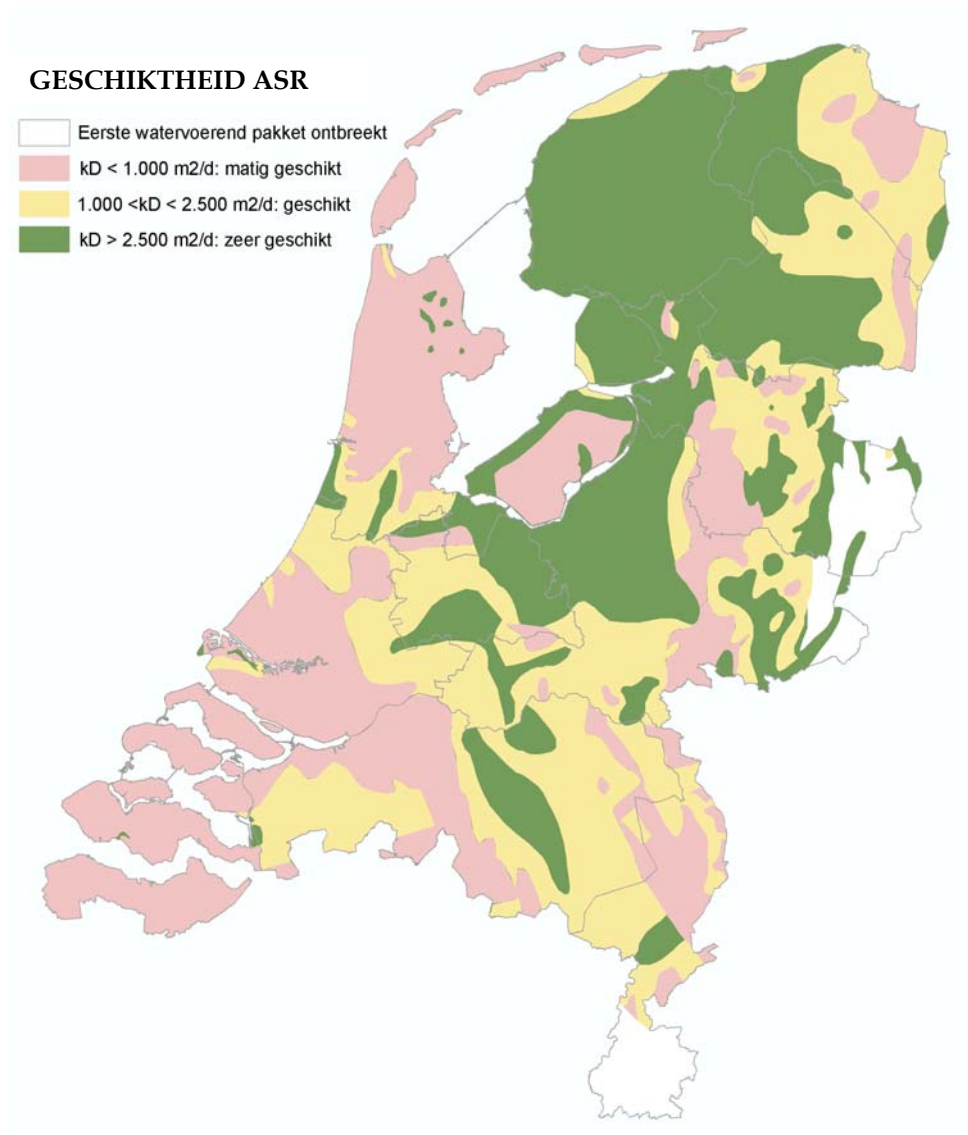


# Flexwater

Inventarisatie van bronnen, berging, zuivering en  
infrastructuur



**BTO 2006.036**  
Juli 2006

# Flexwater

Inventarisatie van bronnen, berging, zuivering en  
infrastructuur

© 2006 Kiwa Water Research  
Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag  
worden verveelvoudigd,  
opgeslagen in een  
geautomatiseerd  
gegevensbestand, of openbaar  
gemaakt, in enige vorm of op  
enige wijze, hetzij elektronisch,  
mechanisch, door fotokopieën,  
opnamen, of enig andere  
manier, zonder voorafgaande  
schriftelijke toestemming van  
de uitgever.

