

SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER

DRIE PRAKTIJKGEVALLEN VAN
PROBLEMEN IN GRONDWATERBEHEER

R.J. Stuurman en J. Griffioen
TNO-NITG

SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER

DRIE PRAKTIJKGEVALLEN VAN
PROBLEMEN IN GRONDWATERBEHEER

R.J. Stuurman en J. Griffioen
TNO-NITG

Opgesteld in opdracht van de
Technische commissie bodembescherming

TCB R18(2003)

DEN HAAG
Juni 2003

Technische commissie bodembescherming, Postbus 30947, 2500 GX Den Haag
telefoon 070 3393034; fax 070 3391342; e-mail info@tcbodem.nl

VOORWOORD

De Technische commissie bodembescherming (TCB) bereidt een advies voor over systeemgericht grondwaterbeheer. In dit kader heeft de TCB aan TNO NITG de opdracht gegeven een aantal praktijkgevallen van problemen in het huidige grondwaterbeheer uit te werken. Dit rapport is het resultaat hiervan. De commissie hoopt hiermee een verdere bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van bodem- en (grond)waterbeheer.

Namens de commissie,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'J.J. Vegter', is written over a faint, light-colored background. The signature is slanted upwards from left to right.

Dr. J.J. Vegter,
Algemeen secretaris

SAMENVATTING

Het grondwater in de Nederlandse ondergrond heeft allerlei functies voor de mens, naast een natuurlijke werking voor ecosystemen aan het oppervlak of in de ondergrond. Er is sprake van conflictsituaties tussen verschillende functies van grondwater onderling of tussen antropogene functies en de natuurlijke werking. Veelal komen die conflictsituaties voort uit de invloed van ruimtegebruik op grondwater. De conflicten zijn het gevolg van een sterk sectorale en fragmentarische benadering van het bodem- en grondwaterbeheer. De TCB heeft dit probleem onderkend en stelt dat het huidige grondwaterbeheer te wensen overlaat als het gaat om het bewust afwegen van de belangen van de diverse actoren. Streefgericht grondwaterbeheer zou een betere basis kunnen vormen voor grondwaterbeheer. TNO-NITG heeft opdracht gekregen om de huidige situatie van grondwaterbeheer te analyseren en de gewenste situatie te schetsen voor drie praktijkgevallen: de omgeving van Apeldoorn, de Centrale Slenk en de Hollandse duinstrook in midden West-Nederland.

Bij het uitwerken van toekomstig grondwaterbeheer zijn twee scenario's ontwikkeld: de extensief duurzame en de intensief technische benadering. Bij extensief duurzaam systeemgericht grondwaterbeheer wordt aangesloten op de natuurlijke processen en potenties. De plaats binnen het (grond-)watersysteem respectievelijk infiltratie-, intermediair- of kwelgebied is voorwaardenscheppend. Bij ingrepen mag geen afwenteling van problemen in tijd, ruimte en plaats ontstaan. Het verbruik van water moet worden afgestemd op de draagkracht van het systeem en grondwaterafhankelijke ecosystemen mogen niet geschaad worden door gebruik van grondwater door de mens. Bij de intensief technische benadering worden de waterhuishoudkundige en hydrologische problemen op een technische manier opgelost. De natuur staat hierbij in dienst van de mens met als functie recreatie, en is daarnaast een reservoir aan hulpbronnen dat ten dienste staat van de menselijke ontplooiing. Er is daarom niet alleen sprake van het beheren, maar ook van het beheersen van (grond)water. In geval van een duurzaam beheer van bestaansbronnen zal wel gestreefd worden naar het minimaliseren van de productie van afval en het vermijden van verontreiniging.

Bij de uitwerking van het grondwaterbeheer voor de studiegebieden zijn niet alle facetten die naar grondwaterbeheer verwijzen, geëvalueerd, maar de belangrijkste fenomenen zijn in kaart gebracht en de conflicten tussen deze fenomenen geëvalueerd.

De uitwerking van de gebieden is indicatief van aard, en niet getoetst aan bijvoorbeeld financiële randvoorwaarden. De regionale autonome ontwikkelingen in de gebieden zijn wel meegenomen. Het gebied Apeldoorn is sterk gericht op de stedelijke problematiek van historische grondwaterverontreiniging, duurzaam wonen, wateroverlast, industriële onttrekkingen en actief grondwaterbeheer. Het gebied De Centrale Slenk is gericht op grensoverschrijdende grondwaterstroming, grootschalige menselijke ingrepen zoals de bruinkoolwoningen nabij Aken, landbouwactiviteiten, drinkwaterwinning en ruimte voor de natuur. Het gebied Hollandse duinstrook is gericht op de drinkwaterwinning in de duinen, duinbeheer, de bollenteelt langs de duinrand en verstedelijking. Dit gebied is in twee deelgebieden uitgesplitst: de combinatie duin/ stedelijk gebied (Haarlem en omgeving) en de combinatie duin/ landbouw (bollenteelt).

De uitwerking van de drie gebieden op systeemgericht grondwaterbeheer leidt tot de volgende algemene conclusies:

- Grondwaterbeheer is niet of nauwelijks belicht in de recente nationale beleidsdocumenten over nieuw waterbeheer;
- Bij waterbeheer wordt door lagere overheden primair gedacht vanuit stedelijk en landelijk waterbeheer, en niet vanuit systeemgericht waterbeheer;
- In de loop van de twintigste eeuw is er meer afstand gekomen in de ecocentrische relatie van mens met water, bodem en natuur. Dit heeft niet alleen geleid tot grootschalige problemen op het gebied van water maar meer algemeen op het gebied van milieu;
- Bij het invullen van systeemgericht grondwaterbeheer is het belangrijk om de historische ontwikkeling in waterbeheer te doorgronden;
- Het toekomstig waterbeheer moet meer in overeenstemming met de natuurlijke potenties gebracht worden;
- Bij ruimtelijke ordening en waterbeheer moet rekening gehouden worden met autonome veranderingen en met reversibele veranderingen in het grondwatersysteem zoals bijvoorbeeld het stopzetten van grondwaterwoningen.
- Een intensieve technische inrichting van een gebied is vanuit het begrip duurzaamheid minder gewenst dan een extensieve duurzame inrichting. Het hanteren van een extensieve duurzame benadering in het (grond)waterbeheer zou leiden tot grote verschuivingen en veranderingen in bodem- en watergebruik.

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

SAMENVATTING

1. INLEIDING	1
2. BENADERING	3
3. DE GRONDWATERSITUATIE RONDOM APELDOORN	17
4. DE GRONDWATERSITUATIE IN DE ZUIDELIJKE BOLLENSTREEK VAN KENNEMERLAND	35
5. DE GRONDWATERSITUATIE IN HET VERSTEDELIJKTE GEBIED VAN HAARLEM EN OMSTREKEN	53
6. DE GRONDWATERSITUATIE IN DE CENTRALE SLENK	59
7. LESSEN UIT DE VOORBEELDGEBIEDEN	79
8. CONCLUSIES	83
9. REFERENTIES	85

1 INLEIDING

Het grondwater in de Nederlandse ondergrond heeft allerlei functies voor de mens, naast een natuurlijke werking voor ecosystemen aan het oppervlak of in de ondergrond. Het vervult ook een rol in de biogeochemische kringlopen. Grondwater is bijvoorbeeld voor 70% de bron van het drinkwater in Nederland. Het intensieve ruimtegebruik heeft geleid tot conflictsituaties tussen verschillende functies van grondwater onderling of tussen antropogene functies en de natuurlijke werking. Veelal komen die conflictsituaties voort uit de invloed van ruimtegebruik op grondwater. In werkelijkheid stroomt grondwater in een open, ondergrondse ruimte: ingrepen op één plaats werken altijd door naar andere plaatsen. De conflicten zijn ten dele het gevolg van een sectorale en fragmentarische benadering van het bodem- en waterbeheer: drinkwaterbescherming, oppervlaktewaterkwaliteitsbeheer en waterkwantiteitsbeheer, bestrijding van verdroging, etc. Daarnaast komen de conflicten ook voort uit een beperkte compatibiliteit tussen de belangen onderling.

De TCB heeft dit probleem onderkend en stelt dat het huidige grondwaterbeheer te wensen over laat als het gaat om het bewust afwegen van de belangen van de diverse actoren. Men houdt er onvoldoende rekening mee dat grondwater stroomt in een open, ondergrondse ruimte. Deze ruimtelijke samenhang kan er toe leiden dat er meer belangen conflicteren dan uit een analyse van ieder belang op zichzelf naar voren zou komen. Stelselgericht grondwaterbeheer dat de ruimtelijke samenhang voorop stelt, zou een betere basis kunnen vormen voor grondwaterbeheer. Het menselijk handelen wordt dan niet per individueel geval of serie van gevallen beschouwd, maar de consequenties van het menselijk handelen worden geplaatst in het perspectief van heersende grondwatersystemen.

In het kader van het project 'Stelselgericht grondwaterbeheer' heeft de TCB aan TNO-NITG opdracht gegeven om voor drie praktijkgevallen de huidige situatie van grondwaterbeheer te analyseren en de gewenste situatie te schetsen. De gewenste situatie is hierbij afhankelijk van de functies die men aan de gebieden toekent en de potenties die het gebied heeft. Er is dus niet sprake van één gewenste situatie, maar meer een optimale keuze tussen wensen en (natuurlijke) potenties. TNO heeft hiertoe drie gebieden van verschillende schaal geselecteerd: de omgeving van Apeldoorn, de Centrale Slenk en de Hollandse duinstrook in midden West-Nederland. Het laatste

gebied is uitgewerkt in twee delen: de problematiek van de duinen en de bollenstreek, en de problematiek van de duinen en het stedelijk gebied van Haarlem

Het volgende hoofdstuk presenteert de algemene benadering die gemaakt is voor de drie gebieden. In de Hoofdstukken 3 tot en met 6 wordt achtereenvolgens voor de vier gebieden een uitwerking gegeven van de huidige praktijk van grondwaterbeheer en de mogelijkheden om deze praktijk te verbeteren. Bij het opstellen van de mogelijkheden is de vrijheid genomen om de autonome ontwikkelingen op korte en middenlange termijn te beschouwen, zonder beperkt te zijn door stringente uitgangspunten of randvoorwaarden. Het opstellen van concrete plannen valt buiten het bestek van deze studie; de financiële haalbaarheid van de voorgestelde benaderingen is niet beschouwd. Hoofdstuk 7 geeft een veralgemenisering van de bevindingen zoals opgedaan in de vier voorafgaande hoofdstukken en in Hoofdstuk 8 tenslotte worden de algemene conclusies gepresenteerd.

2 BENADERING

2.1 INLEIDING

Bij de beïnvloeding van grondwatersystemen door menselijk handelen is het praktisch om onderscheid te maken tussen directe en indirecte beïnvloeding. Onder directe beïnvloeding worden verstaan menselijke handelingen direct aan het grondwater zoals injectie, onttrekking en drainage of toepassing van in-situ sanerings- en reinigingstechnieken zoals air-sparging, etc. Onder indirecte beïnvloeding worden handelingen verstaan die het grondwater in zijn kwantiteit of kwaliteit beïnvloeden, zoals oppervlaktewaterpeilbeheer, type vegetatie, industriële emissies en landbouwactiviteiten. Indirecte beïnvloeding van grondwater vindt vaak plaats bij de in- en uitgangen van grondwatersystemen (bijv. interactie van grondwater met onverzadigde zone en oppervlaktewater), terwijl directe beïnvloeding zowel bij de in- en uitgangen kan plaatsvinden als in de grondwatersystemen zelf middels onttrekkings/ injectieputten.

Voor de analyse van de praktijksituaties zijn in dit rapport de volgende elementen uitgewerkt voor drie verschillende gebieden, te weten het gebied rondom Apeldoorn, de Hollandse duinstrook en de Centrale Slenk:

- het functioneren van de voorkomende grondwatersystemen;
- de menselijke activiteiten in relatie tot grondwater en de huidige praktijk van grondwaterbeheer;
- de invloed van het menselijk handelen op het functioneren van de grondwatersystemen, in termen van de variabelen en parameters die het gedrag van grondwater bepalen (we moeten hierbij denken aan het effect van grondwateronttrekking op regionale stijghoogte, of het effect van type vegetatie op hoeveelheid grondwateraanvulling);
- het opstellen van een vorm van systeemgericht grondwaterbeheer waarbij het menselijk handelen in het perspectief van enerzijds de natuurlijk heersende grondwatersystemen geplaatst wordt en anderzijds de gewenste functies van het grondwater.

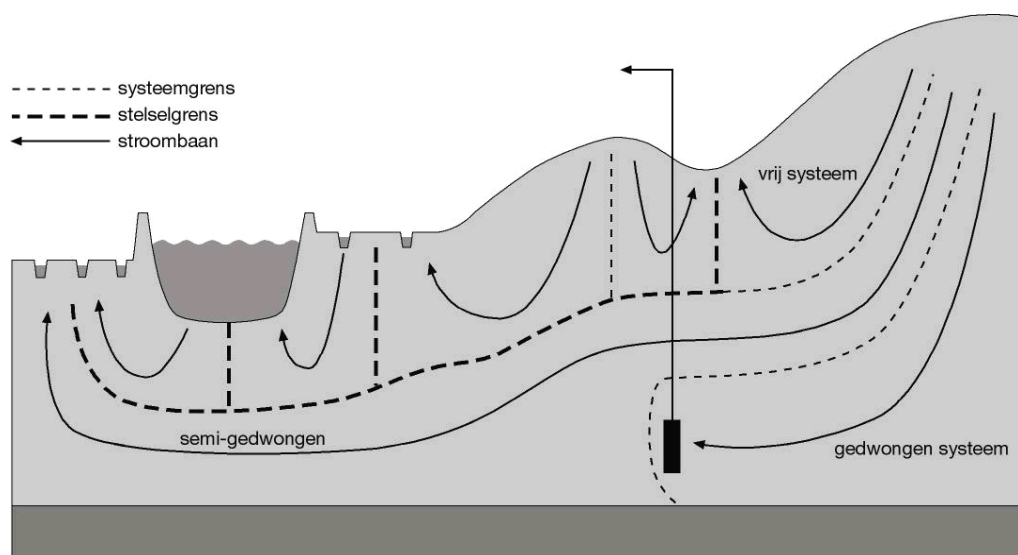
2.2 GRONDWATERSYSTEMEN

Voor een goed begrip van 'systeemgericht grondwaterbeheer' is het belangrijk om heldere definities te hebben van wat hydrogeologische systemen zijn. Hier worden

definities gegeven van de relevante termen die enerzijds de hydrologische aspecten dekken, en anderzijds de behoefte dekken vanuit grondwaterbeheer voor zowel de natuurlijke als de kunstmatige stromingssituaties (Griffioen et al., 2002).

Grondwatersysteem is een elementair systeem dat een 3-D doorstroomruimte heeft waarbinnen stroombanen vanuit een gedeelte van één samenhangend wegzijgings- of injectiegebied, parallel uitmonden of convergeren in één exfiltratie- of onttrekkingsgebied.

Grondwatersysteemstelsel is een samenhangende en begrensde 3-D ruimte in de ondergrond waarbinnen stroombanen zich bevinden die één aaneengesloten wegzijgings - of injectiegebied verbinden met één of meerdere exfiltratie- en/of onttrekkingsgebieden.

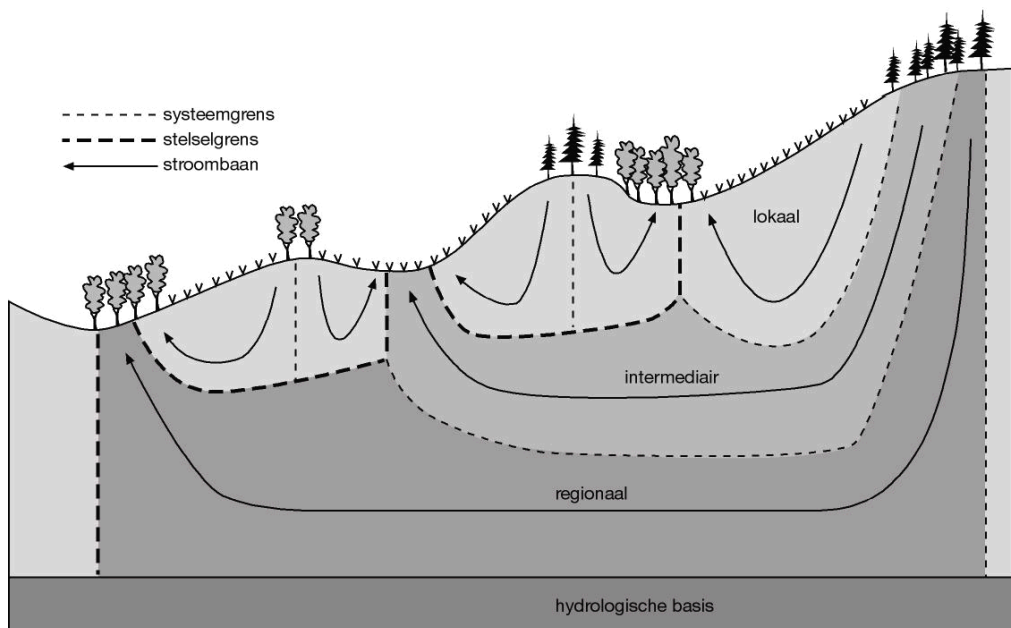


Figuur 2.1. Schematische weergave van een vrij, semi-gedwongen en gedwongen systeem.

Het grondwater in een systeem kan zowel onder natuurlijke condities stromen als door de mens geïnduceerd. Het is praktisch om onderscheid te maken tussen deze vormen van grondwaterstroming. De volgende typen van grondwatersystemen worden hiertoe onderscheiden (Figuur 2.1):

- vrije systemen zijn systemen waarbij het grondwater van 'hoog' naar 'laag' stroomt onder natuurlijke condities middels zwaartekrachtstroming en eventueel dichtheidstroming.

- semi-gedwongen systemen zijn systemen waarin de grondwaterstroming bepaald wordt door waterhuishoudkundige maatregelen aan oppervlaktewater, zoals polderpeilbeheer. Het handelt om oeverinfiltratiesystemen en poldersystemen waarbij de grondwaterstroming gecontroleerd wordt door huishoudkundige maatregelen in de exfiltratiegebieden en eventueel de wegzijgingsgebieden. De grondwaterstroming vindt plaats onder invloed van de zwaartekracht en de mens oefent dus alleen een passieve invloed uit door de topografische hoogte van de exfiltratie- en eventueel de wegzijgingsgebieden te bepalen.
- gedwongen systemen zijn systemen met actief gecontroleerde grondwaterstroming middels het gebruik van onttrekkings en/of infiltratieputten, bronbemalingspompen, etc. De mens heeft een directe en actieve invloed op de stroming. De in- en/of uitgangen van het grondwatersysteem zullen geheel in de ondergrond liggen bij het gebruik van putten. Het gaat hier om kunstmatige diepinfiltratie, grondwatersaneringen, drinkwateronttrekkingen, aquifer storage and recovery (ASR), etc.



Figuur 2.2. Schematische weergave van lokale, intermediaire en regionale grondwatersystemen en -stelsels.

Bij hydrologische systeemanalyse wordt traditioneel onderscheid gemaakt tussen lokale, intermediaire, regionale en eventueel supraregionale systemen (Fig. 2.2).

- Lokale systemen zijn systemen waarbij het instroomgebied (wegzijgingsgebied aan maaiveld, meer of injectieput) en het uitstroomgebied (beekdal, droogmakerij of onttrekkingsput) aan elkaar grenzen. De maximale diepte waarop het grondwater stroomt is gering en de verblijftijden zijn betrekkelijk kort tot maximaal enkele tientallen jaren. Een oeverinfiltratiewinning is een voorbeeld van een lokaal, gedwongen systeem.
- Intermediaire systemen zijn gebieden met tenminste één lokaal systeem tussen het instroom- en uitstroomgebied. De systemen zijn betrekkelijk ondiep, afhankelijk van de geohydrologische opbouw van de ondergrond (< 50 m-mv). De verblijftijden bedragen enkele tientallen jaren.
- Regionale systemen hebben het instroomgebied qua hydraulische potentiaal hooggelegen en het uitstroomgebied laaggelegen. Voor natuurlijke systemen geldt bijvoorbeeld dat het wegzijgingsgebied op de waterscheiding ligt en het kwelgebied in de regionale topografische depressie (beekdal, diepe polder). De systemen strekken zich gebruikelijk tot tamelijk grote diepte uit en de verblijftijden zijn tientallen tot maximaal enkele duizenden jaren. Een voorbeeld is het systeem van de Utrechtse Heuvelrug.
- Supraregionale systemen zijn systemen die zich uitstrekken over verschillende regionale waterscheidingen; qua hydraulische potentiaal is het instroomgebied absoluut hooggelegen en het uitstroomgebied absoluut laaggelegen. Het grondwater in deze systemen stroomt tot grote diepte (> 100 m-mv) en de verblijftijden zijn zeer lang (> 1000 jaar). Een voorbeeld is het systeem dat gevoed wordt op de Vlaamse Kempen en na een reistijd van ca 30.000 jaar kwelt rond Den Bosch.

2.3 DE WERKING EN FUNCTIES VAN GRONDWATER

Het grondwater vervult van nature een rol in de biogeochemie en de ecologie, en daarnaast heeft het grondwater ook allerlei functies voor de mens (Griffioen et al., 2002). De natuurlijke werking van het grondwater is vierledig:

- grondwaterafhankelijke oppervlaktewaterregimes
- grondwater-afhankelijke ecosystemen in kwelgebieden;
- grondwatermilieu als habitat voor grondwaterecosystemen;
- rol van het grondwater en de ondergrond in de biogeochemische cycli.

Ten behoeve van het handhaven van deze functies is een minimale fysische grondwaterkwantiteit tezamen met een minimale fysische en chemische grondwaterkwaliteit noodzakelijk. In deze studie is stilgestaan bij de eerste twee genoemde werking. Geen informatie was beschikbaar omtrent de derde werking en de abstracte, vierde werking is voor deze drie praktijkgevallen buiten beschouwing gelaten.

Naast een natuurlijke werking heeft het grondwater ook voor de mens functies. We kunnen de volgende antropogene functies onderscheiden:

- drinkwatervoorziening voor de mens;
- drinkwatervoorziening voor vee;
- watervoorziening voor levensmiddelen- en genotsmiddelenindustrie;
- watervoorziening ten behoeve van landbouwactiviteiten;
- strategische grondwatervoorraden;
- proceswater voor industrie;
- koelwater voor industrie;
- grondwater als opslagmedium voor warmte of koude.

Deze functies zijn alle directe functies, ofwel functies waarbij het grondwater gebruikt en verbruikt wordt, of waarbij er een ruimtelijke claim op de ondergrond wordt gelegd. De verschillende (belangrijke) gebruiks- of verbruiksfuncties die in de studiegebieden gelden, zijn bepaald.

Tenslotte heeft grondwater ook nog enkele indirecte functies, waarbij het grondwater niet verbruikt wordt. De aanwezigheid (of afwezigheid) van het grondwater leidt tot:

- het voorkomen van bodemdaling;
- het voorkomen van inzakken van civiel-technische constructies;
- het bewaard blijven van cultuur-historische (incl. archeologische) waarden.

De eerste en laatste indirecte functie zijn buiten beschouwing gelaten. De tweede komt aan bod in de case-studie van de kuststrook bij Haarlem

2.4 RECENTE ONTWIKKELINGEN IN WATERBEHEER

De noodzaak tot een goed (grond)waterbeheer bestaat om diverse redenen. Traditioneel ging het in Nederland bij waterbeheer om veiligheid en het voorkomen van wateroverlast. Deze reden is nog immer actueel. Naast veiligheid spelen ook gezondheid en duurzaamheid. Deze redenen zijn pas veel later opgekomen in grondwaterbeheer: aan het einde van de negentiende eeuw is aandacht gekomen voor goede drinkwatervoorziening in stedelijke gebieden. Ook speelt waterkwaliteit

indirect in relatie tot de voedselproductie en direct in relatie tot de landbouw. De landbouw is gebaat bij een goede poriewaterkwaliteit maar veroorzaakt ook weer ongewenste verontreiniging van het poriewater. Waterbeheer speelt ook een belangrijke rol bij de 'gezondheid' van ecosystemen. In geval van grondwater moeten we hier in de eerste plaats denken aan grondwaterafhankelijke vegetatie maar ook aan aquatische ecologie in kwelgebieden en grondwaterecosystemen. Tenslotte dient het waterbeheer zo te zijn dat sprake is van een duurzame ontwikkeling, ofwel water is weer herbruikbaar. We gebruiken het water meer en verbruiken het minder.

Er is dientengevolge de behoefte aan een vorm van grondwaterbeheer waarin de drie bovengenoemde motieven optimaal afgedekt worden. Dit betekent in de eerste plaats dat de natuurlijke eigenschappen van het grondwater onderkend worden. Het begrip systeemgericht grondwaterbeheer is hiertoe geïntroduceerd.

Wat zou kunnen worden verstaan onder 'systeemgericht grondwaterbeheer' ? In aansluiting op recente ontwikkelingen in waterbeheer zoals verwoord in diverse nota's (o.a. Waterbeleid 21e eeuw, Anders omgaan met water - kabinetsstandpunt, Werken met water veerkracht als strategie, Een waterbed voor Nederland - visie Natuurmonumenten, Bergen met beleid - visie Raad voor het Landelijk Gebied) zou bij dit begrip verwacht worden dat het hierbij om het beheer van grondwater gaat waarbij minimale verandering van de natuurlijke grondwaterstroming plaatsvindt. Dit sluit aan op het gedachtegoed van 'duurzaam grondwaterbeheer', 'water als ordenend principe' of het hydrologisch minder ambitieuze en wellicht realistischer, lagendenken met (grond-)water als mede-ordenend principe. De natuurlijke processen en mechanismen worden hierbij als medesturend beschouwd.

Er zijn echter ook hydrologen die het begrip 'systeemgericht grondwaterbeheer' en 'water als ordenend principe' anders interpreteren. Hierbij is het niet het water dat ordent maar moet het water gegeven zijn functies en eigenschappen zo goed mogelijk worden geordend, water als regelsysteem. In het recent verschenen advies 'Bergen met Beleid' van de Raad voor het Landelijk Gebied (RLG; mei 2001) wordt deze zienswijze aangehangen. De RLG concludeert:

Veerkracht en duurzaamheid kunnen niet worden hersteld als natuurlijke eigenschappen van het toekomstige watersysteem. Dat is een onrealistisch streven. De maat en schaal van onze ruimtelijke inrichting past niet meer bij de maat en schaal van de natuurlijke hydrologische systemen. Veerkracht zal vooral een artificiële basis krijgen in ruimte en techniek. De duurzaamheid van het

toekomstige waterbeheer zal vooral bepaald worden door de normstelling bij het beheer van het aangepaste systeem.

Er bestaan dus bij systeemgericht grondwaterbeheer verschillende opvattingen die meer of minder ecocentrisch dan wel antropocentrisch zijn (Verhoog, 1993). Binnen een louter antropocentrische benadering heeft de natuur, in tegenstelling tot de mens, geen eigen intrinsieke waarde. Elke waarde die de natuur zou kunnen hebben, wordt ontleend aan een belang voor de mens. De natuur wordt min of meer gezien als een voorraad grondstoffen, die de mens vrijelijk kan bezitten en/ of exploiteren. Bij een louter ecocentrische benadering zijn er behalve de mens nog andere natuurlijke entiteiten die een eigen, belangrijke intrinsieke waarde hebben, en daarom door de mens als meer of minder gelijkwaardige partners binnen het milieu moeten worden gezien.

Ook de invulling van het begrip duurzaamheid of duurzame ontwikkeling verschilt. Bij een antropocentrische zienswijze ligt het accent op duurzame ontwikkeling voor de mens waarbij de natuur wordt gelijkgesteld aan de menselijke omgeving, dat beter beheerd moet worden met het oog op toekomstige generaties. De definitie van Bruntland (1987) van het Engelse equivalent wordt vaak gehanteerd als begrip:

Sustainable development means that the need of the present generation are to be met without compromising those of future generations.

Deze definitie is antropocentrisch georiënteerd: de huidige mens moet het de toekomstige mens niet moeilijk of onmogelijk maken. De ultieme vorm van duurzaamheid waarbij het toekomstige generaties niet moeilijker gemaakt wordt, is een situatie waarin alleen maar vernieuwbare grondstoffen gebruikt worden. Er worden dus geen grondstoffen verbruikt die 'gemijnd' worden. Bij vernieuwbare hulpbronnen kunnen we bijvoorbeeld denken aan het verbouwen van gewassen die tot benzine of diesel omgezet kunnen worden, in plaats van het exploiteren van olievoorcomens. Het exploiteren van olievelden kenmerkt zich immers in het verbruiken van natuurlijke hulpbronnen. Gesloten kringlopen waarbij afvalproducten weer als grondstof dienen voor goederen, dragen ook bij aan duurzaamheid.

Door de United States Geological Survey (Alley et al., 1999) wordt duurzaam grondwaterbeheer (ground-water sustainability) gedefinieerd als:

De ontwikkeling en gebruik van grondwater op een wijze dat deze oneindig kan worden voortgezet zonder onacceptabele milieu-, economische en sociale gevolgen te veroorzaken

Hierbij wordt toegegeven dat 'onacceptabele gevolgen' een erg subjectief begrip vormt. Alley et al. (1999) concluderen dat elk grondwatersysteem uniek is en dat ook geldt voor zijn ontwikkelingsmogelijkheden. Er wordt ook gesteld dat grondwater moet worden beschouwd als een onderdeel van het totale watersysteem. De hoofddoelstellingen voor duurzaam grondwaterbeheer, voor zowel de Verenigde Staten als het Verenigd Koninkrijk (Dowing, 1998), zijn:

- Duurzame lange termijn opbrengsten vanuit aquifers;
- Effectief gebruik van grote volumes grondwater;
- Bescherming van de grondwaterkwaliteit;
- Bescherming van het aquatisch milieu door verstandig onttrekken van grondwater;
- Integratie van grondwater en oppervlaktewater in een samenhangend water- en milieumanagement.

Een meer ecocentrische invulling van het begrip duurzaamheid zou het gebruik van ecologische regulatiemechanismen van de natuur op de voorgrond stellen. Dit kan sterk vereenvoudigd doorvertaald worden naar minimalisatie van verbruik van natuurlijke hulpbronnen inclusief minimalisatie van water- en energieverbruik. Een consequentie van deze keuze is bijvoorbeeld dat waterbehandeling van grondwater voor drinkwaterconsumptie beperkt is tot de behandeling die nodig is om de natuurlijk voorkomende ongewenste verbindingen te verwijderen (veelal gaat het in Nederland dan om opgelost ijzer, mangaan en methaan).

