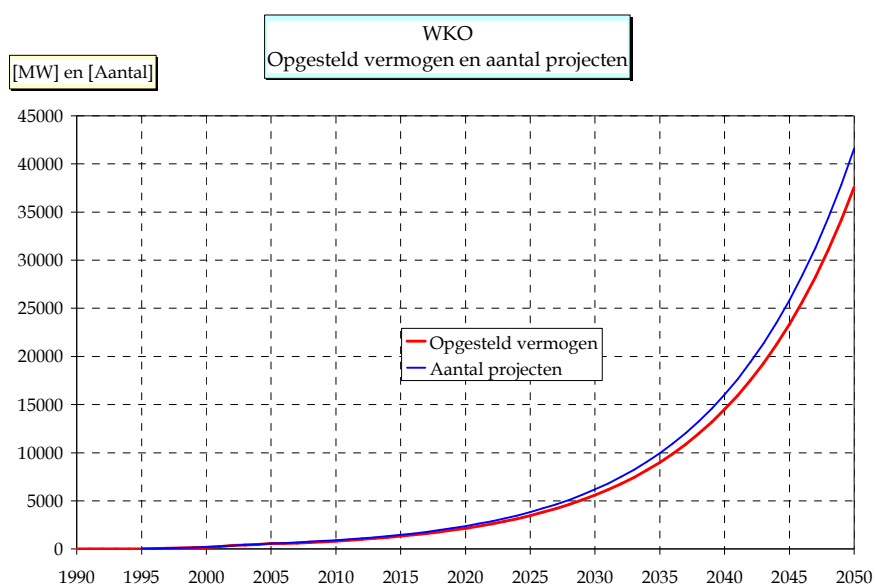
Hoe de WKO zich zal ontwikkelen, is natuurlijk niet bekend. Het is heel goed mogelijk dat er steeds meer kleine WKO-installaties komen, getuige ook de recente tv-reportage over de mogelijkheden om een WKO in de achtertuin te beginnen⁴⁰. Tegelijkertijd kan verwacht worden dat de installaties steeds groter zullen worden, doordat de kennis toeneemt en daarmee het investeringsrisico voor grote installaties afneemt.

Doordat de stimulerende factoren prominent aanwezig zijn, is te verwachten dat de ontwikkeling van WKO in de nabije toekomst sneller zal gaan. Als we de trend van de energiebesparing exponentieel verlengen komen we in 2050 uit op circa 38.000 MW (figuur 9.2). Hierbij is uitgegaan van een constante groei van 10% ten opzichte van het voorgaande jaar (gemiddelde van de jaren 2003 en 2004). Het aantal projecten komt uit op 42.000, wat betekent dat er ongeveer 84.000 bronnen geslagen zijn.

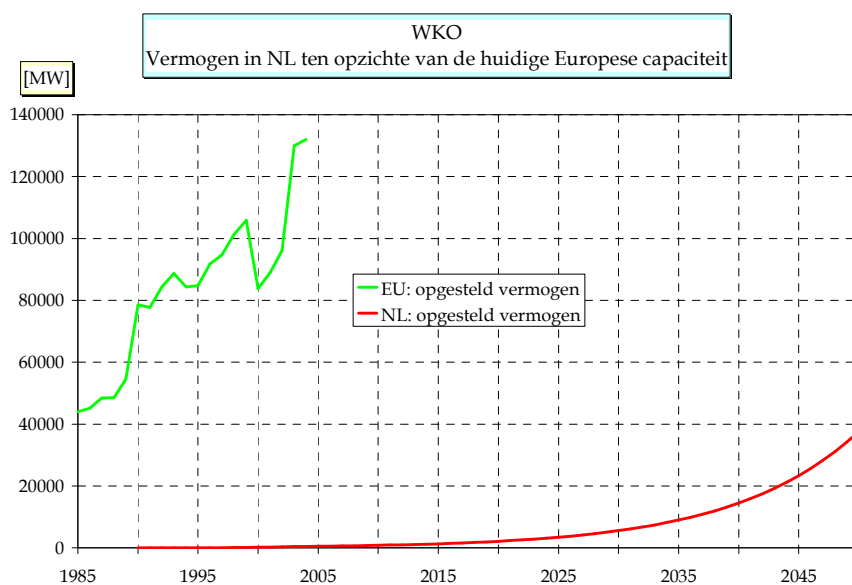
Gegeven het huidige kengetal van het CBS en Ecofys dat er per maximaal vergund debiet een vermogen van 1/325 kW gerealiseerd wordt (CBS, 2006), betekent dit dat er in 2050 ruim 11 miljard m³ grondwater rondgepompt wordt. De vergunningen hebben een gemiddeld debiet van 11 m³/uur voor infiltratie en onttrekking.

Dit lijkt een zeer sterke toename van het vermogen, maar in figuur 9.3 is deze ontwikkeling uitgezet tegenover het huidige vermogen van de WKO’s in de 25 Europese lidstaten. In vergelijking hiermee is het verwachte vermogen in 2050 geen uitzonderlijk grote capaciteit.

⁴⁰ TROS Radar, ‘Grondverwarming’. Item in de uitzending van 16 oktober 2006 (www.trosradar.nl).



Figuur 9.2: Mogelijke ontwikkeling van de omvang van WKO en het aantal projecten tot 2050.



Figuur 9.3: Het verwachte vermogen aan WKO in Nederland vergeleken met de huidige geïnstalleerde capaciteit in de 25 Europese lidstaten.

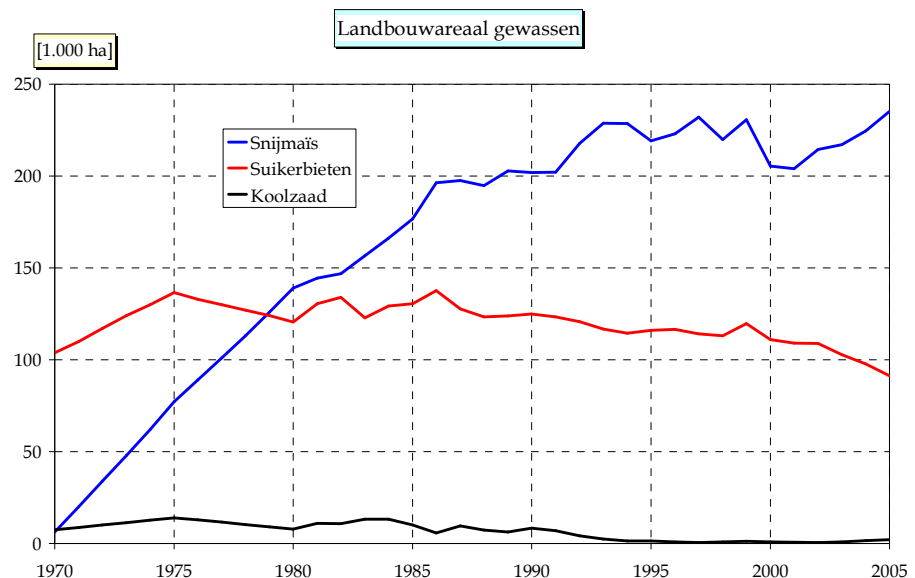
9.3 Bio-energie en -brandstof

In EU-verband zijn afspraken gemaakt over de doelstellingen voor het gebruik van biobrandstof. De doelstelling voor 2010 is dat 5,75% van de brandstof bestaat uit

biobrandstof. En voor 2020 is het doel om in het wegvervoer 20% alternatieve brandstoffen te gebruiken zoals biobrandstoffen, aardgas en waterstof. Het is te verwachten dat deze percentages tot 2050 minstens gehandhaafd zullen blijven of zullen toenemen.

Om te kunnen verwezenlijken dat 8% van de brandstof bestaat uit biobrandstoffen is 10% van het areaal landbouwgrond in de EU noodzakelijk.⁴¹ Hieruit blijkt al dat het areaal landbouwgrond eerder beperkend zal zijn voor het oppervlak dat gebruikt kan en zal worden voor de teelt van ondermeer koolzaad dan de gewenste ontwikkeling ten aanzien van biobrandstoffen.

Om de doelstelling van 5,75% biobrandstof te kunnen verwezenlijken, is 900 miljoen liter biobrandstof per jaar noodzakelijk.⁴² Als dit ook in Nederland geteeld moet worden, zou daarvoor een oppervlakte van 600.000 ha nodig zijn, gegeven een opbrengst van 1.500 liter per ha.⁴³ Het Nederlandse landbouwareaal bestaat momenteel uit 2.300.000 ha en kent een afnemende trend (zie § 8.1). Dit zou dus een beslag op het areaal van 25% betekenen. Onderstaande figuur 9.4 toont het verloop van de arealen snijmaïs, suikerbieten en kool- en rapenzaad in Nederland.



Figuur 9.4: Verloop van het Nederlandse areaal van de landbouwgewassen die gebruikt zouden kunnen worden voor biobrandstof, van 1970 - 2005. De cijfers van 1970-1975 en 1975-1980 zijn lineair geïnterpoleerd. Gebaseerd op cijfers van website www.lei.wur.nl. Landbouw Economisch Instituut en Centraal Bureau voor de Statistiek, november 2006.

Wereldwijd gezien is bio-ethanol de meest gebruikte variant van biobrandstof. Dit kan verkregen worden door het vergisten van suiker, maïs of biomassa. Ervan uitgaande dat maïs en suikerbieten hetzelfde rendement hebben als koolzaad, zou het gehele bestaande areaal al gebruikt moeten worden voor deze bestemming.

Door het RPB is onlangs aangegeven dat Nederland veel te klein is om de benodigde biobrandstof voor transport te produceren (RPB, 2003). Daarbij is ook gesteld dat

⁴¹ ECN (2001). 'Europese commissie wil biobrandstof in benzine' op website www.energie.nl. Energieonderzoek Centrum Nederland.

⁴² VROM (2006). Dossier biobrandstoffen op website www.vrom.nl. Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer.

⁴³ Op website www.koolzaadolie.net. 'Brandstof van de toekomst'.

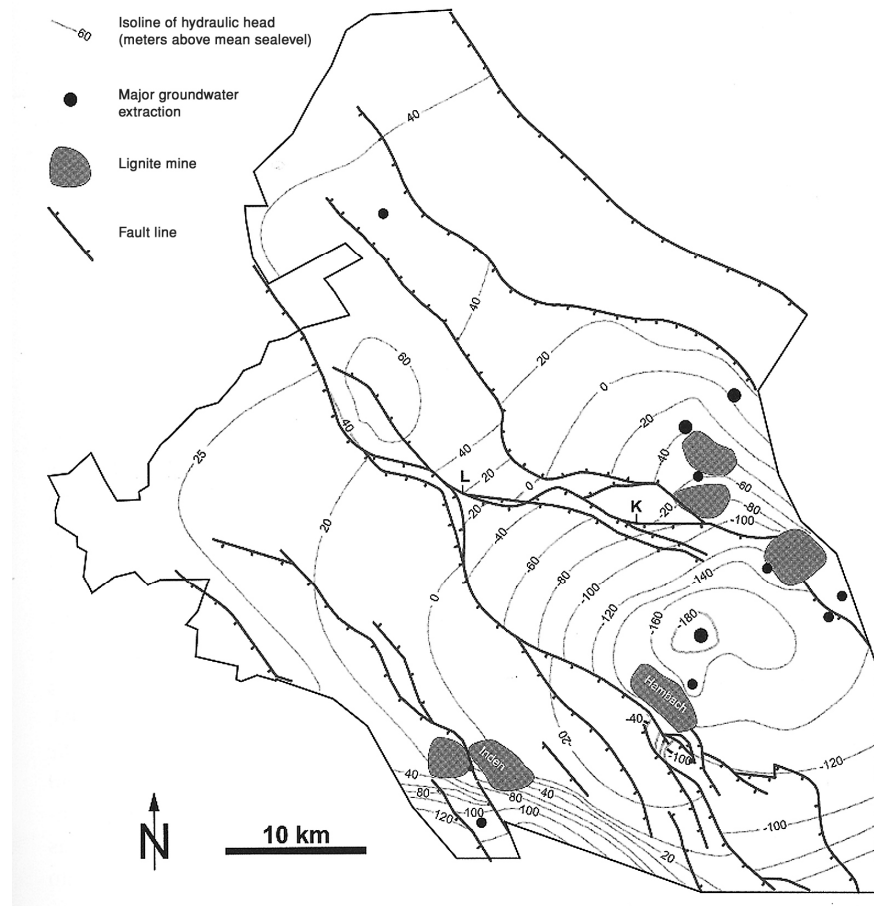
binnenlandse productie niet rendabel kan zijn zonder hoge subsidies. Het ligt dan voor de hand dat biobrandstof en biomassa zullen worden geïmporteerd. Een brede overgang naar de teelt van grondstoffen voor biobrandstof is dus niet te verwachten. We hoeven dan ook geen rekening te houden met de eventuele invloed van zo'n overgang op het grondwatersysteem.

9.4 Kernenergie

Volgens de scenariostudie van de drie planbureaus zal Nederland alleen in het scenario *Transatlantische Markt* gebruik maken van kernenergie (CPB, MNP en RPB, 2006). Doordat voor de koeling doorgaans oppervlaktewater wordt gehanteerd, hoeven we er niet van uit te gaan dat dit consequenties heeft voor het grondwatersysteem. Er is wel een kleine kans dat het kernafval ondergronds wordt opgeslagen, maar in dit scenario met sterke marktwerking is er een grotere kans op export van het kernafval.

9.5 Bruinkoolwinning in het grensgebied met Duitsland

In de zogenaamde Niederrheinische Bucht tussen Keulen, Mönchengladbach en Aken wordt door de Rheinbraun in verschillende groeves (in open dagbouw) bruinkool gewonnen (figuur 9.5). Hiervoor moet het grondwater plaatselijk honderden meters worden verlaagd. Gemiddeld wordt, net over de grens van Nederland, per jaar 1,2 miljard m³ grondwater onttrokken. Dit komt overeen met de totale grondwateronttrekking in Nederland (zie § hoofdstuk 7). Deze enorme grondwateronttrekking vindt in verschillende tektonische blokken plaats: Groeve Inden in de Roerdalslenk, Groeve Garzweiler in de Venloslenk en groeve Hambach in de Erftlenk. De invloed verplaatst zich het sterkst via deze tektonische blokken, maar er vindt ook onderlinge beïnvloeding plaats.

The hydrological expression of faults in the study area

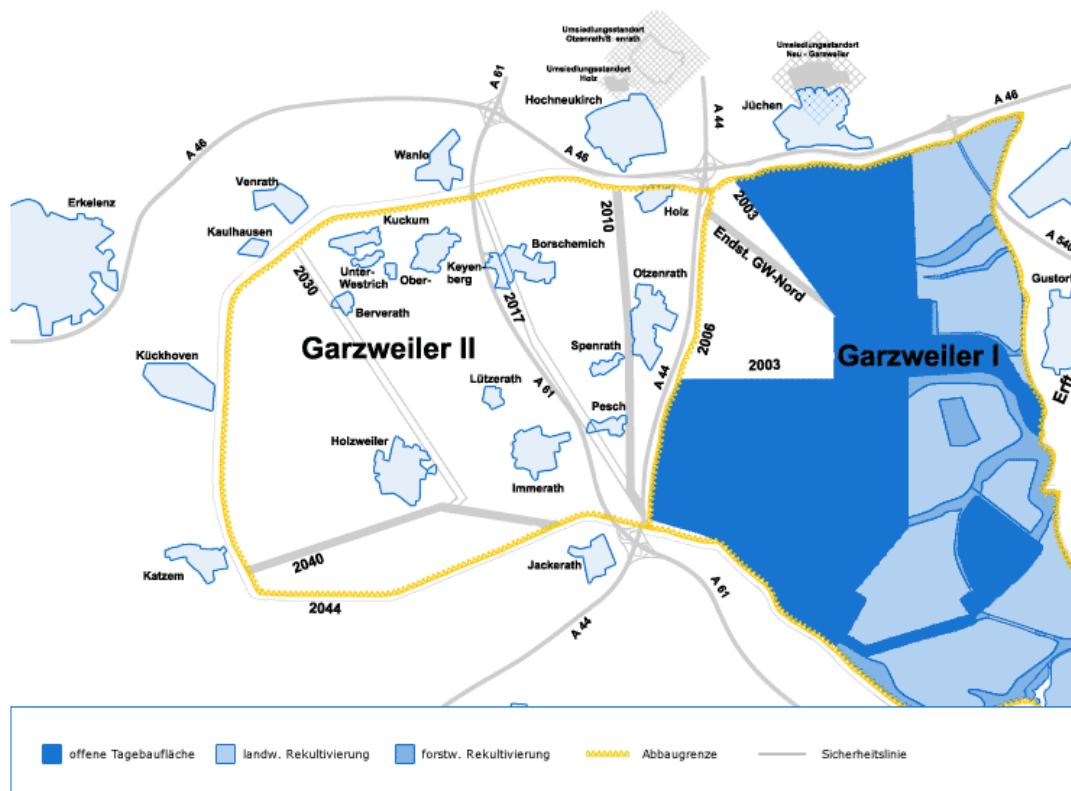
Figuur 9.5: Locaties van de bruinkoolgroeves en de daarmee samenhangende grote grondwateronttrekkingen. Tevens zijn weergegeven de geologische breuklijnen en de isohypsen van de grondwaterstand.

De watervoerende pakketten zetten zich immers voort in noordwestelijke richting, naar Nederland. In de jaren '90 werden in het Nederlandse deel van de Roerdalslenk sterke stijghoogteverlagingen gemeten. In de Venloslenk bij Broekhuizen vorst werd daarnaast sinds begin jaren '80, in de Zanden van Berg onder de Boomse klei, een voortschrijdende continue stijghoogtedaling van 50 cm/jaar waargenomen. Ook metingen in Asten (Roerdal Slenk) op 1800 m diepte in de Zanden van Berg vertoonden een verlaging. De meting bij Broekhuizen vorst toonde aan dat de bruinkoolwinning op grote afstand (ongeveer 70 km) meer dan 10 m verlaging had veroorzaakt en dat deze stijghoogteverlaging via de diepe 'Paleogene' spanningswatervoerende pakketten werd getransporteerd.

Groeve Garzweiler in de Venlo Slenk

Duitsland hecht veel belang aan de voortzetting van de bruinkoolwinning. Alleen al de groeve Garzweiler levert 40.000 arbeidsplaatsen (12.000 direct bij Rheinbraun). En 25% van de stroomvoorziening van Duitsland wordt geleverd door bruinkool (Nederland voert 'stroom' uit Duitsland in, dus ook 'bruinkoolstroom').

De groeve Garzweiler ligt in het blok van de Venloslenk en is in 1982 gestart. In de groeve Garzweiler I lagen de bruinkoollagen tussen 40-160 m onder maaiveld.⁴⁴ Het ligt in de bedoeling rond 2006 de groeve Garzweiler I te sluiten en Garzweiler II (48 km²) te gaan exploiteren. Deze groeve zal dicht bij de Nederlandse grens liggen dan de bestaande groeves. De bruinkoollagen liggen hier dieper, maximaal 210 m onder maaiveld. De voorspelling is dat deze groeve in 2044 wordt gesloten. Voor de bronnering van Garzweiler II zal 150 miljoen m³/jaar aan grondwater worden onttrokken, maar voor een deel wordt dit water ook weer geïnjecteerd. Om verdroging te bestrijden voert Rheinbraun water per pijpleiding naar natuurgebieden ('Natur am Tropic', 'natuur aan het infuus'). Vermoedelijk zal de stijghoogte in de Paleogene watervoerende pakketten onder de Klei van Boom nog verder dalen.



Figuur 9.6: Locaties van de bruinkoolgroeves Garzweiler I en II.