2.5 SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER

Het uitgangspunt bij systeemgericht grondwaterbeheer is dat men de stromingssituatie van het grondwater en de samenstelling van het grondwater in algemene zin goed kent. Verder kan men de stijghoogtepatronen in de diverse aquifers duiden, en de reistijden van infiltratiegebieden naar kwelgebieden zijn bekend. De ontwikkeling van de grondwaterkwaliteit langs stroombanen is ook bij voorkeur bekend. Een volgende stap in systeemgericht (grond)waterbeheer is dat men de potenties die gebieden hebben, volledig onderkend. De potenties van natte kwelgebieden zijn anders dan van droge infiltratiegebieden. De laatste zijn als bouwlocaties bijvoorbeeld veel meer geschikt dan de eerste. Het is niet voor niets dat de bewoning van laag-Nederland vanuit de droge gebieden zoals strandwallen en

donken plaats vond. De eerste gebieden fungeren van nature als gebieden met grondwater-afhankelijke ecosystemen. Een ander gebruik van dit soort gebieden vraagt vrijwel altijd om (technische) maatregelen zoals drainage, waardoor men de gebieden in de gewenste vorm beheert en beheerst.

De potenties van gebieden dienen gecombineerd te worden met de functies die de mens aan zijn omgeving wil geven: recreatie, natuur, landbouw, wonen, drinkwaterwinning, industrie, infrastructuur. Bij het combineren van functies en potenties kunnen twee extreme situaties worden onderscheiden:

1. de functies zijn ondergeschikt aan de potenties en men past de functies aan op de potenties;
2. de gewenste functies worden gerealiseerd waarbij men zowel de potenties als de verandering van de natuurlijke potenties onderkent.

Bij de eerste benadering wordt aansluiting gezocht bij de natuurlijk heersende situatie, terwijl bij de tweede benadering de natuurlijke situatie beheerst wordt in een door de mens gewenste vorm. De tweede vorm vraagt in de praktijk om technische maatregelen, want men gebruikt of verbruikt de natuurlijke potenties bewust om de gewenste functies te realiseren. De eerste benadering wordt in het vervolg aangeduid met de term 'extensief duurzaam' en de tweede benadering met de term 'intensief technisch'.

Het is voor beide benaderingen van essentieel belang om het effect te kennen van grote ingrepen die in het verleden zijn geïnitieerd. Een voorbeeld hiervan is de regionale invloed van de bijna 100 jaar oude grondwateronttrekking van GistBrocades (DSM) op het grondwater rond Delft. De bebouwing uit de twintigste eeuw is gebaseerd op de grondwatersituatie met waterwinning, en het volledig stoppen van de winning zal tot grote hydrologische problemen leiden. Naar de toekomst toe moeten bij de actuele ruimtelijke inrichting ook autonome processen worden beschouwd. Een voorbeeld is de eventuele verandering in het klimaat zoals het effect van een toename van intensieve regenbuien bij het bepalen van de gewenste grondwaterregiems in het stedelijk gebied.

2.5.1 Extensief duurzaam grondwaterbeheer

Bij een extensieve duurzame invulling van systeemgericht grondwaterbeheer zal de voorkeur uitgaan naar het hanteren van ruimtelijke maatregelen voor technische maatregelen. Bij de adviezen in het kader van 'Waterbeleid 21e eeuw', dat overigens in zijn geheel op oppervlaktewater is georiënteerd en er voor moet zorgen

dat veiligheid toeneemt en wateroverlast afneemt, worden drie uitgangspunten voor de nieuwe aanpak genoemd:

1. anticiperen in plaats van reageren;
2. niet afwentelen van waterhuishoudkundige problemen (driestapsstrategie vasthouden-bergen-afvoeren);
3. meer ruimte naast techniek. Ruimtelijke ingrepen dienen beoordeeld te worden met een op deze uitgangspunten gebaseerde 'watertoets'.

In principe zouden deze uitgangspunten ook voor grondwater moeten gelden. Dit sluit aan bij de ideeën binnen de sector natuur (Een Waterbed voor Nederland - Natuurmonumenten, De toekomst van de natte natuur in Nederland - eindrapport NOV) waar gepleit wordt voor een aanpassing van het ruimtegebruik aan het watersysteem. Dit betekent rekening houden met de natuurlijke stroming van infiltratie- naar kwelgebied, van regenwater via grond- en oppervlaktewater naar zee op een wijze dat verschillende gebruiksfuncties elkaar zo min mogelijk verstoren. Natuurmonumenten stelt dat bij keuzes op het gebied van ruimtelijke ordening op drie manieren op de zelfordening kan worden ingespeeld:

1. Aanpassen van de ruimtelijke rangschikking van functies (serie- of parallelschakeling);
2. Aanpassen van bestaande functies in het watersysteem, zodat de verstoring van dit systeem wordt beperkt (buffering);
3. Creëren van extra ruimte voor het watersysteem, zodat het natuurlijker kan functioneren (veerkrachtig waterbeheer).

In het NOV-rapport worden verschillende preventieve maatregelen genoemd om verdroging te voorkomen, die deels aansluiten op de ideeën van extensief duurzaam systeemgericht grondwaterbeheer:

1. Een andere inrichting van ont- en afwateringssystemen;
2. Houdt rekening met watersysteem bij de inrichting van de ruimte;
3. Schakel bij waterwinning zo veel mogelijk over van grondwater naar oppervlaktewater of tref compenserende maatregelen;
4. Verplaats winningen naar gebieden die minder gevoelig zijn voor effecten van verdroging;
5. Kies voor een hogere grondwaterstand in stedelijke gebieden;
6. Bespaar op het watergebruik.

In de vierde Nota Waterhuishouding staat centraal dat de veerkracht van het watersysteem moet worden hersteld en dat het gebruik moet worden aangepast aan de dynamiek van het water. Ook in de vierde Nota Waterhuishouding is de beoogde benadering voornamelijk geïnspireerd door de overstromingen van de rivieren en

wordt het grondwatersysteem hoofdzakelijk beschouwd als een buffermogelijkheid. De gidsprincipes voor de versterking van veerkracht en voor de aanpassing van beleid, inrichting, beheer en gebruik van het watersysteem kunnen echter ook op het grondwaterbeheer toegepast worden (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Gidsprincipes voor het herstel van veerkracht van het (oppervlakte)watersysteem.

Gidsprincipes voor versterking veerkracht van het watersysteem	Gidsprincipes voor aanpassing beleid, inrichting, beheer en gebruik van het watersysteem
1. aanpassing aan natuurlijke dynamiek	1. stimuleer waterbewustzijn
2. bepaling ruimtedomein	2. geen afwenteling
3. herstel netwerken natuurlijke relaties	3. prioriteiten in functietoekenning
4. differentiatie, herstel variatie	4. ruimte in functie-eisen
5. wegnemen harde grenzen, herstel gradiënten	5. inrichting naar natuurlijke karakteristieken
	6. draagkracht normstellend

Samenvattend: bij extensief duurzaam systeemgericht grondwaterbeheer wordt aangesloten op de natuurlijke processen en de systeembenadering. De plaats binnen het (grond-)watersysteem respectievelijk infiltratie-, intermediair- of kwelgebied is voorwaardescheppend. Bij ingrepen mag geen afwenteling van problemen in tijd, ruimte en plaats ontstaan. Het verbruik van water moet worden afgestemd op de draagkracht van het systeem, hetgeen impliciet inhoudt dat (natuurlijke) grondwaterafhankelijke ecosystemen niet geschaad mogen worden door gebruik van grondwater door de mens. Het grondgebruik moet worden afgestemd op de kwaliteiten en kwetsbaarheid van het watersysteem.

2.5.2 Intensief technisch grondwaterbeheer

Bij een intensieve technische benadering staat het handelen van de mens centraal. Natuur staat in dienst van de mens als functie recreatie. De natuur vormt daarnaast een reservoir aan hulpbronnen dat ten dienste staat van de menselijke ontplooiing. De natuur is middels natuurontwikkeling net zoals de landbouw maakbaar. Waterhuishoudkundige en hydrologische problemen worden op een technische manier opgelost waarbij weinig gebruik wordt gemaakt van de natuurlijke potenties van het bodem- en watersysteem. Er is niet alleen sprake van het beheren van (grond)water, maar ook van het zo volledig mogelijk beheersen van (grond)water. Technische maatregelen worden getroffen op basis van een optimalisatie-vraagstuk van de verschillende antropogene functies die het grondwater en de bodem vervullen waarbij de gewenste 'natuurlijke' werking van het grondwater meegenomen wordt. In

geval van een duurzaam beheer van bestaanbronnen zal gestreefd moeten worden naar minimaliseren van de productie van afval en het voorkomen van verontreiniging. Intensief gebruik van energie voor bijvoorbeeld onttrekkingsputten, gemalen, etc. is echter niet uitgesloten, als de energiebronnen op duurzame wijze verkregen kunnen worden.

Een intensieve technische benadering gaat ervan uit dat we de natuur doorgronden en het gedrag van de ruimte om ons heen kunnen voorspellen. De zelfregulerende werking van de natuur wordt of ontkend, of volledig bekend verondersteld. Een intensieve technische benadering van een systeem veronderstelt begrip van dat systeem en dat kan bij complexe systemen niet eenvoudig zijn. Tennekes (1993) stelt dat het zelf-organiserend vermogen van een complex chaotisch systeem niet van buitenaf opgelegd kan worden, maar van binnenuit bestaat.

2.5.3 Historisch verloop in grondwaterbeheer

De essentie bij het verbeteren van het watersysteem bestaat uit het gebruik maken van de systeemeigenschappen en potenties van het systeem bepaalde gebruiksfuncties te ondersteunen. Hierbij kan aan herstel van het systeem gewerkt worden door gebruik te maken van de natuurlijke eigenschappen. Er kan, afhankelijk van de actuele ruimtelijke kansen en beperkingen, in verschillende gradaties van 'vernatuurlijking' gewerkt worden naar herstel. De systeemkennis kan echter ook de ingang vormen voor een volledig technische inrichting van het watersysteem. De beperking van deze laatste ingang heeft zich in verleden echter bewezen. De inrichters van een gebied hebben veelal gemeend dat ze het systeem dat aan de basis van het gebied ligt goed begrepen. In werkelijkheid trad afwenteling van problemen naar de omgeving op, of werden nieuwe problemen gecreëerd.

Een uitwerking van de hydrogeologische situatie in drie gebieden (met een uitsplitsing van één gebied) is gemaakt volgens de definities van systemen in paragraaf 2.2. Daarnaast zijn de dominante functies van het grondwater bepaald voor deze drie gebieden. De drie geselecteerde gebieden zijn:

- de omgeving van Apeldoorn met lokale tot regionale vrije en gedwongen grondwatersystemen;
- de Centrale Slenk met heden ten dage vooral lokale en intermediaire vrije systemen en (supra)regionale gedwongen grondwatersystemen;
- de Hollandse duinstrook in midden West-Nederland met vooral semi-gedwongen en gedwongen grondwatersystemen.

Het is niet geprobeerd om alle facetten die naar grondwaterbeheer verwijzen, te evalueren voor de studiegebieden, maar de belangrijkste fenomenen in kaart te brengen en de conflicten tussen deze fenomenen te etaleren. Daarnaast is het ook niet de bedoeling geweest om een methodologie te ontwikkelen hoe vanuit de optiek van systeemgericht grondwaterbeheer potenties van gebieden vastgesteld kunnen worden, antropogene functies gewogen kunnen worden en functies en potenties gecombineerd kunnen worden (zie ook Hoofdstuk 1). In plaats hiervan zijn met enige vrijblijvendheid gebiedsinrichtingen voorgesteld volgens twee contrasterende benaderingen waarbij rekening wordt gehouden met de (autonome) ontwikkelingen in de bestudeerde gebieden.

De accenten die gezet zijn voor de drie gebieden zijn verschillend. Het gebied Apeldoorn is gericht op de stedelijke problematiek van historische grondwaterverontreiniging, duurzaam wonen, wateroverlast, industriële onttrekkingen en actief grondwaterbeheer. Het gebied De Centrale Slenk is gericht op grensoverschrijdende grondwaterstroming, grootschalige menselijke ingrepen (de bruinkoolwinningen in de buurt van Aken, Duitsland), landbouwactiviteiten, drinkwaterwinning en ruimte voor de natuur. Het gebied Hollandse duinstrook is gericht op de drinkwaterwinning in de duinen, duinbeheer, de bollenteelt langs de duinrand en verstedelijking. Dit gebied is in twee deelgebieden uitgesplitst: de combinatie duin/stad gebied (Haarlem en omgeving) en de combinatie duin/landbouw (bollengebied).

3 DE GRONDWATERSITUATIE RONDOM APELDOORN

3.1 INLEIDING

Het bestudeerde gebied wordt begrensd door het hoogste deel van de Veluwe aan de westkant en de IJssel aan de oostkant. De strook is aan de noordkant enkele kilometers ten noorden van Apeldoorn afgeperkt, en aan de zuidkant enkele kilometers ten zuiden van het dorp Beekbergen. Apeldoorn is een grote stad met 150.000 inwoners waar de typische problemen van stedelijk waterbeheer een rol spelen: bodemverontreiniging, wateroverlast, behoefte van drinkwatervoorziening voor een grote groep burgers. Traditioneel kent de stad een papierindustrie die veel grondwater heeft onttrokken. In de directe omgeving speelt ontwikkeling van natuur een grote rol: de Veluwe maar ook de IJsselvallei. Er zijn daarom knelpunten ten aanzien van het gebruik en verbruik van grondwater.

3.2 HISTORISCH HEERSENDE GRONDWATERSYSTEMEN

Apeldoorn ligt op de overgang van de Veluwe naar de IJsselvallei. De Veluwe direct ten westen van Apeldoorn bestaat uit Pleistocene stuwwallen. Het landgebruik was (en is) hoofdzakelijk natuur met bos en heide als vegetatie. De IJsselvallei kent aan het oppervlak een overgang van Pleistocene fluvioglaciale en eolische afzettingen langs de rand van de stuwwallen en Holocene rivierafzettingen nabij de IJssel. Grote delen van dit gebied zijn traditioneel voor landbouw gebruikt. Het gebied wordt geografisch aangeduid als een kampen- en hoevenlandschap (Berendsen, 2000).

Figuur 3.1 toont het landgebruik in 1807 voor het gebied. In de figuur zijn drie landbouwgemeenschappen te herkennen op de flank van de Veluwe: Apeldoorn zelf, Omden en Wormingen. De laatste twee zijn opgegaan in Apeldoorn en zijn nu wijknamen binnen de gemeente Apeldoorn. Naast deze gemeenschappen is het koninklijk landgoed Het Loo herkenbaar, dat toendertijd ruim buiten Apeldoorn lag. Rondom de landbouwgemeenschappen lagen woeste gronden op zowel de Veluwe als wel in de IJsselvallei.

Een oppervlaktewaterstelsel is ook herkenbaar in de figuur. Dit stelsel hangt samen met de sprengen en de waterlopen in het gebied en de hiermee verbonden historische



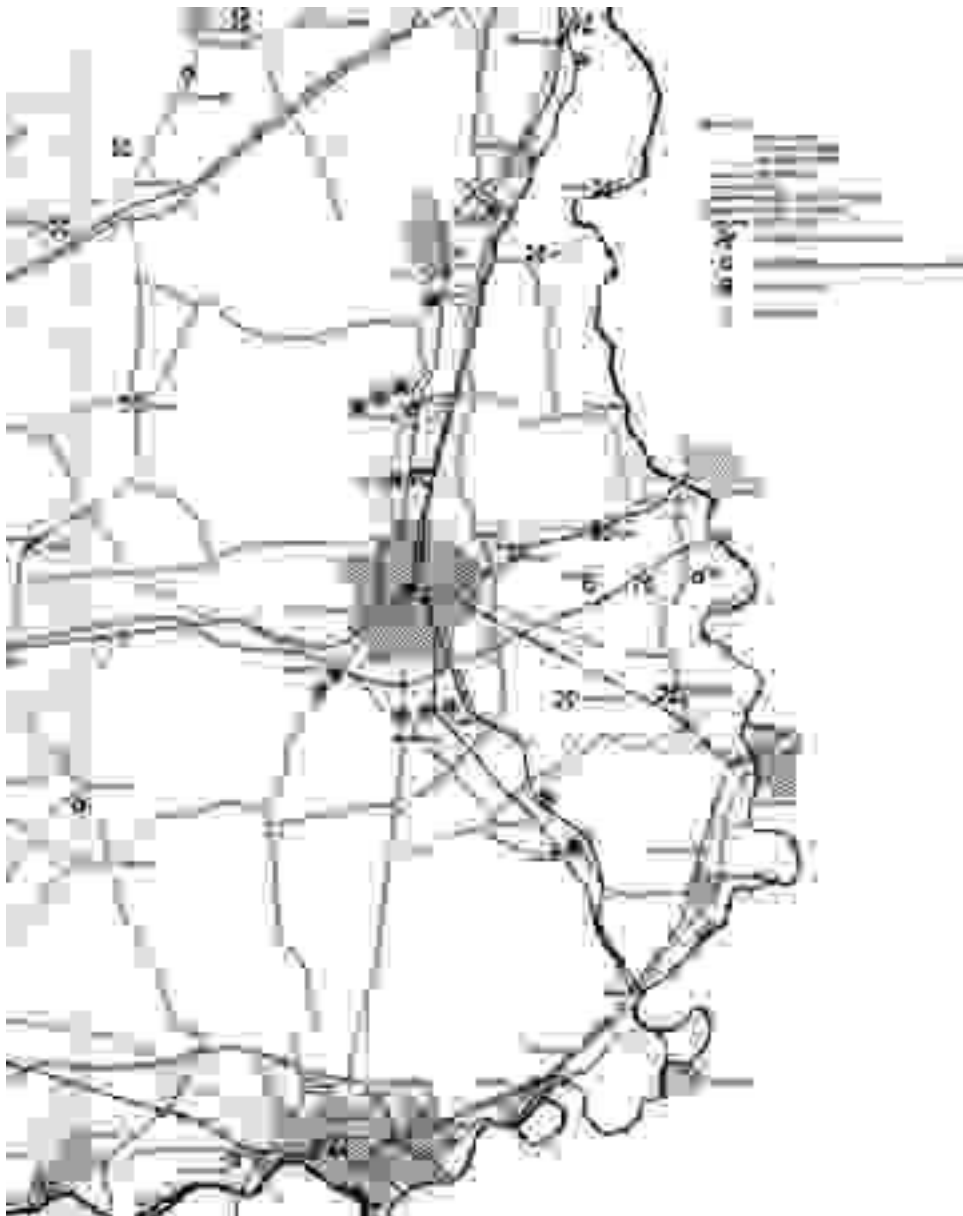
Figuur 3.1. Landgebruik in 1807 (afkomstig van Aardoom, 1989).

watermolens en wasserijen. In tegenstelling tot wat vaak verondersteld wordt, zijn de sprengen en waterlopen op de Veluwe niet natuurlijk van aard (Spoel, 1982). De sprengen moeten gezien worden als waterhuishoudkundige werken: men heeft een diepe gleuf gegraven tot men het grondwater aantapte. De ingravingen zijn meestal niet dieper tot 2-4 meter beneden maaiveld, maar reiken soms tot 7 meter beneden maaiveld. Meestal zocht men bij de aanleg naar sprongen in de topografie, omdat daar het grondwater ondieper voorkomt. Een belangrijke reden om de sprengen en beken aan te leggen was de nagenoeg constante waterafvoer die gerealiseerd werd over het gehele jaar heen, in plaats van de piekafvoeren die in de natuurlijke beken optraden. Op deze wijze garandeerde men zich het gehele jaar door van werkende watermolens.

Samenhangend zijn beekdijken opgeworpen en men heeft bochten in de beek gelegd, om het water te stuwen. Het vaak grillige patroon van de beken is dus meestal mensenwerk (Figuur 3.2). De oorsprong van de watermolens bij Apeldoorn gaat terug naar het einde van de Middeleeuwen. De eerste papiermolen in Apeldoorn dateert uit 1593. De industriële toepassing van de watermolens was niet alleen voor de papierindustrie, maar ook voor wasserijen en blekerijen, koperslagerijen en traditionele toepassingen als koren- en oliemolen (Hardonk, 1968). Aan het einde van de 19e eeuw wordt de wateraandrijving vervangen door stoomaandrijving en treedt schaalvergroting in de papierindustrie op.

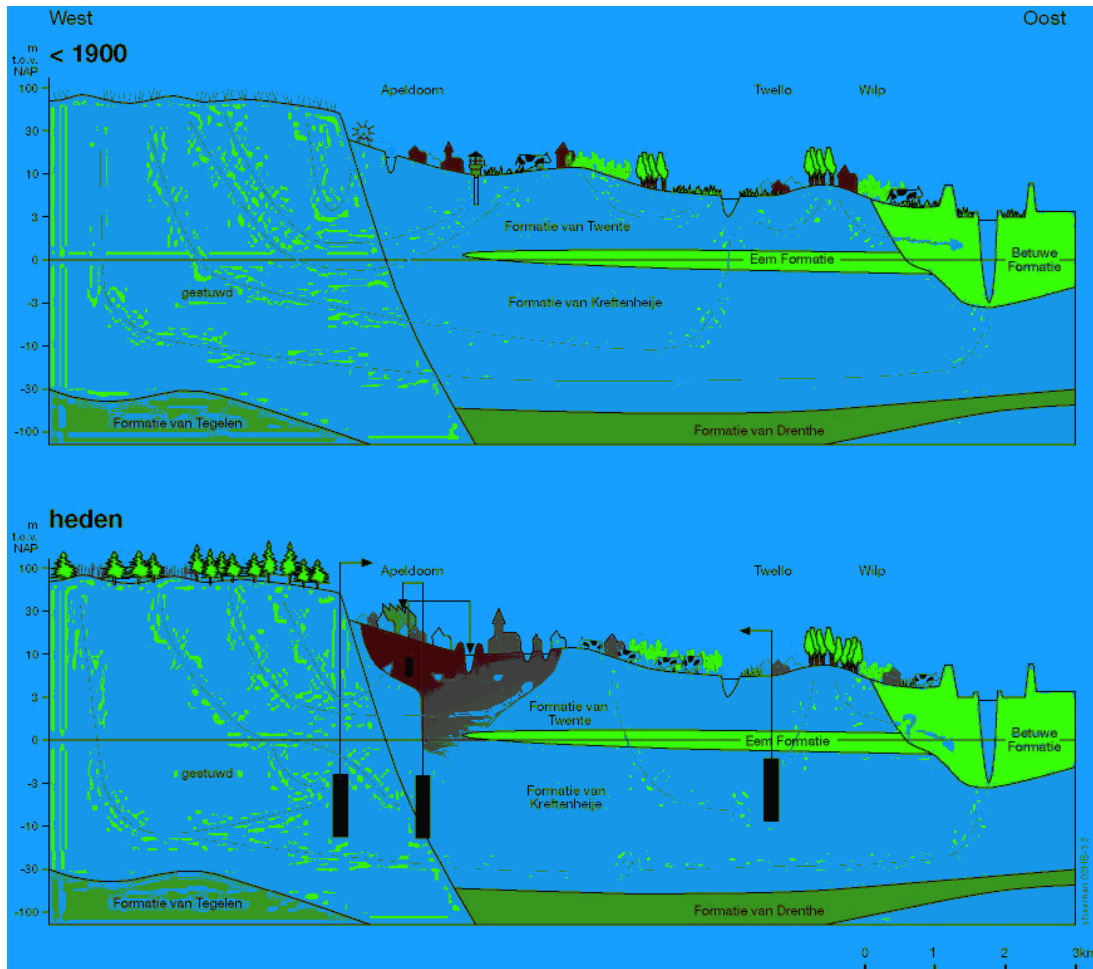
Zowel voor de papierindustrie als de wasserijen was de waterkwaliteit van de beken belangrijk: ijzerhoudend water was ongewenst want bij oxidatie van het gereduceerde ijzer door beluchting ontstaat rood of geel ijzerhydroxide. Dit geeft aan het papier of de was een ongewenste kleur. De sprengen konden dus niet te diep aangelegd worden en mogelijk was de ene spreng wel geschikt voor de watervoorziening van de papiermolens of wasserijen en de andere niet.

Drassige gebieden met ondiepe grondwaterstanden kwamen voor in een zone van enkele kilometers breed aan de voet van de Veluwe, waar fluvioglaciale afzettingen voorkomen (Kloosterman, 1996). Door de uitbreiding van de Grift en parallelle weteringen werd het gebied noordwaarts ontwaterd. Meer in de richting van de IJssel kwamen geen drassige gebieden voor. Geologisch gezien, komt hier een dekzandgebied voor en Holocene rivierafzettingen. Enkele natuurlijke beken die ontsprongen aan de voet van de Veluwe, kwamen ook voor in de IJsselvallei. De meeste beken waren echter geassocieerd met de kunstmatige gecreëerde sprengen.



Figuur 3.2. Oppervlaktewaterstelsel rondom Apeldoorn in de 19e eeuw en het voorkomen van watermolens (afkomstig van Hardonk, 1968).

De heersende grondwatersystemen van de Veluwe waren vrije systemen, waarbij we een omvangrijk lokaal systeem kunnen onderscheiden dat exfiltreerde aan de voet van de Veluwe en een regionaal systeem dat exfiltreerde in de IJssel (Figuur 3.3a). Verder heeft zich hoogstwaarschijnlijk een lokaal systeem voorgedaan dat infiltratie kende op dekzandvoorkomens in de IJsselvallei en kwel in de IJssel.



Figuur 3.3. Heersende grondwaterstromingssituatie in het verleden (a) en zoals tegenwoordig voorkomend (b) in Apeldoorn en omgeving.

3.3 MEER RECENTE MENSELIJK INGREPEN IN DE GRONDWATERSYSTEMEN

De papierindustrie speelde niet alleen in het verleden een rol bij de hydrologie rondom Apeldoorn maar ook in de twintigste eeuw. Bij Apeldoorn doen zich diverse industriële grondwateronttrekking voor, waarbij de papierindustrie tot de grootste onttrekkers behoorde (en behoort). Twee grote onttrekkingen die de afgelopen jaren in debiet zijn afgenomen in het kader van anti-verdrogingsbestrijding, liggen aan de zuidwest kant van Apeldoorn bij Ugchelen. Naast industriële onttrekkingen zijn er tegenwoordig drie omvangrijke drinkwaterwinningen: pompstation Amersfoorsteweg aan de noordwest kant van Apeldoorn, pompstation Schalterberg in Beekbergen (ten zuiden van Apeldoorn) en pompstation Vaessenallee in Twello (ten noordoosten van Apeldoorn). Twee van de drie winningen zijn op de rand van de Veluwe gesitueerd en

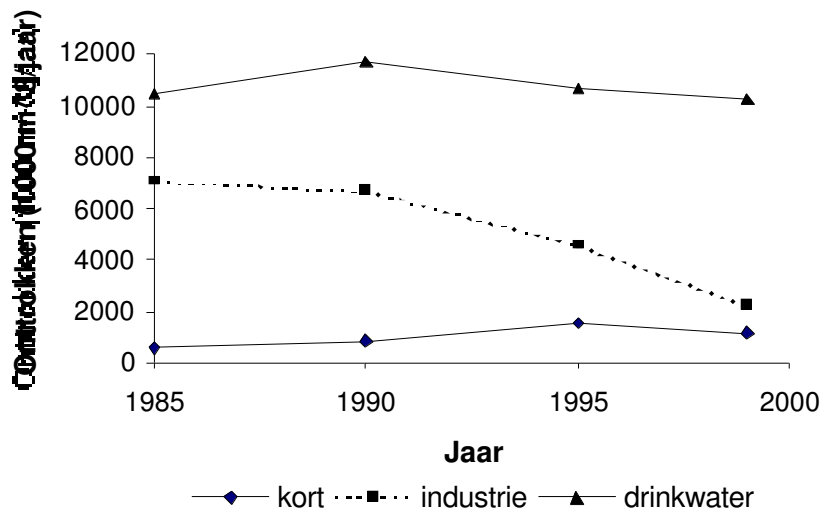
de derde ligt in de IJsselvallei. Pompstation Amersfoortseweg is een winning die al sinds 1894 bestaat en pompstation Schalterberg is een nieuwe winning die in 1982 in gebruik is genomen. De grondwateronttrekkingen en lokale ontwatering hebben er toe geleid dat meerdere sprengen en beken droog zijn gevallen. Het bekenstelsel is dus van veel minder belang geworden voor de hydrologie in Apeldoorn dan in het verleden.

Figuur 3.4 presenteert het verloop in de onttrokken hoeveelheden grondwater voor de afgelopen 15 jaar voor drie typen onttrekkingen. De totaal onttrokken hoeveelheid grondwater bedroeg in 1985 ca. 18 miljoen m³. Deze hoeveelheid is één orde grootte groter dan de totale onttrekking in 1928 (Commissie Wateronttrekking Veluwe, 1933): 697.000 m³ werd onttrokken voor drinkwatervoorziening en 1.000.000 voor wasserijen, papierfabrieken, enz. Wanneer we uitgaan van een nuttige grondwateraanvulling van 300 mm/j komt een onttrokken hoeveelheid van 18 miljoen m³ overeen met een intrekgebied van 60 km². De industriële onttrekkingen zijn nu met meer dan een derde gereduceerd; de drinkwaterwinningen zijn constant gebleven en de kortdurende onttrekkingen laten een stijging zien. Het is niet bekend of het laatste samenhangt met een toename in grondwatersaneringen in deze tijdsspanne. Het effect van de grondwaterwinningen op de grondwaterstand van het freatisch pakket bedraagt regionaal 100 tot 200 cm; lokaal is het effect veel groter tot meer dan 5 meter (Gehrels, 1999). De verlagingen treden op de Veluwe ook op waar de grondwaterspiegel van nature diepgelegen is.

Het Apeldoornsch kanaal is aangelegd in twee fasen in 1830 en 1869. Het wordt medegevoed door sprengen. Het kanaal is deels infiltrerend en deels drainerend. De IJssel is de oostelijke grens van de regionale watersystemen rondom Apeldoorn. De IJssel is tot aan Deventer drainerend en vanaf Deventer tot het Ketelmeer vrijwel continue infiltrerend (Kloosterman, 1996).

De herbebossing van de woeste gronden op de Veluwe met naaldbomen heeft plaats gevonden aan het begin van de 20e eeuw en de 40'er en 50'er jaren. Gehrels (1999) heeft afgeleid dat de grondwateraanvulling hierdoor met ca. 80 mm/j is verminderd.