Groeve Inden in de Roerdalslenk

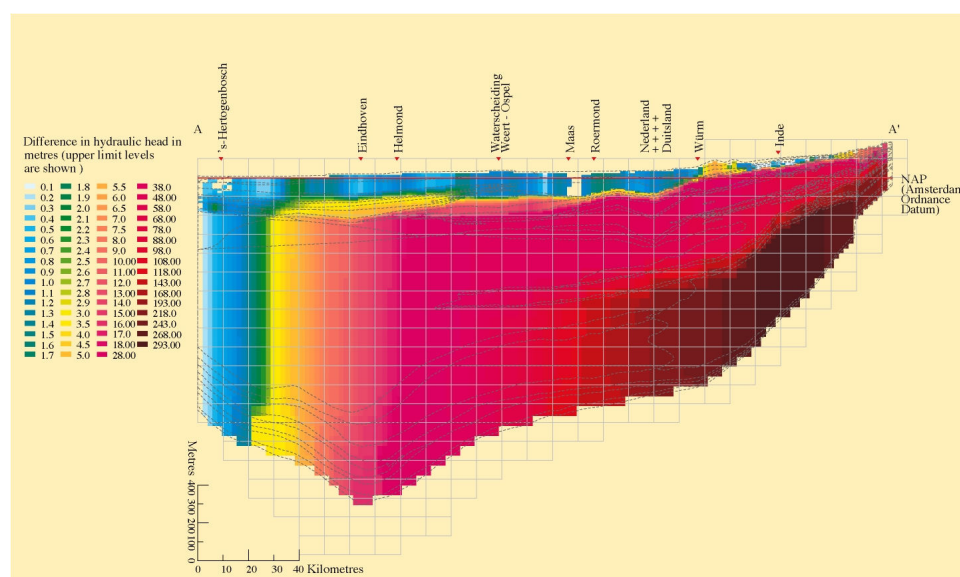
De groeve Inden ligt in de Roerdalslenk en is 230 m diep, met de bodem meer dan 100 m onder zeeniveau. In 2004 heeft Rheinbraun vergunning gekregen om de grondwateronttrekking te verhogen van 120 naar 135 miljoen m³/jaar⁴⁵. Gegeven de hydrogeologische situatie heeft de groeve een verlagend effect op de stijghoogte van het diepe grondwater in Nederland. De groeve zal in 2030 worden gesloten.

⁴⁴ Bron: www.rheinbraun.de.

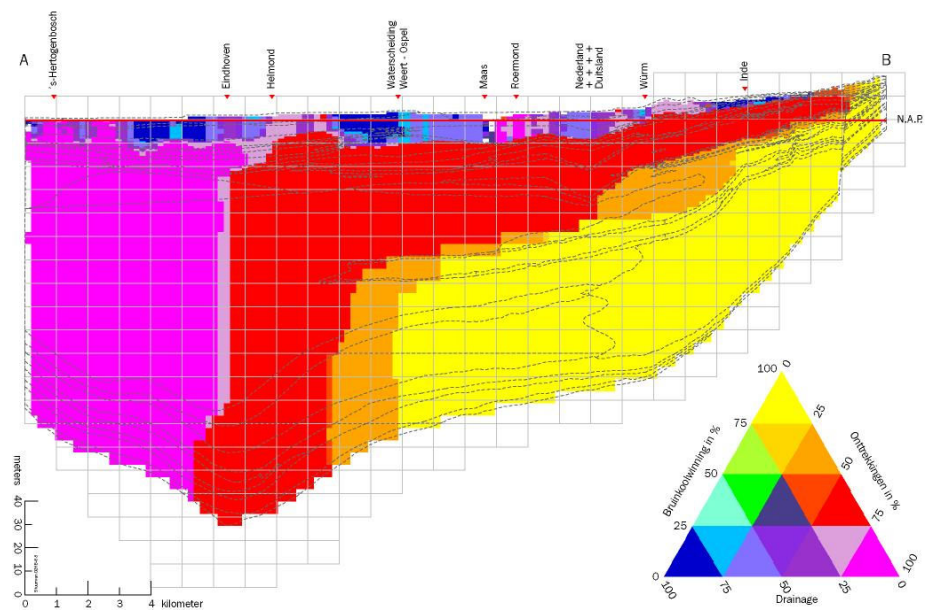
⁴⁵ De provincie Limburg heeft hiermee ingestemd als de grondwaterstand door deze activiteit niet meer dan 5 cm zal dalen. *Technisch is het echter niet mogelijk om een daling van deze orde aan de hand van monitoring waar te nemen!*



Met behulp van een grensoverschrijdend grondwatermodel (Stuurman en Vermeulen, 1996) is onderbouwd dat de stijghoogteverlaging door de bruinkoolwinning zich hoofdzakelijk via diepe watervoerende pakketten verplaatst (figuur 9.7). Dit 3D-model beschouwt de Roerdalslenk tussen Inden en Den Bosch. De ondergrens van dit model bestaat uit hard gesteente. Bij Boxtel bevindt dit gesteente zich op circa 1500 m diepte.

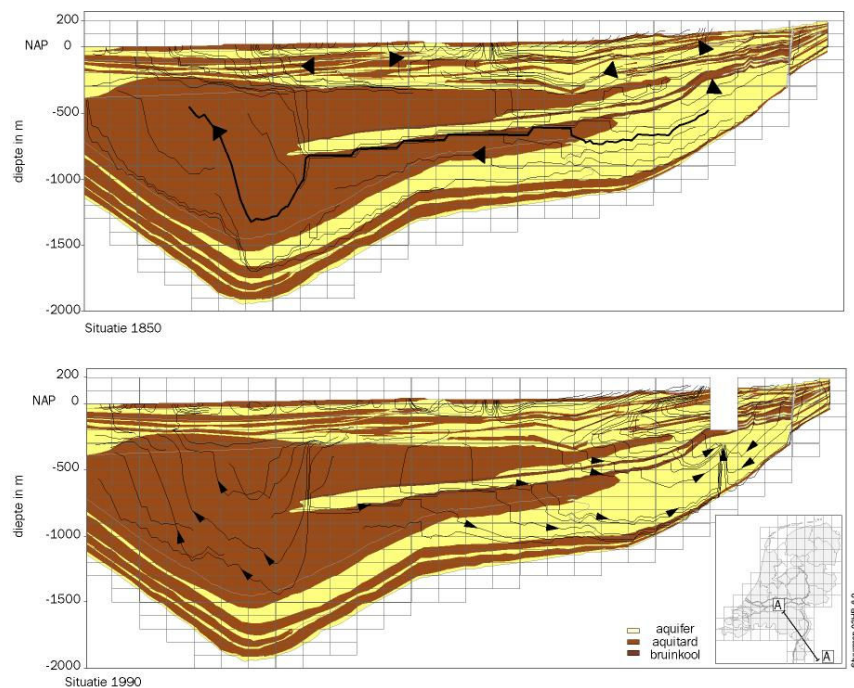


Figuur 9.7: Stijghoogtedaling in de Roerdalslenk als gevolg van grondwaterwinning, veranderingen in de oppervlaktewaterhuishouding en de onttrekkingen voor de bruinkoolwinning, ten opzichte van de grondwatersituatie rond 1850.



Figuur 9.8: Het aandeel in de stijghoogteverlaging van de drie hoofdinvoeden 'drainage', 'grondwaterwinning' en 'bruinkoolwinning'.

Zowel het ondiepe als het diepe grondwater in de Roerdalslenk werd oorspronkelijk aangevuld via grondwaterstroming vanuit het hoger gelegen Duitse Maasterras. Maar door de grondwateronttrekking voor de bruinkoolwinning is de diepe grondwaterstroming omgedraaid (figuur 9.9).



Figuur 9.9: Grondwaterstroming in de Roerdalslenk rond 1850 (boven) en heden (onder).

Bruinkoolwinning en de toekomstige grondwatersituatie

Op basis van het bovenstaande kan worden verwacht dat de 'diepe' stijghoogte in de grensstreek verder zal dalen. Dit geldt met grote waarschijnlijkheid voor de stijghoogte onder de Klei van Boom.

Het is nog niet duidelijk wat het effect van de toekomstige sluiting van de mijnbouw zal zijn. De groeve zal dan weer volstromen met grondwater, dat uit de omgeving wordt aangevoerd.

9.6 Steenkoolmijnen in Limburg

De steenkoolwinning in de provincie Limburg startte in 1900. Rond 1930 was de steenkoolproductie tot circa 13 miljoen ton per jaar gestegen, waarna deze zich min of meer stabiliseerde. Hiervoor was een stelsel van schachten en gangen aangelegd van 10 bij 28 km (Teeuwisse, 1963). Het gangenstelsel reikte tot ongeveer 800 m diepte. Begin 1955 startten ook de mijnbouwactiviteiten op de Meinweg ten oosten van Roermond, op de Peelhorst. Midden 1962 werden 2 schachten in aanbouw verlaten, waarna deze zich geleidelijk met water vulden en werden gesloten. De schachten waren circa 715 m diep (Kimpe, 1973).

Bij het verlaten van de steenkoolmijnen in Limburg tussen 1967 en 1974 zijn uitgebreide maatregelen genomen om de mijnschachten te dichten. Voor de sluiting van de schachten waren alle mijnen met elkaar verbonden, maar tijdens de sluiting werden dammen in de mijngangen aangebracht. Alleen het bovenste deel van de mijnschachten werd gedicht en het grootste, dieper gelegen deel, bleef open, net als de mijngangen bleven open. In schacht no.1 van Staatsmijn Hendrik werd bijvoorbeeld de bovenste 175 m afgesloten en opgevuld, maar het daaronder gelegen deel van de schacht tot ongeveer 800 meter diepte bleef open (Schilp, 1971).

Een belangrijke functie bij de mijnwaterstijging werd vervuld door de pompschacht Beerenbosch te Kerkrade (provincie Limburg, 1998). Deze is tot 1994 actief geweest. Tot dat moment werd grondwater opgepompt vanaf 380 m onder maaiveld (220 m - NAP). In het grootse deel van het mijngangensysteem steeg het grondwater toen al.

In vergelijking met buitenlandse koolmijnen waren de Limburgse koolmijnen niet rijk aan water. Om de mijngangen droog te houden werd per jaar gemiddeld 25 miljoen/m³ water onttrokken. De toestroming van water hing af van de lithologie of de aanwezigheid van breuken (Kimpe, 1973; Bless en van Rooijen, 1981). Met name de jongere Zuidoost-Noordwest verlopende breuken fungeerden als transportweg voor grondwater. De oudere Zuidwest-Noordoost verlopende breuken leverden nooit grote hoeveelheden water en werden hydrologisch als dicht beschouwd. In de breuken bewoog het grondwater zich hoofdzakelijk in de verticaal.

Bij het verlaten van de mijnen werden vier controleputten ingericht om het risico voor verzilting van het ondiepe grondwater te volgen. Tot nu toe zijn er echter geen aanwijzingen voor verzilting gevonden.

Het mijnwater is ongeschikt voor de bereiding van drinkwater. Dit komt mede door de daarin aanwezige gassen, namelijk methaan, koolstofdioxide, koolstofmonoxide en waterstofsulfide.

Na het sluiten van de mijnen is het maaiveld ter plaatse gemiddeld 25 cm gestegen als gevolg van het herstel van de natuurlijke grondwatersituatie. De grondwaterstand is nog steeds aan het stijgen.

9.7 Mogelijke gevolgen energiegebruik en –productie voor grondwatersysteem

Er is een grote toename te verwachten van het gebruik van warmte- en koudeopslag, als duurzame vorm van energiebesparing op het verwarmen en koelen van gebouwen. Maar de WKO-installaties beïnvloeden de thermische balans in de ondergrond en als het open systemen betreft hebben ze ook invloed op de (lokale) grondwaterstromingen en kunnen ze zelfs elkaar of naburige grondwaterwinningen verstoren. In het ergste geval kunnen ze zelfs de ligging van het grensvlak zoet-zout verstoren. Het is onbekend wat het effect is op de grondwaterecologie.

Een brede overgang naar de teelt van grondstoffen voor biobrandstof is niet te verwachten. We hoeven dan ook geen rekening te houden met de eventuele invloed van zo'n overgang op het grondwatersysteem.

Nederland zal alleen in het scenario *Transatlantische Markt* gebruik maken van kernenergie, maar doordat voor de koeling doorgaans oppervlaktewater wordt gehanteerd, hoeven we er niet van uit te gaan dat dit consequenties heeft voor het grondwatersysteem. Er is wel een kleine kans dat het kernafval ondergronds wordt opgeslagen, maar in dit scenario met sterke marktwerking is er een grotere kans op export van het kernafval.

Door de bruinkoolwinning in Duitsland zal de 'diepe' stijghoogte onder de Boomse Klei in de Roerdalslenk en in de Venloslenk nog enkele tientallen jaren blijven dalen.

Door het sluiten van de Limburgse steenkoolmijnen is het grondwater daar nog steeds aan het stijgen en is inmiddels het maaiveld ter plaatse gemiddeld 25 cm gestegen. De stijging bedraagt 1 à 2 cm per jaar.

Huub Rijnaarts (Bodemkwaliteit en beheer (TNO Bouw en Ondergrond) en van Wageningen Universiteit):
De intensivering van het gebruik van de (diepe) ondergrond (WKO, gietwaterinfiltratie, SAR, etc.) breekt dit eeuwenlang beschermde grondwatersysteem open. De goede isolatie verdwijnt. Hierdoor kan het ongestoorde microbacteriële potentieel en de biodiversiteit misschien verloren gaan.

10 Mogelijke ontwikkeling grondwatersysteem tot 2050

Op basis van de in het voorgaande beschreven ontwikkelingen van invloedsfactoren van het grondwatersysteem, worden in dit hoofdstuk de mogelijke ontwikkelingen van het grondwatersysteem tot 2050 geschetst. In § 10.1 lichten we eerst toe hoe we hierbij de invloed van het waterbeheer hebben verdisconteerd. Dan beschrijft § 10.2 de belangrijkste mogelijke ontwikkelingen van het grondwatersysteem. En in § 10.3 t/m § 10.9 is dit verder uitgewerkt voor een aantal afzonderlijke gebieden (weergegeven in figuur 2.3), namelijk achtereenvolgens de duinstreek (§ 10.3), het veengebied (§ 10.4), het zeekleigebied en de droogmakerijen (§ 10.5), het rivierengebied (§ 10.6), het zandgebied (§ 10.7), Zuid-Limburg (§ 10.8) en tenslotte IJsselmeer en omgeving (§ 10.9). Dit hoofdstuk sluit af met de mogelijke ontwikkelingen van de verdeling van zoet en zout grondwater (§ 10.10).

Door de grote onzekerheden zullen we ons veelal moeten beperken tot het schetsen van mogelijke ontwikkelingsrichtingen van relevante kenmerken van het grondwatersysteem, waarbij zonodig ook onderscheid is gemaakt naar de toekomstscenario's die voor een bepaalde invloedsfactor zijn uitgewerkt.

10.1 Verdisconteren van het waterbeheer bij de doorkijk naar 2050

De in dit rapport uitgewerkte doorkijk naar 2050 is vooral bedoeld om knelpunten te kunnen signaleren in ons toekomstige grondwatersysteem *bij voortzetting van het huidige beleid* (zie § 1.1). Maar beleid is nooit statisch, het is reactief en kan veranderen bij grote veranderingen in omgevingsfactoren. Om te voorkomen dat de gevolgen van het beleid de gevolgen van de andere invloedsfactoren van het grondwatersysteem te zeer inkapselen, krijgt het beleid slechts een bescheiden rol van ons toebedeeld bij het schetsen van de toekomstbeelden van het grondwatersysteem. We gaan er daarbij van uit dat het zoveel mogelijk voort blijft bouwen op de *grondhouding* die spreekt uit het historische en het huidige beleid (zie daarvoor hoofdstuk 4). Het kan echter wel enigszins meebewegen met omgevingsfactoren, zoals het terugtrekken van de overheid ten gunste van de marktwerking in de scenario's *Wereld-Economie* en *Transatlantische Markt*.

10.2 Belangrijkste mogelijke ontwikkelingen grondwatersysteem tot 2050

De belangrijkste ontwikkeling die we kunnen verwachten is dat de *dynamiek* van ons grondwatersysteem zal toenemen. Niet alleen door de verwachte klimaatsverandering, met meer (winter)neerslag en drogere zomers, maar vooral ook door het intensievere gebruik van de ondergrond, met meer WKO-installaties (die afwisselend aan- en uitgaan), ondergrondse bouwprojecten, gietwateropslag en CO₂-opslag.

In combinatie met de zeespiegelrijzing is de daling van de bodem in de polders van het westen en noorden het meest zorgelijk. De extra bodemdaling kan hier namelijk oplopen tot 80 centimeter in 2050. De situatie rondom de diepste polders kan betiteld worden als problematisch. Met name de energievraag en de zoutwaterlozing door bemaling leiden tot het stellen van vragen omtrent de natuurlijke duurzaamheid. In de toekomst zal het grondwater dichterbij het maaiveld komen of de grondwaterstand zal

worden verlaagd om de maaiveldddaling te volgen. Deze peilindexatie leidt tot een vergroting van de (veelal brakke) kwel in deze polders en een verhoogd risico van opbarsten van de bodem. De marges in de ontwateringsdiepte om de functies goed te kunnen bedienen, zijn vrij klein. Bij de keuze voor handhaven van het huidige oppervlaktewaterpeil (geen peilindexatie) kan zeker in de toekomst het noodgedwongen accepteren van wateroverlast of ingrijpende functieveranderingen noodzakelijk worden. Het voortschrijdende proces van bodemdaling kan vermoedelijk alleen worden tegengegaan door de peilverlaging te beperken. De klassieke weg van 'peil volgt functie' moet dan worden omgezet in 'functie volgt peil'.

Er zullen vaker extreem lage grondwaterstanden voorkomen, vooral in het W+-klimaatsscenario.

Door de toename van de (winter)neerslag, zal in het lage deel van Nederland op een groot aantal locaties vaker wateroverlast optreden, in de vorm van ondergelopen landbouwgronden, kassen, woningen en wegen. In hoog Nederland zullen lokale waterproblemen optreden in de beekdalen.

Door vernatting zullen bepaalde gewasbelagers (o.a. bruinrot bij aardappelen) meer kans krijgen. Mogelijk bestaan ook positieve effecten zoals een ontsmettende werking (Kempenaar e.a., 2003).

De toename van de neerslag en de voortgaande zeespiegelrijzing zullen leiden tot nog meer verzilting van het grondwater van laag Nederland. Maar deze effecten zijn gering ten opzichte van het na-ijleffect van de inpolderingen, dat nog lang door zal gaan. De inpolderingen van de Gouden (17^e) Eeuw zijn de belangrijkste oorzaak van de verzilting en zullen daarvan ook nog lange tijd de sterkste motor vormen.

Door de toename van de Rijnaafvoer kan het IJsselmeerpeil fors stijgen, het winterpeil mogelijk zelfs 50 cm. Er zal dan meer kwel zijn in een zone langs het IJsselmeer. Daardoor zullen plaatselijk hogere grondwaterstanden ontstaan en zal er een toename in waterafvoer zijn. Het hogere peil kan ook leiden tot opbarsting van de deklaag in een zone langs het IJsselmeer. Dit zal een sterke toename van kwel geven en daarmee een grote kans op (meer) verzilting.

De totale grondwateronttrekking is in Nederland al enkele jaren aan het teruglopen, enerzijds door een licht dalend drinkwatergebruik en anderzijds door een afname van de industriële grondwaterwinning. Alleen in het scenario *Wereld-Economie* is er nog een sterke toename van de grondwateronttrekking te verwachten. Door de sterke groei van de bevolking, de economie en het aantal melkkoeien in dit scenario, zal, mede mogelijk gemaakt door de terughoudende rol van de overheid, de grondwateronttrekking voor zowel drinkwatergebruik, industriële doeleinden als veedrenking en reiniging toenemen. Rond de betreffende winlocaties, doorgaans gelegen in Hoog-Nederland, zullen daardoor de stijghoogten en/of grondwaterstanden verlagen en kan de kwel afnemen. Het is ook niet geheel uit te sluiten dat de grondwaterwinning in de Noord-Hollandse duinen weer wordt opgestart, zij het op een duurzamere wijze. Maar in de overige drie sociaal-economische scenario's zal de grondwateronttrekking afnemen. Dit zal lokaal tot verhoging van de stijghoogten en/of grondwaterstanden leiden en tot een toename van de kwel.

Door het droger worden van onze zomers en het verlengen van het groeiseizoen, zal de grondwateronttrekking voor beregening toenemen. Deze beregening vindt vooral plaats op de zandgronden en leidt tot kortdurende, maar forse verlagingen van de stijghoogte. Deze kunnen ook doorwerken naar de grondwaterstanden en daarbij leiden tot meer verdroging. Ook de grondwateronttrekking voor de bereiding van drinkwater zal in de zomer toenemen. Dit zal de stijghoogten en/of grondwaterstanden extra verlagen, wat kan bijdragen aan de verdroging in de omgeving. Deze secundaire klimaatseffecten zullen het sterkst zijn in het W+-klimaatsscenario.

Doordat in extreem droge perioden van veel kanten een groot beroep op het grondwater zal worden gedaan, kan het nodig zijn het beschikbare grondwater rond grondwaterwinningen veilig te stellen.

Het agrarisch gebied zal in de periode tot 2040 in elk van de vier scenario's blijven dalen, doordat 10 à 15% van het gebied geleidelijk een niet-agrarische functie krijgt. De geleidelijke omschakeling van akkerbouw naar de melkveehouderij in elk van de scenario's geeft meer mogelijkheden voor waterberging, doordat grasland vaker mag onderlopen dan akkerland, namelijk eenmaal per 10 jaar versus eenmaal per 25 jaar. Deze mogelijkheden worden het grootst in het scenario *Wereld-Economie*, aangezien dat scenario de grootste omschakeling naar de melkveehouderij zal geven.

In geen van de vier bij deze studie gehanteerde sociaal-economische scenario's zal de verdroging van de natuur veel worden teruggedrongen, omdat de landbouw een dominante rol blijft spelen in het landschap en in alle scenario's ook verder zal intensiveren (CPB, MNP en RPB, 2006). De verdroging zal vooral in de scenario's met veel marktwerking – *Wereld Economie* en *Transatlantische Markt* – problematisch blijven, doordat de intensivering dan het grootst zal zijn.

Het areaal glastuinbouw in Zuid-Holland omvat nu 3% van het landoppervlak van die provincie, maar zal in het scenario *Wereld-Economie* groeien tot 4,5%. Er zal dan ook veel meer gietwateropslag plaatsvinden. Verder kunnen er problemen ontstaan met de afvoer van oppervlaktewater. In het scenario *Regionale Samenwerking* zal het areaal glastuinbouw in Zuid-Holland daarentegen halveren tot 1,5% van het landoppervlak.

De druk op de fysieke omgeving is het grootst in het scenario *Wereld-Economie*, door de sterke groei van de bevolking en de economie en door de grote marktwerking. De nieuwe vraag naar woningbouwlocaties en bedrijventerreinen zal zich vooral op de Randstad richten en in mindere mate op Flevoland, Gelderland en Noord-Brabant. In elk van de scenario's zal de stedelijke uitbreiding zich ook doen gelden in de ondergrond, in de vorm van ondergrondse bouwwerken (garages), vervoer (tunnels), opslag, leidingen en warmte- en koudeopslag.

Er is een grote toename te verwachten van het gebruik van warmte- en koudeopslag, als duurzame vorm van energiebesparing op het verwarmen en koelen van gebouwen. Maar de WKO-installaties beïnvloeden de thermische balans in de ondergrond en als het open systemen betreft hebben ze ook invloed op de (lokale) grondwaterstromingen en kunnen ze zelfs elkaar of naburige grondwaterwinningen verstoren. In het ergste geval kunnen ze zelfs de ligging van het grensvlak zoet-zout verstoren.

Dit alles zal het grondwatersysteem ter plaatse doen veranderen. De dynamiek van het systeem neemt hierdoor toe. Het zal nodig worden het beheer van de onder- en bovengrondse ruimte beter te coördineren en daarbij ook het grondwater integraal te betrekken.

Het verharde oppervlak zal in drie van de vier scenario's toenemen tot 2040. In de scenario's *Sterk Europa* en *Transatlantische Markt* met circa 20%, maar in het scenario *Wereld-Economie* zelfs met bijna 50%.. Daardoor zal er nog meer water oppervlakkig moeten worden afgevoerd. Deze snelle afvoer kan in laag Nederland tot problemen bij de gemalen leiden. En verder zullen er vaker riooloverstorten optreden, wat een slechtere oppervlaktewaterkwaliteit kan geven. Er komt dus een toenemende behoefte aan waterberging.

In drie van de vier sociaal-economische scenario's zal de zandwinning op land afnemen en daarmee de effecten daarvan op de grondwaterhuishouding. Maar bij een grote bevolkingsgroei en grote economische groei, zoals in het scenario *Wereld-Economie*, kunnen deze effecten weer toenemen. Er zal in alle scenario's wel een toename zijn van kleinschalige, lokale zandwinningen. Deze kunnen een bijdrage leveren aan het vergroten van (oppervlakte)waterberging, maar zullen daarnaast op een toenemend aantal plaatsen de grondwatersituatie beïnvloeden.

Een brede overgang naar de teelt van grondstoffen voor biobrandstof is niet te verwachten. We hoeven dan ook geen rekening te houden met de eventuele invloed van zo'n overgang op het grondwatersysteem.

Nederland zal alleen in het scenario *Transatlantische Markt* gebruik maken van kernenergie, maar doordat voor de koeling doorgaans oppervlaktewater wordt gehanteerd, hoeven we er niet van uit te gaan dat dit consequenties heeft voor het grondwatersysteem. Er is wel een kleine kans dat het kernafval ondergronds wordt opgeslagen, maar in dit scenario met sterke marktwerking is er een grotere kans op export van het kernafval.

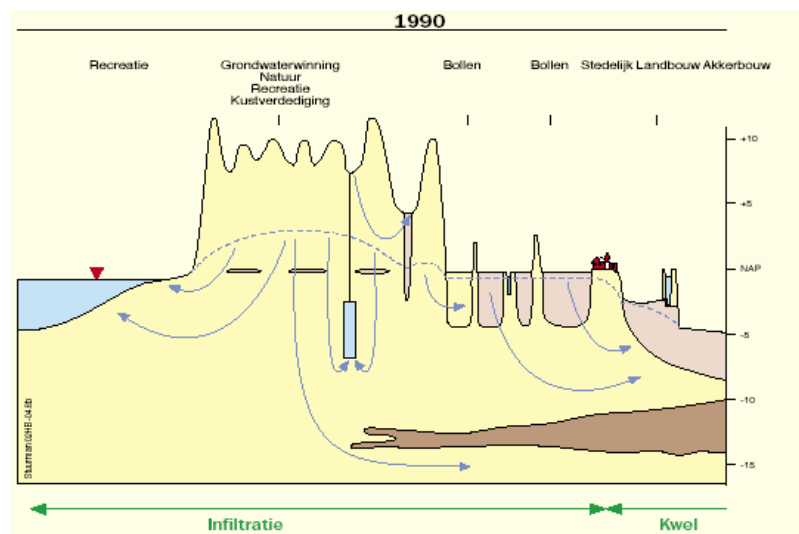
Door de bruinkoolwinning in Duitsland zal de 'diepe' stijghoogte onder de Boomse Klei in de Roerdalslenk en in de Venloslenk nog enkele tientallen jaren blijven dalen.

Door het sluiten van de Limburgse steenkoolmijnen is het grondwater daar nog steeds aan het stijgen en is inmiddels het maaiveld ter plaatse gemiddeld 25 cm gestegen. De stijging bedraagt 1 à 2 cm per jaar.

10.3 Mogelijke ontwikkelingen duinstreek

De grondwatersituatie in de duinstreek zal in de toekomst regionaal worden beïnvloed door zeespiegelrijzing aan de westzijde en polderpeildaling aan de oostzijde. Daarnaast neemt de voeding van het grondwater toe en bestaat de kans dat de grondwaterwinning zal afnemen of op een andere manier gaat plaatsvinden, zoals in Zuid-Kennemerland en ten noorden van het Noordzeekanaal al het geval is. In drie van de vier sociaal-economische scenario's zal het drinkwatergebruik namelijk niet of hooguit licht toenemen. Er zal dan geen of weinig extra grondwateronttrekking door de drinkwaterbedrijven zijn, zodat er makkelijker elders ruimte kan worden gecreëerd om de winningsdruk op de duinstreek te verminderen.

Als de grondwaterwinning in de duinen nog verder afneemt, zal de grondwaterstand sterk stijgen. Dit wordt veroorzaakt door de afwezigheid van een natuurlijk drainagesysteem, waardoor de 'opbolling' snel zal toenemen (zie figuur 10.1).



Figuur 10.1: Dwarsprofiel van de duinen (bruin=kleilaag, roze=klei (links) of omgespoten duingrond).

Ook de diepe stijghoogte zal sterk stijgen bij afname van de grondwaterwinning, dat op grotere diepte (ongeveer 15 m – NAP, onder de daar aanwezige kleilaag) tot op enkele kilometers buiten het duingebied een verhogend effect zal hebben. Dit zal ook de grondwaterstand verhogen op plaatsen waar de kleilaag minder goed ontwikkeld is. In een smalle zone langs de duinen zal een ondiepe kwelcomponent herstellen en/of toenemen.

Ondanks de toename van de zoute grondwaterstroming vanuit zee, zal de zoetwatervoorraad in de duinstreek groter worden. Dit komt niet door de veranderingen maar is autonoom proces dat ontstond bij de aanleg van diepe polders.

De hierboven beschreven processen vinden ook plaats op de (oude) strandwallen, op min of meer vergelijkbare wijze.

De stijging van de freatische grondwaterstand zal zeer gunstig zijn voor het herstel van de natuurlijke duinvegetaties, inclusief de natte duinvalleien, maar zal voor de stedelijke gebieden tot overlast leiden en ingrijpen noodzakelijk maken. Dit geldt zowel voor steden in het duingebied (zoals Scheveningen, Noordwijk en Zandvoort), als voor steden op de strandwallen (Haarlem, Alkmaar, etc.). In bestaand stedelijk gebied zal ontwatering (drainage) moeten worden aangelegd of worden verbeterd. Nieuwe stedelijke uitbreidingen ('bollenstad') dienen op deze vernatting te anticiperen.

De bollenteelt zal te maken krijgen met een grotere grondwaterdynamiek, in de vorm van grilligere en sterkere fluctuaties van de grondwaterstand, terwijl zij gebaat zijn bij een zo stabiel mogelijke grondwaterstand. De drainage zal daarom vermoedelijk verder toenemen.

In IJmuiden wordt 15 miljoen m³/jaar diepgelegen zout grondwater onttrokken. Mocht deze grote winning sluiten, dan zal dat leiden tot stijgingen van diepe stijghoogten en freatische grondwaterstanden in de omgeving.

Alleen in het scenario *Wereld-Economie* is er nog een sterke toename van het drinkwatergebruik te verwachten, ondermeer door de sterke groei van de bevolkingsomvang. Er is dan ook een toename van de grondwaterwinning in de duinen te verwachten. Het is zelfs niet geheel uit te sluiten dat de grondwaterwinning in de

Noord-Hollandse duinen in dat scenario weer wordt opgestart, zij het op een duurzamere wijze.

10.4 Mogelijke ontwikkelingen veengebied

Het veengebied, met veen en veen-op-klei in de bovengrond, heeft een kwetsbaar grondwatersysteem dat in de toekomst nog kwetsbaarder zal worden. Het gebied wordt gekenmerkt door een sterke maaiveld­daling (tot 1 cm /jaar), veroorzaakt door ontwatering. Net als de droogmakerijen is ook dit gebied volledig afhankelijk van de aanvoer van zoet rivierwater, waarvan de vraag in de toekomst alleen maar zal toenemen. Het gebied kan worden onderverdeeld zoals vermeld in tabel 10.1.

Tabel 10.1: Onderverdeling van het veengebied.

Verticale grondwaterstroming	Veen (zonder kleidek) <i>Hoofdzakelijk weilanden</i>	Veen met kleidek (> 50 cm) <i>Hoofdzakelijk akkerland</i>
infiltratie	Broek in Waterland e.o., Bovenlanden langs rivieren (Amstelveen, Uithoorn, Amsterdam, etc.)	Leeuwarden, Rotterdam
kwel	Westergouwe in Zuidplaspolder	Hoekse Waard, Grote delen Zeeland Dordrecht, Polder Groot Mijdrecht

Als gevolg van de diepe droogmakerijen vindt er in veel veengebieden infiltratie plaats. Er moet water naar deze gebieden worden aangevoerd om de slootpeilen te handhaven. Tussen de sloten liggen grondwaterspiegels die bijna het hele jaar ‘hol’ zijn. Warmere klimaatomstandigheden zullen meer wateraanvoer noodzakelijk maken, terwijl het maaiveld versneld zal dalen. Deze daling kan worden vertraagd door de slootdichtheid te vergroten en infiltratiedrains aan te brengen. Het opzetten van het waterpeil tot ‘plasdras’ situaties is de beste oplossing om maaiveld­daling te stoppen. Maar de gronden kunnen dan niet meer als weiland worden gebruikt en verliezen hun economische functie, tenzij er andere functies zijn die beter tegen een hoge grondwaterstand bestand zijn, zoals niet-grondgebonden teelt en piepschuim-infrastructuur.

Westgouwe, de stadsuitbreiding van Gouda, is een voorbeeld van een locatie in een veengebied waar kwel optreedt. De kwelstroom zal in deze gebieden vermoedelijk iets toenemen door een combinatie van maaiveld­daling en hogere peilen in zandgebieden. Door de kwel zijn deze gebieden iets minder kwetsbaar voor droge perioden dan het veen-infiltratie type, maar gevoeliger voor stedelijke grondwateroverlast. Wateraanvoer zal in de zomer belangrijk blijven om de maaiveld­daling zo minimaal mogelijk te houden. Ruimte voor waterberging kost ruimte maar vraagt ook om meer wateraanvoer in droge perioden. De diepe veen-kwel-polders zijn kwetsbaar voor verzilting. Het uitmalen van dit brakke water heeft een zeer nadelige invloed op de boezem.

Voor de klei-op-veen gebieden gelden vergelijkbare processen. Alleen komen hier meer akkerlanden (aardappelen, bieten, uien) voor dan weilanden. Deze gewassen gaan meer risico lopen in perioden van droogte en in de winter. Tijdens droogte zal meer beregning moeten plaatsvinden, soms zelfs ter afkoeling. Hoogwaardige gewassen

hebben in de verdringingsreeks droogte voor oppervlaktewateren wel een iets hogere prioriteit, indien het om beperkte beregening gaat. Toch is het inderdaad niet uitgesloten dat er gekort zou moeten worden op deze beregening. In de winter zal de kans op hoge grondwaterstanden toenemen. Om dit risico te verkleinen zal het drainagesysteem en afwateringssysteem verbeterd moeten worden. Op veel plaatsen kan niet beregend worden uit grondwater omdat dit te zout is. Dit geldt bijvoorbeeld voor Zeeland. In deze gebieden, en vooral voor de fruitteelt, dienen in de winter zoetwatervoorraden te worden opgebouwd. Om het ruimtebeslag te minimaliseren zal deze opslag grotendeels ondergronds gaan plaatsvinden.

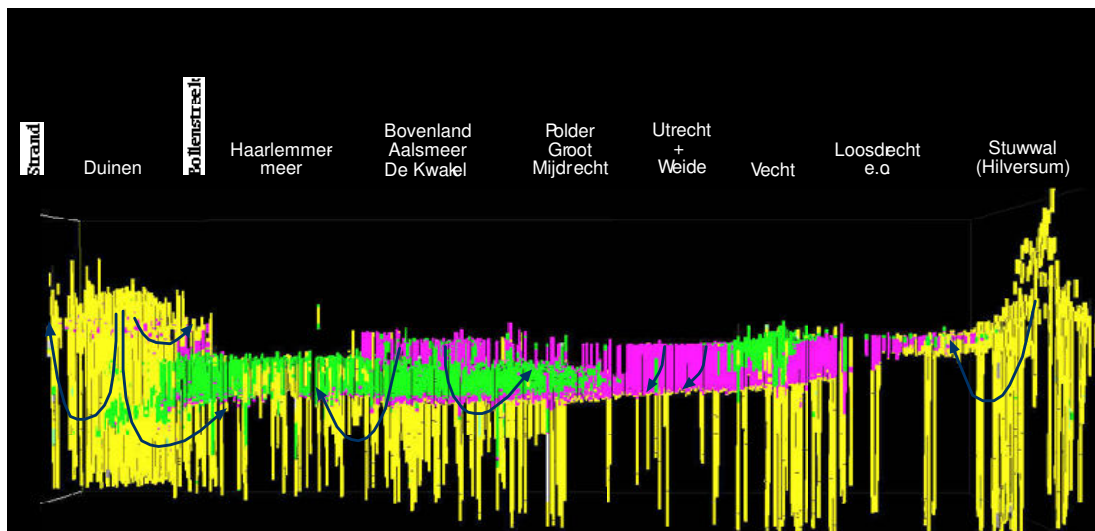
Jan van Bakel (WUR Alterra):

Veengebied: bij huidige waterpeilen zal het maaiveld blijven dalen (circa 1 cm/jaar bij grondwaterstand van 60 cm onder slootpeil en 0,5 cm bij grondwaterstand van 30 cm onder slootpeil. Deze daling kan worden afgeremd door:

- weilanden te vernatten naar wetlands. Het gehele jaar plas-dras,
- 'passief vernatten'. Alleen in het groeiseizoen wordt het grondwaterpeil verlaagd tot circa 35 cm –mv. Dat is ongeveer 20 cm minder dan nu en net genoeg om het land nog agrarisch te gebruiken,
- 'mollendrainen', hiermee kan de grondwaterstand hoog worden gehouden doordat in de zomer via deze drains slootwater kan worden aangevoerd,
- 'moeraswisselteelt', laaggelegen (ingeklonken), onrendabele percelen bij hoogwater gebruiken als overloopgebied (berging) en als 'waterdienst' financieel honoreren.

De steden in dit veengebied (veen en klei op veen) zijn grotendeels gefundeerd op houten palen. Deze fundering is erg kwetsbaar voor grondwaterstandsverlaging. Ook de fundering van veel monumenten wordt bedreigd door de jarenlange peilverlagingen. De peilverlagingen waren aanvankelijk ook nodig om te voorkomen dat deze steden blank zouden komen te staan. Maar het probleem is nu dat er geen marge meer is tussen meegaan met de bodemdaling en het voorkomen van grondwateronderlast. Dit zal in meerdere gebieden gaan spelen. Daarnaast ontstaat veel schade doordat rioolssystemen in dit gebied snel beschadigen en drainerend gaan werken. Tot nu heeft dat in Dordrecht al tot 100 miljoen Euro schade geleid. De voor de komende jaren verwachte investeringspiek voor riolering, zal deze gebieden een kans bieden om deze oorzaak lokaal te verminderen. De ontwikkeling van de aanpak van onderlast kan ook afhangen van het sociaal-economische scenario dat zich zal realiseren. In het scenario met sterke bevolkingsgroei en sterke economische groei - het scenario *Wereld-Economie* - zal er meer aanleiding en meer budget zijn om het probleem aan te pakken.