Met betrekking tot de grondwaterkwaliteit kan onderscheid gemaakt worden tussen grondwaterkwaliteit in relatie tot de huidige drinkwaterwinningen en algemene verontreiniging van grondwater vanuit puntbronnen (in stedelijk gebied). Het pompstation Amersfoortseweg is gesitueerd aan de noordoost kant van Apeldoorn en het intrekgebied ligt dientengevolge grotendeels in de natuur. Het zuidoostelijk deel



Figuur 3.4. Ontwikkeling van de onttrokken hoeveelheid grondwater in Apeldoorn en omgeving in de afgelopen 15 jaar (gegevens ontleend aan Provincie Gelderland).

van het intrekgebied bevindt zich binnen de bebouwde kom van Apeldoorn. De grondwaterkwaliteit bij deze winning is goed. Behalve voor Fe en Mn doen zich geen overschrijdingen van de drinkwaternormen voor. Het grondwater dat onttrokken wordt uit de winputten die grondwater vanuit het stedelijk gebied aantrekken, is meer gemineraliseerd dan grondwater uit de overige winputten. Er is dus duidelijk sprake van een relatie tussen landgebruik en grondwatersamenstelling. De ruwwaterkwaliteit is in de periode 1980-1996 nagenoeg constant gebleven: Cl is 16 mg/l, NO₃ is 3-4 mg/l, Ca is 14 mg/l en de Fe-concentratie is schommelend toegenomen van 0,6 naar 0,8 mg/l. Het zijn waarden die representatief zijn voor oud grondwater en/ of grondwater onder natuurgebieden (Biemond, 1940; Meinardi, 1974). Ten opzichte van het begin van de jaren zestig is het gehalte opgeloste stoffen wel toegenomen. Meinardi (1999) stelt dat de macrosamenstelling van het grondwater op de Veluwe en die van de sprengen op de rand van de Veluwe, primair bepaald wordt door atmosferische processen en minder door oplos- of verweringsreacties in de ondergrond. Wel treedt denitrificatie van opgelost nitraat op in de ondergrond. Voor de winning Schalterberg is de situatie vergelijkbaar met die van pompstation Amersfoortseweg, met de opmerking dat het belang van een stedelijke omgeving nog geringer is. De winning Vaessenallee is wezenlijk anders gelegen; geen nadere informatie is ingewonnen voor deze winning. De twee grote drinkwaterwinningen aan de rand van de Veluwe hebben dus een gunstige ligging met betrekking tot de bestendigheid van een goede grondwaterkwaliteit.

Herhaaldelijk zijn chloorkoolwaterstoffen aangetroffen bij pompstation Amersfoortseweg. Opmerkelijk is hierbij dat dit niet voor de winputten in de zuidoostelijke richting geldt, maar voor de overige putten die grondwater vanuit natuurgebieden aantrekken. Dit fenomeen is vaker waargenomen door NUON en er is geen directe verklaring voorhanden. De concentraties liggen beneden de drinkwaternorm.

De verontreinigings situatie van het grondwater in het stedelijk gebied is behoorlijk uitvoerig onderzocht. Bij de Inventarisatie Bodemverontreinigingslocaties was voor de situatie tot en met december 1991 sprake van iets meer dan 400 verdachte locaties binnen de gemeente Apeldoorn. In 127 gevallen was sprake van grondwaterverontreiniging en in 19 gevallen heeft men geconstateerd dat geen sprake was van grondwaterverontreiniging. In de overige gevallen was het onbekend. Zware metalen, chloorkoolwaterstoffen en BTEX-componenten zijn de belangrijkste grondwaterverontreinigingen. De ernstige verontreinigingsgevallen doen zich met name voor in het zuidwest kwart van Apeldoorn en ten noorden van het centrum nabij het Apeldoornsch Kanaal (Tebodin, 2000). Tebodin (2000) heeft voor het westelijk deel van Apeldoorn clusters in grondwaterverontreiniging onderscheiden en deze vergeleken met de gebieden waar wateroverlast voorkomt (Fig. 3.5). We zien dat in dit gebied clusters van verontreinigingsgevallen voorkomen binnen gebieden waarin ook wateroverlast voorkomt. Beheersing of sanering van deze verontreinigingsgevallen kan dus in principe gecombineerd worden met het voorkomen van wateroverlast.

Ten aanzien van de grondwaterverontreinigings situatie dieper dan 10 m-mv geldt dat zich ca. 15 gevallen van zogenaamde diepe grondwaterverontreiniging voordoen (gegevens Bodeminformatiesysteem, gemeente Apeldoorn). Er is sprake van grondwaterverontreinigingsgevallen met concentraties groter dan 100 µg/l tot maximaal enkele tientallen milligrammen per liter.. Dit betreft zowel gechloreerde koolwaterstoffen (tri en per), monoaromatische koolwaterstoffen (benzeen, toluen, ethylbenzeen en de xylenen) als sporenmetalen (Ni, Zn, As, Cu, Pb, Cr). In een enkele geval betreft het een verontreinigingsgeval met twee stofgroepen. De diepste grondwaterverontreiniging betreft een geval met tri tot 142 m-mv. De diepreikende verontreinigingsgevallen komen overwegend in het zuidwesten van Apeldoorn en Ugchelen voor. De grondwaterverontreinigingen met tri en per zullen samenhangen met DNAPL's (Dense Non-Aqueous Phase Liquids: niet-waterige oplossingen die zwaarder dan water zijn) in de ondergrond. DNAPL's zijn zwaarder dan (grond)water en kunnen onder zwaartekracht preferent naar beneden zakken tot



Figuur 3.5. Clusters van grondwaterverontreinigingsgevallen en stadsgebieden met wateroverlast (afkomstig van Tebodin, 2000).

ondoorlatende lagen. De Eem Formatie die als ondiepe, scheidende laag in de IJsselvallei voorkomt rondom NAP, komt alleen in het oostelijk deel voor. Aan de westzijde van de IJsselvallei zijn in een eerder stadium, nadat het ijs was teruggetrokken, op dezelfde hoogte fluvioglaciale afzettingen als erosieproducten van de stuwwallen gesedimenteerd. Het geologische beeld is daarom dat een scheidende laag ontbreekt onmiddellijk langs de stuwwallen; het preferent uitzakken van DNAPL's naar de diepte is daarom mogelijk in deze zone. De slecht doorlatende Drenthe afzettingen op grotere diepte in de IJsselvallei reiken mogelijk wel tot aan de stuwwallen. Ook verontreiniging met zware metalen komt voor tot opmerkelijk grote diepte voor, omdat deze verontreiniging herhaaldelijk samenhangt met historische lozingen van afvalzuur. Het zuur was zwaarder dan zoet grondwater en door dichtheidstroming kon dit ook uitzakken.

In de twintigste eeuw is Apeldoorn in toenemende mate verstedelijkt. In veel gevallen zijn voormalige landbouwgronden en natte gebieden langs de rand van de Veluwe bebouwd. Door de grote onttrekkingen aan de rand van de Veluwe was de grondwaterstand verlaagd in deze gebieden. Daarnaast zijn de omliggende landbouwgronden ook ontwaterd door diepe afwateringsmiddelen. Ook dit had een

effect op de grondwaterstand en stijghoogte in de omgeving. Meer recentelijk zijn de grondwaterwinningen in omvang afgenomen. Hierdoor is de grondwaterstand gestegen en is sprake van wateroverlast in verschillende woonwijken zoals De Bouwhof (Ugchelen), De Maten en Zevenhuizen. De wijk De Maten ligt in een voormalig moerasgebied en Ugchelen ligt in een komvormige insnijding op de rand van de Veluwe. Het behoeft daarom geen verwondering dat in deze wijken grondwateroverlast optreedt. Bij de planning en bouw van de woningen is geen rekening gehouden met het natuurlijk grondwaterregime. Het herstel van het natuurlijk grondwaterregime geeft nu problemen ten aanzien van wateroverlast. De woonwijk Zuidbroek zal in de nabije toekomst ten noordoosten van Apeldoorn in een huidig landbouwgebied verrijzen. Een manier waarop zo'n woonwijk in harmonie met het natuurlijk landschap en hydrologie gestructureerd kan worden is door Kramer en Tempelaars (1999) uitgewerkt.

De provincie Gelderland heeft in conceptvorm een natuurdoelenkaart opgesteld. Deze kaart incorporeert de gebieden van de Ecologische Hoofdstructuur. Voor de omgeving van Apeldoorn is het gebied van de Veluwe onderdeel van de natuurdoelen. Daarnaast zijn er kleine zones gerelateerd aan beken en dekzandruggen ten westen van het Apeldoorns Kanaal aangewezen als natuurdoelen. De sprengen vanaf de rand van de Veluwe tot aan het Apeldoorns Kanaal worden ook beschouwd als ecologisch waardevolle wateren. De natuur op de Veluwe is weinig afhankelijk van het grondwater. De aquatische ecologie in de beken die afkomstig zijn van de sprengen, en de vroegere natuurgebieden in de IJsselvallei zijn wel grondwaterafhankelijk. De hedendaagse natuurgebieden in de IJsselvallei zijn veel minder grondwaterafhankelijk; zij komen vooral voor op de droge gebieden van de dekzandruggen.

De heersende grondwatersystemen zijn bovenal gedwongen systemen die samenhangen met de grondwaterwinningen (Figuur 3.3b). Zowel aan de rand van de Veluwe als in de IJsselvallei bij Twello (en in Deventer) doen zich grote grondwateronttrekkingen voor. De heersende grondwatersystemen zijn gedwongen systemen met infiltratie op de Veluwe en waarschijnlijk ook in de IJsselvallei. De vrije systemen zijn klein en zijn gerelateerd aan de sprengen aan de rand van de Veluwe. Door de reductie in grondwateronttrekkingen in de afgelopen jaren zijn de vrije systemen die exfiltreren aan de rand van de Veluwe weer in belang toegenomen; zij geven aanleiding tot wateroverlast in het stedelijk gebied. Of zich nog een lokaal vrij systeem in de IJsselvallei voordoet, is onbekend. De IJssel heeft op jaarbasis tot aan Deventer een drainerende werking; vanaf Deventer tot aan het Ketelmeer is de IJssel infiltrerend. Het peil van het Apeldoornsch Kanaal wijkt niet veel af van de

grondwaterstijghoogte in de omgeving. Het Apeldoornsch Kanaal kan daarom zowel infiltrerend als drainerend werken.

3.4 MOGELIJKHEDEN VAN SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER

In de vorige twee paragrafen is een reconstructie geschetst van de historische menselijke ingrepen in het studiegebied. Tabel 3.1 vat de ingrepen en het effect van de ingrepen op de hydrogeologie samen. Voor de toekomst kan een aantal algemene autonome ontwikkelingen genoemd worden, die ook voor het studiegebied relevant zijn: verdere verstedelijking (in de zone Apeldoorn – Deventer – Zutphen), extensivering van de landbouw, toenemende ruimte voor natuur. Ten aanzien van de watersystemen zijn (provinciale) uitgangspunten geformuleerd (GS Gelderland, 1999):

1. nadelige effecten van de ontwatering van het stedelijk gebied op het regionale watersysteem moeten worden voorkomen;
2. wateroverlast voor wegen en bebouwing in stedelijk gebied voorkomen, of tot het uiterste beperken;
3. realiseren van Ecologische Hoofdstructuur en optimalisering waterhuishoudkundige systeem zonder dat landbouwkundige schade optreedt;
4. wateroverlast en vochttekort in landbouwgebieden minimaliseren;
5. maximaliseren van infiltratie van regenwater in stedelijk gebied, bijvoorbeeld door afkoppeling;
6. besparen drinkwatergebruik;
7. bodemverontreinigingsproblematiek voor 2025 beheersen, maar met minimale stagnatie van de algemene ruimtelijke ontwikkelingen.

Voor het stedelijk gebied acht men het wenselijk om bij de aanpak van grondwaterverontreiniging meer gebiedsgericht beleid in plaats van gevalsgericht beleid te gaan voeren, waarbij men daarnaast wateraanbod beter wil afstemmen met watervraag (Tebodin, 2000). Een voorbeeld is water dat vrijkomt bij grondwatersanering te gebruiken voor industriële toepassingen. De verontreinigingssituatie van het grondwater dient opgeheven te worden middels extensieve of intensieve sanerings- en beheersingsmaatregelen. Naast de provinciale uitgangspunten heeft de gemeente Apeldoorn ook enkele specifieke aandachtspunten voor de toekomst. Belangrijk is met name dat men de Grift terug in de stad wil, de onnatuurlijke sprengen wil handhaven en wateroverlast in woonwijken moet voorkomen. Daarnaast leeft bij de waterleidingbedrijven het plan om uit het in de

Grift verzamelde sprenge water zonder uitvoerige zuivering drinkwater te gaan produceren.

Tabel 3.1. Ingrepen van de mens op het functioneren van de hydrogeologische systemen rondom Apeldoorn, en hun belangrijkste effecten en gevolgen voor bodemgebruik.

Directe ingreep	Belangrijk hydrogeologisch effect	Gevolg voor bodemgebruik
Aanleg sprenge	aftappen grondwater	ontwikkeling industrie
Grondwatersanering middels Pump-and-Treat, bronbemaling	verwijdering vervuild grondwater	verbetering grondwaterkwaliteit
Laagwaardige industriële grondwateronttrekking	verlaging grondwaterstand, afname grondwaterkwaliteit	Verdroging
Hoogwaardige drinkwaterwinning	verlaging grondwaterstand, afname grondwaterkwaliteit	Verdroging
Indirecte ingreep		
Drainage	beperking infiltratie naar diepere ondergrond	Verdroging
Kanaalaanleg	interactie grond- en oppervlaktewater	Divers
Landbouw	verslechtering grondwaterkwaliteit	vermesting, verzuring
Verstedelijking, industrialisatie	verslechtering grondwaterkwaliteit	Divers
Oppervlaktewaterpeilbeheer	verandering hydrogeologische systemen	beheersing hydrologie
Bebossing en ontbossing	verandering grondwateraanvulling	verdroging/ vernatting

Extensieve duurzame benadering

Voor een extensieve duurzame benadering zouden de natte gebieden weer nat moeten kunnen worden, want het kunstmatig ontwateren of draineren van gebieden vergt immers maatregelen. De kwelgebieden liggen van nature in de IJsselvallei op geringe afstand van de Veluwe. Deze strook is daarmee niet geschikt voor verstedelijking. Gelet op het feit dat de regio Apeldoorn – Deventer – Zutphen wel een groeigebied is, dient de verstedelijking gerealiseerd te worden op de flanken van de Veluwe, waar nu nog natuur is, en de droge dekzandruggen in de IJsselvallei (Figuur 3.6a). Voordeel van deze keuze is dat bebouwing plaats vindt in infiltratiegebieden en dat moderne woonwijken een geringe belasting van het grondwatersysteem kunnen betekenen. Scheiding van hemelwaterafvoer en afvalwaterafvoer maximaliseert de grondwateraanvulling. Het herstellen van de natte gebieden kan in eerste instantie gekoppeld worden aan de ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuur en aan bepaalde vormen van landbouw.

De heersende grondwaterverontreiniging onder Apeldoorn dient in de komende tientallen jaren gesaneerd te worden. De kansen voor natural attenuation (langs

natuurlijke weg verdwijnen van verontreiniging) van de heersende (diepe) grondwaterverontreinigingen zijn betrekkelijk gering. Zware metalen worden in de lichtanaërobe grondwatersystemen niet vastgelegd in sulfides. Het is niet bekend of er ook kalkhoudende afzettingen aanwezig zijn, die door sorptie bij neutrale pH het transport van zware metalen sterk zullen retarderen. Natuurlijke afbraak van chloorkoolwaterstoffen is meestal beperkt in lichtanaërobe milieus: veel drinkwaterwinningen op de rand van de stuwwallen kampen met problemen met tri. Monoaromatische koolwaterstoffen zoals benzeen zijn uiterst moeilijk afbreekbaar in anaëroob grondwater. Bij de haalbaarheid van natural attenuation als 'algemene' saneringsmaatregel kunnen daarom ook kanttekeningen worden geplaatst. Sanering middels extensieve grondwatersanering, al dan niet gekoppeld aan bronverwijdering, is waarschijnlijk de meest effectieve wijze. Sanering en beheersing middels grondwateronttrekkingen kunnen gecombineerd worden met gebruik van het onttrokken grondwater als grijswater. Eventueel kan het onttrokken grondwater zodanig worden gezuiverd, dat het op het oppervlaktewater geloosd kan worden.

De drinkwatervoorziening voor een gebied met 150.000 inwoners vraagt op jaarbasis om 7 Mm³, uitgaande van 125 l per persoon per dag. Uitgaande van een grondwateraanvulling van 300 mm/j resulteert dit in een intrekgebied van 23 km². Een efficiënte slag in de voorradigheid van grondwater kan gemaakt worden door de Veluwe te verloofen; de grondwateraanvulling onder loofbos kan gemiddeld 445 mm/j bedragen terwijl deze onder een gemiddeld conifeerbos 357 mm/j bedraagt (Gehrels, 1999). Verloofing van de Veluwe leidt daarmee tot een grotere grondwateraanvulling. Intrekgebieden zullen navenant kleiner zijn, bij een gegeven grondwateronttrekking. Het is waarschijnlijk verstandig om de grondwaterwinningen meer naar het midden van de Veluwe op te schuiven: de grondwaterstand in het midden van de Veluwe is diep en de grondwaterstand heeft geen invloed op de toestand van de vegetatie. Verlaging van de grondwaterstand door onttrekking heeft daarom geen of weinig effect op de toestand van de vegetatie. Op de rand van de Veluwe zal de vegetatie echter wel afhankelijk zijn van de diepte van de grondwaterspiegel, want de grondwaterspiegel is hier betrekkelijk ondiep gelegen. Een daling van de grondwaterspiegel door onttrekking kan hier resulteren in een meer gestresste vegetatie. Een complicatie voor het gebied is dat mede door de gestuwde afzettingen geregeld sprake is van hangwaterprofielen

Naast onttrekking op de Veluwe moet mogelijk ook grondwater onttrokken worden in de IJsselvallei. De te onttrokken hoeveelheid dient wel minimaal te zijn, om de landbouw en natuurontwikkeling in dit gebied niet te schaden. De grondwaterstandverlaging mag niet te groot zijn, want anders is er sprake van

droogteschade aan de gewassen. Verschuiving van de bestaande winningen kan tot meer of minder droogteschade en wateroverlast leiden; het onttrekken van grondwater op de Veluwe leidt ten alle tijde wel tot minder kwel aan de rand van de Veluwe.

Het is zeer de vraag of er voldoende water in het gebied is om het (onnatuurlijke) oppervlaktewaterstelsel aan de rand van de Veluwe en in Apeldoorn te handhaven of zelfs uit te breiden. Naast deze behoefte is er immers ook de noodzaak voor drinkwaterwinning, landbouw, (grondwater-)afhankelijk natuur. Het handhaven van de kunstmatige sprengen aan de rand van de Veluwe geniet geen prioriteit in een extensieve duurzame benadering. De sprengen vergen ook extra onderhoud ten opzichte van de natuurlijke bronbeken en laaglandbeken die rondom de Veluwe voorkomen (Jongman & Van de Nes, 1982). Verzanding van de sprengkop dient voorkomen te worden, de hydrologische geïsoleerde delen (doorvoerzones) dienen geïsoleerd te blijven en drainerende delen dienen drainerend te blijven.

Er zal voor de IJsselvallei sprake zijn van extensivering van de landbouw ten gunste van zowel natuurontwikkeling als verstedelijking. De relatief hooggelegen dekzandruggen zullen bebouwd worden. Wateroverlast wordt zo van nature voorkomen, en de belasting van het infiltrerende grondwater kan beperkt blijven. De laaggelegen delen van de IJsselvallei zullen opgedeeld worden in natuurgebieden en landbouwgebieden. De meest vruchtbare delen moeten hierbij aangewend worden voor landbouw. De laagst gelegen delen worden voor natuurontwikkeling vrijgegeven en de tussengebieden zijn beschikbaar voor landbouw.

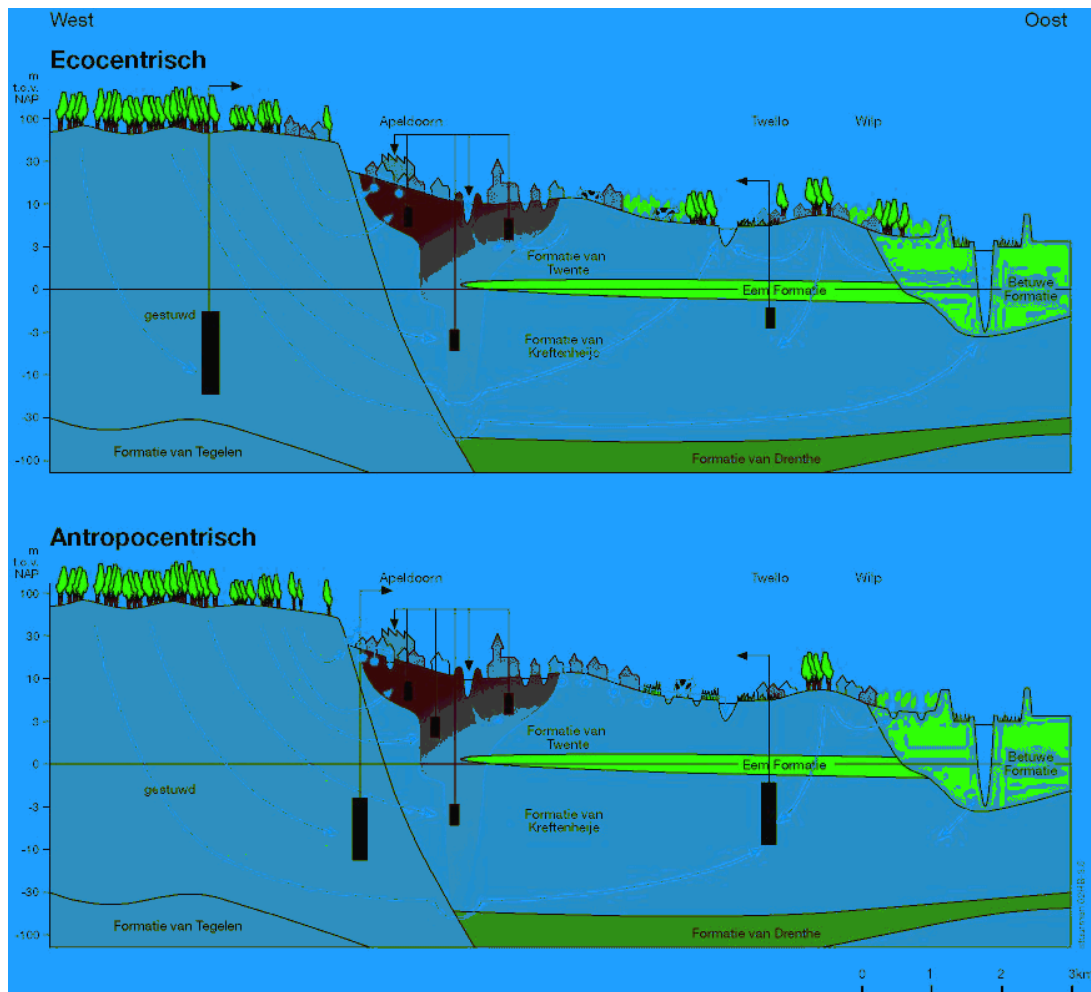
Intensieve technische benadering

Voor de intensieve technische benadering wordt uitgegaan van dezelfde autonome ontwikkelingen in het gebied: toenemende verstedelijking, blijvende drinkwatervoorziening, extensivering van de landbouw en het mogelijk maken van meer natuurontwikkeling. Ook bij deze benadering is verlooping van de Veluwe gewenst: de grondwateraanvulling wordt zo vergroot en daarmee de voorraad aan grondwater dat ge- en verbruikt kan worden (Figuur 3.6b). De Veluwe als nationaal natuurgebied wordt volledig beschermd gesteld. Verstedelijking dient dus buiten de Veluwe plaats te vinden. De huidige tendens van verstedelijking vanuit het centrum van Apeldoorn naar buiten wordt voortgezet. Huidige landbouwgronden worden hiertoe uit productie genomen. Deze gronden moeten wel gedraineerd worden om wateroverlast te voorkomen, mede gelet op het feit dat bebouwing in laaggelegen delen zal plaats vinden en de grondwateraanvulling op de Veluwe vergroot wordt. In plaats van te draineren kan er ook opgehoogd worden. Voordeel hiervan is dat de

berging vergroot wordt. Een nadeel is echter dat deze maatregel zand als ophoogmateriaal vergt, en zand is in Nederland een schaarse grondstof is.

Vergroting van de grondwateraanvulling op de Veluwe kan er toe leiden dat de sprengen en bijbehorende beken als waardevolle aquatische ecosystemen verder tot bloei kunnen komen. Geassocieerd hiermee zal wateroverlast in de bebouwde gebieden voorkomen moeten worden: het handhaven van de sprengen stroomopwaarts van Apeldoorn en het drooghouden van woongebieden in voormalige kwelgebieden leidt tot een spanningsveld. Waterhuishoudkundige maatregelen zouden het gewenste beeld moeten kunnen bewerkstelligen. Sanering van de heersende grondwaterverontreiniging kan daarnaast gebruikt worden om de grondwaterspiegel en de stijghoogte verder te controleren. Het vrijkomende grondwater kan weer gebruikt worden als grijswater voor industriële toepassingen, of gezuiverd worden en geloosd worden op oppervlaktewater. Zo kan het oppervlaktewaterstelsel (waaronder de Grift) ook in stand worden gehouden. Een tweede spanningsveld is hierbij dat wateroverlast vooral in de natte winters zal optreden en de behoefte aan extra lozing op het oppervlaktewaterstelsel vooral voor de zomer bestaat. In de zomer staan de (kunstmatige) beken immers sneller droog dan in de winter. Vasthouden van water is moeilijk door ruimtegebrek in het stedelijk gebied van Apeldoorn, en daarom zal waarschijnlijk gekozen moeten worden voor een fluctuerend waterpeil.

De westelijke zijde van de IJsselvallei zal verder verstedelijkt raken. Daarnaast zal behoefte bestaan aan landbouwgronden, waarbij de extensivering van de landbouw leidt tot meer oppervlak per eenheid gewasopbrengst. Drinkwaterwinning in de IJsselvallei en landbouw kunnen geoptimaliseerd worden ten aanzien van de grondwaterspiegel: zowel droogteschade als vernatting dienen voorkomen te worden. Het is de vraag in hoeverre er ruimte is voor natuurontwikkeling in de IJsselvallei. Mogelijk kunnen de bosgebieden op de dekzandruggen gehandhaafd blijven. Er is waarschijnlijk geen ruimte voor ontwikkeling van grondwaterafhankelijke natuursystemen.



Figuur 3.6. Mogelijk toekomstige indeling van het gebied van Apeldoorn en omgeving volgens een extensieve duurzame (a) en een intensieve technische benadering van systeemgericht grondwaterbeheer (b).

3.5 VOOR- EN NADELEN VAN DE TOEPASSING VAN 'SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER' IN APELDOORN

De ervaringen in het recente verleden hebben duidelijk gemaakt dat een sectorale benadering van het bodem- en waterbeheer onvoldoende is toegesneden op de toenemende complexiteit van dat beheer: de landbouwkundige of (civiel-)technische oplossingen voor één aspect leiden tot problemen voor andere aspecten. Een integrale benadering volgens systeemgericht grondwaterbeheer is nog nergens ten uitvoer gebracht en heeft zich daarmee momenteel niet bewezen. Toch kunnen op voorhand enkele voor- en nadelen opgesomd worden voor de situatie Apeldoorn.

In de duurzaam-extensieve variant wordt de Veluwe als onaantastbaar natuurgebied verlaten: het gebied wordt niet langer uniek als natuur- en recreatiegebied aangemerkt. De waarde van de Veluwe schuilt echter niet zo zeer in haar uniekheid

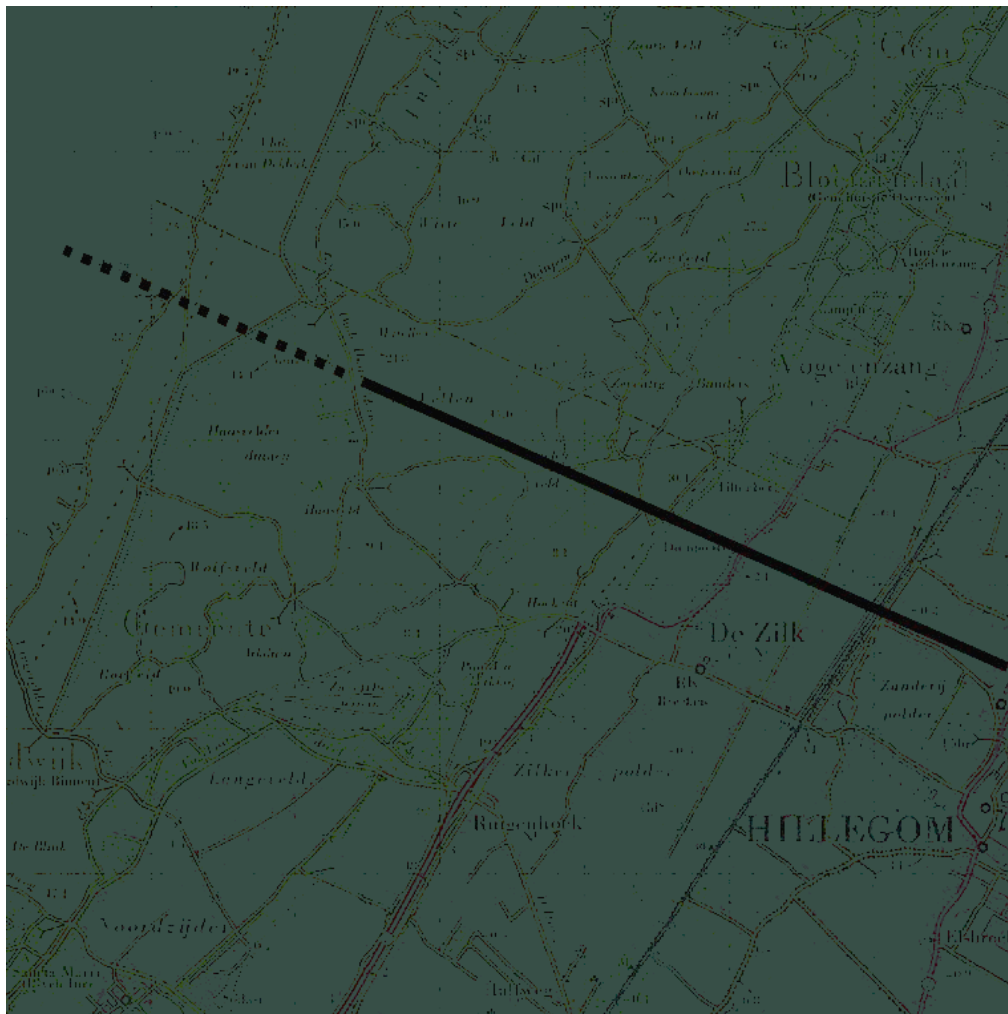
als ecosysteem, maar in de voor Nederlandse begrippen grote omvang als recreatiegebied. Bebouwing op de randen van de Veluwe zal op weerstand stuiten, maar de keuze is vanuit natuurwetenschappelijk perspectief uitermate goed verdedigbaar: wonen kan het beste gedaan worden op droge en onvruchtbare grond, waardoor natte gronden voor natuur overblijven en eventueel als recreatiegebied beschikbaar zijn, en vruchtbare gronden voor landbouw beschikbaar blijven. Technisch-intensieve oplossingen voor wonen in natte gebieden gaan ten koste van een natuurlijke natuurontwikkeling en de landbouw, als we uitgaan van een vaste behoefte voor de landgebruikfuncties natuur, landbouw en wonen binnen het studiegebied. Alhoewel de landbouw een krimpende sector is, is een zekere vorm van beheer van het Nederlandse, parkachtige landschap noodzakelijk en dit zal welbeschouwd niet kunnen zonder baten in de vorm van landbouwproducten. Landbouw dient dus bij voorkeur op de landbouwkundig meest geschikte gronden plaats te vinden, want hierdoor kan de landbouw het meest extensief en daarmee financieel voordeligst worden uitgevoerd.