Verzilting van de kwelpolders en daardoor de boezem, zal in de toekomst sterker worden. Dit is een autonoom proces, een na-ijleffect van het inpolderen (zie § 3.2). Zelfs al zouden we geen verdere daling van polderpeilen toestaan, dan zullen deze toch zouter worden.



Figuur 10.2: In een dwarsprofiel van Noordwijk tot Hilversum is de verbreiding van veen (paars), klei (groen) en zand zichtbaar. De grondwaterstroming is met pijlen aangeduid.

10.5 Mogelijke ontwikkelingen zeeleigebied en droogmakerijen

De regio van het zeeleigebied en de droogmakerijen wordt hoofdzakelijk gebruikt voor land- en akkerbouw, maar het is ook het belangrijkste gebied voor stedelijke uitbreidingen in Nederland (Almere, Haarlemmermeer, de Zuidas van Amsterdam, Zoetermeer). Behoudens de randen van de Flevopolders, speelt natuur in deze regio geen grote rol.

Het grondwater is in deze regio grotendeels brak of zout. Landbouw kan plaatsvinden omdat er, meestal kunstmatig, dunne (decimeters tot meters) zoetwaterlenzen zijn gecreëerd. De grondwaterstand ligt in deze regio ondiep en kwel speelt, zeker in de droogmakerijen, een belangrijke rol. Kwel treedt gedeeltelijk diffuus uit, maar waarschijnlijk voor een groot deel door lokaal aanwezige wellen. Deze wellen voeren dieper, en daardoor zouter, grondwater aan.

De grondwatersituatie en waterhuishouding zijn volledig kunstmatig en alleen mogelijk door een intensief netwerk van buis-, greppel- en slootdrainage, een goede afwatering en talrijke gemalen. De afhankelijkheid van de techniek zal in deze gebieden in ieder geval niet tot 2050 afnemen.

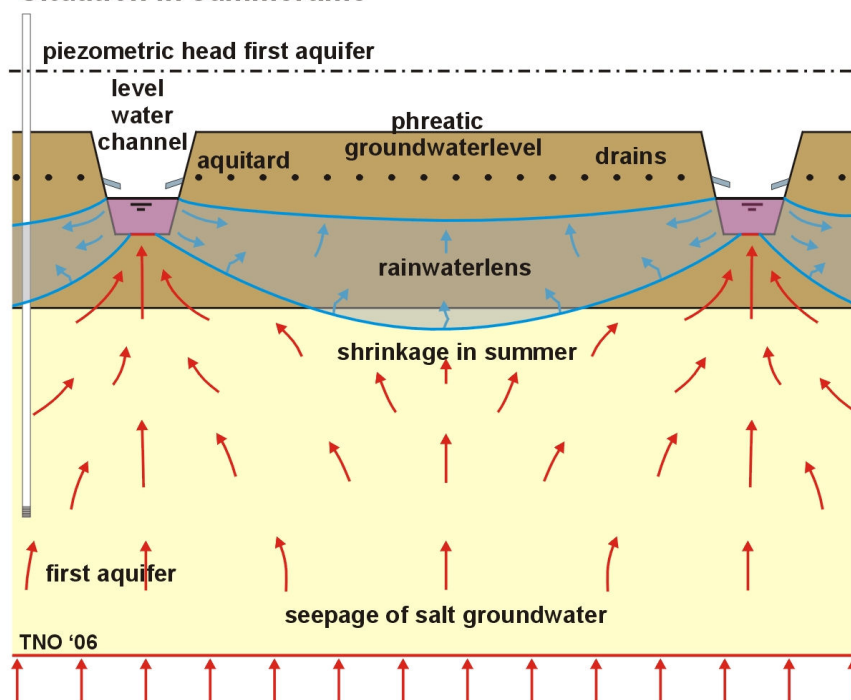
De regio krijgt in de toekomst te maken met een verder dalend maaiveld. De daling is vooral sterk in gebieden waar het kleipakket een hoog veen- of organisch materiaal gehalte bezit. Almere⁴⁶ is hiervan een voorbeeld. Als gevolg van de gaswinning zal het noordoosten van Groningen eveneens met een sterke maaiveld daling te maken krijgen.

Als gevolg van de stijging van de grondwaterstand in de duinstreek, de verwachte zeespiegelrijzing, en de verwachte stijgingen van de rivierpeilen en het IJsselmeerpeil, zal de stijghoogte onder de Holocene deklaag toenemen. Als gevolg hiervan zal vooral

⁴⁶ Almere bevindt zich in een zeer ongunstige situatie. Het maaiveld daalt zeer sterk. Het buitenwater zal stijgen en het zal te maken krijgen met meer intensieve buien. Vermoedelijk is het rioolsysteem door de maaiveld daling ook verzakt. In de naaste toekomst zullen zeker de oudere wijken moeten leren omgaan met wateroverlast.

de 'wel' toenemen. Dit veroorzaakt een hogere zoutbelasting op het oppervlaktewater. Ook het risico op opbarsting neemt toe. Bij nieuwbouw en infrastructurele werken moet hier, meer dan nu, rekening mee worden gehouden.

Situation in summertime



Figuur 10.3: Krimpnde regenwaterlenzen in de toekomst?

De toename in dynamiek van neerslag en droogte kan nadelig zijn voor de ontwikkeling van de zoete regenwaterlenzen. Als op de nattere winter wordt gereageerd door aanleg van meer drainage, kan de voeding van de regenwaterlens worden aangetast, terwijl in de droge periode de verdamping uit de regenwaterlens zeker zal toenemen. De land- en akkerbouw kan hierdoor worden bedreigd. De reacties hierop zullen afhangen van het sociaal-economische scenario dat zich realiseert. In de scenario's met sterke marktwerking – *Wereld-Economie* en *Transatlantische Markt* – zal de land- en akkerbouw pas stoppen als deze niet meer rendabel is, maar dan is het gebied al te ver gedaald en/of verzilt om er nog op efficiënte wijze iets anders mee te kunnen doen. Daarentegen zal in de scenario's met een sterke overheidsrol – *Sterk Europa* en *Regionale Samenwerking* – de overheid ingrijpen door de landbouw te vervangen voor natuur, of door stedelijke of landbouwfuncties in te stellen die aangepast zijn aan de ondiepe grondwaterstanden of op de een of andere manier opgehoogd zijn.

In de glastuinbouw zal naar verwachting meer gietwater (regenwater, of onzilt grondwater) worden opgeslagen onder de grond en er zullen daarnaast meer WKO-installaties worden gerealiseerd. Glastuinbouw is vaak niet-grondgebonden, met andere woorden, vrij ondiepe grondwaterstanden zijn geen probleem voor de gewasgroei (hooguit voor het transport en de constructies).

De stedelijke gebieden lopen door toename van de (winter-)neerslag en de kwel een groot risico op (meer) wateroverlast. Door slecht ontwerp is dit vaak nu al het geval,

zowel voor oude wijken als voor nieuwbouwwijken. In het kleigebied kan in bestaand stedelijk gebied deze wateroverlast alleen bestreden worden door de aanleg of verbetering van drainage. De afvoer van dit drainagewater vindt nu nog voor een belangrijk deel plaats naar RWZI's, maar zal in toenemende mate op het oppervlaktewater worden geloosd. Dit kan tot ongewenste fluctuaties van polderpeilen leiden. Het is niet onwaarschijnlijk dat hierop zal worden geanticipeerd door de aanleg van systemen waarbij de afvoer van drainagewater wordt vertraagd (bufferbassins). Hierbij ontstaan ook kansen om het water te zuiveren voordat het op oppervlaktewater wordt geloosd. Maar dit vereist wel regie van de waterbeheerders. Gezien de grote rioolvervanging in de komende decennia en het oppakken van grondwaterproblemen, kan dit er regelmatig bij inschieten. Verwacht wordt dat de ondergrond in deze stedelijke gebieden intensiever gebruikt gaat worden. Vooral een sterke toename van WKO-installaties wordt voorzien.

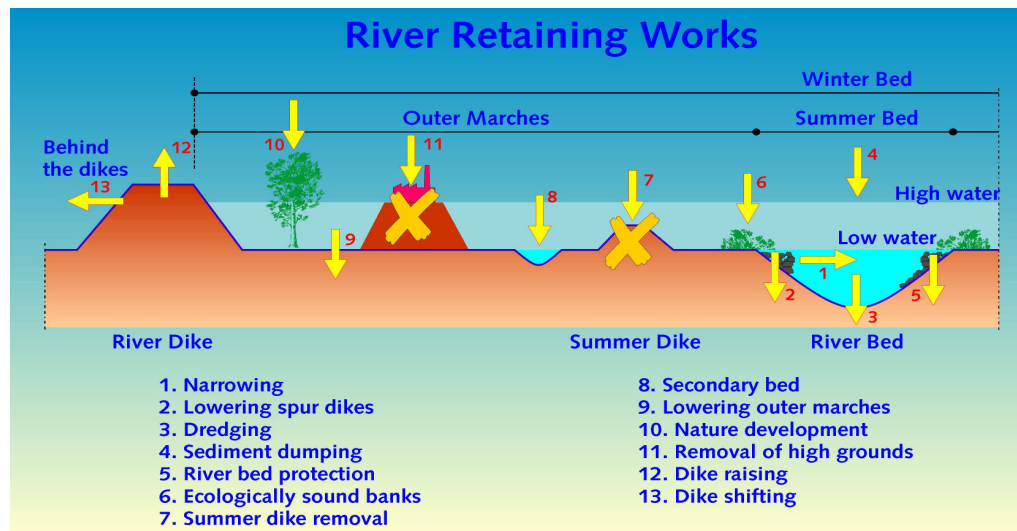
10.6 Mogelijke ontwikkelingen rivierengebied

Het rivierengebied wordt grotendeels gekenmerkt door een kleidek dat zeer grove zanden en grinden afdekt. Op veel plaatsen snijdt de rivier door dit kleidek in deze onderliggende grindlagen. Als gevolg hiervan veroorzaken hoge rivierpeilen in een kilometersbrede zone langs de rivier een bijna instantane toename van de stijghoogte onder het kleidek.

Met uitzondering van het traject van de Maas tot Grave, zijn bijna alle rivieren het hele jaar infiltrerend. Op een enkele plaats in de Rijn en IJssel treedt bij passage van stuwwallen plaatselijk kwel op. De polders langs de rivieren ontvangen naast regenwater ook veel kwelwater, dat niet alleen uit de rivieren afkomstig is, maar ook uit de hoog gelegen zandgebieden. Dit laatste kwelwater heeft vaak een ouderdom van duizenden jaren. De kwel kan diffuus opstijgen maar ook via plaatselijke wellen.

In de toekomst zullen vaker zeer hoge, maar ook zeer lage rivierpeilen voorkomen. Bij hoge peilen kan op plaatsen met wellen wateroverlast ontstaan, evenals op plaatsen waar in de deklaag zandige geulafzettingen voorkomen. Bij nieuwbouw moet nadrukkelijk rekening worden gehouden met deze tijdelijke hoge waterdruk. Lage peilen zullen verdroging van natuur veroorzaken. Het beleid ten aanzien van water vasthouden zal er juist toe moeten leiden dat de lage rivierafvoeren minder hard af zullen nemen. Maar toch zal de natuur waarschijnlijk wel met een grotere dynamiek te maken krijgen.

'Ruimte voor de rivieren' zal het gebied met hoogwaterpeilen verbreden. Het zal dan vaker en langer voorkomen dat aan de rivierzijde van de winterdijk hoge waterpeilen ontstaan, waardoor aan de andere zijde vaker perioden met intensieve kwel zullen optreden. De vele zand- en grondwinningen zorgen voor een versterking van dit 'communicerende vaten' effect.



Figuur 10.4: Bij verbreding van de rivieren ontstaat meer waterberging en daardoor ook meer kans voor de natuur. In de polder zullen meer kwelpulsen optreden.

In het rivierengebied bevinden zich veel grondwaterwinningen, waaronder veel oeverinfiltratiewinningen. Met uitzondering van deze laatste zullen de grondwaterwinningen vermoedelijk kwetsbaarder worden voor verzilting. Dit proces staat los van klimaatsverandering. Hier liggen de volgende processen aan ten grondslag:

1. het riviergebied is van oudsher een kwelgebied. Daarom ligt de zoet-zout overgang relatief ondiep. Na inpoldering zijn de rivieren gaan infiltreren en ontvangen alleen de polders kwelwater,
2. de polderpeilen zijn door maaiveld dalende dieper geworden waardoor de zoet-zout overgang stijgt,
3. als ten slotte een grondwaterwinning start zal deze stijging versnellen.

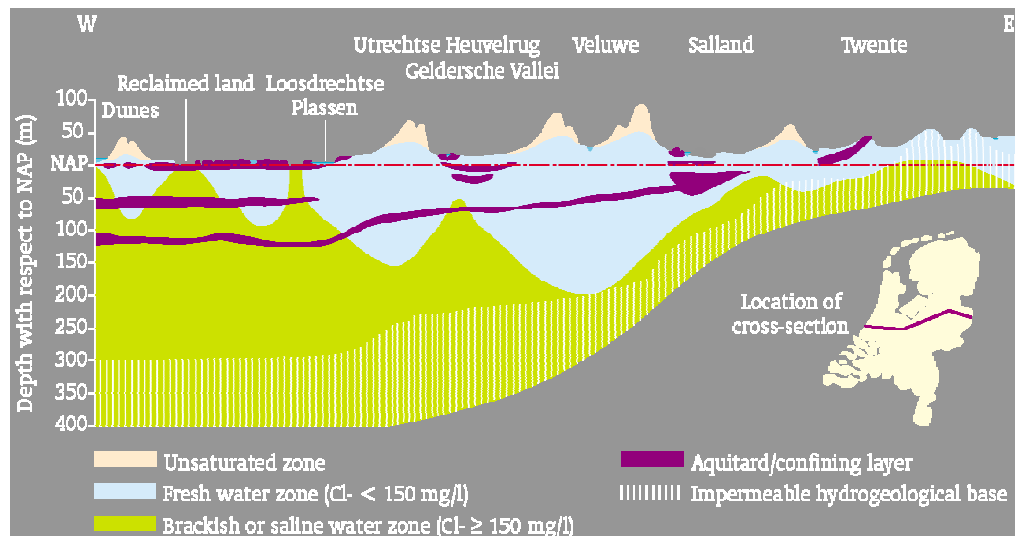
De lagere afvoeren bij droogte zullen er ook toe leiden dat de zoutwatertong in de Nieuwe Waterweg vaker in oostelijke richting zal migreren. In 2003 ervoeren wij al de negatieve effecten hiervan in relatie tot de wateraanvoer voor West-Nederland. Het is niet bekend wat het directe effect van deze zoutwatertong op het grondwater is. De rivier is immers infiltrerend.

In met name het rivierengebied zal het beleid om niet af te wentelen effect hebben op het polderbeheer. Deze gebieden zijn afhankelijk van een boezem (hetzij de grote rivieren, hetzij tussenboezems) en het beleid is erop gericht om de pieken op de boezem te verminderen. Het vasthouden van water zal in deze gebieden vorm moeten krijgen. Hierboven is al geconstateerd dat het grondwater snel reageert op afvoerpieken, dus berging in het grondwater is in deze gebieden niet echt waarschijnlijk.

10.7 Mogelijke ontwikkelingen zandgebied

Het zandgebied (dekzandruggen, stuwwallen) herbergt een groot deel van de zoete grondwatervoorraden in Nederland. Binnen het zandgebied kan grofweg onderscheid worden gemaakt tussen:

1. infiltratiegebieden (dekzandruggen, stuwwallen),
2. ontwaterde (intermediaire) gebieden (dekzandgebieden),
3. kwelgebieden (beekdalen, overgang Pleistocene-Holocene gronden).



Figuur 10.5: Het grondwatersysteem van Nederland in een dwarsprofiel.

De infiltratiegebieden worden getypeerd door de afwezigheid van oppervlaktewaterlopen. Voor wat betreft de provincies Noord-Brabant en Limburg liggen belangrijke infiltratiegebieden (hoger gelegen Maasterrassen) voor het diepe grondwater in België en Duitsland. In België is dit het Kempisch Plateau dat voor een belangrijk deel een natuurfunctie heeft. In Duitsland wordt deze infiltratie zeer ernstig aangetast door de enorme grondwateronttrekking (bijna evenveel als in heel Nederland wordt onttrokken) in het kader van de bruinkoolwinning. In het scenario met grote groei van de bevolking en de economie en met marktwerking (*Wereld-Economie*)⁴⁷ zal deze winning blijven bestaan of waar mogelijk zelfs uitbreiden, leidend tot minder infiltratie.

Als gevolg van de verwachte nattere winters zal de grondwaterstand in deze infiltratiegebieden stijgen. Hierdoor zal het zoetwaterlichaam groeien (verdieping overgang zoet-zout) en zal de stijghoogte in de watervoerende pakketten rond deze infiltratiegebieden stijgen. Alleen op relatief ondiepe plaatsen in de infiltratiegebieden kunnen de verhoogde grondwaterstanden in de winter tot overlast leiden, aangezien de grondwaterstand in infiltratiegebieden doorgaans diep ligt.

De ontwaterde gebieden worden intensief gebruikt. Vooral de intensieve veehouderijen spelen hier een belangrijke rol. Het landgebruik is voornamelijk grasland, maïs en er bevinden zich ook veel steden in dit gebied. De natuur lijdt hier al decennia lang aan verdroging en de (grond-)waterkwaliteit is verontreinigd door mest en bestrijdingsmiddelen. De intensieve veehouderij zal in elk van de vier sociaal-economische scenario's een krimp vertonen (door toename van de internationale concurrentie), zodat de druk op de omgeving enigszins zal afnemen.

Als gevolg van klimaatsverandering zal hier tijdens natte perioden wateroverlast moeten worden bestreden en zal tijdens de droge perioden een grote watervraag ontstaan. Wateroverlast zal worden bestreden door de ontwatering te verbeteren in combinatie met het verbeteren van bergingsmogelijkheden. Daarnaast zal verdroging en ongewenste snelle waterafvoer worden bestreden door middel van waterconservering. Dit vereist echter vaak extra land voor de berging. Dergelijke projecten worden

⁴⁷ We gaan er hierbij vanuit dat dit scenario dan ook geldt voor Duitsland.

doorgaans uitgevoerd in combinatie met natuurontwikkeling en vergroten de ruimtedruk.

De nog bestaande ondiepe grondwaterwinningen in dit gebied zijn erg kwetsbaar voor de slechte grondwaterkwaliteit en zullen naar verwachting sluiten. Dit draagt dan verder bij aan het stijgen van de grondwaterstand.

De kwelgebieden zijn belangrijk voor natuur. Binnen de kwelgebieden liggen echter ook veel landbouwgebieden. Naar verwachting zal de kwel toenemen. Of dit gunstig is voor de natuur hangt af van de gehanteerde oppervlaktewaterpeilen die vaak relatief laag worden gehouden om landbouw mogelijk te maken. De landbouw in kwelgebieden zal door de klimaatsverandering last krijgen van de sterke dynamiek van de grondwaterstand, vaak in combinaties met overstromingen van het oppervlaktewater. Kwelgebieden liggen laag en worden daarom bijna altijd belaagd door zowel oppervlaktewater als kwelwater. Juist in deze gebieden wordt eraan gewerkt om de beken in ere te herstellen of meer ruimte te geven. Hier kan een ruimtelijke planning van hoog (landbouw) naar laag (natuur), die afgestemd is op de daarbij behorende grondwaterstanden, meerwaarde bieden. Voorwaarde is dan wel dat de iets diepere stroming van het grondwater niet al te zeer negatief beïnvloed wordt door de landbouw. Het meer ruimte geven voor de beken zal ook leiden tot een verandering van toestroming van het grondwater naar de beken.

Als de grondwaterwinning voor de drinkwatervoorziening en/of industrie zou worden stopgezet, zullen grote veranderingen in het grondwatersysteem optreden. Er zijn nu al veel voorbeelden bekend van wateroverlast omdat grondwaterwinningen zijn gestaakt. Bijna overal in het zandgebied hebben de afgelopen decennia belangrijke stedelijke uitbreidingen plaatsgevonden, zonder dat hierbij rekening is gehouden met deze mogelijke grondwaterstandverandering.

Ook voor de steden in het zandgebied luidt de verwachting dat de ondergrondse ruimte veel intensiever zal worden gebruikt. Zowel statisch als dynamisch. Er zal geprobeerd worden steeds meer stedelijk water ter plaatse te infiltreren. Naar verwachting zullen steden met een geringe ontwateringsdiepte en een grote slootafstand in de toekomst te maken krijgen met wateroverlast.

Ondanks dat verwacht wordt dat het zoete grondwaterlichaam zal toenemen, mag worden verwacht dat veel diepe grondwaterwinningen in de toekomst (meer) last krijgen van verzilting. Dit geldt voor (diepe) winningen onder kleilagen in een watervoerend pakket waarin ook de zoet-zout overgang aanwezig is. Dit is een autonoom proces, dat ook zonder toekomstveranderingen zal gaan plaats vinden. Bij het oprichten van een WKO-installatie is een van de harde eisen dat het grensvlak zoet-zout niet gewijzigd mag worden door de installatie en de KRW eist dat ook. Maar als de grondwaterwinningen de wijziging van het grensvlak zoet-zout significant versnellen, zal het belang en het ontbreken van alternatieven zeer goed onderbouwd moeten worden. Deze ontwikkeling kan bijdragen aan het versneld sluiten van de winningen en daarmee de grondwateroverlast doen toenemen en de verdroging afnemen.

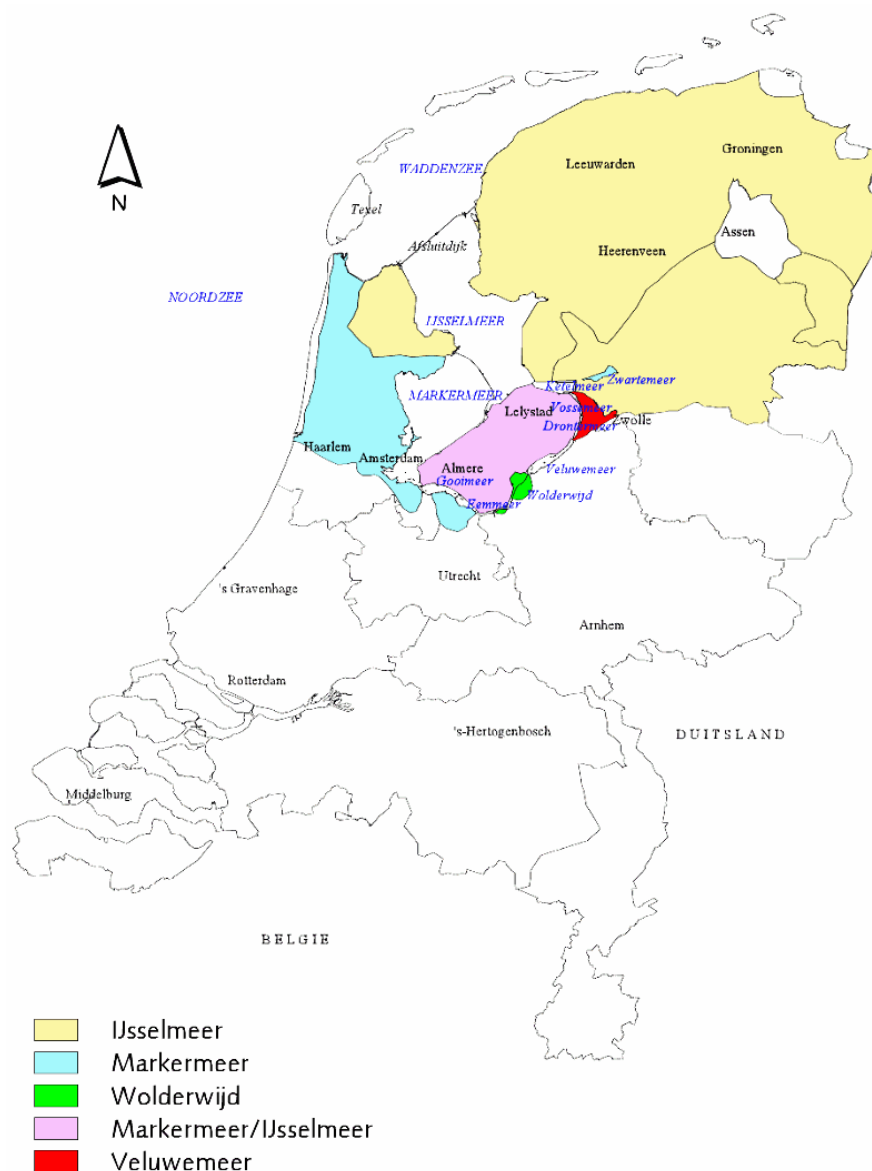
10.8 Mogelijke ontwikkelingen Zuid-Limburg

Het grondwatersysteem in Zuid Limburg wordt sterk bepaald door de ondiep gelegen kalkgesteenten die plaatselijk zijn afgedekt door zandige- en grondrijke

Maasafzettingen en/of Tertiaire fijne zanden of kleien. Op veel plaatsen worden deze lagen bedekt door een dik kalkrijk lössdek. De grondwaterwinning vindt veel uit het kalkgesteente plaats. De natte natuur bevindt zich in en rond bronnen en in de beekdalen. Vooral de bronnen hebben te lijden van extreem hoge nitraatgehalten. Dit wordt veroorzaakt door de bemesting en het feit dat löss nauwelijks organisch materiaal bevat. Nitraat wordt dan niet afgebroken. Naar verwachting zullen de bronnen kwantitatief niet lijden van de klimaatsverandering. De beekdalen echter wel. Juist in Limburg zullen intensieve buien voor meer wateroverlast zorgen (en erosie). Dit zal er dan vermoedelijk toe leiden dat er verdere maatregelen genomen zullen worden om het water vast te houden en te laten infiltreren in de ondergrond, voor zover mogelijk. Het grondwatersysteem is hier in de 20^e eeuw zeer sterk beïnvloed door de steenkoolmijnbouw, zowel in Nederland als in Duitsland. De grondwaterstand werd hiervoor zeer sterk verlaagd. Na de sluiting van de mijnen is de grondwaterstand weer aan het stijgen. Deze stijging vindt nog steeds plaats en zal de komende tijd verder voortzetten. De grondwaterstandstijging heeft er voor gezorgd dat het maaiveld in het voormalige mijnbouwgebied weer ongeveer 25 cm is gestegen. Mogelijk kunnen hierdoor in de toekomst wateroverlastsituaties ontstaan, vooral op plaatsen waar het maaiveld is verlaagd door instortingen. Ook in dit zeer verstedelijkte gebied zal het gebruik van de ondergrond sterk toenemen. De aanleg van de tunnel door Maastricht is een voorbeeld. Ook zullen hier ontwikkelingen op het gebied van WKO of thermische energie plaats kunnen vinden. De te verwachten hoge Maasafvoerpieken kunnen in steden als Maastricht voor grondwaterproblemen zorgen (wateroverlast, bouwschade). Maastricht is namelijk voor een groot deel gebouwd op Maasgrind. Een hoogwatergolf van de rivier zal zich in deze situatie snel voortplanten in het grondwater.

10.9 IJsselmeer en omgeving

Het IJsselmeer en de Markermeer vormen een grote zoetwatervoorraad die gebruikt wordt voor de drinkwatervoorziening en voor de watervoorziening van het omliggende poldergebied (zie figuur 10.6). Het IJsselmeer en het Markermeer vormen voor een groot gedeelte een infiltratiegebied. Vanuit het meer stroomt grondwater naar de lager gelegen polders. Deze zoute (Zuiderzee!) stromingscomponent zal nog honderden jaren zout water naar de polders blijven aanvoeren. Alleen de zogenaamde dijkse kwel zal snel verzoeten (binnen enkele tientallen jaren).



Kaart 3
Het watervoorzieningsgebied
van de IJsselmeerboezem.

Ministerie van Verkeer en Waterstaat
 Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat
 Directie IJsselmeergebied
 Afdeling ANM



Figuur 10.6: Het watervoorzieningsgebied van de IJsselmeerboezem.

In de toekomst zullen waarschijnlijk verschillende veranderingen in het watersysteem van het IJsselmeer optreden. Het waterpeil zal vermoedelijk regelmatig of structureel stijgen. Er zijn stijgingen van 50 cm voorspeld. Tijdens droogten kan het peil ook sterk dalen, zodat grote fluctuaties denkbaar zijn. In de zomer zal het water ook vaak warmer worden, wat negatieve gevolgen zal hebben voor de biologische- en chemische waterkwaliteit.

Hoge IJsselmeerpeilen kunnen tot meer kwel in de omgeving leiden. Vooral in gebieden waar de weerstandbiedende deklaag slecht ontwikkeld is (Wieringermeerpolder) of

waar al wellen zandige geulen of zandputten aanwezig zijn. Er bestaat ook risico dat door opbarsting nieuwe wellen ontstaan.

Bovenstaande effecten kunnen versterkt optreden op plaatsen waar in het meer (diepe) zandputten of vaargeulen bestaan of worden aangelegd. Er bestaan plannen om vaargeulen uit te diepen en nieuwe zandputten te graven. Deze activiteiten worden risicovoller voor de omgeving als ook de waterpeilen van het IJsselmeer stijgen. Er wordt ook gedacht aan de aanleg van eilanden (bijvoorbeeld Markeroog) en wetlands in het IJsselmeer. Hierdoor ontstaan nieuwe kleine, regenwater gevoede, grondwatersystemen.

Er zijn verschillende processen denkbaar die invloed kunnen hebben op het zoutgehalte van het IJsselmeer:

1. als peiltoename en vergraving tot een grotere zoutbelasting van de omringende polders leidt, zal dit via bemaling direct het meer zelf beïnvloeden,
2. het is onduidelijk of de zandwinputten of vaargeulen een verziltende invloed kunnen hebben. De ondergrond bevat immers zout grondwater. De volgende processen zijn denkbaar:
 - a. verzilting door diffusie. Dit zal vermoedelijk zeer klein zijn;
 - b. verzilting door grondwaterstroming tussen de putten en vaargeulen onderling. Het IJsselmeer kan door windwerking relatief grote ruimtelijke peilverschillen vertonen en hierdoor grondwaterstroming tussen putten veroorzaken;
 - c. verzilting door ophoging. Bij het opspuiten van eilanden zoals IJburg wordt brak-zout IJsselmeerzand gebruikt. De uitspoeling kan lokale verzilting opleveren. Tevens kan door de opbolling van de grondwaterstand op de eilanden een nieuw grondwatersysteem ontstaan, waarbij mogelijk diep zout grondwater langs de eilanden opstijgt, in plaats van dat het wegstroomt naar de omliggende polders.

10.10 Mogelijke ontwikkelingen verdeling zoet en zout grondwater

Het grondwatersysteem in het Nederlandse kustgebied staat onder druk. De verwachting is namelijk dat de verzilting van het grondwatersysteem in het Nederlandse kustgebied zal toenemen. Voorlopig levert het autonome proces veroorzaakt door het huidige peilverschil tussen zeeniveau en maaiveld de grootste bijdrage aan het verziltingsproces. Zeespiegelrijzing (ongeveer een halve meter voor de komende honderd jaar), de met bodemdaling gepaarde peilverlaging (daling is meer dan één meter voor de komende honderd jaar in sommige delen van het Zuid-Hollandse veenweidegebied en de Flevopolders) en een ander neerslagpatroon (intensievere buien door klimaatverandering) zullen leiden tot veranderingen in stijghoogten in watervoerende pakketten, waardoor het grondwater waarschijnlijk sneller zal gaan stromen, en op de middellange tot lange termijn het verziltingproces zal doen versnellen. Antropogene activiteiten als het mogelijk stopzetten van grote industriële grondwateronttrekkingen en toekomstig peilbeheer naar aanleiding van wateroverlast zullen ook nog een duidelijke bijdrage doen.

Grondwaterstroming is een traag proces zodat op korte termijn over het algemeen nog weinig te merken zal zijn van het effect van een zeespiegelstijging of toekomstig peilbeheer op het grondwatersysteem. Maar op de middellange tot lange termijn kunnen de effecten voor een specifiek poldergebied aanzienlijk zijn in termen van hoeveelheid kwel, gemiddeld zoutgehalte en zoutbelasting. De mate waarin hangt af van verschillende aspecten. Vanzelfsprekend kan gesteld worden dat hoe dichter het

desbetreffende poldergebied nabij de kust ligt, hoe groter de kans dat het gebied binnen de invloedssfeer ligt van een zeespiegelrijzing, en dus hoe groter het effect.

Eigenschappen als een lage freatische grondwaterstand, een significante bodemdaling, een kleine hydraulische weerstand van de deklaag en een groot doorlaatvermogen van de watervoerende pakketten zullen het poldergebied kwetsbaarder maken voor een zeespiegelrijzing.

Zo zal bijvoorbeeld het grondwater direct onder het centrale deel van de Haarlemmermeerpolder in de toekomst meer zout bevatten dan nu het geval is. In het westelijke deel van deze polder zal daarentegen zoet grondwater vanuit de duinen en de Rijnland polders binnenstromen (figuur 10.7). Daarnaast stroomt vanuit de Westeinder Plassen zoet grondwater toe.

Met behulp van numerieke modellen kunnen de effecten van een klimaatverandering en in het bijzonder een zeespiegelrijzing worden geschat (bijv. Oude Essink, 1996, Minnema et al., 2004 en Kiwa, 2005). Modelberekeningen hebben aangetoond dat de zoutbelasting op het oppervlaktewater in de Haarlemmermeerpolder over 50 jaar wel eens bijna 40% kan zijn toegenomen (Oude Essink en Schaars, 2003; Kiwa, 2005).

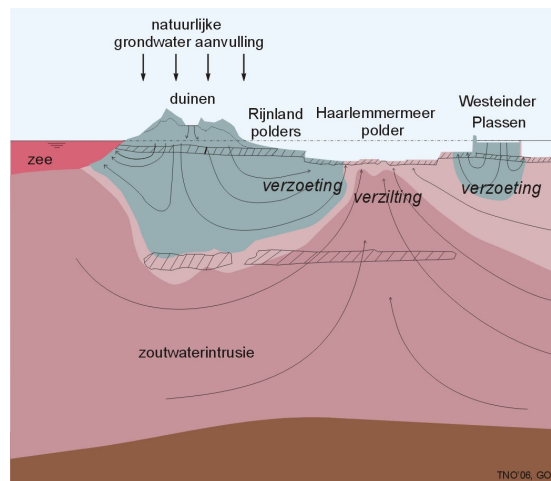
Weliswaar is voor de toekomst meer neerslag voorspeld, maar een grotere zoetwaterlens in het duingebied is onwaarschijnlijk door de stijging van de zeespiegel. Tabel 10.2 geeft de verandering aan in een tweetal grondwatersystemen tengevolge van een zeespiegelrijzing en bodemdaling, berekend met 3-D regionale numerieke modellen van de ondergrond.

Tabel 10.2: Verandering in kwel en zoutbelasting ter plaatse van de onderkant van de deklaag in twee grondwatersystemen over een periode van 100 jaar. Tevens is vermeld het deel infiltratiegebied dat omslaat naar kwelgebied.

Gebied	Texel	Provincie Zuid-Holland
Verandering in kwelhoeveelheid (%)	+22	+4
Verandering in zoutbelasting (%)	+46	+34
Omslaggebied van infiltratie naar kwel (%)	+3	+5

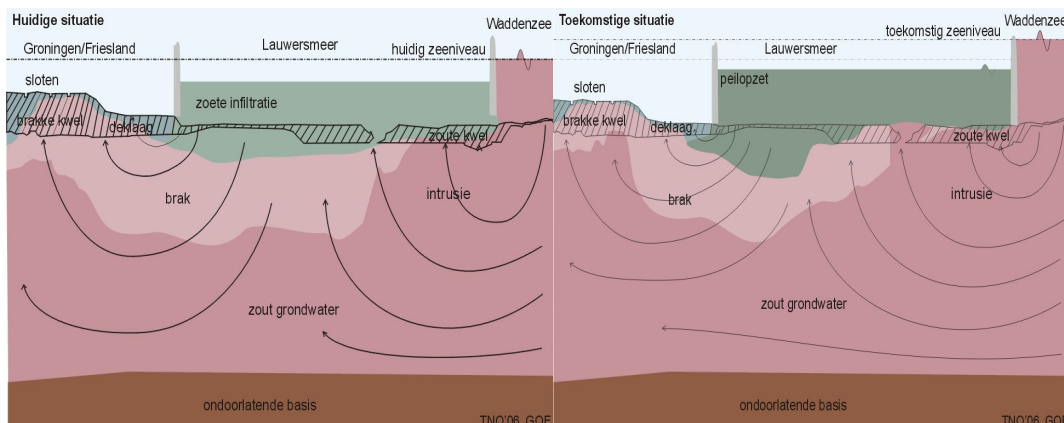
Grosso modo kan gesteld worden dat in beide regionale grondwatersystemen zowel de kwel als de zoutbelasting significant toenemen. Dat lijkt ook logisch, immers de waterdruk vanuit de zee neemt toe. In Zuid-Holland daalt bovendien de bodem in het veenweidegebied. De toename van de kwel en zoutbelasting lijkt wat betreft de modelberekeningen gedurende de komende eeuwen nagenoeg lineair met de tijd te zijn. Vooral voor Texel, dat omringd is door de zee, zijn de veranderingen groot. Met name de zoutbelasting neemt hier flink toe. Deze toename is grotendeels toe te schrijven aan de autonome ontwikkeling door het niet-stationaire effect van de inpolderingen: het grondwatersysteem is immers aan het verzilten.

Kees Maas (geohydroloog, verbonden aan Kiwa Water Research en de TU Delft): Hoe erg is zoute kwel eigenlijk? In de meeste gebieden waar deze optreedt is het proces immers al enige tijd gaande en zijn het landgebruik en het waterbeheer er op ingesteld. Grote delen van Zeeland, bijvoorbeeld, kennen al eeuwen een sterke kwel van zout grondwater. Tot nu toe leidde dat niet tot marginalisatie van de landbouw. We zouden veel meer brak of zelfs zout grondwater kunnen gaan benutten voor allerlei toepassingen, aangezien het goed te zuiveren is met omgekeerde osmose. Maar het beleid moet wel de belemmeringen daarvoor wegnemen. Zo zullen de Provincies moeten gaan toestaan dat het resterende brijn weer wordt teruggebracht in het brakke of zoute grondwater. Dit voorbeeld illustreert de noodzaak van een bestemmingsplan voor het diepe grondwater.



Figuur 10.7: Een schematisatie van de verandering in de zoet-zout verdeling van het grondwatersysteem in het duingebied tussen Katwijk aan Zee en Zandvoort en de Haarlemmermeerpolder.