De drinkwatervoorziening voor de ruim 100.000 inwoners is een noodzaak. Op technische gronden kan hierin voorzien worden middels een intensief-technische oplossing gebaseerd op rivierwater van de IJssel, want dit is praktisch oneindig beschikbaar. Om argumenten van veiligheid, duurzaamheid en gezondheid verdient drinkwater uit grondwater echter de voorkeur: enerzijds is grondwaterwinning robuust uit te voeren en vrijwel ongevoelig voor seizoensinvloeden of calamiteiten en anderzijds komen milieuvreemde stoffen niet voor in oud grondwater, verdwijnen ze middels natural attenuation of worden ze weggemengd tot aanvaardbare concentraties bij de winputten. Voorlopig verdient grondwaterwinning ook vanuit financieel oogpunt de voorkeur, want de noodzaak tot zuivering van niet-verontreinigd grondwater is beperkt.

4 DE GRONDWATERSITUATIE IN DE ZUIDELIJKE BOLLENSTREEK VAN KENNEMERLAND

4.1 BEGRENZING VAN HET STUDIEGEBIED

In figuur 4.1 wordt de ligging van het bestudeerde deel van de bollenstreek getoond. De noordelijke grens ligt ten hoogte van Bennebroek, de zuidgrens ten hoogte De Zilk, de westgrens wordt gevormd door de Noordzee en de oostgrens door de Haarlemmermeer.



Figuur 4.1. Ligging van het studiegebied Bollenstreek.

4.2 HISTORISCH HEERSENDE GRONDWATERSYSTEMEN

Van west naar oost kunnen de volgende landschappen worden onderscheiden: zee, strand, duinen, hoger gelegen strandwallen en lager gelegen strandvlakten, (oude) polders ten westen van de Ringvaart en de Haarlemmermeer polder.

Het landschap van strandwallen en -vlakten is 2500-5000 jaar geleden ontstaan. Een belangrijke oorzaak voor de landschapsgenese in het studiegebied vormde het verzanden van de Oude Rijnmond rond het jaar 975 (Van der Meer, 1952). De Rijnafvoer werd hierdoor gedwongen in noordelijke richting naar het IJ te stromen. Gedurende de Middeleeuwen was er alleen bewoning op de strandwallen en de gorsgronden.

De waterhuishoudkundige situatie kende rond 1572 een tijdelijke verbetering omdat er bij Katwijk een doorgraving van de duinen plaatsvond om de Rijnafvoer daar weer te herstellen. Deze locatie was echter weer snel dichtgeslibd. Pas aan het begin van de negentiende eeuw volgde een nieuwe, nu wel succesvolle poging. In 1807 kwam het Katwijker Uitwateringskanaal gereed waardoor de waterhuishouding in de bollenstreek verbeterde. Dit was dan ook het moment dat de bollenteelt sterk groeide. Als gevolg hiervan werd gestart met grootschalige afgravingen van de strandwallen. Deze ontwikkeling verliep eerst nog langzaam (Soesbergen et al., 1997).

Het oppervlaktewaterregiem kon men echter nog steeds niet volledig beheersen. Als gevolg van verkleining van de boezem werd dit ook steeds moeilijker. Zo verdween een groot deel van de boezem door de inpoldering van de Haarlemmermeer (1850). Er werden steeds hogere eisen aan de lozing gesteld. Hiervoor waren al twee stoomgemalen gebouwd: Spaarndam (1844) en Halfweg (1852). Op dit moment wordt in feite omgeschakeld van natuurlijke lozing naar kunstmatige lozing. Gedurende de zestiger jaren van de negentiende eeuw trad echter regelmatig wateroverlast op. Om deze problemen het hoofd te bieden werd daarom in 1868 een studietoelichting ingesteld om verbetering in de toestand te brengen. Deze adviseerde een stoomgemaal bij Katwijk aan te leggen. Dit gemaal kwam in 1880 gereed. Sindsdien kan het Hoogheemraadschap een stabiel boezempeil garanderen.

De grondwatersituatie in het landbouwgebied hing sterk samen met de oppervlaktewaterhuishouding en de grondwatersituatie in de aangrenzende duinen. Deze duinen kenden van nature een relatief hoge grondwaterstand. Rond de waterscheiding bedroeg deze circa 8 m +NAP (Stuyfzand, 1988) als gevolg waarvan langs de binnenduintrand in het strandvlakten kwel optrad. Hier kwam als gevolg

van de aanleg van de Haarlemmermeer, de afgraving van de strandwallen en de start van de duinwaterwinning in 1853 sterke verandering. Bekend is dat in deze tijd verschillende aan kwelsituaties gebonden waterplanten verdwenen.

Rond 1880 werd in het kader van de grondwaterwinning in de duinen het Van Limburg Stirum kanaal aangelegd.

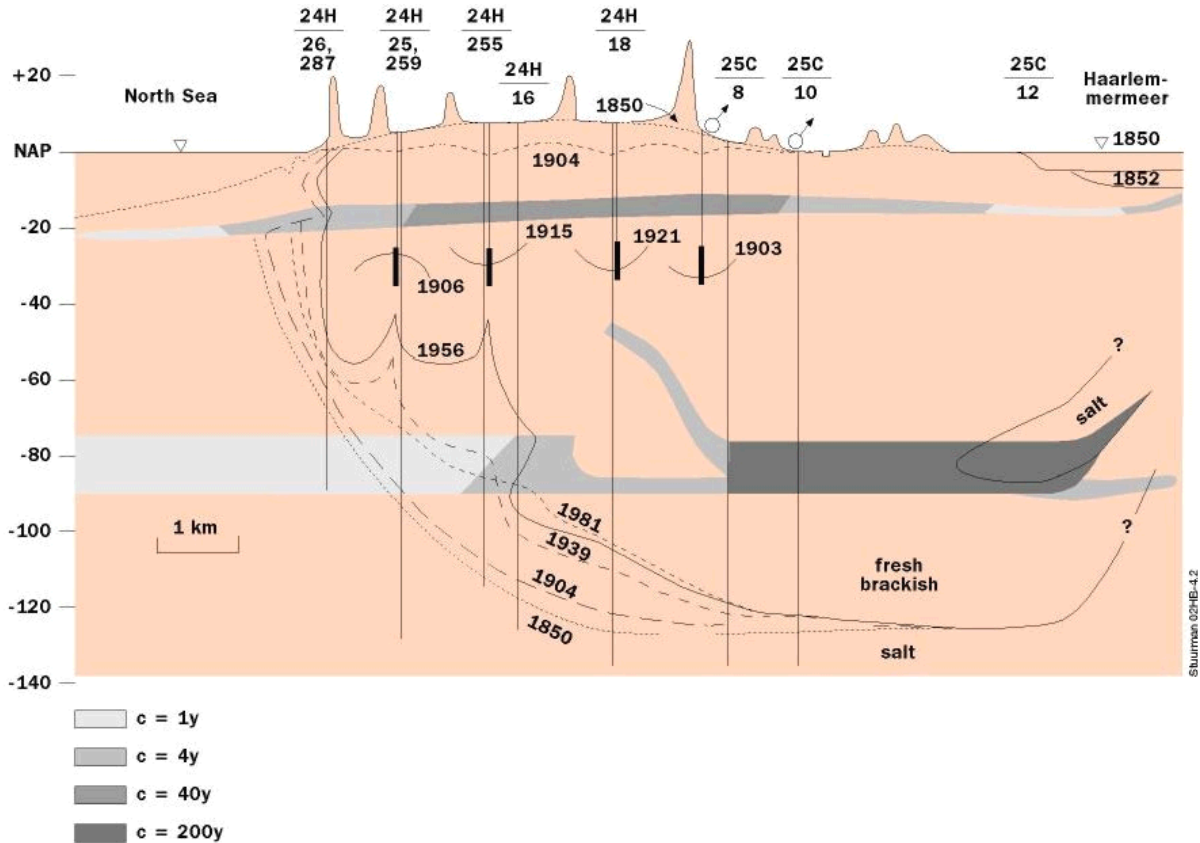
4.3 DE PERIODE 1880-1956

Het feit dat in 1880 het boezempeil onder controle was betekende een zeer belangrijke impuls voor de bollenteelt. Hierdoor was namelijk de basis gelegd voor een grote oogstzekerheid. Het belang van de grondwaterstand werd pas in de dertiger jaren door Blaauw (1938) wetenschappelijk onderbouwd. De uitbreiding van het bollenteeltgebied zette zich nog steeds voort. Kleinschalige bedrijven verdwenen en grootschalige bollenteelt deed zijn intrede (Soesbergen, 1997). In 1918 werd gestart met het afzanden van de strandwal van De Zilk, direct grenzend aan de Gemeentelijke Waterleidingduinen (GWA-duinen).. Er werd gestart bij Vogelenzang en vandaar verplaatste men zich geleidelijk in zuidelijke richting.

De grondwaterwinning in de GWA-duinen: nadat in 1853 de grondwaterwinning was gestart, nam deze tot 1900 geleidelijk toe tot circa 10 miljoen m³/ jaar. De winning vond plaats middels (diepe) kanalen. De invloed op de (ondiepe) stijghoogte was groot. In het centrale deel van de duinen daalde deze stijghoogte voor 1900 met circa 4-5 meter. Voor de verdere uitbreiding werden in de twintigste eeuw nieuwe kanalen aangelegd en pompputten geïnstalleerd. Tot 1956 vond overexploitatie plaats waardoor diepe winputten last kregen van verzilting. Roebert (1972) beschrijft dat ook veel putten langs het Oosterkanaal rond 1956/ 57 verzilt raakten. Stuyfzand stelt dat dit zeer, steile, geïsoleerde brakwaterkegels betreffen. In het centrale deel was het zoet-zout grensvlak op veel plaatsen zelfs ca 50 meter omhoog gekomen (figuur 4.2).

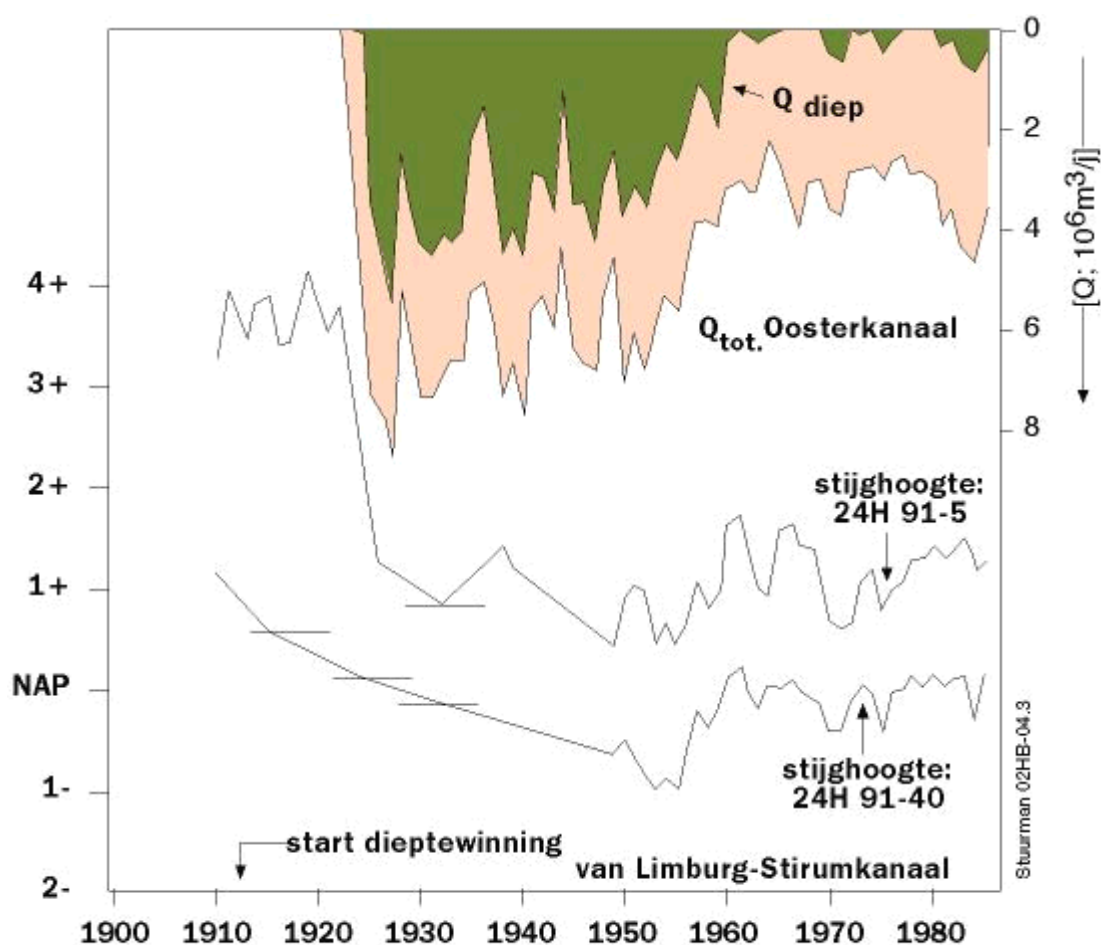
De aanleg van het Oosterkanaal: in 1925 werd in het duingebied het Oosterkanaal gegraven. Langs de westzijde van het kanaal werd een grote serie diepe winputten geïnstalleerd (aantal 79; diepte 24-34 m-NAP; Stuyfzand,1988). De aanleg van dit systeem betekende een drastische verandering in de grondwatersituatie en in de grondwaterinteractie tussen de duinen en de aangrenzende binnenduinrand.

In figuur 4.3 is te zien dat de aanleg van het Oosterkanaal (incl. putten) in put 24 H91-5 (filter 5 m-NAP) op een afstand van ca. 500 meter ten westen van het kanaal een stijghoogteverlaging veroorzaakte van ongeveer 3 m.



Figuur 4.2 Schematisch dwarsprofiel over Leiduin met de ligging van het zoet-zout grensvlak (8250 mg Cl/ l); omstreeks 1850 (natuurlijke toestand), 1903 (vlak voor de diepduinwaterwinning), 1939, 1956 (vlak na de kunstmatige infiltratie van Rijnwater) en 1981 (na 25 jaar infiltratie) (Stuyfzand, 1988).

Wat betreft de grondwateronttrekking door deze Oosterkanaal-putten kunnen drie perioden worden onderscheiden. Tijdens de periode 1926-1963 werd ca 3-4 miljoen m³/ jaar onttrokken, tussen 1963 en 1984 werd nauwelijks onttrokken. Dit hing samen met verziltingsgevaar van de diepe putten en de hiermee verband houdende start van de kunstmatige infiltratie in 1957. In 1983 is men begonnen met het vervangen van de winputten en opnieuw gestart met grootschalige onttrekking (ca. 1 miljoen m³/ jaar), maar wel slechts een derde van de winning tijdens de eerste periode (zie figuur 4.4).



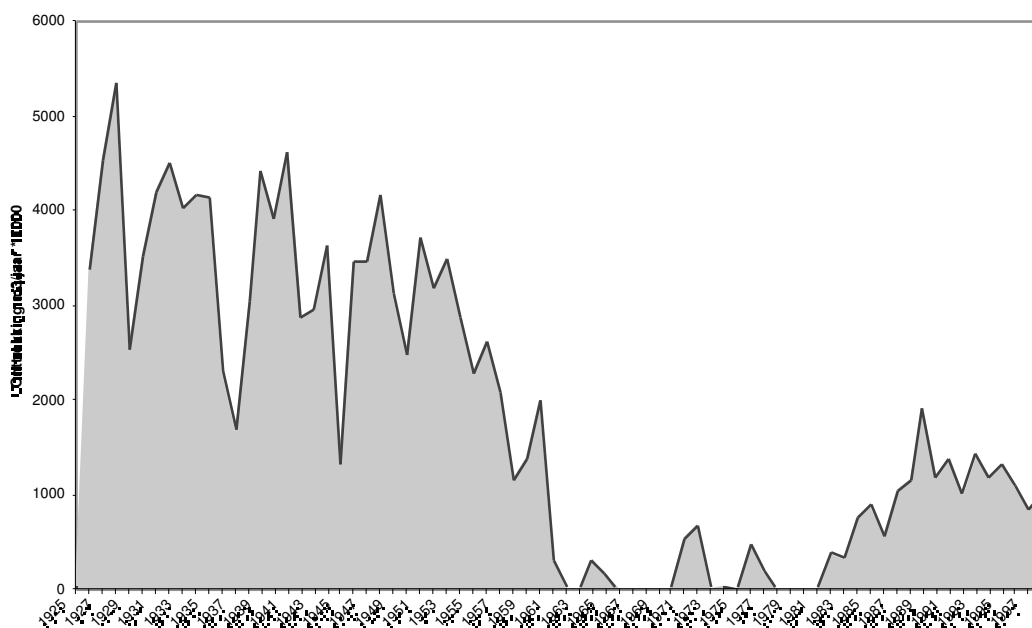
Figuur 4.3 Verloop van de jaarlijks gemiddelde stijghoogte in put 24H91 (filterdiepte 5m-NAP en 40m-NAP) op ca. 500 m ten westen van het Oosterkanaal (Stuyfzand, 1988).

Ontdekking van het omspuiten: rond 1935 ontdekte de heer Engel Hogervorst uit Westeinde (Noordwijkerhout) het 'omspuiten' (Warmerdam, 1950). Hierbij werd met behulp van zuigers de diepere ondergrond vermengd met water opgezogen waardoor de bovengrond naar de diepte zakte en werd vervangen door het 'verse' diepe kalkrijke zand. De diepte van de hierdoor omgewerkte bodem bedroeg circa 5 meter. De ondiepe hydrogeologie is hierdoor grootschalig irreversibel veranderd. Op verschillende plaatsen zijn hierbij ondiepe veen- en kleilagen vermengd met het onderliggende zand.

Verdroging Noordzijderpolder: rond 1900 was dit een goed functionerend landbouwgebied dat hoofdzakelijk uit weilanden bestond. Dit werd later

bollengebied. Warmerdam schrijft dat hij rond 1930 aan de rand van de duinen greppels van 50 cm diepte bezat die het gehele jaar door water afvoerden. Het grondwaterpeil is tot in de vijftiger jaren steeds dieper gaan liggen.

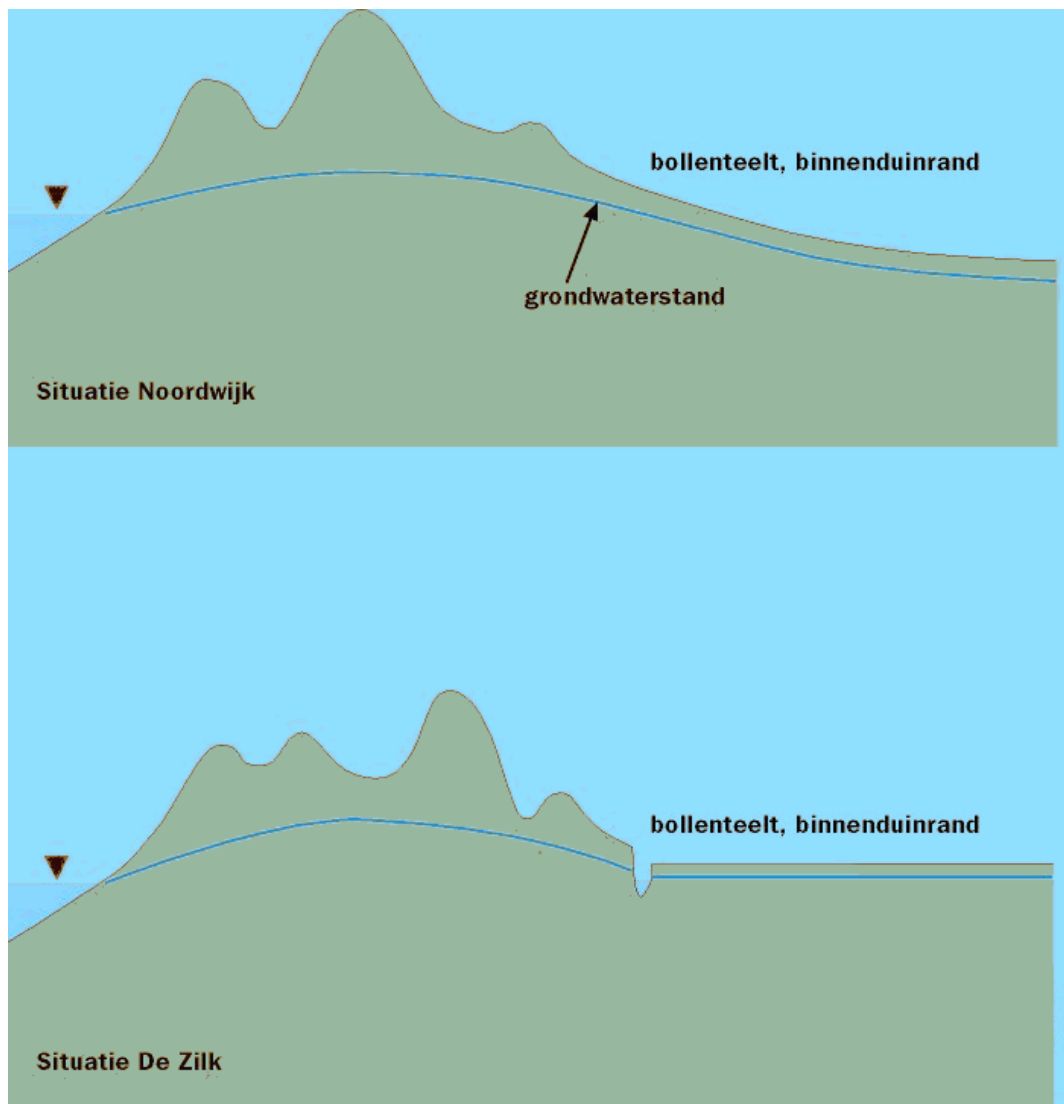
Met name het noordelijk deel van de polder Het Langeveld bleek een sterke grondwaterstandsaling te kennen. In het verleden was deze wel goed als gevolg van 'drang' uit de duinen. De verlaging bedroeg ca 150-400 cm en werd toegeschreven aan de waterwinning. Het gebied werd waardeloos voor agrarisch gebruik waarna plannen werden ontwikkeld voor afzanding.



Figuur 4.4 Grondwateronttrekking door diepe putten langs het Oosterkanaal tussen 1925 en 1997

In figuur 4.5 wordt de hydrologische situatie geschetst zoals deze momenteel voorkomt ter hoogte van de GWA duinen en de zuidelijker gelegen, smallere duinen bij Noordwijk. Een opmerkelijk verschil is dat bij de bollengronden op de binnenduinrand bij Noordwijk het maaiveld geleidelijk daalt in oostelijke richting. Hier volgt het maaiveld de grondwaterstand. Loodrecht op de helling zijn greppels gegraven waarin kwellend duinwater uittreedt. Ook hier is de afgelopen jaren sprake van wateroverlast. Deze wordt waarschijnlijk veroorzaakt door verhoogde toestroming van duinwater als gevolg van de natte jaren sinds 1998. Hierdoor zijn ook verschillende valleien in dit duingebied weer nat geworden.

Verdroging Polder Vogelenzang: deze polder met uitsluitend weilanden kreeg aan het begin van de eeuw te lijden aan verdroging. Deze wordt toegeschreven aan de waterwinning in de aangrenzende duinen (Van der Meer, 1957; Stuyfzand, 1988). Ter compensatie werd al sinds 1924 water uit de Leidschevaart (Rijnlandse Boezem) ingepompt. Dit vindt met name plaats in de periode april t/m oktober. Het water dat niet infiltreert, stroomt terug naar de boezem. De jaarlijkse hoeveelheid ingepompt Leidschevaartwater bedraagt ca. 0,5 miljoen m³ (Stuyfzand, 1988). Van der Meer beschrijft ook de mislukte poging tot infiltratie waarbij een landbouwer in de zomer van 1949 het slootpeil oppompte tot 30 cm onder maaiveld en de grond op 1 meter afstand van de sloot tot op een diepte van 1,25 meter volledig droog bleef (zie figuur 4.6). Van der Meer weet dit 'aan de zuiging naar de zanderijen in het zuiden bij De Zilk'.

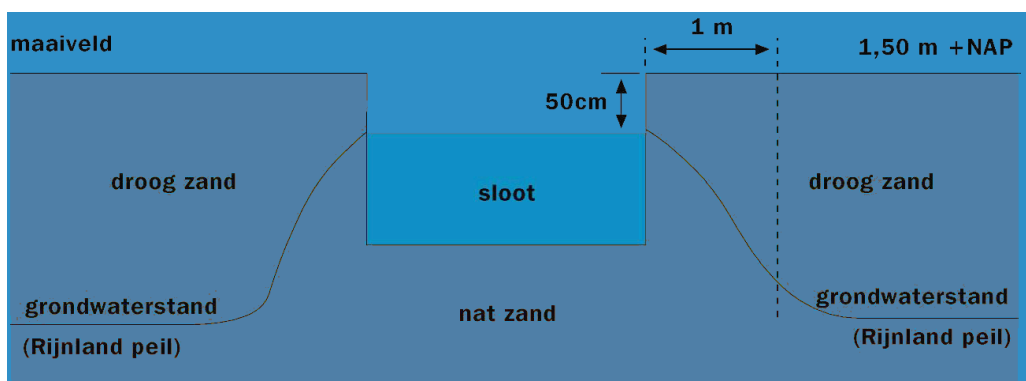


Figuur 4.5. Twee grondwatersituaties langs de binnenduinrand

Afzanding Het Langeveld: de laatste grote ontginning/ afzanding vond plaats in Langeveld. Hiermee werd gestart in 1957. Het oorspronkelijk relief lag rond 3 m +NAP. Het gebied werd in vier terrassen ingedeeld met maaiveldhoogten van 50, 90, 150 en 200 cm +NAP. Met behulp van een schroefpomp werd water vanuit de boezem opgepompt naar het hoogste terras waarna het via de lagere terrassen afstroomde. Deze ontginning werd in het begin als een groot succes ervaren.

In het Waterbeheersplan 1996-1999 van het Waterschap De Oude Rijnstromen wordt echter gesproken over verdroging van Het Langeveld. De oorzaken van deze verdroging worden complex en tot nog toe onverklaard genoemd. Stuyfzand (1988) noemt als mogelijke oorzaken de afzanding in 1965 van de bollengronden aan de

oostzijde met introductie van het boezempeil en in geringe mate het graven van het Oosterduinmeer in 1966.



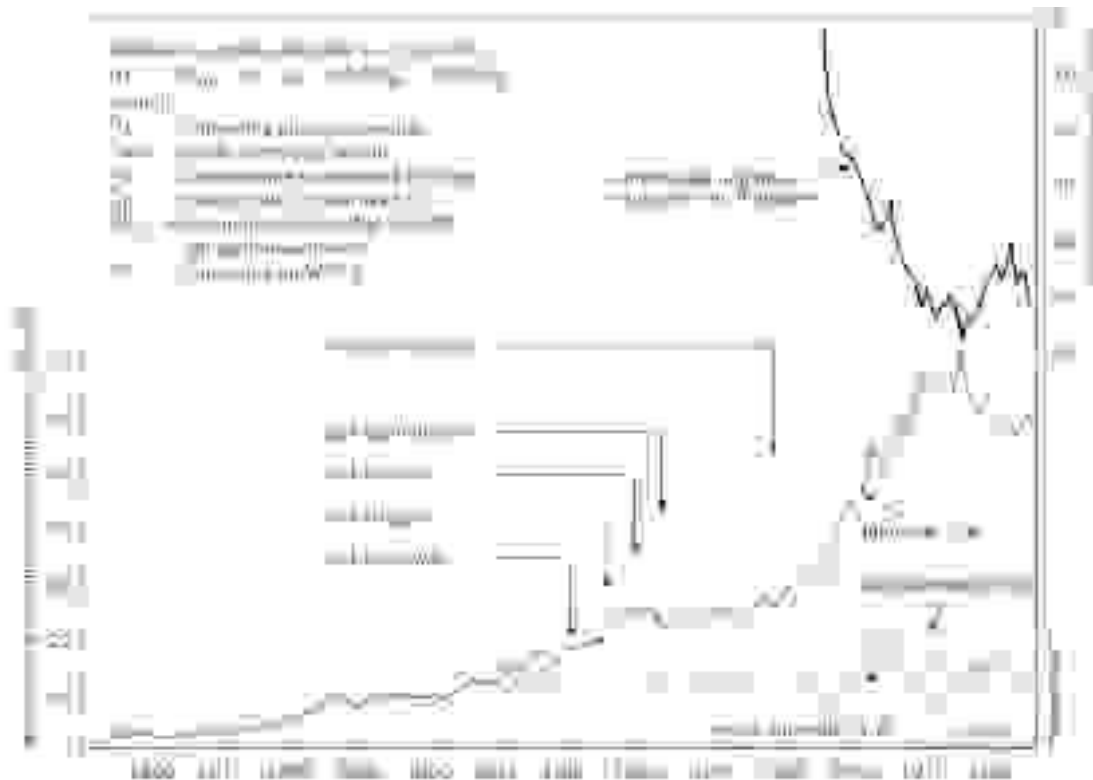
Figuur 4.6 Een mislukte poging tot infiltratie in polder Vogelenzang (van der Meer, 1957).

4.4 1956-HEDEN

Start kunstmatige infiltratie in GWA-duinen: in figuur 4.7 uit Stuyfzand (1988) is het verloop van de grondwaterwinning uitgezet. Deze figuur toont ook de start van kunstmatige infiltratie met behulp van Rijnwater. De hoeveelheid geïnfiltrerd Rijnwater bedraagt de afgelopen decennia gemiddeld 50-60 miljoen m³/ jaar, terwijl in de duinen gemiddeld 50 miljoen m³/ jaar wordt gewonnen.

Als gevolg van deze infiltratie heeft de grondwaterstand en/ of stijghoogte zich deels hersteld. Ook het zoet-zout grensvlak heeft, of is zich opnieuw aan het instellen. Stuyfzand (1988) heeft voor de periode 1957-heden uitgewerkt in welke richting dit zoet-zout grensvlak zich ontwikkelt. De bollenstreek tussen de duinen en de spoorbaan Leiden-Haarlem bevindt zich opmerkelijk genoeg in een situatie van een stijgend zoet-zout grensvlak. Stuyfzand (1988) noemt twee mogelijke verklaringen: (1) overexploitatie van het 1e en 2e watervoerende pakket in het verleden, (2) toegenomen drainage en duinafgraving. In de zone ten oosten van de spoorbaan vindt voornamelijk laterale verzoeting plaats. In het centrale deel van de duinen daalt het zoet-zout grensvlak.

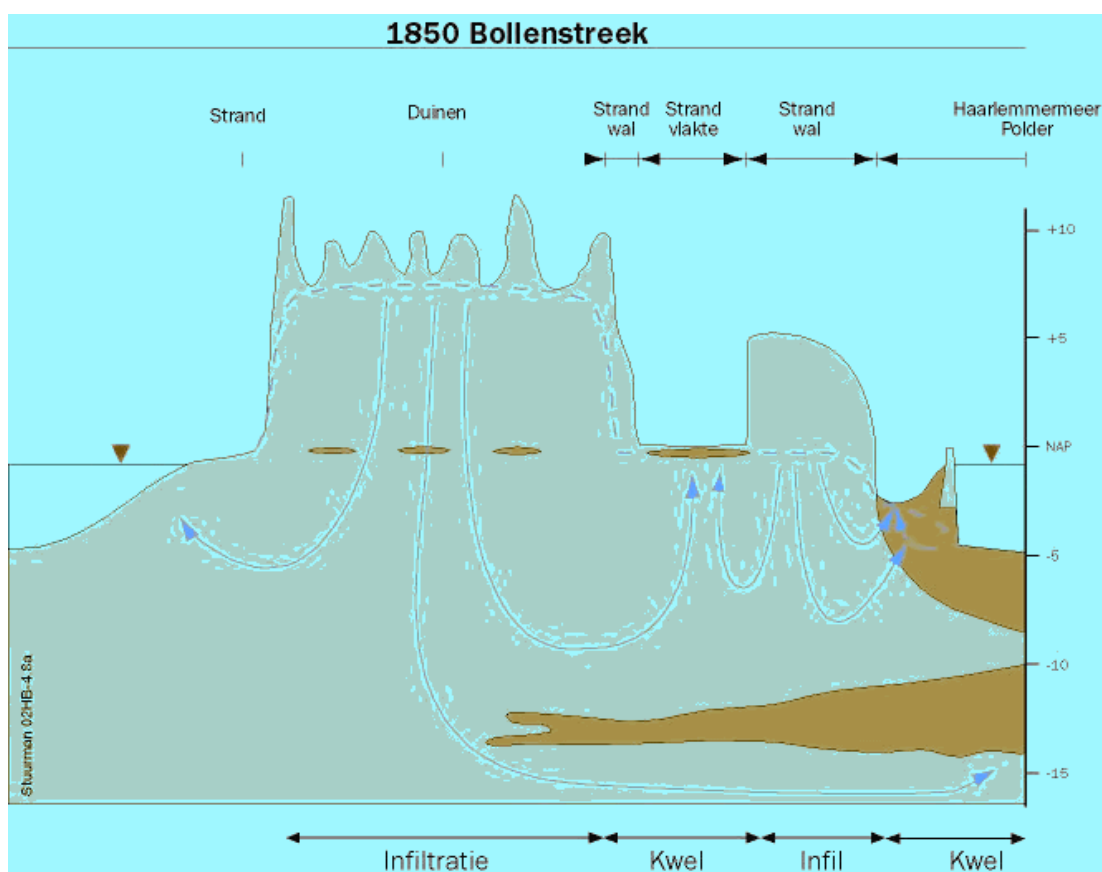
In 1994 is gestart met diepte-infiltratie met vier putten langs de toevoersloot in het noordelijk duin. Op deze wijze werd in 1995 1 miljoen m³/ jaar geïnfiltrerd, in 1996 700.000 m³/ jaar en in 1997 820.000 m³/ jaar.



Figuur 4.7. Verloop in jaarlijkse onttrekkingen en infiltratie van water uit de duinen (Stuyfzand, 1988)

4.5 BETEKENIS VOOR DE GRONDWATERSITUATIE

Op basis van bovenstaande veranderingen, inzicht over het stijghoogtepatroon in de tijd voor zowel het WVP 1 en 2 (Stuyfzand, 1988) en gebruik makend van stijghoogtereeksen van het GWA en het Zuid-Hollandse primaire meetnet kan de grondwaterstroming in het studiegebied chronologisch worden gereconstrueerd (zie figuur 4.8).

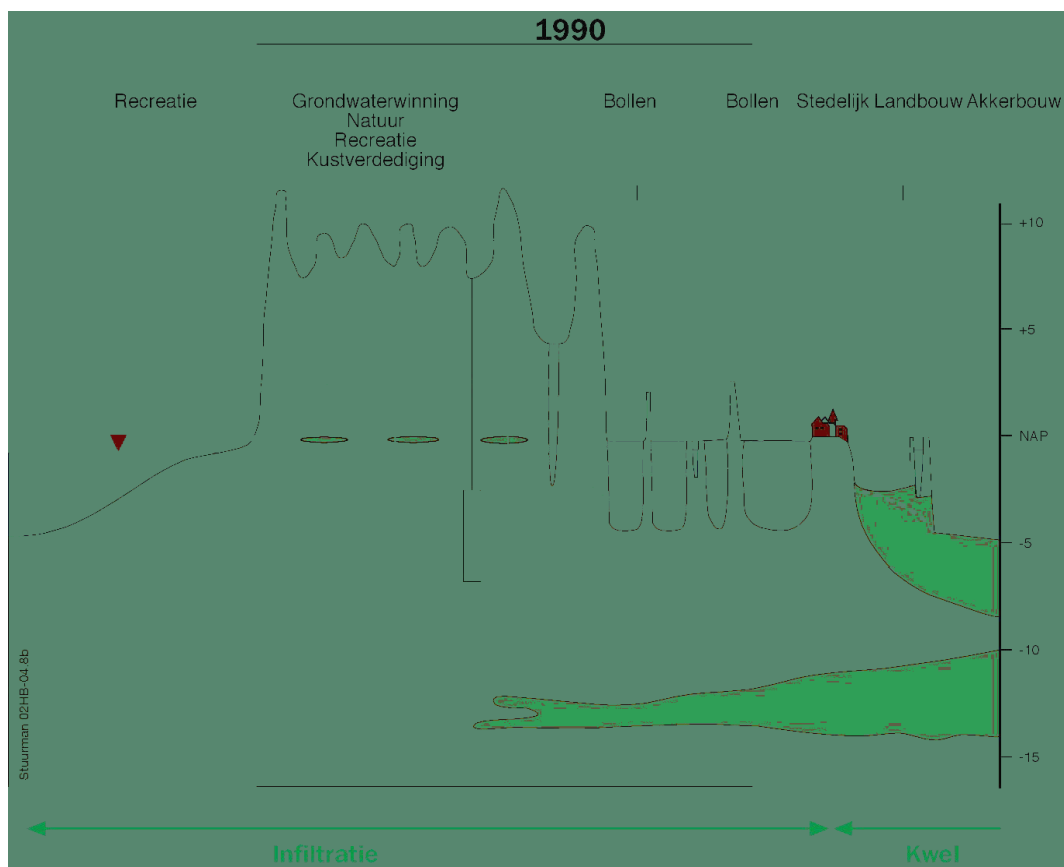


Figuur 4.8a. Reconstructie van de grondwatersituatie rond 1850

1920: rond deze tijd was de grondwaterwinning in de duinen al enkele decennia aan de gang. In het centrum van de duinen was de stijghoogte al enkele meters gedaald. Op circa 250 meter ten westen van het toen nog niet gegraven Oosterkanaal bevond de grondwaterstand (stijghoogte op 5 meter -NAP) zich op circa 4,5 meter +NAP. De strandwal langs de binnenduintrand was nog niet gegraven. Aan de hand van literatuurinformatie over kwelafhankelijke plantensoorten, het voorkomen van 'drang' kan opgemaakt worden dat er langs de duinen nog kwel aanwezig was. De invloed van de Haarlemmermeer deed zich in ieder geval al duidelijk gelden in de stroming van het tweede watervoerende pakket.

1950: In deze periode bestond zowel het Oosterkanaal als de zanderij van de Zilk 25 jaar. Door de diepe putten langs het Oosterkanaal werd meer dan 3 miljoen m³/ jaar gewonnen. Hierdoor stroomde het ten westen van het kanaal toestromende grondwater naar de winputten, verloor het kanaal water dat ook naar deze putten stroomde en stroomde grondwater vanuit het langs de duinen liggende bollenvelden naar deze winning. Mogelijk stroomde ook via het tweede watervoerende pakket water vanuit de zanderij naar de putten.

1975: In de periode 1963-1984 was de diepe winning tijdelijk gesloten. Uit metingen in GWA-peilbuizen blijkt dat in deze periode sprake was van een lichte opbolling tussen het Oosterkanaal en de bollenvelden. Een duinstrook van circa 200-300 meter voerde het neerslagoverschot deels in richting van de bollenvelden af. Onbekend is hoeveel hiervan naar het tweede watervoerende pakket afstroomde. In het tweede watervoerende pakket stroomde het grondwater naar de Haarlemmermeer. Het kanaal draineerde nu ook vanuit het westen toestromende ondiep grondwater.



Figuur 4.8b. De grondwatersituatie rond 1990

1997: Sinds 1984 vindt weer putonttrekking plaats. Als gevolg hiervan is de opbolling tussen boezem-kanaal vervlakt en zal de toestroom naar de bollenvelden afgenomen zijn in vergelijking met de periode zonder grondwaterwinning. Tenslotte vond in 1997 een peilverhoging (50 cm) van het Oosterkanaal plaats. Kanaal- en boezempeil zijn nu bijna gelijk. Uit de tijdreeksen is zichtbaar dat de grondwaterstand tussen kanaal en bollenvelden is gestegen. Als gevolg hiervan zal de ondiepe grondwaterstroming naar de bollenvelden weer belangrijker worden. Naar het zich laat aanzien is er een kwelzone van enkele honderden meters langs de

binnenduinrand ontstaan. De overgang van kwel naar infiltratie bevindt zich ongeveer ten hoogte van de Leidsevaart. Als gevolg van de kwel is plaatselijk een zone langs de binnenduinrand (Van Saase sloten) afgedamd van de boezem waardoor deze zone nu deel uitmaakt van het Waterschap De Oude Rijnstromen, beheerder van de inleggende polders. Dit heeft geleid tot een conflict tussen het Hoogheemraadschap en Waterschap omdat het Hoogheemraadschap compensatie eist voor het verlies aan berging binnen een omtrek van 5 km en het Waterschap daar vooralsnog niet in kan voorzien.

4.6 MOGELIJKHEDEN VAN SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER

4.6.1 Algemeen

Uit het voorgaande blijkt dat het gebied in de loop van de tijd grote veranderingen heeft ondergaan. De afzandingen hebben het natuurlijke reliëf sterk gewijzigd, er is voor de bollenteelt een dicht stelsel van waterlopen aangelegd en de grondwaterwinning in het duingebied en de aanleg van de Haarlemmermeer heeft het grondwatersysteem sterk gewijzigd. Als referentiesituatie worden de afgravingen en de aanleg van de Haarlemmermeer als onomkeerbaar geaccepteerd en wordt binnen het als gevolg hiervan ontstane halfnatuurlijke grondwatersysteem de optimale ordening gezocht.

Van west naar oost worden hier zeven zones onderscheiden:

1. Het strand en de zeereep, functie recreatie en zeewering
2. De duinstrook met de functies waterwinning en natuur, infiltratiegebied met grondwaterstroming naar zee, naar een zone langs de binnenduinrand en naar de Haarlemmermeer. De oppervlaktewaterinfiltratie via infiltratiepanden wordt hier teruggedrongen en de grondwaterstand verhoogd zodat de grondwaterafhankelijke natuur herstelkans krijgt;
3. De binnenduinrand, kwelgebied met de functie bollenteelt. Een deel van dit gebied maakt deel uit van de Rijnlandse boezem of van inleggende polders. Het drainagewater, dat verontreinigd is met bestrijdingsmiddelen en nutriënten, wordt via de boezem afgevoerd naar het gemaal bij Spaarndam;
4. Het geestgronden middengebied, infiltratiegebied met grondwaterstroming naar de Haarlemmermeer met de functie bollenteelt. Een deel van dit gebied maakt deel uit van de Rijnlandse

- boezem of van inliggende polders. Het drainagewater wordt via de boezem afgevoerd naar het gemaal bij Spaarndam;
5. Oude strandwallen, infiltratiegebied met stroming naar de Haarlemmermeer en met de functie woongebied;
 6. Het oude poldergebied tussen de oostelijkste strandwal en de Haarlemmermeer met de functies bollenteelt en algemene landbouw, afhankelijk van de diepteligging van de polders infiltratie- of kwelgebied. Het drainagewater wordt uitgemalen op de Ringvaart (boezem);
 7. De Haarlemmermeer met hoofdzakelijk akkerbouw (aardappelen en suikerbieten) en bewoning.

Tabel 4.1. Ingrepen van de mens op het functioneren van de hydrogeologische systemen in de bollenstreek, en hun belangrijkste effecten.

Directe ingreep	Belangrijk hydrogeologisch effect	Gevolg voor bodemgebruik
Hoogwaardige drinkwaterwinning	Verlaging grondwaterstand, afname kwel, zeewaterintrusie	Verdroging, verzilting
Rivierwaterinfiltratie voor drinkwaterwinning	Verhoging stijghoogte zoet grondwater	Bestrijding verzilting
Laagwaardige industriële grondwateronttrekking	Verlaging grondwaterstand, afname grondwaterkwel	Verdroging
Afgraven duinen/ strandwallen	Verlagen grondwaterstand, stijging zoet-zout grensvlak	Landbouwverbetering
Indirecte ingreep		
Drainage	Beperking infiltratie naar diepere ondergrond	Landbouwverbetering, verdroging
Aanleg Leidsevaart	Interactie grond- en oppervlaktewater	Divers
Inpoldering Haarlemmermeer	Verandering grondwaterstroming	Landreclamatie
Landbouw	Verslechtering grondwaterkwaliteit	Grondwaterverontreiniging
Verstedelijking, industrialisatie	Verslechtering grondwaterkwaliteit	Grondwaterverontreiniging
Oppervlaktewaterpeilbeheer	Verandering hydrogeologische systemen	Divers
Aanleg zandwinput	Beïnvloeding stijghoogte, Verwijdering weerstandsbiedende lagen	
Bebossing en ontbossing	Verandering grondwateraanvulling	Verdroging/ vernatting

De belangrijkste hydrologische nadelen van de actuele inrichting zijn:

1. De verdroging van natuur in en langs het duingebied.
2. Het beheersen van de grondwaterstand op de bollenvelden.
3. Het gebrek aan oppervlaktewaterberging.
4. Vervuiling van het grond- en oppervlaktewater als gevolg van de bollenteelt waarbij het potentieel beïnvloedingsgebied groot is.

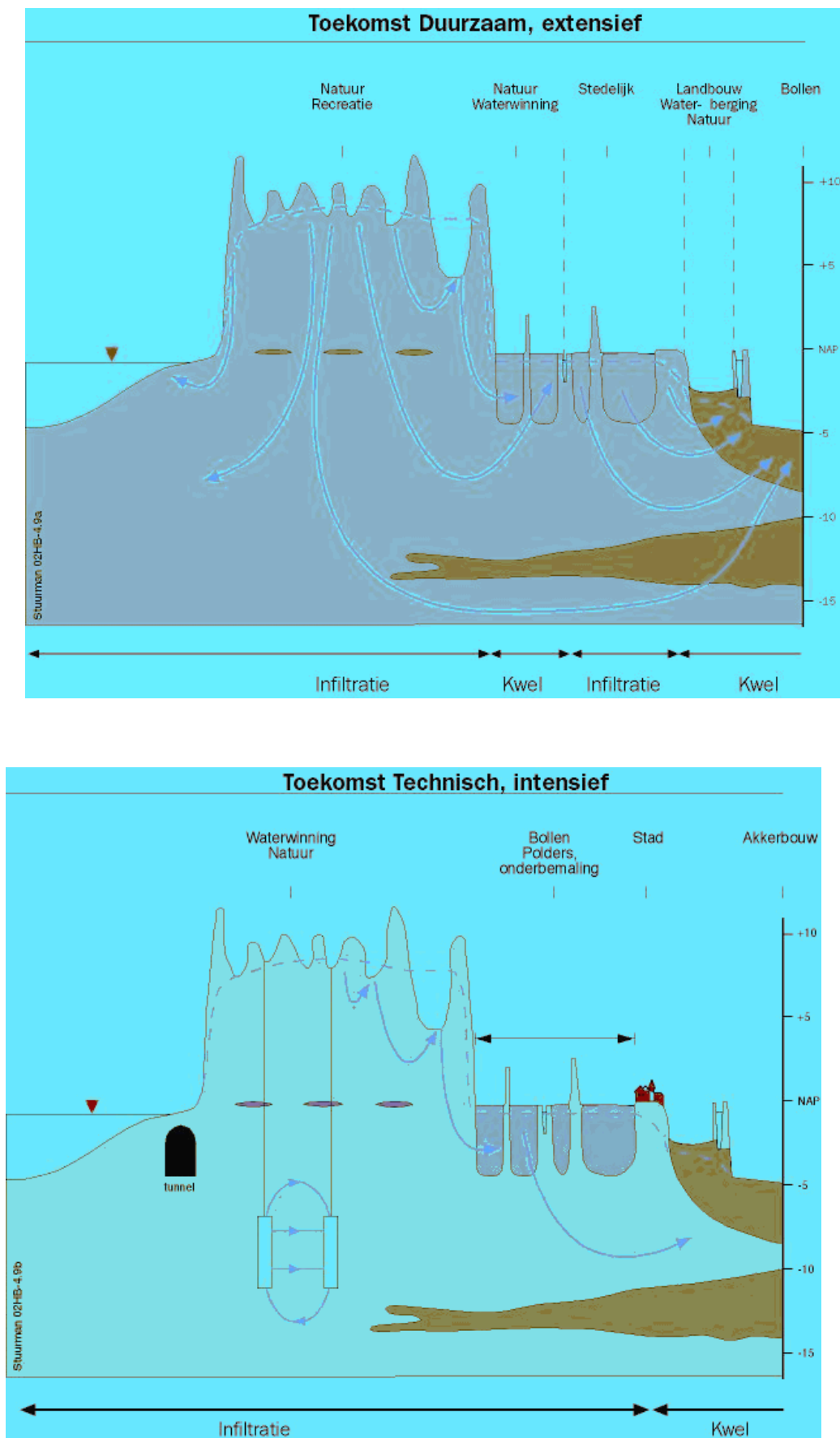
5. De (vastgelegde) kustverdediging wordt bedreigd door zeespiegelrijzing.

4.6.2 Extensief duurzame benadering

Het huidige beleid voor het beheer van de kustlijn gaat uit van 'meegroeien', het op zijn plaats houden van de kustlijn en door middel van zandsuppletie ophogen. Van nature beweegt de kustlijn echter landinwaarts bij zeespiegelrijzing. Het verdient de voorkeur om dit proces zijn gang te laten gaan.

Het belangrijkste infiltratiegebied heeft dankzij de waterwinning een groot deel van zijn natuurlijke begroeiing behouden. In principe is de waterkwaliteit aan de ingang van het duinsysteem hier dus goed. Mogelijk heeft infiltratie van aangevoerd rivierwater tot een mindere kwaliteit geleid. De historisch-natuurlijke kwelcomponent binnen de strandvlakten is lange tijd verdwenen, terwijl deze strandvlakten hier grotendeels zijn omgezet naar bollenvelden. In de afgegraven duinen langs de duinen is echter weer een kwelgebied ontstaan of in ontwikkeling. Inspelend op extensieve duurzame invulling van systeemgericht grondwaterbeheer zou een functie natuur hier het best op zijn plaats zijn. Hierdoor hoeft minder water te worden afgevoerd naar de boezem. De keuze voor natuur in deze zone kan gerechtvaardigd worden doordat het oppervlak aan kwelgebieden in Nederland enorm is afgenomen en dat het niet vaak voorkomt dat kwelsystemen hersteld kunnen worden waarbij de waterkwaliteit aan de ingang (infiltratiegebied) gewaarborgd kan worden.

Hoe om te gaan met het water in het duingebied is minder duidelijk. In de praktijk wordt momenteel gestreefd naar een verhoging van de grondwaterstand ten gunste van de natuur in combinatie met de watervoorzieningsfunctie. Bekend is dat in het verleden de duinen werden gekarakteriseerd door een opeenvolging van natte duinvalleien en duinplassen. Voor de start van de waterwinning kwamen in de duinen ook akkerbouwpercelen voor die toen nog ontwaterd moesten worden. Aan de oostzijde werden de duinen ontwaterd door duinbeken of sprengen. Verhoging of herstel van de grondwaterstand in de duinen beïnvloedt het aangrenzende bollengebied negatief. Er wordt nagedacht hoe deze negatieve invloed te verminderen



Figuur 4.9. Extensieve duurzame of intensieve technische benadering van gebiedsinrichting en waterbeheer in de bollenstreek.

door een andere configuratie van winningsmiddelen in de duinen waardoor in feite voor het ondiepe grondwater een min of meer gesloten systeem wordt gecreëerd. Een zeer technische oplossing en daarom indruisend tegen het extensief duurzaam systeemgericht waterbeheer. Een extensief duurzame oplossing is het winnen van het natuurlijk, via herstelde duinbeken, afstromende water en het kwelwater langs de binnenduinrand. Ook liggen er mogelijkheden voor het winnen van het kwelwater aan de westzijde van de Haarlemmermeer. De ecologisch winbare hoeveelheid (op basis van het oppervlak van de duinen geschat op ca 7 miljoen m³/jaar) ligt natuurlijk veel lager dan nu uit de duinen afkomstig is. Oplossingen hiervoor liggen in het gebruik van rivier- of regenwater of hergebruik van afvalwater voor activiteiten die kwalitatief laagwaardig water kunnen verdragen. Mogelijk is de winning van oeverinfiltraat langs de Ringvaart een optie.

Oostelijk van de Ringvaart liggen de bollenvelden op gedraineerd infiltratiegebied. Vanuit de systeemgedachte is dit een ongunstige situatie. De strikte eisen die de bollenteelt stelt aan het grondwaterpeil bieden geen ruimte voor herstel van de natuurlijke dynamiek. Daarnaast worden gebruikte bestrijdingsmiddelen en nutriënten afgewenteld naar een zeer groot gebied, de Rijnlandse boezem via het oppervlaktewater en via het grondwater richting de Haarlemmermeer. Vanuit het systeemdenken zou reallocatie van de bollenteelt naar de Haarlemmermeer gewenst zijn. Hier kan door de kwelsituatie het grondwater niet vervuilen en bestaat mogelijkheid voor het creëren van gesloten bedrijfswatersystemen waarbij zuivering van het verontreinigde water kan plaatsvinden. De polderzone direct ten westen van de Ringvaart van de Haarlemmermeer bestaat nu grotendeels uit weilanden. Deze zone leent zich bij uitstek als bergingsgebied bij hoogwaterpieken in combinatie met de functies natuur (verbindingszone) en recreatie.

4.6.3 Intensieve technische benadering

Het extensieve duurzame voorbeeldscenario is strijdig met het in 1996 gesloten Pact van Teijlingen, een overeenkomst tussen gemeenten uit de Bollenstreek, de provincie en een aantal maatschappelijke organisaties. Een van de afspraken hierin was het handhaven van de bollenteelt als zwaartepunt van de economie van de Bollenstreek, versterking van de natuur- en milieukwaliteit van het gebied en woningbouw vooral voor eigen behoefte. Volgens het Pact bestaat overeenstemming over het garanderen van de positie van de bollenteelt tot 2015. In de recent verschenen 5e Nota Ruimtelijke Ordening wordt het gebied echter aangewezen als zone voor intensieve verstedelijking. De provincie Zuid-Holland neemt als medeondertekenaar van het Pact dan ook afstand van dit onderdeel. Recent hebben

provincies, Waterschap en Rijnland besloten dat het watersysteem wordt verbeterd door een bufferzone langs de duinen te creëren en de boezem te splitsen in verschillende peilvakken.

Dit pact en andere bestaande ontwikkelingen respecterend lijkt het volgende scenario een optie. Het strand/ de kustlijn heeft een natuur-, kustverdedigings- en recreatiefunctie. De kustverdediging staat onder druk door de zeespiegelrijzing, de recreatiefunctie wordt belemmerd door de moeilijke bereikbaarheid, in feite twee toegangswegen respectievelijk bij Zandvoort en De Langevelderslag. De wens voor verbetering van deze bereikbaarheid zal niet utopisch zijn. Wegenvrouw door de duinen of parallel aan het strand, langs de zeereep is niet realistisch. De kustverdediging kan worden aangepakt door zeewaarts verplaatsing van de kustlijn door de aanleg van grootschalige zandbuffers. Hierbij kunnen eventueel nieuwe eilanden worden aangelegd. Een futuristische oplossing voor de bereikbaarheid is de aanleg van een tram- of metrotunnel onder het strand aan de voet van de zeereep die aansluit op het spoor van Zandvoort, Scheveningen etc. Deze tunnel kan ook als damwand fungeren voor het vanuit de duinen naar zee afstromende zoete grondwater. Een dergelijke wand kan natuurlijke ook los van de voorgestelde tunnel worden aangelegd. De duinen behouden de functies watervoorziening, natuur en recreatie, maar er wordt voorkomen dat een negatief effect op de aangrenzende bollenpercelen ontstaat. Technisch is een dergelijk invulling goed mogelijk. In de duinen kan grondwaterwinning en kunstmatige grondwateraanvulling op diepte plaatsvinden waarbij de freatische grondwaterstand stijgt. Door een slimme positionering van winputten aan de oostzijde van de duinen kan grondwateroverlast in de bollenstreek worden voorkomen. Er ontstaat een min of meer gesloten systeem. In het bollengebied is het relatief eenvoudig de grondwaterstand beter te beheersen door het peilregiem aan te passen (polders). Het af te voeren water kan op strategische locaties worden gezuiverd en water met een ecologische functie kan zoveel mogelijk gescheiden worden van het af te voeren drainagewater.

4.7 VOOR- EN NADELEN VAN DE TOEPASSING VAN 'SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER' IN DE ZUIDELIJKE BOLLENSTREEK

Een extensief, duurzame invulling van systeemgericht grondwaterbeheer uitgaande van de huidige grond- en oppervlaktewatersituatie maakt radicale veranderingen in de ruimtelijke ordening noodzakelijk. Deze conflicteert met de huidige plannen en afspraken over de invulling van dit gebied en zal onder de huidige omstandigheden gepaard gaan met grote sociale en emotionele onrust en enorme kosten. Op termijn zullen deze veranderingen echter leiden tot een duurzaam watersysteem waarbij de

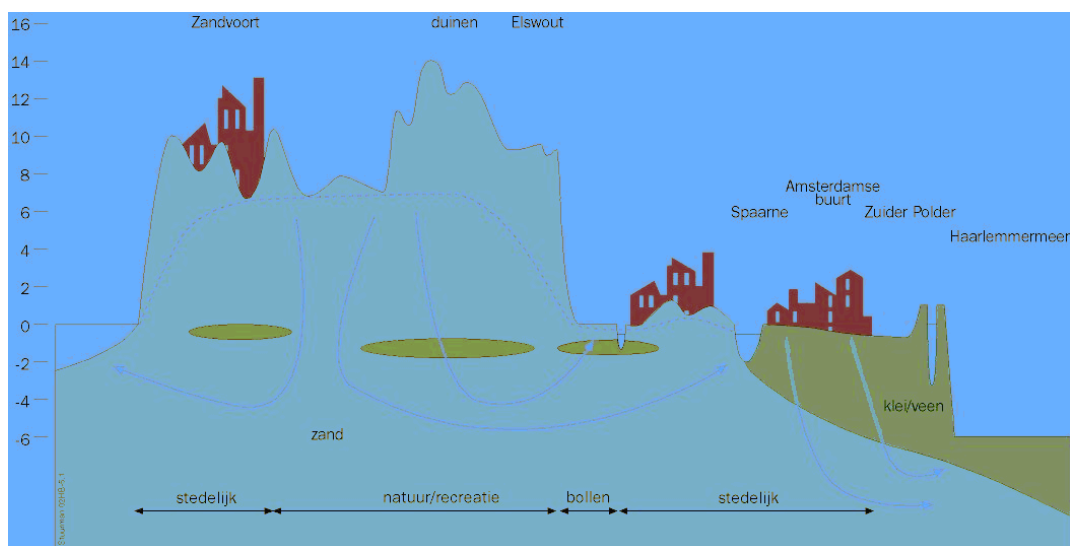
waterkwaliteit en -kwantiteit gewaarborgd is en een minimum aan energie gebruikt wordt om dit systeem te beheren.

Bij de invulling van de intensief-technische variant van systeemgericht grondwaterbeheer wordt grotendeels tegemoet gekomen aan de huidige functies. De emotionele weerstand en de kosten zullen veel geringer zijn. Een nadeel is dat de instandhouding van dit veel kunstmatiger watersysteem energie (brandstof) kost en dat verondersteld wordt dat de kennis van het functioneren van het bodem en grondwatersysteem voldoende volledig en betrouwbaar is. Dit, terwijl wij nu met een erfenis zitten van wetenschappers die in het verleden hun kennis ook met positieve bedoelingen toepasten en ervan overtuigd waren dat deze kennis voldoende volledig en betrouwbaar was.

5. DE GRONDWATERSITUATIE IN HET VERSTEDELIJKTE GEBIED VAN HAARLEM EN OMSTREKEN

5.1 DOELSTELLING

De locatie Kennemerduinen-Haarlem-Haarlemmermeer is als studiegebied gekozen omdat hier de afgelopen jaren veel grondwaterproblemen voorkwamen in het stedelijk gebied. Deze problemen betreffen (grond-)wateroverlast, grondwatervervuiling, droogstand van funderingen en bacteriële aantasting van funderingen. In figuur 5.1 wordt deze locatie middels een profiel gepresenteerd.



Figuur 5.1. Een schematisch oost-west profiel tussen de Noordzeekust en de Haarlemmermeer.