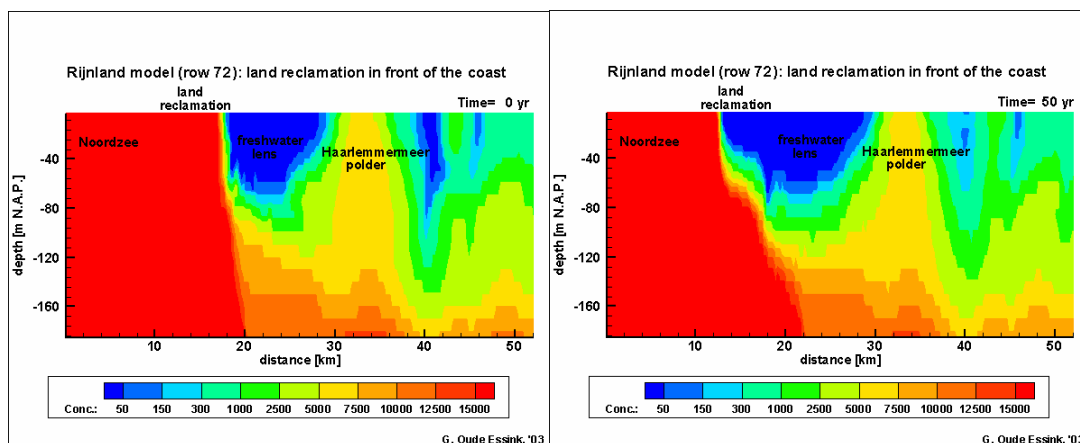
Een ander gebied waar de waterhuishouding onder druk staat is het Lauwersmeergebied, waar de verzanding van het grondwater zal worden versterkt door bodemdaling, zeespiegelrijzing en klimaatverandering (figuur 10.8). Momenteel stroomt zout grondwater vanuit de Waddenzee naar het Lauwersmeer en de omliggende gebieden. In de toekomst zal een hogere gemiddelde waterstand in de Waddenzee, een peilverhoging op het Lauwersmeer en bodemdaling in het aanliggende gebied een versterkte instroming van brak en zout grondwater veroorzaken

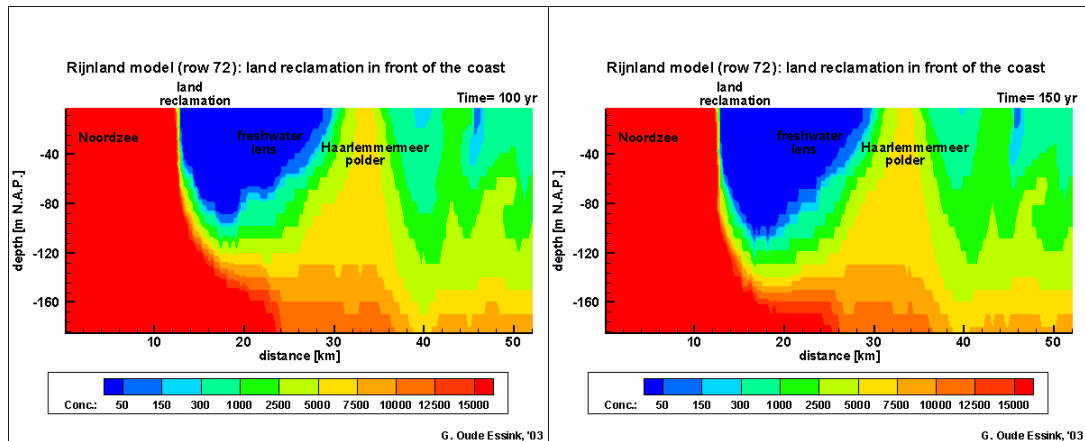


Figuur 10.8: Zuid-noord profiel over het Lauwersmeergebied, met een schets van de zoet-zout verdeling: a. voor de huidige situatie en b. voor de toekomstige situatie.

Kustverbreding/Landaanwinning voor de kust

Voor het Hoogheemraadschap van Rijnland is een grootschalige compenserende maatregel onder de loop genomen waarmee de verzilting van het grondwatersysteem op de lange termijn zou kunnen worden tegengegaan, zijnde landaanwinning voor de kust van het Hoogheemraadschap (Oude Essink en Schaars, 2003). Figuur 10.9 toont wat er zou gebeuren met de zoet-zout verdeling als een functie van de tijd. Landaanwinning (met een relatief hoge grondwaterstand op het nieuwe land voor de kust) vergroot het volume van de zoetwaterlens, maar duwt voorsnag de komende eeuwen zout grondwater met een grotere snelheid richting de Haarlemmermeerpolder: de zoutbelasting neemt daar ter plaatse dus toe. En nog steeds vindt op diepte zoutwaterintrusie onder de zoetwaterlens plaats.

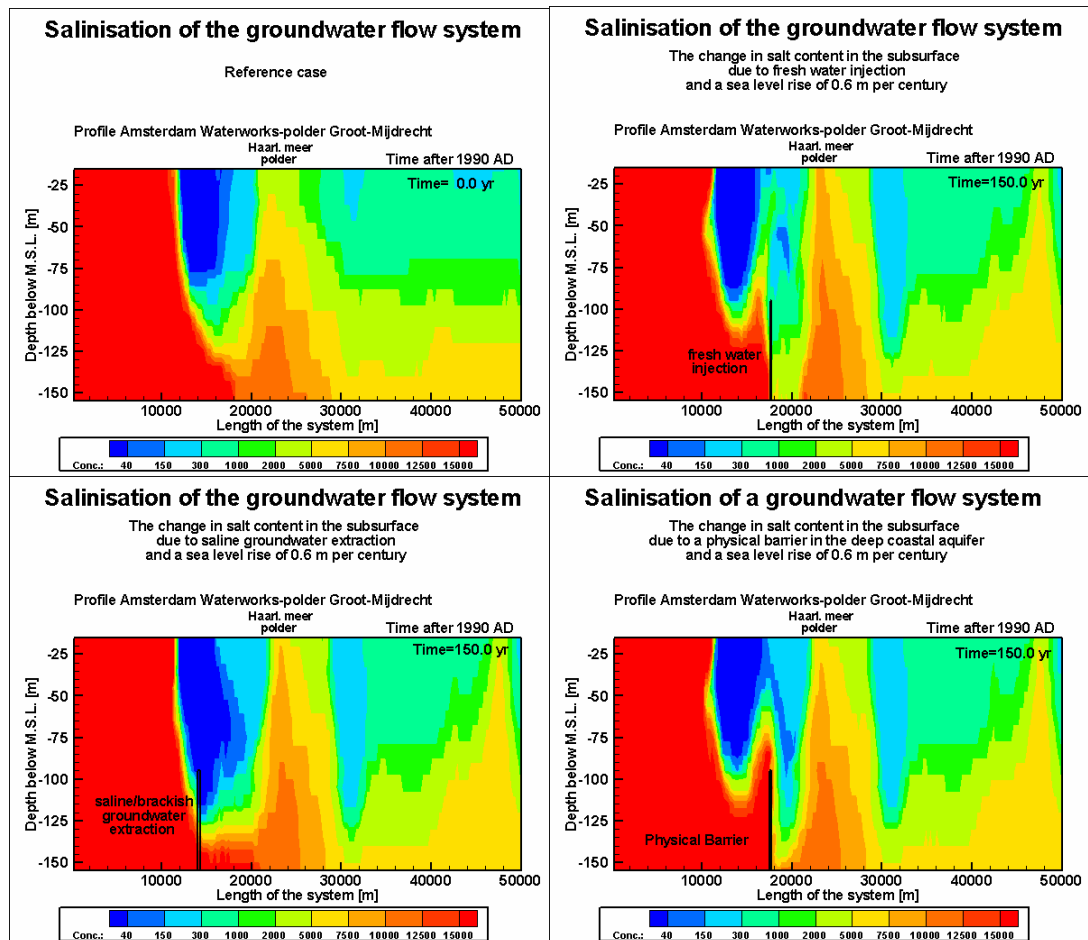




Figuur 10.9: Het effect van landaanwinning voor de kust op de zoet-zout verdeling in de ondergrond: 2D profiel van het 3D model van het Hoogheemraadschap van Rijnland. Tijd is aantal jaren na 2000 AD.

Andere compenserende maatregelen

Injectie van zoet water (figuur 10.10b, in een ander profiel over het Hoogheemraadschap van Rijnland) creëert een extra brakwaterlens maar ook hier stroomt door de overdruk meer zout en brak grondwater naar de Haarlemmermeerpolder. Door onttrekking van zout grondwater (figuur 10.10c) wordt het weliswaar zouter onder de Haarlemmermeerpolder ten opzichte van de huidige situatie, maar lijkt de kwel en vooral de zoutbelasting af te nemen en de zoetwaterlens onder de duinen te vergroten: een interessante optie dus. De volgende aspecten moeten daarbij niet onderschat worden: de enorme onttrekkingsdebieten die continue langs de gehele kust moeten plaatsvinden, het afvoeren van het onttrokken zoute grondwater, en het feit dat het verplaatsen en aantrekken van deze grote hoeveelheden zout grondwater binnen de Europese Kaderrichtlijn Water als niet duurzaam kan worden bestempeld. Aan de andere kant: via membraan filtratie is het brakke grondwater in de toekomst toch nog te benutten. Tenslotte de maatregel de fysieke barrière (figuur 10.10d): afhankelijk van de doorlatendheid van deze barrière zal het zoute grondwater op één of andere manier toch richting de diepe polders willen stromen (het gemiddeld peilverschil is zo'n 3 tot 4 meter, en dat verschil wordt meer). Hoewel er nu al innovatieve geotechnische technieken voorhanden zijn om een fysieke barrière te creëren blijft het de vraag of een dergelijke constructie zo diep in de ondergrond kan worden aangebracht.



Figuur 10.10: Het effect van compenserende maatregelen op een ander profiel langs de Haarlemmermeer en de polder Groot-Mijdrecht op de zoet-zout verdeling in de ondergrond: a Referentiegeval 1990 AD; b. Injectie zoet water 2140 AD; c. Onttrekking zout grondwater 2140 AD en d. Creatie fysieke barrière 2140 AD.

11 Kennislacunes

1. Welke landelijke en stedelijke gebieden zijn in de toekomst kwetsbaar voor wateroverlast of droogte?
2. Waar liggen de ‘kruipruimteloze’ wijken en andere wijken met een geringe ontwateringsdiepte? Dit zijn namelijk de wateroverlastgebieden van de toekomst.
3. Waar moet het drainagewater van het stedelijk gebied in West-Nederland naartoe?
4. Welke gebieden zijn in de toekomst kwetsbaar voor opbarsting? En kunnen perforaties van de ondergrond hierbij een rol spelen (zie ook het punt hierna)?
5. Wat gaat het toenemende aantal perforaties (horizontaal en verticaal) van de ondergrond betekenen voor het grondwatersysteem?
6. Wat is het effect van pieken in de grondwaterwinning (voor de bereiding van drinkwater en voor beregening) op het grondwatersysteem en –voorraad en op de natuur tijdens een extreem droge periode, bij een tijdschaal van dagen?
7. Wat gaat het toenemende gebruik van de ondergrond door parkeergarages, etc. betekenen voor het grondwatersysteem?
8. Zijn er interactieve grondwater- en R.O.-beheerssystemen voor (de ondergrond van) het stedelijke gebied gewenst en hoe zien die eruit?
9. Wat kunnen de effecten van warmte- en koudeopslag op het grondwatersysteem zijn? En wat is bijvoorbeeld het effect op de grondwaterecologie? Warmte- en koudeopslag geeft namelijk een grotere dynamiek in stromingen, kwaliteit en temperatuur.
10. Wat is de toekomst van het grondwatersysteem in en rond het IJsselmeer?
 - a. Wat is het effect van peilverhoging van het IJsselmeer op de kwel langs het IJsselmeer (kwantitatief, zout, nutriënten). Hierbij ook rekening houden met preferente stroming en wellen,
 - b. Wat is het effect van geulen en zandwinputten op de stijghoogte buiten/rond het IJsselmeer?
 - c. Wat is het effect van zandputten en vaargeulen op de waterkwaliteit (zout) van het IJsselmeer. Mogelijk ontstaat bij ruimtelijk fluctuerende IJsselmeerpeilen grondwaterstroming tussen de putten of geulen,
 - d. Wat is het effect van kunstmatige eilanden in het IJsselmeer op de waterkwaliteit? Deze eilanden worden vermoedelijk opgespoten met brak-zout IJsselmeezand.
11. We weten nog onvoldoende wat de veranderende klimaatsomstandigheden kunnen gaan betekenen voor de grondwataanvulling over het hele jaar. De recente KNMI'06-klimaatscenario's beschouwen immers alleen de zomer en de winter en niet de lente en de herfst. Het uitwerken van klimaatscenario's voor hele jaren zal rekening moeten houden met de mogelijkheid dat er binnen de jaren wijzigingen in

het luchtstromingspatroon optreden, zodat een G- of W-zomer gevolgd wordt door een G+- of W+-winter (of andersom). En om vervolgens van de geschetste klimaatveranderingen over het hele jaar tot schetsen van toekomstige grondwateraanvullingen te kunnen komen, zal rekening moeten worden gehouden met velerlei effecten. Zo kan een toename van de neerslagintensiteit leiden tot meer oppervlakkige afvoer en dus minder infiltratie. Verder zal het verhoogde CO₂-gehalte van de atmosfeer ook hydrologische gevolgen hebben, niet alleen doordat er meer biomassa ontstaat die meer neerslaginterceptie zal geven, maar ook doordat planten dan efficiënter met water omgaan en dus minder zullen transpireren. Wat wordt de resultante van al deze effecten en hoe zal deze afhangen van het soort gebied en het soort vegetatie?

12. Wat zal het effect van klimaatverandering zijn op het realiseren van geplande natuurdoeltypen?
13. Hoe moeten de regionale ontwikkelingen van de verdeling zoet-zout worden vertaald naar verzilting (en eutrofiëring) van het topsysteem?
14. Wat kunnen de gevolgen zijn van het sluiten van grote grondwaterwinningen in Nederland?
15. Wat is het effect van ophoging met zeezand op het chloridegehalte van het grondwater?
16. In Zuid-Nederland zijn veel grondwateronttrekkingen verplaatst naar een diep watervoerend pakket, onder andere doordat de grondwaterkwaliteit daar beter is. Mede daardoor is de stijghoogte enorm gedaald. Het effect op de grondwaterstanden van het ondiepe grondwater is vermoedelijk slechts gering. Maar er zijn nog veel onduidelijkheden, zoals: wat betekent dit voor de waterkwaliteit van het diepe grondwater, waar komt dit diepe grondwater vandaan, is er effect op de afmetingen van het diepe grondwaterlichaam (verzilting) en is er sprake van duurzaam winnen gezien de bijzondere kwaliteit van dit diepe grondwater?
17. Wat is het effect van de bruinkoolwinning op de grondwatersituatie van Nederland? En wat zal het effect van het stoppen van de bruinkoolwinning rond 2040-2050 zijn?
18. Wat zal het effect zijn van de KRW op de kwantitatieve toestand van het grondwatersysteem?

12 Referenties

Baggelaar, P.K., Drogendijk, L.J.L, Peters, J.H., Supèr, J. en Van Rotterdam, J.J. (1997). Ontwikkgedrag in de agrarische sector – De vlucht naar een eigen watervoorziening. Kiwa-rapport SWI 97.179, Nieuwegein, september 1997.

Baggelaar, P.K. en Geudens, P.J.J.G. (2005). Prognose landelijke drinkwatervraag tot 2020, opgesteld oktober 2005. VEWIN/Icastat, november 2005, 47 blz.

Beenhakker, A.J. (2002). Het Zeeuwse Kleilandschap. Provincie Zeeland, 52 blz., ISBN 90-71565-72-6.

Beugelink, G.P. en F.A.M. Claessen (red.) (1995). Operationalisatie van 25%-doelstelling Verdroging; maatregelen, kosten en effecten. Achtergronddocument verdroging MV3/ENW. RIVM (rapportnr. 715 001 001), RIZA nota nr 95.029, Bilthoven/Lelystad.

Brouwer, F.M., Van Bruchem, C., Haag, D.M. en Pleijsier, L.K. (red.) (2000). Landbouw, Milieu en Economie 1999. Centraal Bureau voor de Statistiek/Landbouw-Economisch Instituut, Voorburg / Heerlen / Den Haag.

CBS (2006). Duurzame energie in Nederland 2005. Centraal Bureau voor de Statistiek. Voorburg/Heerlen.

Cirkel, D.G., Baggelaar, P.K. en Doomen, A. (2005). Klimaatverandering en grondwaterwinning – Effecten van klimaatverandering op drinkwaterverbruik en grondwaterdynamiek. Kiwa-rapport KWR 05.030, Nieuwegein, april 2005, 101 blz.

Cirkel, D.G., Van Griensven, E. en Broers, E. (2006). Klimaatverandering en grondwaterwinning. H₂O, nr. 22, november 2006, blz. 39 t/m 42.

CIW (1999). Kleine Grondwaterwinningen – Advies over de aanpak van de toename van kleine grondwaterwinningen. Commissie Integraal Waterbeheer, werkgroep IV, CUWVO, mei 1999, 27 blz.

CPB (2004). Vier vergezichten op Nederland – Productie, arbeid en sectorstructuur in vier scenario's tot 2040. No. 55, Centraal Planbureau, Den Haag, november 2004.

CPB, MNP en RPB (2006). Welvaart en Leefomgeving – een scenariostudie voor Nederland in 2040. Centraal Planbureau, Milieu- en Natuurplanbureau, Ruimtelijk Planbureau, september 2006, 239 blz.

De Jong, A.H. en Hilderink, H.B.M. (2004). Lange-termijn bevolkingsscenario's voor Nederland. CBS en RIVM, Voorburg / Bilthoven.

Europese Unie (2000). Richtlijn 2000/06/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid (Europese Kaderrichtlijn Water). Publicatieblad L 327, december 2000.

Garritsen, A.C. en Minis, I. (2005). Grondwater en de toekomst. RIZA Werkdocument 2005.184x.

Gehrels, H. et al. (2005). Quicksan DSM-spoorzone: Verkenning van duurzame oplossingsrichtingen voor het waterbeheer in Delft en omgeving. TNO Bouw en Ondergrond, Delft Cluster.

Grakist, G., Maas, K., Rosbergen, W. en Kappelhof, J. (2002), Keeping our wells fresh. Proc. 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft, The Netherlands, blz. 337-340.

Haasnoot, M. Vermulst, J.A.P.H. en Middelkoop, H. (1999). Impacts of climate change and land subsidence on the water systems in the Netherlands. RIZA-rapport 99.049.

Hoogeveen, M.W. Van Bommel, K.H.M. en Cotteleer, G. (2003). Berekening in land- en tuinbouw. Rapport voor de Droogtestudie Nederland. Landbouw-economisch Instituut, rapport 3.03.02, januari 2003, 64 blz.

Hummelen, A.M. (2006). Prognoses drinkwatergebruik in vier toekomstbeelden. Rapport BTO 2005.065, Kiwa Water Research, januari 2006, 51 blz.

Ingenieursbureau Amsterdam (2002). Geokoepels. De ruimte in nieuw daglicht.

Kempenaar, C., W. van der Zweerde (2003). Vernatting van landbouwgewassen: Hoe zullen ziekten, plagen en onkruiden reageren? Plant Research International, Nota 278.

Kiwa (2005). Het zout der Aarde - Kwantificeren van de huidige en toekomstige (2050) knelpunten verzilting voor Rijnland. Projectnummer 30.4671.015.

KNMI (1999). De toestand van het klimaat in Nederland 1999. Eindredactie: G.P. Können. KNMI, De Bilt.

KNMI (2001). Climate scenarios for impact studies in the Netherlands. G.P. Können. KNMI, De Bilt, mei 2001.

KNMI (2006). KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands. KNMI Scientific Report WR 2006-01. KNMI, De Bilt, 22 mei 2006, 82 blz.

Kooiman, J.W, T. Garritsen, G. Vinke (2005). Quick scan Grondwater in Nederland, eindrapport. KIWA/RIZA rapport KWR 05.007.