5.2 HISTORISCH HEERSENDE GRONDWATERSYSTEMEN

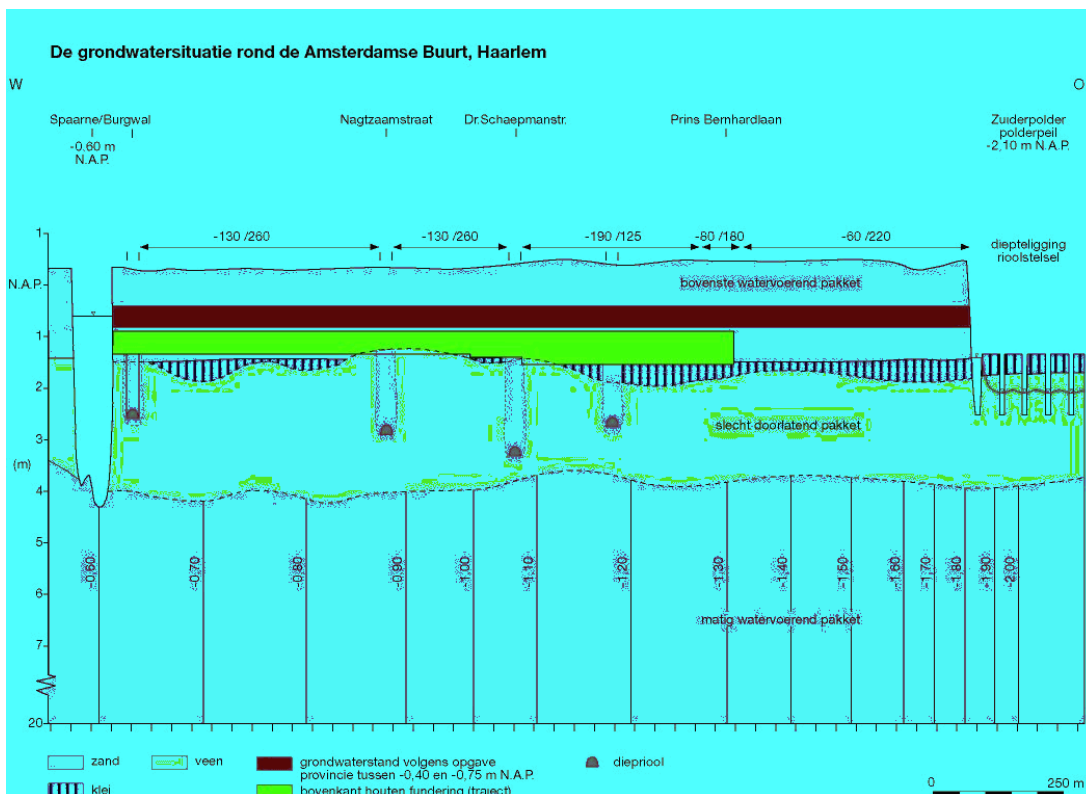
In hoofdstuk 4 is de waterhuishoudkundige historie van het gebied uitvoerig beschreven. Ook in dit gebied was sprake van een natuurlijke opeenvolging van (jonge)duinen, strandvlakten (kwel), strandwallen en Haarlemmermeer waarbij de natuurlijke grondwaterstroming door de inpoldering van deze Haarlemmermeer werd beïnvloed. In dit meer noordelijk gelegen deel bevinden zich de

Kennemerduinen waar sinds 1898 grondwater wordt onttrokken. In Overveen is deze onttrekking toegenomen tot ca 9,5 miljoen m³/ jaar en in Bloemendaal tot ca 1 miljoen m³/ jaar. In totaal werd er rond 1990 ca 15 miljoen m³/ jaar grondwater onttrokken. Belangrijk is dat in Overveen de onttrekking uit twee pakketten plaatsvindt, een freatisch pakket van 0-6m -NAP en een dieper watervoerend pakket van 25-40m - NAP. Sinds 1975 wordt bij Overveen ca 1 miljoen m³/ jaar kunstmatig geïnfiltrerd. De waterhuishoudkundige geschiedenis in dit duingebied verschilt echter met de eerder beschreven situatie bij de Gemeente Waterleidingduinen. De grondwateronttrekking in de Kennemerduinen is sinds het begin hoofdzakelijk verricht met pompputten terwijl er relatief geringe kunstmatige infiltratie heeft plaats gevonden.

5.3 MEER RECENTE MENSELIJK INGEPEN IN DE GRONDWATERSYSTEMEN

Vermindering grondwaterwinning Kennemerduinen: Sinds enkele jaren is de grondwaterwinning in de Kennemerduinen teruggebracht van 15 naar 6,5 miljoen m³/ jaar met als doel de winning op 1 mei 2002 in zijn geheel te stoppen. De drinkwaterwinning is hier overbodig geworden omdat de zuiveringsinstallaties in Overveen verouderd zijn en voldoende drinkwater geproduceerd kon worden in de drinkwaterfabriek te Heemskerk. In Heemskerk wordt IJsselmeerwater met behulp van membranen gezuiverd. Dit water is minder hard wat leidt tot minder kalkaanslag en tot minder zeepgebruik. Het opgepompte water uit de Kennemerduinen wordt al lange tijd niet meer gebruikt voor drinkwater maar na zuivering geloosd op het oppervlaktewater. Minder dan 5% van het door het PWN geleverde drinkwater bestaat nog uit natuurlijk grondwater uit de duinen. De PWN houdt het duinwater nog wel beschikbaar voor nooddrinkwatervoorziening. Hierbij zijn in eerste instantie hoofdzakelijk ondiepe, freatische putten bij Overveen gesloten. De verminderde grondwaterwinning heeft daarna geleid tot wateroverlast in het aan de duinen grenzende stedelijk gebied van Bloemendaal, in volkstuincomplexen, campings, begraafplaatsen en lanen met oude eiken of beuken. De grondwaterstand was op sommige plaatsen ca 70 cm gestegen. Deze overlast is meestal veroorzaakt doordat bij de bouwactiviteiten is uitgegaan van de dan heersende, door de winning verlaagde, grondwaterstand. Bovendien was het natuurlijke oppervlaktewatersysteem als gevolg van structurele droogstand deels verdwenen. Deze wateroverlast is bestreden door drainagesystemen aan te leggen in het stedelijke gebied en rond de begraafplaatsen terwijl het maaiveld in de volkstuinen en campings is verhoogd. De nog te maken kosten voor uitbreiding van drainage worden geschat op minimaal 20 miljoen gulden.

Recent wordt ook wateroverlast op grotere afstand van de Kennemerduinen, zoals in Heemstede en Haarlem, toegeschreven aan het verminderen van deze grondwaterwinning. Een relatie lijkt gezien de afstand niet aannemelijk. Uit diverse onderzoeken blijkt dat deze wateroverlast wordt veroorzaakt door een aantal opeenvolgende natte jaren en in feite natuurlijk is. Tijdens het ontwerp van stedelijke uitbreidingen werd nauwelijks aandacht aan het grondwater geschonken. In de huidige praktijk is deze aandacht nog steeds te beperkt. Zo worden niet of nauwelijks extreme situaties meegewogen.



Figuur 5.2. De grondwatersituatie in de Amsterdamse Buurt (Haarlem) tussen het Spaarne en de Haarlemmermeer (Stuurman en De Jong, 1995)

Perforatie van de deklaag en grondwaterstandsverlaging: Als gevolg van de inpoldering van de Haarlemmermeer is met name voor het gebied tussen het Spaarne en de Haarlemmermeer een kunstmatige infiltratiesituatie gecreëerd. Ter hoogte van het Spaarne is de freatische grondwaterstand (bijna) gelijk aan de stijghoogte in het ondiepe watervoerende pakket. In de richting van de Haarlemmermeer ontstaat echter een stijghoogteverschil dat kan oplopen tot enkele meters. Als gevolg hiervan is een kwetsbare grondwatersituatie ontstaan. Als gevolg van (lokale) beter

doorlatende delen van de Holocene deklaag, zoals bij zandige stroomgeulen, kan structurele grondwaterstandsverlaging hebben plaatsgevonden. In dit gebied is hier geen studie naar verricht. Wel zijn lokale, geïsoleerde grondwaterstandsverlagingen waargenomen rond diepriolen. Bij de aanleg van deze rioolssystemen zijn meters diepe cunetten gegraven in de Holocene deklaag en opgevuld met goed doorlatend zand. Langs deze cunetten worden grondwaterstandsverlagingen waargenomen doordat freatisch grondwater via deze cunetten kan wegstromen naar het diepe pakket (figuur 5.2).

Riolering en grondwaterstanden: In het stedelijk gebied heeft de aanleg van riolering op verschillende wijzen het grondwatersysteem beïnvloed. In de eerste plaats is de grondwatervoeding afgenomen doordat regenwater via het riool is afgevoerd. In de loop van de tijd zijn rioolssystemen beschadigd waardoor zij vaak onbedoeld grondwater zijn gaan draineren. Na rioolrenovatie is vaak wateroverlast ontstaan omdat de drainerende functie is weggefallen.

Stedelijke grondwatervervuiling: Als gevolg van industrie, riool lekkage, diffuse stedelijke vervuiling (strooizout, huishoudelijk afval, etc) is het grondwater onder de stad verontreinigd. De mate van verontreiniging kan van plaats tot plaats verschillen. In het centrum van Haarlem zijn op tientallen meters diepte tri-verontreinigingen aangetroffen.

Bacteriën en houten fundering: In de Amsterdamse buurt in noordwest Haarlem is grote schade ontstaan doordat houten (grenen) heipalen over de volle lengte zijn aangetast door bacteriën. Aantasting van houten fundering door schimmels bij (tijdelijke) droogstand is algemeen bekend, de oorzaak van deze bacteriële aantasting roept echter nog veel vragen op. Gesuggereerd wordt dat er een relatie met de veranderde grondwaterkwaliteit of grondwatertemperatuur kan bestaan (Stuurman en De Jong, 1995; Klaassen, den Nijs en van Beusekom, 1999).

5.4 MOGELIJKHEDEN VAN SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER

In dit deelgebied wordt van west naar oost de volgende zonering aangetroffen:

1. De Kennemerduinen (infiltratiegebied) met een natuurlijke begroeiing en de functies waterwinning, recreatie en natuur;
2. Duinzone met (villa-)bebouwing en bos (infiltratiegebied);
3. Afwisseling van strandwallen en -vlakten met bebouwing, landbouw en recreatie (afwisselend infiltratie en kwel);

4. Poldergebied ten oosten van het Spaarne met bebouwing, recreatie of landbouw (infiltratie);
5. De Haarlemmermeer, akkerbouw (kwel).

Tabel 5.1. Ingrepen van de mens op het functioneren van de hydrogeologische systemen in de Bollenstreek, en hun belangrijkste effecten en gevolgen voor bodemgebruik.

Directe ingreep	Belangrijk hydrogeologisch effect	Gevolg voor bodemgebruik
Opening en sluiting drinkwaterwinning	Verandering grondwaterstand en kwelintensiteit	Verdroging natuurgebieden, droogvalen drainage resp. vernatting natuurgebieden en woonwijken
Perforatie deklaag	Verhoging wegzijging	Plaatselijke grondwaterstandsverlaging
Indirecte ingreep		
Drainage	Beperking infiltratie naar diepere ondergrond	Verdroging natuurgebieden
Aanleg Leidsevaart	Interactie grond- en oppervlaktewater	Divers
Inpoldering Haarlemmermeer	Verandering grondwaterstroming	Landreclamatie
Verstedelijking en industrialisatie	Verslechtering grondwaterkwaliteit	Verontreiniging
Oppervlaktewaterpeilbeheer	Verandering hydrogeologische systemen	Divers
Bebossing en ontbossing	Verandering grondwateraanvulling	Verdroging/ vernatting

Extensief duurzame benadering

Bij een duurzame hydrologische inrichting van dit verstedelijkte gebied zou het landschap inclusief het hydrologisch systeem als basis moeten dienen. Dit is in het verleden echter niet gebeurd. Als gevolg hiervan zijn de mogelijkheden voor een extensieve benadering hier nu erg beperkt.

Met respect voor het grondwatersysteem zou bebouwing zoveel mogelijk in de hogere delen (strandwallen) hebben moeten plaatsvinden. Historisch gezien vond dit ook zo plaats. Hierbij moet regenwater wel kunnen infiltreren.

Bij het reeds geplande herstel van de natuurlijke grondwatersituatie in de Kennemerduinen vernatten de lage delen (duinkommen) van zowel het natuurgebied in de duinen als het hiernaast gelegen villagegebied. Ook de grondwaterstanden in de strandvlakten stijgen. Grote delen van deze strandvlakten zijn bebouwd of worden gebruikt voor recreatie (sportvelden, ijsbaan etc.). Wateroverlast in het voor recreatie en bebouwing gebruikte gebied moet in principe worden opgelost door herstel van het oorspronkelijke natuurlijke ontwateringssysteem in combinatie met bouwfysische maatregelen. Het is echter zo goed als zeker dat dit niet toereikend

zal zijn. In dit verstedelijkte gebied moet verder worden geprobeerd het grondwater lokaal vast te houden of te bergen. Dit geldt met name op de hogere delen. Bij nieuwe werkzaamheden moet beter worden ingespeeld op de natuurlijke grondwatersituatie. Ten oosten van het Spaarne moet de weerstandbiedende deklaag beschermd worden.

Intensief technische benadering

Na de reeds werkelijk gerealiseerde afname van de grondwaterwinning vindt nu al wateroverlast plaats. In opdracht van provincie, gemeente en waterleiding is door de Grontmij onderzoek naar deze situatie verricht en geadviseerd grootschalige (buis) drainagesystemen aan te leggen. Dit zal leiden tot afwenteling van dit drainagewater hetgeen ongewenst is. Het is goedkoper om de grondwaterwinning hier opnieuw op te starten maar dan meer oostelijk gesitueerd. Bij een juist gekozen puttenconfiguratie kan hiermee schoon duinwater worden gewonnen en gelijk de grondwaterstand in het bebouwde gebied worden gecontroleerd. In Bloemendaal zijn inmiddels zowel putten (verticale drainage) als horizontale drainage actief om de grondwatersituatie te beheersen. Het drainagewater wordt nu, na beluchting, geloosd op het oppervlaktewater.

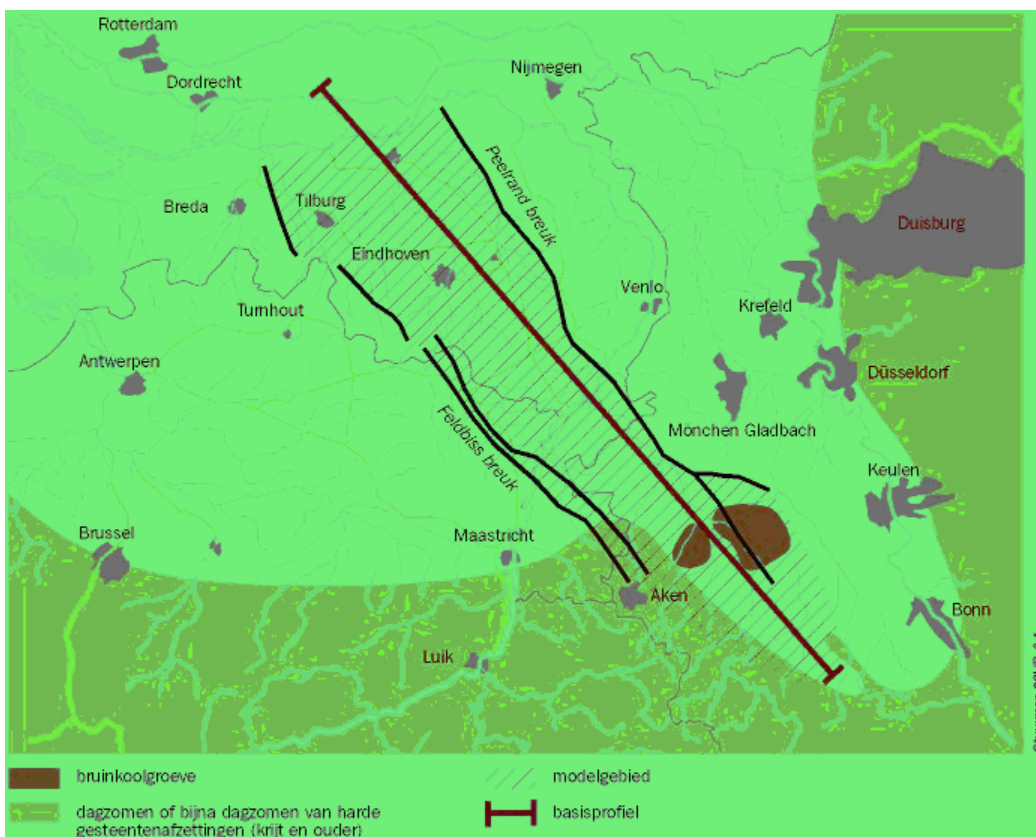
5.5 VOOR- EN NADELEN VAN DE TOEPASSING VAN 'SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER' IN HAARLEM EN OMGEVING

Door het grote oppervlak aan stedelijk gebied is de realisatie van de extensief-duurzame variant van systeemgericht grondwater in dit studiegebied zo goed als onmogelijk. De realisatie zou tot grote wateroverlast leiden. Dit zal vermoedelijk ook het geval zijn bij aanvullende bouwfysische maatregelen. Er zijn wel componenten te gebruiken, zoals herstel van het oppervlaktewatersysteem in de binnenduinrand. Deze activiteit kan echter ook ingebed worden binnen de intensief-technische variant.

6 DE GRONDWATERSITUATIE IN DE CENTRALE SLENK

6.1 INLEIDING

De Centrale Slenk vormt één van de belangrijkste zoetwaterreservoirs van Nederland. Dit slenkstelsel loopt van Brabant tot ver in Duitsland (Köln) en passeert ook Belgisch grondgebied (Figuur 6.1). In Limburg wordt de slenk 'Roerdal Slenk' genoemd.



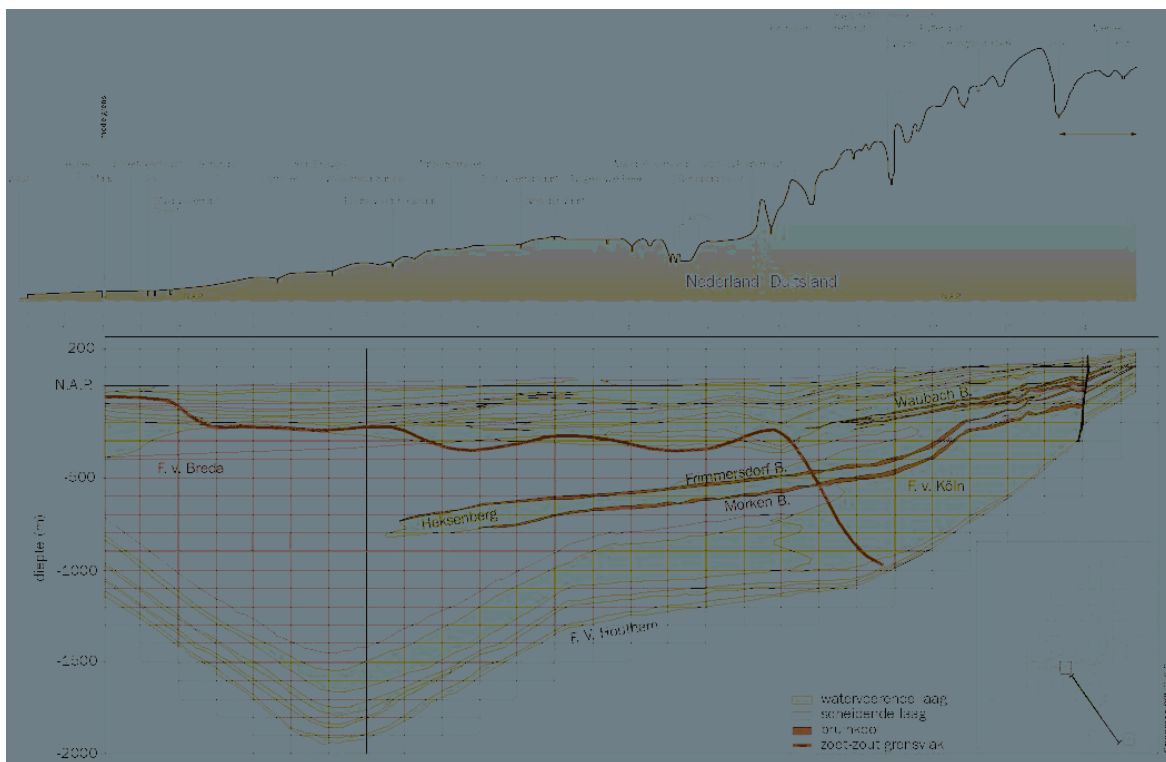
Figuur 6.1. De ligging van het slenkgebied en die van het basis profiel (Stuurman, 2000)

De Centrale Slenk is als voorbeeldgebied gebruikt vanwege de aanwezige complexe hydrologische processen zoals stijghoogteverlaging in diepe watervoerende pakketten. Dit hangt samen met de aanwezigheid van zeer slecht doorlatende kleilagen. Een extra interessant aspect vormt de aanwezigheid van kwetsbare zeer

laag dynamische grondsystemen onder deze kleilaag. Deze worden gekarakteriseerd door een lage stroomsnelheid en water met een ouderdom van tienduizenden jaren. Als gevolg hiervan bevinden zich in de slenk bijzondere waterlichamen die bestaan uit zeer oud, zuiver grondwater.

Ook grensoverschrijdende processen beïnvloeden het grondwatersysteem. In het bijzonder geldt dit voor de effecten van de bruinkoolwinning in Duitsland op het Nederlandse grondwatersysteem. Het voorbeeld laat ook zien dat bij het analyseren van deze effecten niet alleen op een ruimere horizontale schaal naar het grondwatersysteem moet worden gekeken maar dat de hydrogeologische configuratie ook een veel diepere (verticale) schaal vereist.

Een 'normale' hydrogeologische studie gaat meestal niet dieper dan het zoet-zout grensvlak. Omdat het aquifersysteem van Duitsland in noordwestelijke richting daalt verplaatsen de stijghoogte-effecten zich echter via diepe 'zoute' watervoerende pakketten.



Figuur 6.2. Schematisatie van de ondergrond van de Centrale Slenk in een profiel door het midden van de slenk (Stuurman en Vermeulen, 1996)

Figuur 6.2 toont de hydrogeologische schematisatie van een zuidoost-noordwest lopend profiel dat door het centrum van de Slenk loopt. In dit profiel is het zoet-zout grensvlak van 150 mg chloride per liter aangeduid. Het profiel laat zien, dat de zeer fijne zanden en kleien van de Formatie van Breda het grootste volume beslaan. Dit nogal slecht doorlatende pakket lijkt de 'traditionele' zoetwater-hydrologische pakketten van de diepere paleogene watervoerende eenheden te scheiden. Hierbij vormt de Formatie van Heksenberg een belangrijk hydrogeologische factor. Deze reeks afzettingen bestaat namelijk grotendeels uit terrestrische zanden die zijn afgezet toen de 'Breda'-zee zich tijdelijk terugtrok. Dit ging gepaard met de vorming van een veenlaag die een dikte van tientallen tot honderden meters bereikte. Dit veen werd later omgezet in bruinkool. Juist deze bruinkool kent een zeer hoge hydraulische weerstand en heeft een bepalende invloed op de doorwerking van de Duitse bruinkoolwinning op het Nederlandse grondwatersysteem.

Het landgebruik wordt hier schematisch beschreven. In Duitsland worden de op ca 100 meter +NAP gelegen terrassen bedekt met löss en vindt veel akkerbouw plaats. Daarnaast komen er bruinkoolmijnen voor en neemt naar het zuidoosten het industrieel complex toe. In het Nederlandse deel bestaan de hoger gelegen infiltratiegebieden (dekzandruggen, stuifduinen) vaak uit bossen, soms heide. De beekdalen bestaan grotendeels uit grasland welke vaak deel uit maakt van natuurreservaten. Het vlakkere, goed gedraineerde, tussenliggende gebied bestaat uit (intensieve) landbouw. In de noordelijke polders vindt akkerbouw plaats.

6.2 HISTORISCH HEERSENDE GRONDWATERSYSTEMEN

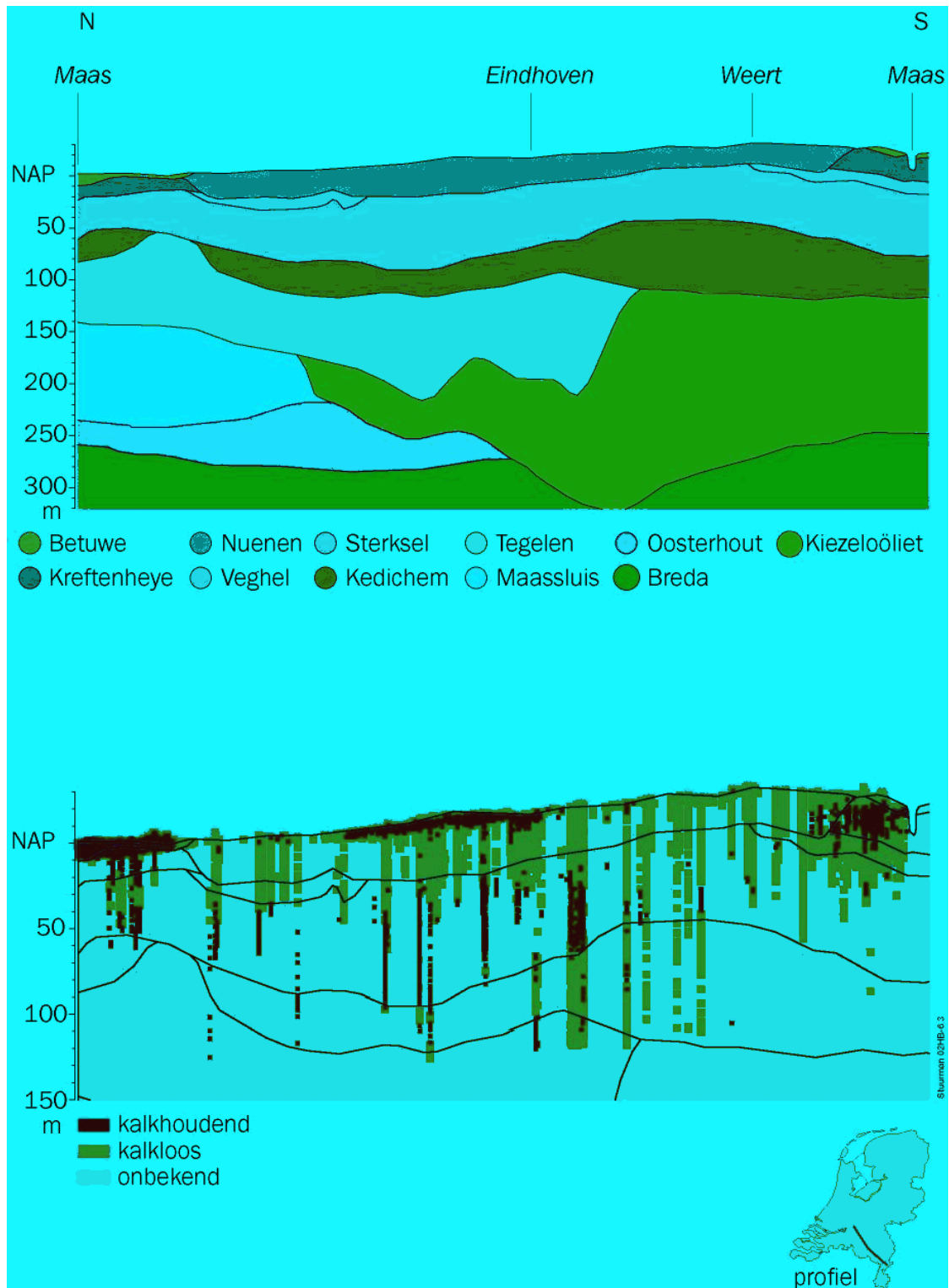
In deze paragraaf wordt getracht het natuurlijke grondwaterstromingssysteem ruimtelijk te beschrijven en te begrenzen met behulp van geochemische en hydrologische informatie als grondwatersamenstelling, het verloop van het zoet-zout grensvlak of ouderdom van het water. Deze patronen weerspiegelen het oorspronkelijke natuurlijke grondwatersysteem dat met name de afgelopen 100 jaar is gewijzigd. Om de met elkaar samenhangende vraagstukken op te lossen, is er voor gekozen de grondwaterstroming in de gehele Centrale en/of Roerdal Slenk te bestuderen. Een belangrijke karakteristiek is, dat er naar Nederlandse maatstaven tot op grote diepte klastische, sedimentaire afzettingen in voorkomen. De processen en de grondwaterstroming binnen deze slenk zijn onder andere bestudeerd met behulp van een numerieke modelstudie.

De verbreding van kalkloze en kalkrijke sedimenten

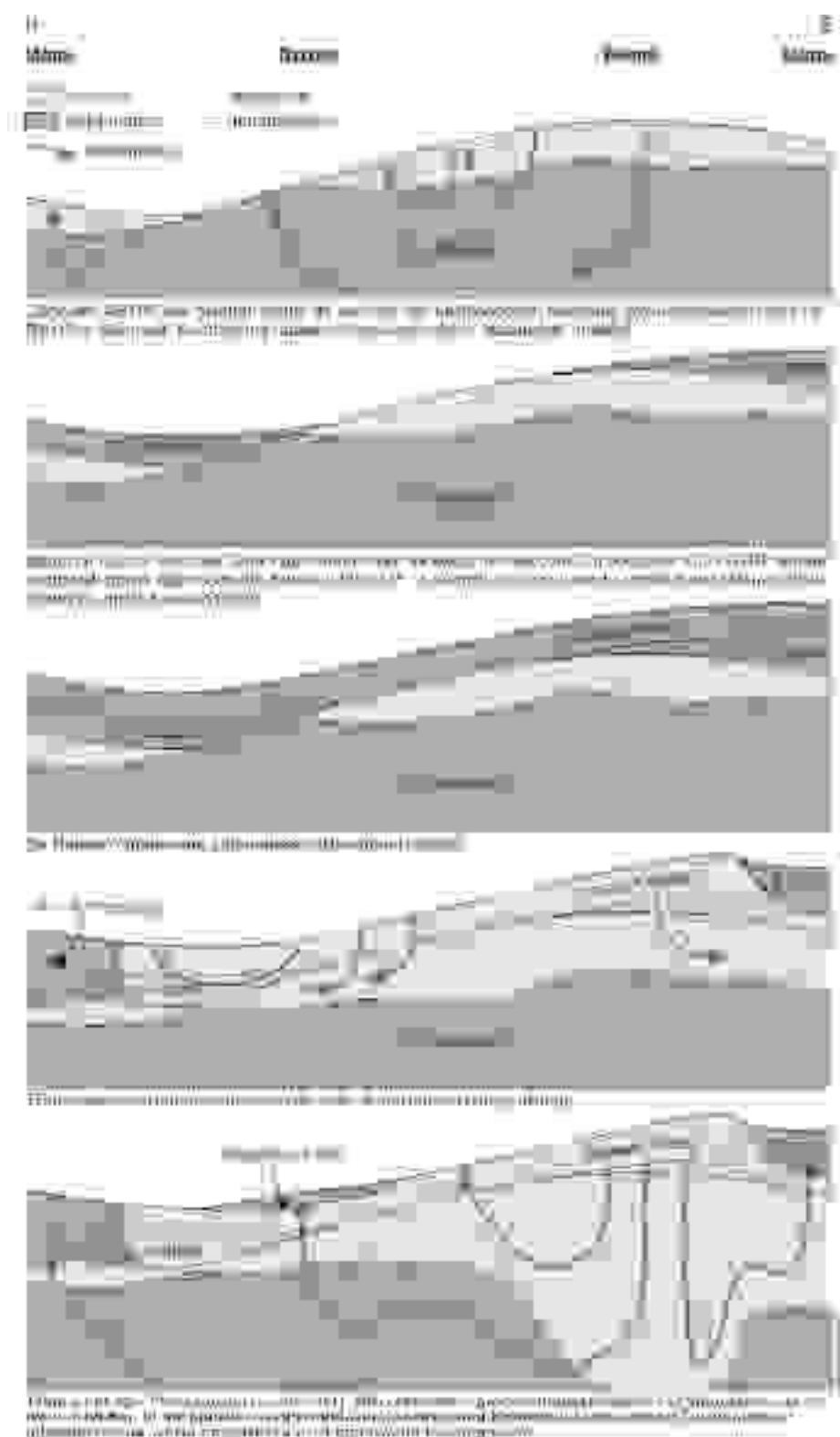
Zoals bekend hangt de kwaliteit van natuurwaarden in veel kwelgebieden samen met de basenrijkdom van het opstijgende grondwater. Vaak wordt ervan uit gegaan dat calciumrijk kwelwater afkomstig is van de diepere mariene pakketten. Geochemisch onderzoek laat echter zien dat ondiepe fluviaatiele en fluvioperiglaciale afzettingen in de slenk ook kalkhoudend kunnen zijn. In figuur 6.3 wordt in een noordwest-zuidoost profiel door de Roer Valley Graben het voorkomen van kalk in de bovenste 150 meter getoond. Hiervoor is aan weerszijde van de profiellijn een zone van 2,5 km gekozen waarbinnen alle datapunten op de profiellijn zijn geprojecteerd. Tevens is in het profiel de diepteligging van verschillende formaties aangegeven. De gegevens zijn afkomstig uit de TNO-DINO database.

De grove, grindrijke, grotendeels door de Rijn afgezette Formatie van Sterksel blijkt kalkhoudend te zijn afgezet. Direct na de afzetting (ca 450.000 jaar BP) startte de ontkalking. De ontkalkingsdiepte verschilt als gevolg van het grondwaterstromingspatroon. Onder infiltratiegebieden kan de Formatie van Sterksel volledig ontkalkt zijn terwijl deze onder kwelgebieden zijn kalkgehalte grotendeels behouden lijkt te hebben. Het ontkalkingspatroon van de fluviaatiele Sterkselafzettingen weerspiegelt het actuele grondwaterstromingssysteem. De plaatselijk op de Formatie van Sterksel rustende grove zanden van de Formatie van Veghel zijn door de Maas kalkrijk afgezet. Naderhand is deze afzetting tijdens de afzetting van de Nuenen Groep (tussen ca 450.000-10.000 BP) uitgeloogd. De relatief jonge grofzandige Formatie van Kreftenheye is binnen het studiegebied tussen 125.000 en 10.000 BP afgezet en nog steeds kalkrijk. Het behouden kalkgehalte heeft te maken met de ruimtelijke positie van deze afzetting langs de rivier de Maas (kwel!) en de geringe ouderdom. Ook de Holocene Betuweafzettingen zijn om deze reden kalkhoudend.

Opmerkelijk is dat in het centrum van de Centrale Slenk (Boxtel e.o.) de top van de deklaag (Nuenengroep) kalkrijk is terwijl de diepere delen kalkloos/arm zijn. Vermoedelijk is de Nuenen Groep oorspronkelijk kalkhoudend afgezet maar later bijna geheel ontkalkt. De ondiepe kalkrijke afzettingen zijn ca. 30.000 jaar geleden ontstaan doordat hier aan het eind van het Pleistoceen zich in het centrum van de slenk een moerasachtig gebied ontwikkelde waarin kalkrijke sedimenten werden afgezet. De kalkbron kon bestaan uit kalkrijk moedermateriaal of calciumrijke kwel vanuit de Sterkselafzettingen en/ of diepere mariene afzettingen. Het vermoeden bestaat dat deze calciumrijke kwel een belangrijke rol speelde omdat dit gebied ook nu nog onder invloed van kwel staat. In figuur 6.4 is getracht de ontwikkeling van de kalkverbreding in de Centrale Slenk te schetsen.



Figuur 6.3. Voorkomen van kalk in de ondergrond van de Centrale Slenk (Hemel en Stuurman, 1999)



Figuur 6.4. Een schematische weergave van het ontstaan van het actuele kalkvoorkomen in een noord-zuidprofiel tijdens het Midden- en Laat-Pleistoceen (Hemel en Stuurman, 1999).

Zoet-zout grensvlak

In figuur 6.2 is tevens de grens tussen het zoete en zoute grondwater aangegeven. De ligging van dit grensvlak levert informatie over de (paleo-)grondwaterstroming. Ten zuidoosten van de Maas ligt het grensvlak (150 mg Cl / l) op ca 800-1000 meter diep hetgeen, gegeven het feit dat ook hier mariene afzettingen voorkomen (o.a. Breda Formation), op langdurige verzoeting wijst. Dit wordt grotendeels gestuurd door infiltratie in het relatief hoog gelegen Duitse deel van de Centrale Slenk. Onderzoek naar de diepe grondwatersamenstelling bij Asten in het centrum van de slenk (Zuurdeeg et al., 1989) toonde ook aan dat in het verleden langdurig tot op grote diepte verzoeting heeft plaatsgevonden. Dit uit zich in de grote afstand tussen de 150 mg/l en 1000 mg/l grens, respectievelijk op 320 meter en 1020 meter onder maaiveld. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat de diepste (klastische) watervoerende pakketten (Berg- and Voort sands) verzilten. Deze verzilting vindt deels plaats door toestroming van thermaal formatiewater uit het onderliggende harde gesteente via spleten en karstgangen. In het noorden van de slenk is al zeer langdurig sprake van een kwelsituatie waardoor de zoute formatie nauwelijks is verzoet en het grensvlak vlak onder maaiveld ligt in het Land van Heusden en Altena. Het verloop van het zoet-zout grensvlak toont dat de Centrale Slenk tienduizenden jaren lang aan het verzoeten is. Een belangrijke factor hierbij vormde de toestroom van grondwater vanuit Duitsland.

Grondwatersamenstelling

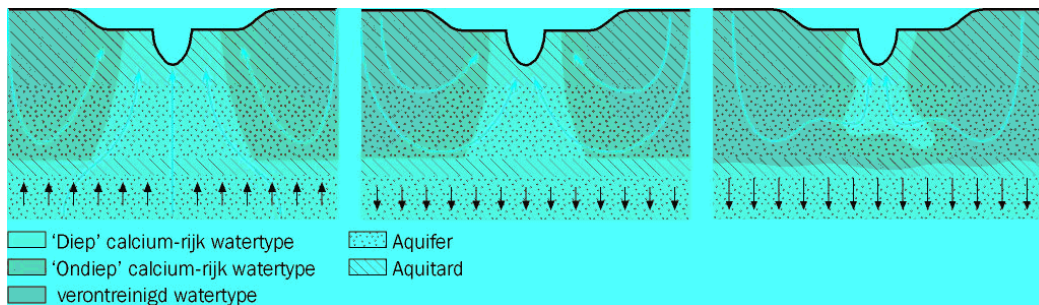
De huidige fysische gegevens zoals stijghoogten geven geen informatie over de grondwatersituatie voor de grote waterhuishoudkundige veranderingen in de afgelopen eeuw. Daarentegen zal de chemische samenstelling van het grondwater niet noemenswaardig zijn veranderd ten tijde van deze verandering van het hydrologisch stelsel en geeft derhalve wel inzicht. Door Nolte (1996) is getracht de hydrochemie in de slenk te karteren om de historische situatie verder te begrijpen. Naast de algemene chemische samenstelling is gebruik gemaakt van isotopenanalyses zoals deuterium, zuurstof-18 en koolstof-13 terwijl met behulp van koolstof-14 tevens de ouderdom van het water is bepaald.

Uit deze studie kwam naar voren dat het diepere zoete grondwater bijna overal een chloridegehalte lager dan 10 mg/l bezit. In het noordwesten en langs de Peelrandbreuk komt de zoet-zoutgrens omhoog. De variatie in calciumconcentratie en Total Inorganic Carbon (TIC) wordt in het noordelijk deel van de watervoerende pakketten verklaard door hydrologische factoren zoals verschillen in herkomst van het grondwater. Hierbij kunnen minimaal 2 supraregionale grondwatersystemen worden onderscheiden, respectievelijk gevoed op het Kempisch Plateau in

Vlaanderen en in Duitsland ten noorden van Aken. In het noorden van de graben wordt in de watervoerende pakketten methaan gevormd.

Op basis van de koolstof-14 datering en redoxgradient kon een noordwestelijke grondwaterstroming worden aangegeven. Zowel op basis van hydrochemie als op basis van de isotopensamenstelling kon het grondwatersysteem dat gevoed wordt (werd) op het Kempisch Plateau in Vlaanderen bijzonder goed worden herkend. Op het Kempisch Plateau en in Duitsland wordt zeer jong grondwater aangetroffen dat naar het noorden van de slenk geleidelijk ouder wordt tot een leeftijd van 30.000 jaar. Op verschillende plaatsen komen ook afwijkingen op dit patroon voor welke samenhangen met 'geneste' kleinschaliger stromingssystemen.

Met behulp van de chemische samenstelling en isotopensignatuur is ook het optreden van diepe kwel in het verleden onderzocht. In figuur 6.5 wordt de problematiek rond diepe kwel gevisualiseerd. Onder diepe kwel wordt verstaan dat het grondwater afkomstig is van onder de Kedichem-Tegelen kleilagen. Hierboven bevinden zich twee andere watervoerende pakketten. Op basis van het actuele stijghoogteverloop kan geen diepe kwel optreden, echter hydrochemische en isotopeninformatie laat zien dat dit vroeger wel plaats vond. Momenteel wordt dit relict diepe kwel in het ondiepe watervoerende pakket geleidelijk opgeruimd.



Figuur 6.5 Diepe kwel wordt als gevolg van de daling van de diepe stijghoogte vervangen door lokale kwel (Stuurman, 2000).

De natuurlijke regionale grondwatersystemen

De opeenvolging van redoxstadia, de isotopensamenstelling, het zoet-zout grensvlak en de datering geven duidelijk een noordwestelijke gerichte grondwaterstroming aan. De variatie in onder andere calciumconcentratie en TIC (Total Inorganic Carbon) geeft aan dat minimaal twee supraregionale grondwatersystemen in de diepe ondergrond bestaan. Bijzonder goed is het Lommel-Neerpelt grondwatersysteem te

herkennen, wat zich bevindt aan de westkant van de Centrale Slenk en gevoed wordt op het Kempische Plateau, grotendeel op Vlaams grondgebied gelegen. Het grondwater aan de oostkant van de slenk langs de Peelrandbreuk behoort tot een systeem dat waarschijnlijk in Duitsland gevoed wordt. Als infiltratiegebied kunnen de hoge gronden bij Weert en het gebied in het zuidwesten van de Slenk tussen de Feldbiss- en de Gangeltbreuk geïdentificeerd worden.

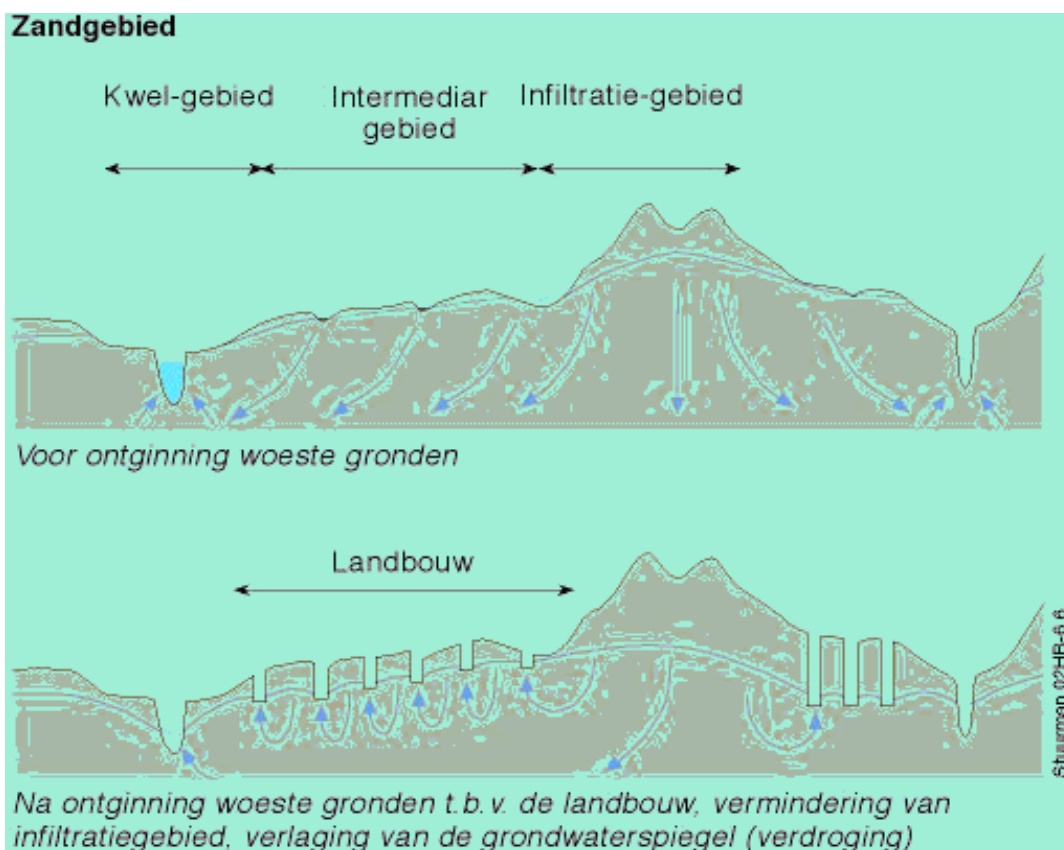
Uit isotopenonderzoek van Nolte (1996) bleek dat zowel calciumrijke kwel vanuit de Formatie van Sterksel als vanuit de diepe mariene pakketten opstijgt/ opsteeg. Uit het geochemisch onderzoek blijkt dat hier moeilijk op basis van het calciumgehalte een uitspraak over de herkomst van kwelwater gedaan kan worden. Wel is het zeer goed mogelijk dat kalk in de Brabantse Leem gevolg is van het optreden van calciumrijke kwel. Het lijkt erop dat de huidige supraregionale grondwatersystemen al ver in het Pleistoceen aanwezig waren. Het is niet bekend of deze watertypen verder vergelijkbaar zijn (ijzergehalte, redoxmilieu). De 'Sterkselkwel' kent reistijden in de orde van tientallen tot honderden jaren, terwijl de 'diepe kwel' reistijden van duizenden tot tienduizenden jaren kent.

De historische verandering van het natuurlijke topsysteem (oppervlaktewater-grondwater interactie)

In het Nederlandse deel van de Centrale Slenk kan onderscheid gemaakt worden tussen het zandgebied en het noordwestelijk gelegen Holocene veen- en kleigebied. In het zandgebied kon in het verleden onderscheid gemaakt worden tussen de (natte) heidegebieden, hoogveen, de (droge) dekzandruggen, oude landbouwgronden en beekdalen. De dekzandruggen en delen van het aangrenzende heidegebied vormden infiltratiegebieden. De heide werd getypeerd door de aanwezigheid van duizenden vennen waarvan het totale oppervlak aan het einde van de Negentiende en het begin van de twintigste eeuw met meer dan 90 % (schatting op basis historische kaart en inventarisatie in stroomgebied van het Merkske) is afgenomen. In een nog verder verleden bestond een groot deel van de vennenrijke heidegebied uit hoogveen dat rond 1000-1400 grotendeels werd ontgonnen.

De beekdalen kenden hooigraslanden (beemden) welke meestal honderden jaren geleden zijn gevormd. In deze beekdalen kwam calcium- en ijzerrijke regionale kwel voor terwijl hoger in het beekdal lokale kwel toestroomde. In de winter raakte het beekdal langdurig geïnundeerd. Deze inundaties werden ook veroorzaakt door de aanwezigheid van tientallen watermolens die al rond het jaar 1000 werden gebouwd.

De voeding van het diepe grondwater is in de tijd afgenomen doordat het infiltratiegebied in oppervlak is afgenomen en dat door verandering van het landgebruik het neerslagoverschot is verminderd. Het verminderde oppervlak aan infiltratiegebied hangt samen met de ontginning van de heide en venen (figuur 6.6). Hierdoor is het zogenaamde intermediaire (ontwaterde) gebied ontstaan. Als gevolg van deze ontginning is het regiem van de rivieren en beken veranderd. Hierdoor werd in de eerste helft van de twintigste eeuw veel overlast langs de beken veroorzaakt dat grotendeels de aanleiding vormde voor het instellen van waterschappen op de zandgronden. Als gevolg van de veranderingen in het peilregiem konden de tientallen watermolens niet meer gehandhaafd worden om tussen 1900-1950 grotendeels hun functie te verliezen. Na de tweede wereldoorlog werd ont- en afwatering verder verbeterd waarbij de beken werden gekanaliseerd, beekpeilen werden verlaagd en structurele langdurige inundaties verdwenen.



Figuur 6.6. De grondwatersituatie voor en na de ontginning van de natte heide (Stuurman, Van Beusekom en Reckman, 2000)

Het poldergebied werd gekarakteriseerd door zogenaamde 'binnen-' en 'buitenpolders' terwijl daarnaast in dit poldergebied de Beersche- en Baardwijkse

Overlaat (de groene rivier) een belangrijke rol speelde. Binnenpolders grenzen aan het zandgebied en werden meestal gekarakteriseerd door een veendek, de jongere en vaak hoger gelegen buitenpolders hebben rivier- of zeeleiafzettingen op dit veendek. In de loop van de tijd zijn de polderpeilen in de buitenpolders sterker verlaagd dan die in de binenpolders waardoor de kwel hierdoor naar het noorden is verplaatst. Het systeem van overlaten is eeuwenoud en pas in de Tweede Wereldoorlog definitief gestopt. Bij hoge Maaspeilen kon de Maas over land door de polders een extra uitweg vinden, van Beerse / Grave via Den Bosch naar Waalwijk.

6.3 MEER RECENTE MENSELIJK INGEPEN IN DE GRONDWATERSYSTEMEN

In de provincie Limburg en in het oosten van de provincie Noord-Brabant heeft de afgelopen decennia een daling van de diepe stijghoogten plaatsgevonden. Deze daling is niet of nauwelijks terug te vinden in ondiepe stijghoogten of freatische grondwaterstanden. Deze stijghoogtedaling wordt toegeschreven aan de diepe grondwaterwinning en de deels door bruinkoolwinning in Duitsland.

Meer recent, de afgelopen 15 jaar, heeft de toegenomen grondwateronttrekking ten behoeve van beregening een grote invloed op het grondwatersysteem gekregen. In Noord-Brabant wordt per jaar ca 450 miljoen m³/ jaar aan grondwater onttrokken. Hiervan wordt ca 100 miljoen toegeschreven aan beregening. Deze beregeningsonttrekking neemt af bij natte zomers. De hoeveelheid beregeningswater wordt echter in een hele korte tijd onttrokken, juist op het moment dat het oppervlaktewaterstelsel, met uitzondering van de grote waterlopen, droog staat. Het effect is met name merkbaar in kwelgebieden. In de droge perioden neemt hier de stijghoogte af waardoor de kwel wegvalt of tijdelijk kan omslaan in infiltratie. De grondwaterstand zal snel dalen.

Een recenter fenomeen is de toename aan particuliere winningen. Als gevolg van de grondwaterbelasting hebben veel particulieren eigen putten laten slaan. De kosten zijn binnen 2 jaar terug verdiend. Zo laten de Drinkwaterbedrijven een daling zien van hun onttrekking maar is het zeer wel mogelijk dat de totale grondwateronttrekking toegenomen is. Het grondwaterbeheer is als gevolg van deze ontwikkeling veel complexer geworden.

6.4 VERGELIJKING HISTORISCHE- EN ACTUELE GRONDWATERSITUATIE MET BEHULP VAN MODELSTUDIE

In de groeve Inden bij Düren wordt in dagbouw bruinkool op aanzienlijke diepte (200-350 m –mv) gewonnen. Voor deze grondstofwinning is het nodig de grondwaterstand tot ver onder deze bruinkoollagen terug te brengen. Hiertoe pompen de exploitanten van de groeve sinds 1950 het grondwater weg door middel van honderden putten. De onttrekking van grondwater uit deze winplaats komt op zeventig miljoen kubieke meter per jaar.

Uit de ruimtelijke verbreiding van de mariene Breda-afzettingen tot ver in Duitsland en de ligging van het zoet-zout grensvlak, kan worden opgemaakt dat vanuit Duitsland een aanmerkelijk verzoeting van het diepe grondwater heeft plaatsgevonden. In het 'eindige differentiemodel' (modflow) is het kalkgesteente (F. van Houthem) als hydrogeologische basis beschouwd. Dit houdt in, dat zowel de onderzijde als de zuidoostzijde van het model dicht is. In het zuiden komden kalkgesteenten aan de oppervlakte. Ze staan bekend als de 'Gebirgsrand'. Voor de noordzijde (de Maas bij Den Bosch) is een stijghoogte-randvoorwaarde aangenomen. Voor de Peelrand-breuk is op een geringe diepte een flux-randvoorwaarde gebruikt, terwijl deze op grotere diepte als ondoorlatend is beschouwd.

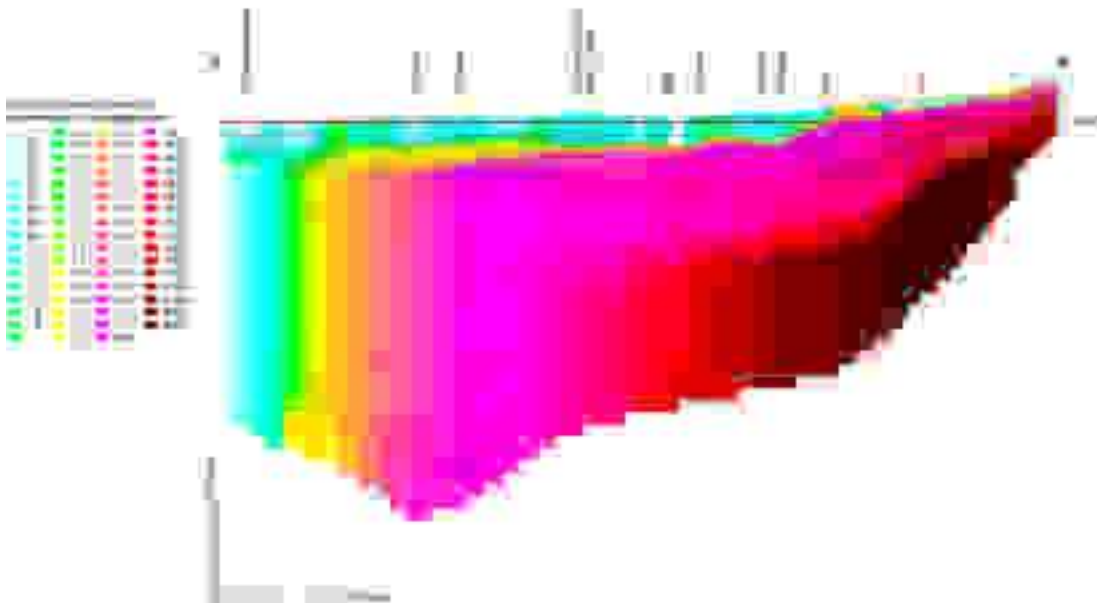
Voor de bovenrand van het model, die het aardoppervlak weergeeft, zijn gegevens verzameld voor de jaren 1850 en 1990. Bij het bepalen van het landgebruik in 1850 is de Historische en Militaire kaart uit dat jaar gebruikt. Maas-, kanaal- en beekpeilen uit die tijd zijn verzameld aan de hand van oude archieven en kaarten. Voor het berekenen van de actuele situatie zijn alle winningen en actuele oppervlaktewaterpeilen geïnventariseerd. De ontwatering is gerelateerd aan het landgebruik (CORINE-bestand) en het bodemtype. De bruinkoolgroeve is als een stijghoogterand ingevoerd. De permeabiliteitsgegevens die werden gehanteerd, zijn verzameld uit talrijke onderzoeken die in de Slenk hebben plaatsgevonden. Hieronder was onder andere een RIVM-modellering van de effecten van de bruinkoolwinning.

In eerste instantie is het grondwatermodel stationair gekalibreerd op de actuele situatie. Vervolgens is de zogenaamde 1850-variant berekend met behulp van een aangepast topsysteem. Deze variant toont de grondwatersituatie juist vóór de grote ontginningen, in een periode waarin nog nauwelijks grondwateronttrekking en bruinkoolwinning plaatsvond.

Daling

Door middel van een vergelijking van de 1990-variant met die van 1850 is het mogelijk een inschatting te maken van de stijghoogtedaling (zie figuur 6.7) in de Slenk, terwijl daarnaast de grondwaterstromingspatronen voor beide perioden met elkaar zijn te vergelijken.

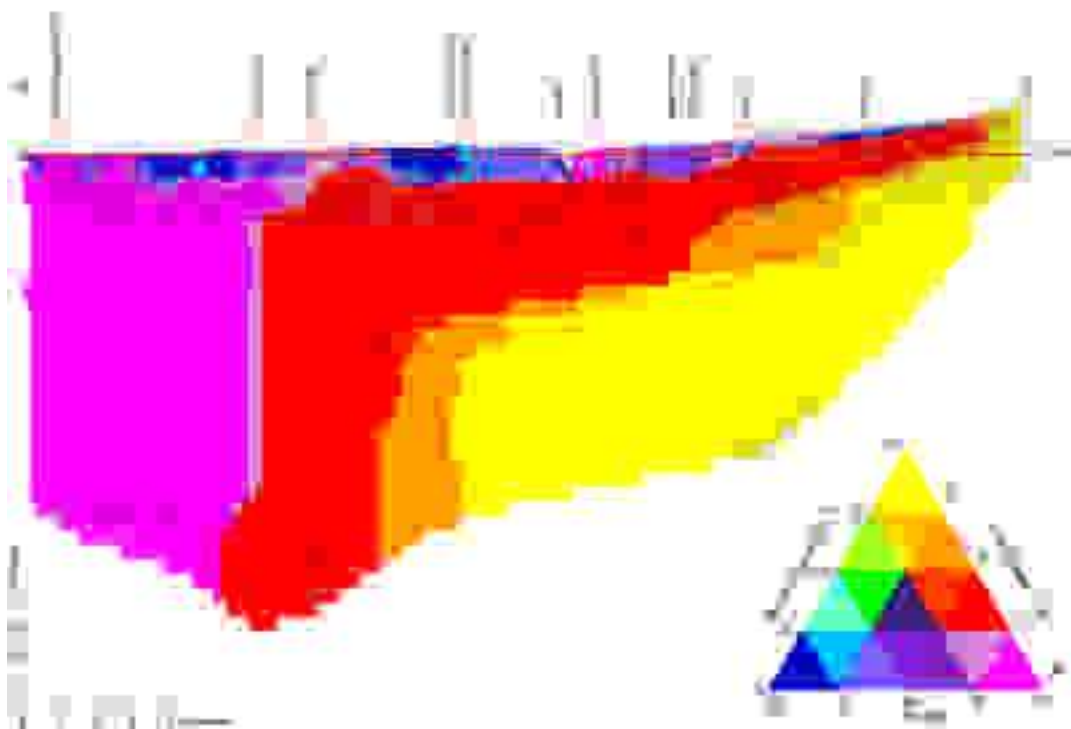
Het stijghoogteverschil tussen de situatie in 1850 en die in 1990 manifesteert zich vooral in de diepe watervoerende pakketten. Binnen de Waubach-zanden doen zich verlagingen van 10 tot 20 meter voor. Meer noordelijk in de Tegelen- en Belfeld-grof, bedragen de dalingen ongeveer 6 meter. In de veel diepere pakketten, onder bruinkoollagen Frimmersdorf en Morken bedraagt de daling wel tientallen tot zelfs honderden meters. Bij de grens tussen Limburg en Noord-Brabant berekent het model op zo'n 1000 meter diepte een verlaging van ruwweg 30 meter. In het ondiepe, semi-freatische pakket (F. van Sterksel) is de verlaging relatief gering: enkele decimeters tot enkele meters.



Figuur 6.7. De grondwaterstand- en stijghoogteverlaging in 1990 ten opzichte van de situatie in 1850 (Stuurman en Vermeulen, 1996).

Met behulp van het modelinstrumentarium was het mogelijk de procentuele bijdrage van de belangrijkste oorzaken van verdroging te bepalen. Dit zijn ontwatering, grondwaterwinning en de bruinkoolwinning (zie figuur 6.8). Hierbij is in de 1990-variant voor drie scenario's de toename van de stijghoogte berekend. In het eerste scenario is het uitzetten van grondwaterwinningen uitgewerkt. Het tweede gaat uit

van het stoppen van de bruinkoolwinning en het derde neemt als uitgangspunt het terugbrengen van het ontwateringssysteem naar de situatie van 1850. In figuur 6.8 is op deze manier procentueel de stijghoogteverlaging ten opzicht van 1850 verklaard. Wat hierbij opvalt, is dat de stijghoogtedaling in de Waubach-zanden (zie figuur 6.2) voor een belangrijk deel (ca. 25%) veroorzaakt wordt door de bruinkoolwinning. De resultaten uit het model tonen ook dat de stijghoogte in het semi-freatische watervoerende pakket (F. van Sterksel) grotendeels bepaald wordt door het topsysteem. Ze laten echter ook zien dat de door de grondwaterwinning (inclusief bruinkool) verlaagde diepe stijghoogte hier zijn invloed doet gelden. Als gevolg van de veranderingen in het stijghoogtepatroon zijn de stromingspatronen gewijzigd. Dit uit zich vooral in het wegvallen van opstijgende stroombanen (kwel) uit diepe pakketten en het terugstromen van diep, paleogeen grondwater naar Duitsland (figuur 6.9).