Koot, C., Van der Meijden, L., Oosterwijk, J., Ouwehand, G.J., en Woelders, L. (2006). De verziltingsproblematiek in laag Nederland, Fysische en maatschappelijke aspecten van verzilting nader beschouwd. Wageningen UR.

Kors, A. et al. (2000). Scenario's externe krachten voor WB21. RIZA, WL Delft Hydraulics en KNMI, in opdracht van Commissie Waterbeheer 21e eeuw, augustus 2000.

Kremers, A.H.M. en Van Geer, F.C. (2000). Trendontwikkeling Grondwater 2000. Analyseperiode 1955-2000. TNO-rapport NITG 00-184-B, Delft.

- Lorenz, G.K. et al. (1991). Heden en verleden, Nederland naar beneden? Interim rapport over het onderzoek naar bodembeweging in Nederland. Rijkswaterstaat en Rijks Geologische Dienst. November 1991.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat en Club van Maarssen (2006). Water Innovatie. Publicatie Min. Van Verkeer en Waterstaat.
- Minnema, B., Kuijper, B. en Oude Essink, G.H.P. (2004). Bepaling van de toekomstige verzilting van het grondwater in Zuid-Holland. TNO-NITG 04-189-B, 86 blz.
- Minnema, B. en Snepvangers, J.J.J.C. (2004). Waterschap Regge en Dinkel Grondwatermodel en IR-database ter ondersteuning van waterbeheer in Twente. TNO-rapport NITG 04-020-B, TNO, Utrecht.
- MNP (2005). Effecten van klimaatverandering in Nederland. Milieu- en Natuurplanbureau, rapportnummer 773001034, oktober 2005, Bilthoven, 111 blz.
- Oude Essink, G. H. P. (2001). Density dependent groundwater flow at the island of Texel, The Netherlands. Proc. 16th Salt Water Intrusion Meeting, Miedzyzdroje-Wolin Island, Poland, pp. 47-54.
- Oude Essink, G.H.P., Houtman, H. en Goes, B.J.M. (2005). Chloridenconcentratie onderkant deklaag in Nederland. TNO-NITG 05-056-A. Utrecht, TNO Bouw en Ondergrond.
- Oude Essink, G.H.P. en Schaars, F. (2003). Impact of climate change on the groundwater system of the water board of Rijnland, The Netherlands. Proc. 17th Salt Water Intrusion Meeting, Delft, The Netherlands, pp. 379-392.
- Oude Essink, G.H.P. en De Louw, P. (2006) Kwalitatieve beschouwing over de invloed van zoute kwel op de landbouw bij peilwijziging op het Lauwersmeer. TNO, 2006-U-R0152/A, 17 blz.
- Projectgroep Waternood (1998). Grondwater als leidraad voor het oppervlaktewater, een op het grondwater georiënteerde aanpak voor inrichting en beheer van oppervlaktewatersystemen, 1998.
- Provincie Noord-Holland (2002). Gebiedsplan Texel, Begrenzungen Programma Beheer. November 2002.
- Puylaert, H.J.M. e.a. (2003). Inventarisatie toekomstverkenningen Delta in de toekomst. Hoofdrapport en Bijlage-rapport. TNO Inro-rapport 2003-11. ISBN-nummer 90-6743-991-6.
- Rahmstorf, S. (2006). A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. Science (express) 10.1126/science.1135456, 14 dec 2006.
- Roebert, A.J. (1987). Fresh water extraction and salt water encroachment in the Amsterdam dune water catchment area. Groundwater problems in coastal areas: a contribution to the International Hydrology Programme. E. Custodio and G. A. Bruggeman, Unesco, pp. 464-473.

RPB (2003). Energie is ruimte. Ruimtelijk Planbureau, Den Haag.

Ruyten, L. (2006). Verslag van de strategische conferentie over kennisdomein groen-blauwe ruimte en klimaatverandering. World Forum Convention center, Den Haag 13-6-2006.

Schiffries, C.M. (2004). Closing the gap between water science and water policy. Geotimes 7, may 2004.

Segers, R., Melis F. en Wilmer, M. (2006). Warmte/koudeopslag: betrouwbaarheid cijfers en uitsplitsing naar provincie. Centraal Bureau voor de Statistiek, juli 2006.

Stuurman, R.J., Vermeulen, P., 'Grensoverschrijdende grondwaterstromen in de Centrale Roerlandsdenk.', Spraakwater (periodiek van TNO Grondwater en Geo-Energie) nr. 4., 1996.

Stuyfzand, P.J. (1993). Hydrochemistry and hydrology of the coastal dune area of the Western Netherlands. Proefschrift Vrije Universiteit Amsterdam, 366 blz.

Stuyfzand, P.J. en Bannink, A.D. (2003). Zijn de Nederlandse bronnen van drinkwater voldoende beschermd tegen ziekteverwekkende micro-organismen? Kiwa/VEWIN-rapport, VEWIN-nummer 2003/13/4216, Kiwa-nummer 30.5135.400, maart 2003, 77 blz.

Van den Bergh, S. (2004). Verdeeld land - De geschiedenis van de ruilverkaveling in Nederland vanuit een lokaal perspectief 1890-1985. Proefschrift, september 2004.

Van de Ven, G.P. (1993). Man-made lowlands. History of water management and land reclamation in the Netherlands. Uitgeverij Matrijs, Utrecht.

Van Dijk, J.C., Verberk, J.Q.J.C. en Evenblij, H. (2001). Membraantechnologie: verleden, heden en toekomst. 14^e RIONED-dag, donderdag 15 februari 2001, Jaarbeurs Utrecht.

Van Hoegaerden, V. (2004). Thermische energie uit de ondergrond. Comfort en duurzaamheid door gecertificeerd gebruik van de ondergrond. TNO-rapport NITG 04-018-B0209, Utrecht.

Van Vugt, A., Oude Essink, G.H.P. et al. (2003). Modelleren van het zoet-zout grondwatersysteem op Texel. Stromingen 9 (1), blz. 33-46.

V&W (1994). Evaluatienota Water; regeringsbeslissing; aanvullende beleidsmaatregelen en financiering 1994-1998. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, SDU, Den Haag.

Vink, C. (red.) (2006). Stedelijk waterbeheer en drinkwaterwinning – Verkenning van de haalbaarheid van stedelijke grondwaterwinningen. Redactie C. Vink. Rapport BTO 2005.037, Kiwa Water Research, mei 2006, 146 blz.

WB21 (2000). Waterbeleid voor de 21^e eeuw – Geef water de ruimte en de aandacht die het verdient. Advies van de Commissie Waterbeheer 21^e eeuw. Uitgebracht op 31 augustus 2000 aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat en de voorzitter van de Unie van waterschappen, 97 blz.

Weerts, H. (2000). Regionale bodemkansenkaart Zuid-Holland. Geschiktheid van de bodem voor laag calorische opslag van koude/warmte in Zuid-Holland. TNO-rapport NITG 00-135-B, Utrecht.

Witte, J.P., Kruijt, B., Kroon, T. en Maas, K. (2006). Verdamping planten vermindert door toename atmosferische kooldioxide. H₂O nr. 5, blz. 27 – 29.

A Opmerkingen Jan van Bakel

Jan van Bakel is medewerker van WUR Alterra.

Hoog-Nederland

1950-2000

- Een algemene grondwaterstandsverlaging ('achtergrondverdroging' van circa 20 cm) door:
 - beekverbetering (kanalisatie, verdieping),
 - verbetering van de ontwatering (drainage, verdieping greppels),
 - beregening,
 - permanente grondwateronttrekkingen,
 - productieverhoging (circa 50% van de 'achtergrondverdroging', dus ongeveer 10 cm).
- De verdrogingsbestrijding heeft tot nu toe nog weinig effect.
- Een trend van 'drainage nieuwe stijl' is opgestart (ondieper, dichter). Dit zal leiden tot stijging grondwaterstand.

2000-2050

- De extensivering in de landbouw is aan de gang. Dit zal vermoedelijk leiden tot hogere grondwaterstanden.
- De beregeningsbehoefte in de landbouw neemt af vanwege de kosten en omdat er voer genoeg is (o.a. t.g.v. melkrechten etc.).
- Als gevolg van realisatie Ecologische Hoofdstructuur (o.a. beekherstel) zal regionale grondwaterstand hoger worden.

Laag-Nederland

1950-2000

- In kleigebieden minder drastische veranderingen dan in Hoog-Nederland,
 - bij herdrainage een verdieping van de buizen t.o.v. de vroeger handmatig geïnstalleerde drainbuizen,
 - de laatste 10 jaar worden de buizen weer hoger geïnstalleerd.
- Veengebieden:
 - peilverlagingen in de periode 1960-1980,
 - in de jaren '80 is dit proces afgeremd (streven naar een vermindering van de drooglegging).

2000-2050

- Kleigebied: het is niet ondenkbeeldig dat akkerbouw (aardappelen, bieten etc) onrendabel wordt. Als de akkerbouw verdwijnt zal het landgebruik waarschijnlijk overgaan naar gras, wat op termijn zal leiden tot verhoging van de grondwaterstand.
- Veengebied: bij huidige waterpeilen zal het maaiveld blijven dalen (circa 1 cm/jaar bij grondwaterstand van 60 cm onder slootpeil en 0,5 cm bij grondwaterstand van 30 cm onder slootpeil. Deze daling kan worden afgeremd door:
 - weilanden te vernatten naar wetlands. Het gehele jaar plas-dras,
 - 'passief vernatten'. Alleen in het groeiseizoen wordt het grondwaterpeil verlaagd tot circa 35 cm –mv. Dat is ongeveer 20 cm minder dan nu en net genoeg om het land nog agrarisch te gebruiken,

- ‘mollendrainen’, hiermee kan de grondwaterstand hoog worden gehouden doordat in de zomer via deze drains slootwater kan worden aangevoerd,
- ‘moeraswisselteelt’, laaggelegen (ingeklonken), onrendabele percelen bij hoogwater gebruiken als overloophoeve (berging) en als ‘waterdienst’ financieel honoreren.

Waterkwaliteit 2000-2050

- De stikstof belasting neemt af en zal relatief snel effect opleveren.
- Bij afnemende fosfaatbelasting zal nog decennia lang sprake zijn van een na-ijl effect.

B Opmerkingen Marc Bierkens

Marc Bierkens is professor Geografische Hydrologie aan de Universiteit Utrecht.

West-Nederland (1950-2000)

- De waterkwaliteit was al niet optimaal maar is door vermesting verslechterd.
- Diepere ontwatering is ontstaan omdat er zwaardere landbouwmachines werden gebruikt. Heeft tot sterkere maaiveldddaling geleid.
- Door verweving en intensivering van functies is een verdere compartimentering van het watersysteem ontstaan. Hierdoor meer peilvakken en onderbemaling heeft een grote vlucht genomen.
- Toename gebruik ondergrondse ruimte: parkeergarages, tunnels etc.

Hoog-Nederland (1950-2000)

- Verdroging door toename landbouwonwatering en grondwateronttrekking.
- Verdroging en vermesting vooral sinds 1953 (Ruilverkavelingswet).
- Rationalisatie beekstelsysteem met als gevolg hogere piekafvoeren en lage basisafvoer. Hierdoor zijn ook de freatische grondwaterstanden sterk veranderd.
- Ontwatering van vennen en natte heide waardoor verdroging is ontstaan en piekafvoer is toegenomen.
- De sociaal-culturele verbondenheid met het watersysteem is veel minder geworden. Men is minder afhankelijk van de lokale aanwezigheid van goed water waardoor men er ook minder aandacht voor heeft.

Toekomst Hoog-Nederland

- Schat de klimaatverandering voor Hoog-Nederland positief in.
- Ruimte voor grondwateraanvulling/berging op de hogere gronden.
- Infiltratiebekkens op stuwwallen en dekzandruggen.
- Neutralisatie ongewenst hoge grondwateraanvulling door bebossing.
- Verbetering watersysteem door meer berging bovenstrooms te realiseren ('bergen aan de bron') en benedenstrooms overstroming toe te staan.
- Hoog-Nederland zal zich ontwikkelen naar woon- en recreatiegebied.

Toekomst West-Nederland

- Voornamelijk gebied voor werken en wonen.
- De huidige autonome ontwikkeling zal zich tegen ons keren. Gouda heeft geleerd dat nog steeds niet wordt gekeken waar het best kan worden gebouwd.
- In de toekomst zal de burger/bedrijf de overheid (juridisch) aanspreken over wateroverlast. Dit zal uiteindelijk leiden tot een planmatiger aanpak van het waterbeheer/ruimtelijke ordening. Dan zijn echter al wel veel lage, kwetsbare locaties volgebouwd.
- Nat gebied (waterberging) met iets hoger gelegen eilanden van steden.
- Woningbouw, landbouw in de droogmakerijen.
- Als de zeespiegel echt extreem stijgt zullen we West-Nederland moeten verlaten. Mogelijk redden we het nog 100 jaar. Alleen als op wereldschaal het klimaatprobleem wordt aangepakt kan rampspoed worden voorkomen.
- Het watersysteem zal verder compartimenteren. Tot op perceelsniveau.
- Bouwen zal meer verticaal ontwikkelen, omhoog en ondergronds.
- In de droge zomers zullen grote problemen met het oppervlaktewater optreden. Te weinig, te vuil! Ook verzilting neemt toe. Zuurstofgebrek, blauwalgen, insecten. Waarschijnlijk zijn grote regionale circulatiesystemen noodzakelijk.
- Bij extreem hoge zeespiegelrijzing zal het opbarsten van bodems (met name in droogmakerijen en diepere veenpolders) een acuut, maar onbeheersbaar probleem

kunnen worden. Je kunt het vergelijken met aardverschuivingen: je kunt de locatie met groot risico inschatten, maar wanneer en waar er iets gebeurd is altijd een verassing; je kunt dus alleen reageren, niet pro-ageren.

- Het openen van het Haringvliet is geen goed idee. Grote zoetwatervoorraad die wij tijdens droogten kunnen gebruiken gaat verloren.

C Opmerkingen Jos van Brussel

Jos van Brussel is hydrogeoloog, werkzaam bij de afdeling Water, Natuur, Landschap en Openluchtrecreatie van de Provincie Noord-Holland.

- Klimaatverandering zal leiden tot een sterkere fluctuatie. Het zal vooral natter worden.
- De duinen worden natter, het zoetwaterlichaam wordt groter als gevolg van toename neerslag, afname drinkwaterwinning en door zeespiegelrijzing,
- Waar de duinenrij smal of afwezig is, kan als gevolg van de zeespiegelrijzing een significante zoutwaterintrusie optreden (bijv. Hondsbosche Zeewering),
- In de stedelijke gebieden zal wateroverlast afnemen door beter waterbeheer (actief ingrijpen) als gevolg van de ‘nieuwe’ Waterwet (zorgplicht),
- De groter wordende grondwaterstromingscomponent vanuit de duinen zal alleen in een zeer smalle zone langs de duinen invloed hebben op het freatische grondwater. Deze valt meestal in het niet bij het effect van de neerslagtoename,
- In nieuwbouwlocaties zal in de toekomst geen wateroverlast meer ontstaan omdat meer waterpartijen worden aangelegd en een goede ophooglaag wordt aangebracht,
- Warmte- en Koude-Opslag zal belangrijk groeien, maar zal geen noemenswaardig effect op het grondwatersysteem hebben omdat dit onder kleilagen zal plaatsvinden en omdat er sprake is van een evenwicht. Er wordt evenveel water opgepompt als geïnfiltreerd. Als vergunningsvoorwaarde geldt bovendien dat geen menging van watertypen mag plaatsvinden en dat een installatie thermisch neutraal is,
- Ondergronds bouwen, mits kundig uitgevoerd, zal nauwelijks effect hebben op het grondwatersysteem van de toekomst. Lokaal kunnen maatregelen nodig zijn,
- Door omvorming van landbouwgebied in natuurgebied en verhoging van het waterpeil zal de daling van het maaiveld in delen van het veenweidegebied minder snel gaan dan tot nu toe het geval was.

D Opmerkingen Jan Leunk

Jan Leunk is beleidsmedewerker Bureau Grondwater, Provincie Noord-Brabant

Diep Grondwater is zeer waardevol voor de lange termijn drinkwatervoorziening.

- Van nature was het zeer diepe grondwater goed beschermd door de dikke afdekkende kleilagen en de overdruk. Door de grote diepe onttrekkingen is de overdruk omgeslagen in een sterke onderdruk. In combinatie met het grote aantal boringen wordt het uitzonderlijke karakter van het diepe grondwater sterk bedreigd. Het bijzondere karakter van het diepe grondwater heeft zijn oorzaak in de hoge ouderdom. Hierdoor is er een garantie dat er geen stoffen in voorkomen die de afgelopen 100 jaar zijn ontwikkeld. Als eenmaal jong beïnvloed water in de diepe lagen wordt aangetroffen, dan is deze garantie verdwenen. Daarom ook dienen de diepe lagen, die geschikt zijn voor drinkwaterwinning, niet gebruikt te worden voor energieopslag. Na aantasting van deze diepe voorraad is herstel bijna onmogelijk. Ondiep grondwater kan relatief snel herstellen.

Berekening

- De toegenomen landbouwproductie heeft een grote invloed gehad op het grondwatersysteem. Deze productietoename heeft als direct gevolg dat de grondwateraanvulling met 30% is afgenomen. Om deze productie tot stand te brengen was vaak drainage en berekening noodzakelijk. Bij de huidige natuurlijke aanvulling van het grondwater is het de vraag of de noodzakelijk minimum randvoorwaarden voor de gewenste natuurontwikkeling is te bereiken.
- De grootschalige berekening heeft vooral effect op kwelgebieden en de basisafvoer van beken. In wat langere droge perioden zal ook een verlaging van de grondwaterstand optreden die een doorwerking kan hebben tot het volgende groeiseizoen. Door de berekening te reserveren voor hoog renderende gewassen is de huidige omvang sterk terug te dringen. Tevens is er bij hoogrenderende gewassen meer mogelijkheden om extern water aan te voeren omdat het een meer gelijkmatig gebruik kent en er een hogere toegevoegde waarde optreedt.
- In de toekomst zou de landbouwproductiewijze meer moeten uitgaan van de bestaande, natuurlijke randvoorwaarden. Op hoge gronden gewassen die met minder water kunnen omgaan, op de lage gronden gewassen die meer water nodig hebben.
- In de landbouw zijn geen toegevoegde kosten aanwezig om het grondwatergebruik te sturen. Zowel de WVO als de Grondwaterbelasting is niet van toepassing. Omdat de productie kosten van water zo laag zijn zal al bij een zeer lage toegevoegde waarde, er groei in gebruik optreden. Juist door afschaffing van de Grondwaterbelasting is een verdere toename van het gebruik voor dit doel te verwachten.

Industriële onttrekkingen

- Afname van industriële grondwaterwinning is eerder veroorzaakt door de WVO dan door de grondwaterbelasting. De grote afname heeft ook plaatsgevonden in de jaren '70. De kosten voor de afvoer van vervuild productie water zijn namelijk veel hoger dan die voor de productie (incl. belasting) van grondwater.

Systeemgericht beheer

- Er moet gestreefd worden naar een natuurlijker, stabiel watersysteem. Het geloof in techniek als oplossing vormt een grote bedreiging. Dit heeft het verleden al eens bewezen.

- Bij warmte-koudeopslag in de zoete grondwatersystemen heeft geen duidelijke keuze plaatsgevonden tussen de aantasting van deze systemen en het rendement voor de vermindering van energiegebruik en CO₂-reductie. Er bestaan betere oplossingen. Bij onvoldoende milieurendement is sprake van misbruik van de bodem. De 'onschuld' van ons zuivere diepe grondwater wordt aangetast. Grootschalige WKO's brengen een groot risico met zich mee dat niet natuurlijke stoffen in dit diepe grondwater terecht komen. Er ontstaat ook een spanningsveld tussen de waterproducenten en deze WKO's. Mogelijk is WKO in brak-zout grondwater een kleiner probleem.
- Het is nog niet zeker dat grondwaterwinning voor drinkwater niet zal toenemen. Mogelijk neemt het vertrouwen in oppervlaktewater als bron af. Bijvoorbeeld door de slecht verwijderbare geneesmiddelen en andere kunstmatige organische verbindingen in het oppervlaktewater.