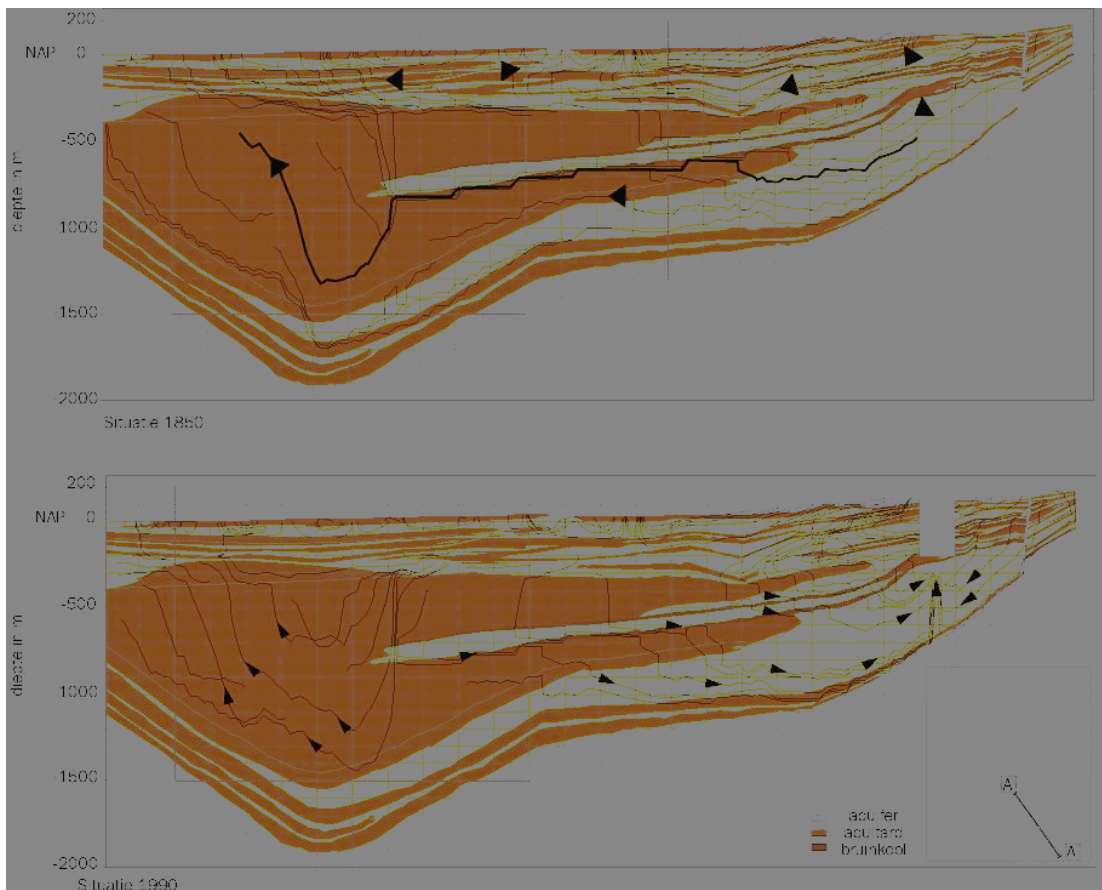


Figuur 6.8. De grondwaterstand- en stijghoogteverlaging (t.o.v. 1850) procentueel verklaard naar invloeden door bruinkoolwinning, andere grondwaterwinningen en ontwatering (Stuurman en Vermeulen, 1996)

De hydrochemie, de zoet-verdeling en de isotopeninhoud bevestigt in grote lijnen de hydrologische modelstudie voor de historische situatie. Het huidige stijghoogtepatroon is hiermee niet in evenwicht. Uit hydrochemische en isotopen

onderzoek blijkt dat stijghoogtedaling de toestroming van diepe kwel doet wegvallen en op grote diepte in Limburg zoet grondwater doet verzilten doordat hier de grondwaterstroming in richting is omgedraaid. Mogelijk vindt ook in de rest van de graben op grote diepte verzilting plaats.

De verandering van het systeem vormt zowel een bedreiging voor de grondwatervoorraad bestaand uit duizenden jaren oud grondwater als voor de natuur. Verkleining van de zuivere grondwatervoorraad door verzilting en vervuiling bedreigt de waterwinning. De van oorsprong 'diepe kwel' ontvangende natuur is in het nadeel als deze kwel wordt verruild voor ondiepere 'Sterkselkwel'. Dit laatste watertype is namelijk kwetsbaar voor verontreiniging en op veel plaatsen al vervuild.



Figuur 6.9. Stroombanen in de ondergrond van de Centrale Slenk in 1850 en tegenwoordig (Stuurman, 2000)

Tabel 6.1. Ingrepen van de mens op het functioneren van de hydrogeologische systemen in de Centrale Slenk, en hun belangrijkste effecten en gevolgen voor bodemgebruik.

Directe ingreep	Belangrijk hydrogeologisch effect	Gevolg voor bodemgebruik
Bruinkoolwinning	Stijghoogteverlaging	Verdroging
Beregening	Introductie zeer kleine systemen	Toename gewasopbrengst, verdroging
Laagwaardige industriële grondwateronttrekking	Verlaging grondwaterstand, afname grondwaterkwel	Verdroging
Hoogwaardige drinkwaterwinning	Verlaging grondwaterstand, afname grondwaterkwel, verzilting	Verdroging
Particuliere 'vlucht' winningen	Introductie kleine systemen	Versnippering, verdroging
Drooglegging vennen	Lokale grondwaterstandsverlaging, verkleinig berging, bijdarge piekafvoeren	
Indirecte ingreep		
Drainage	Beperking infiltratie naar diepere ondergrond	Landbouwverbetering, verdroging
Kanaalaanleg	Interactie grond- en oppervlaktewater	Divers
Landbouw	Verslechtering grondwaterkwaliteit	Grondwaterverontreiniging
Verstedelijking, industrialisatie	Verslechtering grondwaterkwaliteit	Grondwaterverontreiniging
Oppervlaktewaterpeilbeheer	Verandering hydrogeologische systemen	divers
Bebossing en ontbossing	Verandering grondwateraanvulling	Verdroging/ vernatting

6.5 MOGELIJKHEDEN VAN SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER

De Noord-Brabantse Nota Landschapsbeeld "Nieuwe aanpak naar een mooi en dynamisch Noord-Brabant" (Noord-Brabant en Nieuwland advies, 2000) geeft een handvat voor een verdere uitwerking van dit USGS-model naar de ruimtelijke planning. Hier wordt de Meervoudig Ruimtegebruik-methode uitgewerkt. Na een periode van vervlakking en aanzienlijke aantasting van het landschap moet deze methode helpen tot het herstel van een vitaal landschap.

In deze methode wordt het landschap gezien als een mozaïek van Ruimte-Gebruik-Vormen (natuur- en bosgebieden, landbouw, woon- en werkgebieden, infrastructuur), zoals legostenen op een grondplaat. Deze grondplaat is in feite de ecologische onderlegger, hier de Basis Landschaps Structuur genoemd, met de drie componenten bodem/ geomorfologie, de waterstructuur en de Landschappelijke Rijkdom (cultuurhistorische waarden, waardevolle open ruimte, natuur- en bosgebieden). De ordening van de legostenen op de grondplaat wordt beïnvloed door economische dynamiek.

In de Nota wordt gesteld dat het watersysteem een essentiële basis vormt voor de toekomstige ruimtelijke ordening van Noord-Brabant en dat wanneer dit systeem duurzaam wordt vormgegeven, waarbij zowel waterkwaliteit als waterkwantiteit verbeterd worden, zal de basis voor een ruimtelijk goed functionerend landschap gelegd worden. De volgende uitgangspunten gelden hierbij:

- Het schoon en doorlatend houden van de infiltratiegebieden om waterkwaliteit en -kwantiteit te bevorderen;
- Het schoonhouden van brongebieden om waterkwaliteit te bevorderen;
- Het herstel van het bekenstelsel, om retentie en waterkwaliteit te bevorderen;
- Het nathouden dan wel niet verdrogen van kwelgebieden;
- Het zo lang mogelijk vasthouden van water door retentie aan de bron en het zo langzaam mogelijk doorvoeren om problemen benedenstrooms gebied te voorkomen;
- Het zuiveren van water aan de bron.

Extensief duurzame benadering

Op supraregionaal niveau heeft de bruinkoolwinning een grote verandering op het grondwatersysteem veroorzaakt zoals stijghoogtedaling en omdraaiing van diepe grondwaterstromen. Het hoeft geen betoog dat dergelijke kolossale ingrepen ongewenst zijn.

Op regionaal niveau heeft de grondwaterwinning (inclusief beregening en particuliere winningen) een negatieve invloed. Deze grondwaterwinning moet worden teruggedrongen tot een hoeveelheid die gebaseerd is op de ecologische draagkracht van het grondwatersysteem. De ecologisch winbare hoeveelheid verschilt ruimtelijk. In het poldergebied (kwel) met de functies landbouw of bewoning kan bijvoorbeeld de kwel 'geogst' worden zonder verdere nadelige invloed te hebben op het systeem. Rond kwelgebieden met de functie natuur is het misschien ook mogelijk een bepaalde hoeveelheid grondwater te onttrekken. Vermoedelijk maakt het de natuur niet uit of er 5 of 10 mm/ dag kwel optreedt en kan het verschil worden gewonnen. De meest optimale situatie is echter dat er geen grondwaterwinning plaatsvindt maar dat dit grondwater gebruikt wordt nadat het is gekweld, zijn functie voor de natuur heeft verricht en afgevoerd wordt. Hiervoor kunnen bijvoorbeeld beekdalen worden aangewezen waarbinnen de functies natuur, recreatie en waterwinning worden gecombineerd.

Ook moet meer aandacht aan de periode van grondwateronttrekking worden besteed. In de praktijk wordt in de zomer veel meer grondwater onttrokken dan in de winter waardoor kwel in zijn geheel kan wegvallen. Er moet bij vergunningverlening meer aandacht aan deze tijdsafhankelijke aspecten worden besteed.

Naast vermindering van de grondwateronttrekking moet de voeding van de diepere watervoerende pakketten worden hersteld. Dit kan door aanpassing van het landgebruik in de infiltratiegebieden en het vergroten van infiltratiegebieden. Dit laatste kan worden gerealiseerd door het drainagesysteem aan de rand van deze infiltratiegebieden te dichten.

De situatie in het intermediaire gebied, de voormalige (natte) heide met vennen, is bepalend voor de kwantiteit en kwaliteit van de beken. De goede ontwatering en afwatering heeft geleid tot overstromingen benedenstrooms en lage zomerpeilen of droogstand in droge perioden. Het oppervlaktewatersysteem moet worden aangepast. Dit kan door slootboderverhoging, dichten van waterlopen, herstel van meandersystemen, herstel van oude vennen en natte heide waardoor deze als 'berging aan de bron' kunnen functioneren. De beken moeten in de winter ook weer langdurig kunnen inunderen waardoor niet alleen de ruimte voor oppervlaktewaterberging weer hersteld wordt, maar ook de grondwaterstand en terrestrische natuurwaarden in het aangrenzende hogere deel van het beekdal weer kansen krijgen.

Intensief technische benadering

Een meer technisch gestuurd herstel van het grondwatersysteem met respect voor de huidige economische activiteiten zou er als volgt kunnen uitzien. In Duitsland is men al bezig om het grondwater dat opgepompt wordt rond de bruinkoolgroeven te injecteren. Dit kan met name de grondwaterstands daling in het freatische pakket herstellen. Wat wel gebeurd is dat ook aquifervreemd wordt geïnjecteerd. Dit betreft grondwater uit diepe watervoerende lagen dat in ondiepe lagen wordt teruggebracht. Het effect van de bruinkoolwinning uit zich dan nog steeds via de stijghoogte in spanningswaterpakketten op (supra-)regionale schaal. Nog altijd wordt een groot deel van het onttrokken grondwater via het oppervlaktewatersysteem afgevoerd. Er dient aldus gewerkt te worden aan een beter hydrologische isolatie van deze bruinkoolwinning, bijvoorbeeld door injectie in diepe watervoerende pakketten. Een alternatief kan ook bestaan uit het transport van dit grondwater naar Nederland voor (drink-)waterproductie. Als gevolg hiervan hoeft in Nederland dan minder grondwater te worden onttrokken.

De drinkwaterwinning heeft de afgelopen decennia de ontrekkingen verdiept. De meeste freatische winningen zijn verplaatst naar diepe spanningswaterpakketten. In de pakketten is het grondwater van goede kwaliteit en dit wordt beschermd voor verontreinigingen die in toenemende mate in het freatische pakket werden waargenomen. De winning heeft onder deze omstandigheden weinig effect op de lokale grondwaterstand. Verlaging van de diepe stijghoogte en van diepe kwel is inherent aan deze invulling en moet anders worden opgevangen. De kwelafhankelijke natuur wordt afhankelijk van ondiepe water, het water waar de drinkwaterwinning angstig voor was. Een betere duurzame oplossing zou bestaan uit het winnen van ondiep grondwater in gebieden met wateroverlast of oppervlaktewater ongeacht de waterkwaliteit en dit te zuiveren met behulp van hyperfiltratie.

De regenwaterafhankelijke natuur is veelal eenvoudig te herstellen door het drainagesysteem aan te passen. De kwelafhankelijke natuur zal nauwelijks kunnen herstellen met behulp van technische oplossingen. Een kans voor herstel en bouw van kwelafhankelijke natuurwaarden is het aanleggen van kwelgebieden langs de Brabantse kanalen. Deze kanalen liggen meestal op een waterscheiding, waardoor infiltratie van het kanaalwater optreedt. Nu al liggen een paar prachtige kwelgebieden aan de voet van deze kanalen. Als gevolg van de continue wateraanvoer is de grondwaterstand het hele jaar gelijk aan maaiveld en is de grondwaterkwaliteit bijna gelijk aan natuurlijk kwelwater (ijzerrijk, calciumrijk). Hier komen dan ook nog plantensoorten voor die elders in kwelgebieden zijn verdwenen.

Voor de landbouwwatervoorziening kan wateraanvoer misschien een uitkomst bieden. Door bassins op hoger gelegen plaatsen aan te leggen en in de winter te voeden met beekwater kan deze vorm worden gegeven.

6.6 VOOR- EN NADELEN VAN DE TOEPASSING 'SYSTEEMGERICHT GRONDWATERBEHEER' IN DE CENTRALE SLENK

Het realiseren van de extensief-duurzame variant van systeemgericht grondwaterbeheer maakt grote aanpassingen in de actuele ruimtelijke ordening en grondwatergebruik noodzakelijk. Herstel van de natuurlijke eigenschappen van het oppervlaktewatersysteem maakt niet alleen verwerving van de beekdalen noodzakelijk maar ook van de in het verleden ontwaterde vennen of moerassen in de infiltratiegebieden. Vooral deze bronbergingsgebieden liggen sterk versnipperd over

het gebied. Het spreekt voor zich dat een uitvoering op korte termijn tot grote weerstand kan leiden. De kosten zullen (op korte termijn ?) veel hoger zijn dan de intensief-technische variant, maar op de lange termijn zichzelf terugbetalen omdat volgende compenserende maatregelen achterwege kunnen blijven.

7 LESSEN UIT DE VOORBEELDGEBIEDEN

Bestudering van de knelpunten in (grond)waterbeheer in de vier gebieden maakt duidelijk dat de hydrogeologische systemen in hun fysische en/of chemische aspecten ingrijpend zijn veranderd door het menselijk handelen. De veranderingen geven vaak aanleiding tot negatieve beïnvloeding zoals grondwaterverontreiniging en verdroging van natuur, maar soms is ook sprake van positieve beïnvloeding zoals betere geschiktheid voor bebouwing. In zijn totaliteit wordt de beïnvloeding als negatief ervaren vooral vanwege de verdroging van gebieden met grondwaterafhankelijke ecosystemen en daarnaast de heersende grondwaterverontreinigingen.

Tegenwoordig roepen veel door de mens geïnduceerde veranderingen in de (geo)hydrologische situatie negatieve bijeffecten op. Dit is een gevolg van de intensiteit en dynamiek van het huidige gebruik dat de bodem en het grondwater in Nederland kenmerkt. Als voorbeeld dient de situatie bij de Hollandse duinen: de bestrijding van verdroging van de duinen leidt tot wateroverlast in de bewoonde gebieden aan de rand van de duinen. Een systeemgerichte benadering voor grondwaterbeheer in plaats van een sectorale benadering zou leiden tot een betere bewustwording van de effecten die veranderingen in (grond)waterbeheer hebben op de fysische en biogeochemische toestand van grondwatersystemen.

Systeemgericht grondwaterbeheer dient ertoe om de ruimtelijke samenhang van het grondwater met infiltratiegebieden, kwelgebieden, onttrekkingsmiddelen, bodemeigenschappen, oppervlaktewateren beter te onderkennen, zodat daar met nieuwe ontwikkelingen op kan worden ingespeeld. Hierbij is het tevens van essentieel belang om het effect te kennen van grote ingrepen die in het verleden hebben plaatsgevonden. Zo kunnen nieuwe problemen worden voorkomen als deze ingreep ongedaan wordt gemaakt. Een voorbeeld hiervan is Bloemendaal waar veel bebouwing plaatsvond toen de grondwaterstand door de waterwinning in de duinen verlaagd was. Naar de toekomst toe moeten bij de actuele ruimtelijke inrichting ook autonome processen worden beschouwd. Een voorbeeld is de eventuele verandering in het klimaat zoals het effect van een toename van intensieve regenbuien bij het bepalen van de gewenste grondwaterregimes in het stedelijk gebied. Vanuit het besef van een ruimtelijke samenhang kunnen in principe de consequenties van het menselijk ingrijpen beter beoordeeld worden dan bij een sectorale benadering. Een

sectorale benadering leidt snel tot afwenteling van problemen of het oplossen van problemen ten koste van het creëren van nieuwe problemen.

Bij het uitwerken van systeemgericht grondwaterbeheer in de voorbeelden van dit rapport zijn twee contrasterende vormen onderscheiden: 1. extensief duurzaam en 2. intensief technisch. Bij het eerste zijn de natuurlijke potenties voorwaardescheppend en bij het tweede zijn de antropogene functies voorwaardestellend. Tussenvormen zijn in de praktijk uiteraard denkbaar. Uitwerking van deze twee vormen van beheer op de drie studiegebieden maakt duidelijk dat grote veranderingen in het grondwaterbeheer nodig zijn. Bij een extensieve duurzame benadering zijn de natuurlijke potenties voorwaardescheppend. Er is bij deze benadering sprake van een terugkeer naar de natuurlijke situatie, want hierdoor worden de natuurlijke potenties het meest benut. In algemene zin geldt dat droge gebieden worden benut voor bebouwing en landbouw en natte gebieden veelal voor natuur en recreatie. Bij een intensieve technische benadering vergen technische maatregelen ten alle tijde gebruik van grondstoffen en een benadering die gestoeld is op technische maatregelen kan nimmer zo duurzaam zijn als een extensieve benadering zonder technische maatregelen. Beide benaderingen leiden tot rigoureuze veranderingen in de hedendaagse gebiedsindeling, met name om de functies wonen, natuur, recreatie en extensieve landbouw beter op elkaar af te stemmen. Een rigoureuze herindeling zal maatschappelijk gezien op weerstand stuiten. Bewoning van de rand van de Veluwe zal bijvoorbeeld op weerstand stuiten omdat het nationaal landschap de Veluwe als een kostbaar goed wordt gezien. Vanuit het perspectief van duurzaamheid is dit bij voortgaande verstedelijking rondom Apeldoorn wel zonder enige twijfel een goede keuze. Het verplaatsen van bollengronden aan de rand van duinen naar de Haarlemmermeer polder zal evenzeer op weerstand stuiten. Zo'n verplaatsing is echter wel verstandig vanuit het perspectief van waterkwaliteitsbeheer, want door de verplaatsing komt de bodem- en grondwaterverontreinigende activiteit van bollenteelt aan de uitgang van het watersysteem terecht in plaats van in het midden of de ingang.

Systeemgericht grondwaterbeheer zal tegenstrijdigheden in gewenste functies en de discrepantie tussen potenties en functies niet kunnen opheffen. Wel maakt het deze tegenstrijdigheden en discrepanties inzichtelijk. Dit komt duidelijk naar voren bij de uitwerking van de twee contrasterende vormen van systeemgericht grondwaterbeheer voor de drie bestudeerde gebieden: de potenties van gebieden zijn eindig en de functies kunnen hierop niet oneindig worden aangepast. De hoeveelheid zoet grondwater in de kuststrook is bijvoorbeeld beperkt door de netto neerslag die jaarlijks valt. Het gebruik en verbruik van zoet grondwater dient hierop afgestemd

te zijn. Door technische maatregelen kunnen extra functies gerealiseerd worden, die onder de natuurlijk heersende condities niet mogelijk zijn. Het verleden heeft echter aangetoond dat dit soort korte termijn successen op de lange termijn niet bestendig zijn, zeker als we het waterbeheer van de afgelopen eeuwen beschouwen. Het idee van Ruimte voor Water is immers het onderkennen van het falen van een technische insteek op watermanagement in plaats van een geowetenschappelijke insteek.

8 CONCLUSIES

De uitwerking van de gebieden op systeemgericht grondwaterbeheer maakt het mogelijk om enkele algemene conclusies te trekken ten aanzien van grondwaterbeheer in het bijzonder en waterbeheer in het algemeen:

- Grondwaterbeheer in het algemeen is niet of nauwelijks belicht in de nationale beleidsdocumenten over nieuw waterbeheer, die in de afgelopen jaren zijn verschenen. Bij waterbeheer wordt door lagere overheden primair gedacht vanuit stedelijk en landelijk waterbeheer, en niet vanuit systeemgericht waterbeheer. De term 'Integraal Waterbeheer' verwijst niet naar integraal waterbeheer maar naar integraal oppervlaktewaterbeheer.
- Voor de twintigste eeuw heeft de Nederlander reeds vele ingrepen gepleegd in de waterhuishouding van zowel hoog- als laag-Nederland. In de loop van de twintigste eeuw is er meer afstand gekomen in de relatie van mens met water, bodem en natuur. Dit heeft geleid tot grootschalige problemen op het gebied van water en milieu.
- Bij systeemgericht grondwaterbeheer moet niet alleen de ruimtelijke begrenzing van het grondwatersysteem worden begrepen, maar is het ook nuttig en leerzaam om de geleidelijke overgang vanuit de natuurlijke naar de actuele situatie te doorgronden. Grote omkeerbare en onomkeerbare ingrepen, respectievelijk grondwateronttrekking en afgraving duinrand, en autonome ontwikkelingen moeten worden beschouwd.
- Voor het opstellen van het toekomstig waterbeheer is het nodig het historische natuurlijke systeem goed te kennen en te begrijpen.
- Bij het opstellen van het toekomstig waterbeheer kan men de keuze maken tussen een extensieve, duurzame benadering, waarbij de hydrologische situatie dicht tegen de natuurlijke situatie aankomt, en een intensieve, technische benadering maken. Een intensieve technische benadering kan minder snel als 'duurzaam' aangemerkt worden. In deze benadering worden ten alle tijde grondstoffen verbruikt in tegenstelling tot een extensieve benadering. Het hanteren van een extensieve duurzame benadering in het (grond)waterbeheer kan echter leiden tot grote verschuivingen en veranderingen in bodem- en watergebruik.
- Het huidige waterbeheer is sectoraal en gebiedsgericht en weinig watersysteemgericht. Een betere integratie van het locale-, regionale-, landelijke- en Europese waterbeheer is noodzakelijk. De beste insteek is dan vanuit stroomgebieden, zoals ook voorgesteld in de EU kaderrichtlijn water.

Grondwater en bodem dienen hierbij wel als entiteiten meegenomen te worden naast het oppervlaktewater.

9 REFERENTIES

- Aardoom, L. (1989). Caart der Limitten van de Hooge en Vrije Heerlijckhijdt van Het Loo. Canaletto, Alphen a/ d Rijn, 136 pp.
- Alley, W.M., T.E. Reily, O.L. Franke (1999). Sustainability of ground-water resources. U.S. Geological Survey Circular 1186.
- Berendsen, H.J.A. (2000). Landschap in delen. Overzicht van de geofactoren. Van Gorcum, Assen, 320 pp.
- Biamond (1940). Rapport 1940 – De watervoorziening van Amsterdam. Gemeentewaterleidingen, Amsterdam, 325 pp.
- Bruntland, L. (1987). Our common future. World Comission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford.
- Commissie Wateronttrekking Veluwe (1933). Wateronttrekking aan de Veluwe. Rapport van de Commissie inzake de Wateronttrekking aan de Veluwe (E.D. van Dissel, voorzitter), Algemeene Landsdrukkerij, 's Gravenhage, 1933, 329 pp.
- Dowing, R.A., (1998). Groundwater our hidden asset: Earthwise Series, British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, UK.
- Gehrels, J.C. (1999). Groundwater Level Fluctuations. Separation of natural from anthropogenic influences and determination of grondwater recharge in the Veluwe area, the Netherlands. Proefschrift, Vrije Universiteit, Amsterdam, 269 pp.
- Griffioen, J., Notenboom, J, Schraa, G., Stuurman, R.J. & Van Wirdum, G. (2002). Systeemgericht grondwaterbeheer. Beschrijving van het functioneren van grondwatersystemen en de werking voor grondwaterafhankelijke ecosystemen. NITG-TNO.
- GS Gelderland (1999). Gelders Omgevingsbeleid. Monitoring deel B. Rapportage over de resultaten van Streekplan, Milieuplan en Waterhuishoudingsplan. Gedeputeerde Staten van Gelderland, januari 1999.
- Hardonk, R. (1968). Koornmullenaers, pampiermaeckers en coperslaghers. Korte historie der waterradmolens van Apeldoorn, Beekbergen en Loenen. Historisch Museum Moerman, Apeldoorn, 256 pp.
- Hemel, R.B.J. en R.J. Stuurman, (1999). Kalk en kwel. Calciumrijke kwel en de verbreiding en genese van kalkrijke sedimenten in de Centrale Slenk. Stromingen 5, nummer 2.
- Jongman, R.H.G. & Van de Nes, Th.J. (1982). Beken op de Veluwe, Onderzoek naar de mogelijkheden voor herstel en behoud. begeleidingscommissie proefgebied

- Nationaal Landschap Veluwe, Eindrapport van de werkgroep Sprengen en Beken. Arnhem, Provinciaal Bestuur van Gelderland, mei 1982.
- Kloosterman, F.H. (1996). Landelijke hydrologische systeemanalyse. Deelrapport 2. Deelgebied Midden-Nederland. De regionale grondwaterstromingsstelsels rond de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug. TNO Grondwater en Geo-Energie, rapportno. GG R-93-41(B).
- Kramer, M. & Tempelaars, J.M.J. (1999). Water en landschap bepalend voor de inrichting in stedelijk gebied. Deel A: Analyse van het natuurlijk systeem in de Zuidbroek, Apeldoorn. NITG-TNO, rapportno. 99-130-B, 30 pp.
- Meinardi, C.R. (1974). De chemische samenstelling van het grondwater van de Veluwe. R.I.D. mededeling 74-4, 48 pp.
- Meinardi, C.R. (1999). Stroming en samenstelling van de sprengen en het grondwater van de Veluwe in 1996; een vergelijking met de toestand in 1986. RIVM rapportno. 714851004, 45 pp.
- Nolte, A., (1996). Hydrochemie van de Centrale- en Roerdal Slenk en het optreden van diepe kwel. TNO-rapport OS 96-90 (B)
- Provincie Noord-Brabant en Nieuwland Advies, 2000. Nota Landschapsbeeld. Nieuwe aanpak naar een mooi en dynamisch Noord-Brabant.
- Roebert, A.J., (1972). Fresh water winning and salt water encroachment in the Amsterdam dune water catchment area. *Geologie en mijnbouw* 51, 35-44.
- Soesbergen M. Th., G.J. Witjes en F. Heinis (1977). Bufferzone de Zilk. Oplossingsrichtingen ter voorkoming van wateroverlast. Rapport Witteveen Bos en AquaSense.
- Spoel, J.A. (ed.), (1982). Gelders Molenboek. De Walburg Pers, Zutphen, tweede druk, 655 pp.
- Stuurman, R.J. en P. Vermeulen, (1996). Grensoverschrijdende grondwaterstromen in de Centrale en Roerdal Slenk. *Spraakwater* Nr 4, december 1996. Periodiek van TNO Grondwater en Geo-Energie.
- Stuurman, R.J. (1996). Landelijke hydrologische systeemanalyse. Deelrapport 5. Deelgebied Noord-Brabant / Limburg. De regionale grondwaterstromingsstelsels rond het Kempisch Plateau, de Brabantse dekzandruggen en de Limburgse maasterrassen. TNO Grondwater en Geo-Energie, rapportno. GG R-96-66(B).
- Stuurman, R.J. en J. De Jong (1995). Grondwatersituatie Amsterdamse Buurt, Haarlem. TNO-rapport GG-R-95-58 (B).
- Stuurman, R.J. (2000). Transboundary hydrogeological processes in the southern Netherlands. The genesis of the groundwater flow system, from 500,000 years ago to the present. In proceedings IAH-symposium Evaluation and protection

- of groundwater resources 'From vision to action', Wageningen 20 september 2000.
- Stuurman, R.J., G. van Beusekom en J. Reckman, (2000). Watersystemen in Beeld. Een beschrijving en kaarten van de grond- en oppervlaktewatersystemen van Noord-Brabant. TNO-rapport NITG 00-10-A.
- Stuyfzand, P.J. (1988). Hydrochemie en hydrologie van duinen en aangrenzende polders tussen Noordwijk en Zandvoort aan Zee. KIWA-rapport SWE 87-007.
- Tebodin (2000). Grondwatersanering in breder perspectief. Tebodin, documentno. 3315003.
- Tennekes, H. (1993). De ecologisering van de meteoroloog. In 'Natuur of Milieu; Filosofische overwegingen bij milieu en beleid', G.A. van der Wal & R.M. Hogendoorn (red). Rotterdamsche Filosofische Studies, Erasmus Universiteit, p. 19-32.
- Van der Meer, K., (1952). De bodemkartering van Nederland. Deel XI. De Bloembollenstreek.
- Van de Wal, G.A. (1993). Voorgeprogrammeerd probleem? In 'Natuur of Milieu; Filosofische overwegingen bij milieu en beleid', G.A. van der Wal & R.M. Hogendoorn (red). Rotterdamsche Filosofische Studies, Erasmus Universiteit, p. 65-79.
- Verhoog, H. (1993). Lezen in het Boek der Natuur. Vroeger en Nu. In 'Natuur of Milieu; Filosofische overwegingen bij milieu en beleid', G.A. van der Wal & R.M. Hogendoorn (red). Rotterdamsche Filosofische Studies, Erasmus Universiteit, p. 1-10.
- Warmerdam, J.C., (1950). Verleden, heden en toekomst van Noordwijkerhout en omgeving.
- Zuurdeeg, B.W. et al., (1989). Geothermische reserves in de Centrale Slenk, Nederland. TNO-rapport OS 89-20.