E Opmerkingen Kees Maas

Kees Maas is geohydroloog, verbonden aan Kiwa Water Research en de TU Delft.

Zomers droger of juist natter?

- We mogen aannemen dat door het versterkte broeikaseffect de temperatuur zal toenemen en de neerslagpatronen zullen veranderen. Maar het is nog wel de vraag hoe dat doorwerkt in termen van verdroging. Hogere temperaturen leiden in principe tot meer verdamping, maar door een hoger CO₂-gehalte gaan planten efficiënter om met water. Ze zouden dus juist wel minder kunnen gaan verdampen. Omdat de neerslag in Nederland de verdamping maar net overvleugelt, kan een kleine verandering in neerslag en verdamping grote consequenties hebben voor de grondwateraanvulling, dus voor de grondwaterstand. Voor zover de kennis nu reikt kan het daarmee nog alle kanten op. Zie ook (Witte et al., 2006).

Berekening

- Er zal behoefte blijven aan berekening van landbouwgronden in droge perioden. Het is alleen nog niet te zeggen of deze droge perioden zullen toe- of afnemen (zie hiervoor het voorgaande punt).

Twijfel over zeespiegelrijzing

- De verwachtingen over de zeespiegelrijzing zijn nog zeer zacht, wat te weinig wordt benadrukt. Zo is momenteel het Noordpoolijs wel aan het smelten, maar daar staat tegenover dat het Zuidpoolijs aan het toenemen is. Noordpoolijs is drijfijis. Als dat smelt heeft het geen consequenties voor de zeespiegel. Zuidpoolijs is daarentegen hoofdzakelijk landijs. Accumulatie daarvan leidt juist tot daling van de zeespiegel. Dit laatste is niet conform de verwachtingen.

Zoute kwel

- De zoute kwel zal toenemen in de kustprovincies, maar vooral dankzij het autonome proces dat is ingezet door de inpolderingen. Een eventuele zeespiegelrijzing voegt daar nauwelijks iets aan toe, gezien de relatief grote afstanden van de betreffende polders tot de zee.
- Hoe erg is zoute kwel eigenlijk? In de meeste gebieden waar deze optreedt is het proces immers al enige tijd gaande en zijn het landgebruik en het waterbeheer er op ingesteld. Grote delen van Zeeland, bijvoorbeeld, kennen al eeuwen een sterke kwel van zout grondwater. Tot nu toe leidde dat niet tot marginalisatie van de landbouw.

Strategische voorraden zoet grondwater

- We moeten een bestemmingsplan maken voor ons diepe grondwater, zodanig dat we op duurzame wijze de voordelen van dat water kunnen benutten. Het is zonde om het geheel onaangetast te laten, op grond van een vage notie over gebruik door generaties na ons. Het is ook uitstelgedrag; generaties na ons die het grondwater willen gebruiken zullen alsnog over de bestemming moeten nadenken.
- Vreemd genoeg is er nog niet serieus overwogen het zoete grondwater onder het IJsselmeer te gaan benutten, terwijl dit met bijvoorbeeld horizontale boringen mogelijk zou zijn. Het heeft geen nadelige consequenties en als bron is het IJsselmeer praktisch gesproken onuitputtelijk. Blijkbaar is er nog geen gebrek aan grondwater in Nederland.

Gebruik van brak of zout grondwater

- We zouden veel meer brak of zelfs zout grondwater kunnen gaan benutten voor allerlei toepassingen, aangezien het goed te zuiveren is met omgekeerde osmose.

Maar het beleid moet wel de belemmeringen daarvoor wegnemen. Zo zullen de Provincies moeten gaan toestaan dat het resterende brijn weer wordt teruggebracht in het brakke of zoute grondwater. Dit voorbeeld illustreert de noodzaak van een bestemmingsplan voor het diepe grondwater.

Warmte- en koudeopslag

- Er is nog te weinig bekend over mogelijke consequenties van warmte- en koudeopslag voor ons grondwatersysteem. Aangezien deze toepassing een grote vlucht kan nemen, moeten die consequenties goed in beeld worden gebracht. Daar is geen nieuwe kennis voor nodig; dit probleem kan met bestaande modellen van grondwater en warmtetransport getackeld worden.

F Opmerkingen Kees Meinardi

Kees Meinardi was als geohydroloog verbonden aan het toenmalige RIVM. Nu is hij gepensioneerd.

- Toekomstverwachting samengevat
 - Hoog-Nederland: de regionale diffuse vervuiling van het grondwater die in afgelopen decennia is veroorzaakt zal als gevolg van de lange reistijd van stroombanen nog tientallen tot honderden jaren het grondwater en de ecologie nadelig beïnvloeden.
 - Laag-Nederland: de maaiveldddaling, en dan in het bijzonder in de veenweidegebieden, zal continu voortschrijden totdat het veen op is.
- Kwantiteit grondwater: de grondwatervoorraad wordt nauwelijks bedreigd en is bijna nog in zijn geheel beschikbaar. Alleen de aanpassingen in het landelijke gebied (ontwatering, afwatering) hebben in het verleden een grote invloed gehad. De berekening uit grondwater heeft, in vergelijking met het buitenland, nog niet echt een grote vlucht genomen en heeft nauwelijks een nadelige invloed op het grondwater. Naar verwachting zal de berekening in de toekomst niet zo'n grote vlucht nemen dat de grondwaterstand meters daalt. De grondwaterbeschikbaarheid is immers groot.
- Het grondwater in West-Nederland is niet zo kwetsbaar voor peilstijgingen van het buitenwater. Pas bij zeer grote stijgingen (meters) zullen nadelige situaties ontstaan.
- De grondwaterkwaliteit is in de afgelopen decennia sterk verslechterd door bemesting en door atmosferische depositie. Dit is merkbaar in het bovenste grondwater, niet alleen voor stikstof maar ook voor andere macro-elementen en micro-elementen, zoals zware metalen. Deze invloed zal in de toekomst door de geringe transporttijd van grondwater nog lang na-ijlen.
- De gevaren voor de kwaliteit van het grondwater komen niet alleen van de huidige vervuiling. Dat gevaar zou nog wel meevallen als de belasting aan maaiveld vanaf heden echt nul zou worden. Het is meer dat de zandige aquifers van Hoog-Nederland zeer kwetsbaar zijn voor vervuiling vanaf maaiveld en steeds weer nieuwe belastingen voor de kiezen krijgen. Gezien de dichte bevolking (verkeer), de intensieve landbouw en de industrie, zal de belasting aan maaiveld steeds relatief hoog blijven met de bijbehorende vervuiling van het grondwater die ook steeds dieper de bodem in zal dringen. NB: Het gevaar van een slechte kwaliteit grondwater is slechts deels een bedreiging van de drinkwatervoorziening, maar de toestroming van een slechte kwaliteit water naar de drainage vormt een bedreiging van de aquatische ecologie. De KRW noemt zowel de aquatische- als de terrestrische ecologie, voor zover van grondwater afhankelijk en in Nederland is dat vaak het geval.
- Het grondwatersysteem onder het stedelijke gebied hoeft niet als erg kwetsbaar worden beschouwd. Het wordt nauwelijks gebruikt voor de watervoorziening en heeft ook nauwelijks betekenis voor ecologie. Warmte- en koudeopslag hoeft daarom niet als nadelig worden beschouwd.
- De KRW is zeer gunstig voor het grondwater. In tegenstelling tot de Nitraatrichtlijn bevat deze namelijk een resultaatsverplichting en geen inspanningsverplichting. Niet alleen gunstig voor realiseren van goede grondwaterkwaliteit maar ook voor een goede kwantitatieve toestand, in relatie tot wetlands en de basisafvoer van waterlopen,
- Verzilting van het grondwater zal eerder worden veroorzaakt door maaiveldddaling en nauwelijks door zeespiegelrijzing. Alleen bij zeer grote zeespiegelrijzing (meters!) zal deze invloed hebben. Nieuw inzicht in zoet-zout processen blijft noodzakelijk. De huidige kennis is niet genoeg.

- De verzilting neemt vaak door de maaivelddaling juist af. De maaivelddaling zorgt namelijk voor een nivellering van de verschillen en daardoor wordt de motor voor de verzilting (= een lokale, vertikaal naar beneden gerichte stroming) zwakker. Een andere reden dat de verzilting eerder zal af- dan toenemen, is dat een groot deel van de verzilting wordt veroorzaakt door de uitspoeling van nog in (mariene) sedimenten aanwezig zout. Deze hoeveelheid sedimentair zout neemt continu af in een zoete situatie, zoals op land het geval is.

G Opmerkingen Ipo Ritsema

Ipo Ritsema is manager bij TNO Bouw- en Ondergrond.

- De jaarlijkse dynamiek in het grondwatersysteem zal sterk toenemen als gevolg van sterkere seizoensale neerslag en verdampingsfluctuaties, sterkere fluctuaties in rivier- en meerpeilen en in combinatie met grondwatergebruik als WKO en gietwateropslag,
- Veranderingen in het grondwatersysteem zijn ook sterk afhankelijk van politieke beslissingen. Laten wij marktwerking in de drinkwatersector toe? Dit kan leiden tot sluiting of verplaatsing van winningen, door water te importeren of waterfabrieken te starten, of ook tot export van drinkwater en toename van grondwaterwinning. Bij verbetering van efficiency valt in ieder geval te verwachten dat kleine winningen worden gesloten,
- Het ondergronds ruimtegebruik neemt sterk toe en bruikbaar grondwater wordt schaars. Er zal een soort verdringingsreeks voor het gebruik van de ondergrond moeten worden opgesteld waarbij het gebruik als drinkwater prioriteit heeft (dus niet drinkwater als spoelwater),
- De Mijnbouwwet kan bij het organiseren van beleid voor het beheer van de ondergrondse ruimte als leidraad worden gebruikt. Alle vergunningsaanvragen komen hier centraal binnen en worden vervolgens op doelmatigheid van gebruik en op duurzaamheid getoetst,
- Technologische innovaties kunnen een verandering in waterbeheer en gebruik veroorzaken: brak grondwaterwinning, waterzuivering van oppervlaktewater in combinatie met sluiting van grondwaterwinning in verdroogde gebieden, een mogelijk beleid om 100% hergebruik van stedelijke waterstromen te realiseren,
- Het is niet ondenkbaar dat het waterkwaliteitsbeleid tendeert naar 'zero tolerance'. Dit zal leiden tot nieuwe innovaties, mogelijk tot hydrologische isolatie van landbouwgebieden. Hoe kan dan de grondwateraanvulling worden gegarandeerd?,
- Klimaatverandering kan tot stijging van de bodemtemperatuur leiden. Wat zijn de chemische en ecologische gevolgen? Wat zijn de gevolgen voor gebruiksfuncties?
- Zal toename van wateroverlast leiden tot aanpassingen ruimtelijke ordening, bijvoorbeeld 'meer wonen op water' of verhuizen naar droge hoge gronden,
- Het kan noodzakelijk worden om zoetwatervoorraden aan te leggen (gietwater), vooral in gebieden met brak-zout grondwater of in stedelijke gebieden,
- WKO-systemen zullen van kleinschalig-lokaal, naar grootschalige systemen getransformeerd worden. Er is geen doelmatigheidsbeleid (kleinschalig vs. grootschalig)

H Opmerkingen Huub Rijnaarts

Huub Rijnaarts is medewerker van Bodemkwaliteit en beheer (TNO Bouw en Ondergrond) en van Wageningen Universiteit.

- In Nederland is het oppervlak aan stedelijk gebied, in relatie tot landelijk gebied, veel groter dan in andere (Europese) landen. Daarom hebben activiteiten in de ondergrond van de stad een veel grotere invloed op het watersysteem als geheel.
- De ondergrond is momenteel van niemand. Bij WKO geldt min of meer het principe 'wie eerst komt, mag eerst gebruik maken van deze ondergrondse locatie'.
- Er vindt een kentering in de saneringstechnologie plaats: in plaats van conventionele methodes als 'graven en bovengronds reinigen' en 'pump en treat', zal in de toekomst veel meer gebruik worden gemaakt van de natuurlijke, reinigende werking van de ondergrond. Diepe verontreinigingen zullen beheerst worden, waarbij via een afkoopregeling de beheersverplichting overgeheveld wordt van de vervuiler naar de overheid. Een voordeel van beheerssystemen van diepe verontreinigingen is dat er minder uitwisseling (perforatie bodem, pompen/injecteren) met de bovengrond plaats vindt.
 - Kans: de ondergrond zien als een biologisch-chemisch actief systeem dat verontreinigingen kan afbreken. Dit is een duurzame vorm van grondwaterbeheer.
 - Bedreiging: als deze zelfreiniging niet goed wordt ingeschat, gaat de waarde van de grondstof sterk achteruit.
- De intensivering van het gebruik van de (diepe) ondergrond (WKO, gietwaterinfiltratie, SAR, etc.) breekt dit eeuwenlang beschermde grondwatersysteem open. De goede isolatie verdwijnt. Hierdoor kan het ongestoorde microbacteriële potentieel en de biodiversiteit misschien verloren gaan.
- Er is nauwelijks kennis over het effect op de ecologische kwaliteit van het grondwatersysteem. Er zouden onvoorziene processen kunnen ontstaan. Bijvoorbeeld door opwarming van het grondwater kunnen bacteriële en chemische processen veranderen.
- WKO kan tot versnelde verplaatsing van verontreinigingen in de stad leiden. Het kan echter in voorkomende gevallen integraal in combinatie met grondwatersanering worden uitgevoerd.
- Bij gebiedsgericht en systeemgericht grondwaterbeheer is systeemkennis zeer belangrijk. Deze kennis is binnen het stedelijke gebied veel geringer dan voor het buitengebied. Dit wordt veroorzaakt door te weinig of slecht ontsloten informatie over de stedelijke ondergrond. Er zou een programma moeten komen om dit hiaat op te vullen.

I Opmerkingen Nicko Straathof

Nicko Straathof is medewerker van Natuurmonumenten.

Toekomst natuur (2000-2050)

- Bij de huidige klimaatvoorspellingen zal een dynamischer watersysteem ontstaan, d.w.z. groter amplitude in de fluctuatie van grondwaterstanden, openwaterstanden, afvoeren en waterkwaliteit. Voor waterscheidingvenen (hoogvenen) is dit ongunstig. Vennen zullen vaker droogvallen en meer last krijgen van eutrofiering,
- Oligotrofe, regenwaterafhankelijke natuur zal het moeilijker krijgen, zal wellicht alleen zich kunnen handhaven op plekken met oligotrofe kwel.
- Natuur in kwelgebieden krijgt wellicht meer kans. Meer neerslag leidt namelijk tot toename grondwateraanvulling en hogere grondwaterstanden in infiltratiegebieden op stuwwallen.
- Vooral dynamische, meer eutrofe natuur zal door de klimaatsverandering bevorderd worden. Moerassen à la OV-plassen, moerasbossen.
- Meer kansen voor brakwaternatuur vanwege tekorten aan zoet doorspoelwater uit de grote rivieren.
- Peilbeheer veenweiden wordt dynamischer meer waterconservering in de winter om voldoende vochtvoorziening in de zomer te kunnen handhaven, plasdras in de winter/voorjaar gunstig voor weidevogels

J Opmerkingen Michael van der Valk

Michael van der Valk is wetenschappelijk secretaris-lid van het Nationaal Comité IHP-HWRP⁴⁸ en eindredacteur van STROMINGEN, het vakblad van de Nederlandse Hydrologische Vereniging. Daarnaast is hij bestuurslid van de NHV en van de International Association for Hydrogeologists' Netherlands Chapter.

Grondwaterkwaliteit

- Bepaalde grondwaterwinningen en kwelgebieden kunnen nog lange tijd te maken hebben met verslechtering van de waterkwaliteit, ondermeer in de vorm van verhoogde concentraties nitraat, fosfaat en organische microverontreinigingen. Dit komt door het na-ijlen van vervuilingen door diffuse bronnen en stortplaatsen.

Grondwaterstroming

- Doordat de neerslag meer in de vorm van korte, intensieve buien zal gaan vallen, is het mogelijk dat er meer water via het oppervlak afgevoerd gaat worden. Gevoegd bij de drogere zomers kan er dus zelfs op bepaalde plaatsen minder grondwateraanvulling resulteren. Dit zal dan ook tot minder kwel leiden. De mate van verandering van kwel en infiltratie hangt af van de grootte van de grondwatersystemen (kwel) en de infiltratiecapaciteit in het infiltratiegebied.
- De invloed van de verheving van de neerslagintensiteit zal verschillen met de grootte van het grondwatersysteem. Een klein systeem zal namelijk eerder droogvallen, terwijl bij een groot systeem de grondwaterstroming kan toenemen, mits er een goede infiltratie is (zie het voorgaande punt). Een en ander heeft mogelijk ook gevolgen voor de grootte/ligging van de kwel- en infiltratiegebieden.
- Er is een recente theorie die zegt dat de verdamping bij een toenemend CO₂-gehalte zal afnemen doordat de huidmondjes van de vegetatie sluiten. Dit zou leiden tot een grotere grondwateraanvulling. De grondwateraanvulling kan ook minder zijn dan gedacht, doordat het stijgende CO₂-gehalte van de atmosfeer de groei van biomassa zal bevorderen. Dit zal leiden tot meer interceptie van regenwater en tot meer evaporatie.
- De klimaatsverandering zal leiden tot andere waterbalansen van hydrotopen en daarmee mogelijk tot andere hydrotopen.
- Door het afnemen van de grondwateronttrekking in Nederland zal de kwel op bepaalde plaatsen toenemen.
- Bij alle bovenstaande punten spelen meerdere factoren. Uiteindelijk gaat het natuurlijk om het netto effect.
- Meer stedelijk gebied leidt tot minder natuurlijke grondwaterstroming.

Grondwaterstanden

- De grondwaterstand van de Veluwe zal nog circa 20 à 30 jaar blijven dalen, als na-ijleffect van de grote inpolderingen van het IJsselmeer. [check met proefschrift Hans Gehrels voor aantal jaren en mate waarin]
- Meer stedelijk gebied leidt tot minder natuurlijke grondwaterstanden, c.q. een minder natuurlijk grondwaterregime.

⁴⁸ Het Nationaal Comité IHP-HWRP coördineert de Nederlandse bijdragen aan het International Hydrological Programme (IHP) van UNESCO en het Hydrology and Water Resources Programme (HWRP) van WMO. Het Comité is als interdepartementale adviescommissie ingesteld door de Minister van V&W en de Minister van OCW.

Grondwatergebruik

- Om te voorkomen dat er interferenties kunnen ontstaan met andere grondwateronttrekkingen, lijkt het aanbevelenswaardig om de verwachte toename van warmte- en koudeopslag (WKO) in goede banen te leiden.,
- Zal er een ontwikkeling komen waarbij grondwater voor de kust wordt gewonnen?

Internationaal grondwaterbeleid

- Gezien de ontwikkelingen die internationaal op het gebied van grondwater plaatsvinden – zie de Kaderrichtlijn Water (de huidige Grondwaterrichtlijn (80/68/EEG) stamt uit 1980) en de International Law Commission van de VN, die een Law on Transboundary Aquifers voorbereidt – kan het geen kwaad eens na te denken wat de eventuele gevolgen voor Nederland van genoemde ontwikkelingen zijn, alsmede op welke wijze de Staat er baat bij zou kunnen hebben.