**Kiwa Water Research**  
Groningehaven 7  
Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511  
Fax 030 60 61 165  
Internet [www.kiwa.nl](http://www.kiwa.nl)

# Colofon

**Titel**

Flexwater

Inventarisatie van bronnen, berging, zuivering en  
infrastructuur

**Projectnummer**

11.1504.300

**Projectmanager**

A.B. Ramaker

**Kwaliteitsborger**

A. Meuleman

**Auteurs**

A.B. Ramaker

M. Blokker

R. Beuken

G.A. van den Berg

G. Cirkel

E. Cornelissen

A. Doomen

J. Kappelhof

B. Raterman

P. Stuyfzand

K. Vink

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten en is openbaar.

# Samenvatting

De Nederlandse drinkwaterproductie is georganiseerd volgens een succesvolle formule, waarin schaalvergroting en clustering van productielocaties een belangrijke rol spelen. Diverse ontwikkelingen maken het noodzakelijk om de huidige inrichting van de watervoorziening tegen het licht te houden: klimaatverandering, onzekere watervraag, terrorisme, vervanging van infrastructuur, fusies, waterwinningen met kwaliteitsproblemen en technologische ontwikkelingen.

Deze ontwikkelingen stellen waterbedrijven continu voor de uitdaging om de watervoorziening te (her) optimaliseren, de randvoorwaarden en uitgangspunten voor (investerings)beslissingen veranderen immers. Flexibilisering van de drinkwatervoorziening is een oplossingsrichting om toekomstige uitdagingen het hoofd te bieden en de watervoorziening verder te optimaliseren (kosten, leveringszekerheid en milieu-impact).

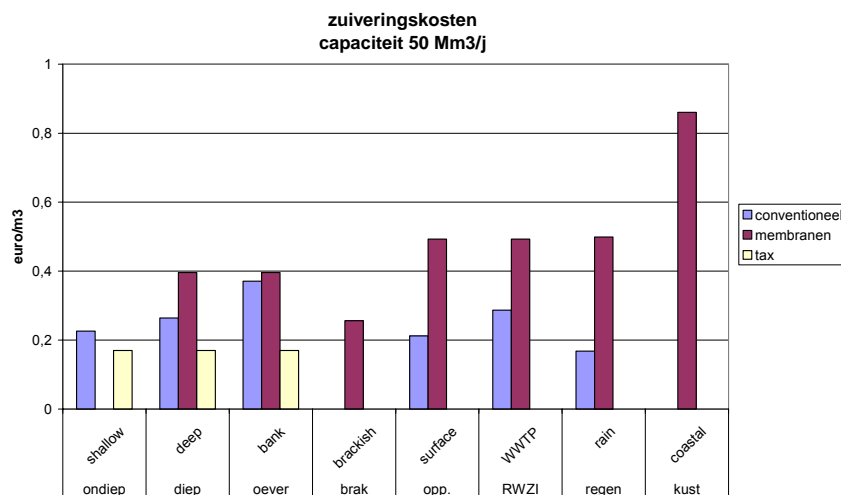
Flexibilisering omvat de zoektocht naar nieuwe bronnen voor drinkwaterproductie, verkend mogelijkheden voor waterberging (voor het overbruggen van schaarse periodes) en distributievraagstukken zoals variatie in transportkosten en de reductie van de piekfactor. Om flexibele opties en concepten te ontwikkelen is informatie verzameld over de beschikbaarheid en kwaliteit van bronnen (9 typen), kostenindicaties voor zuivering en transport en mogelijkheden voor waterberging.

## *Beschikbaarheid van water*

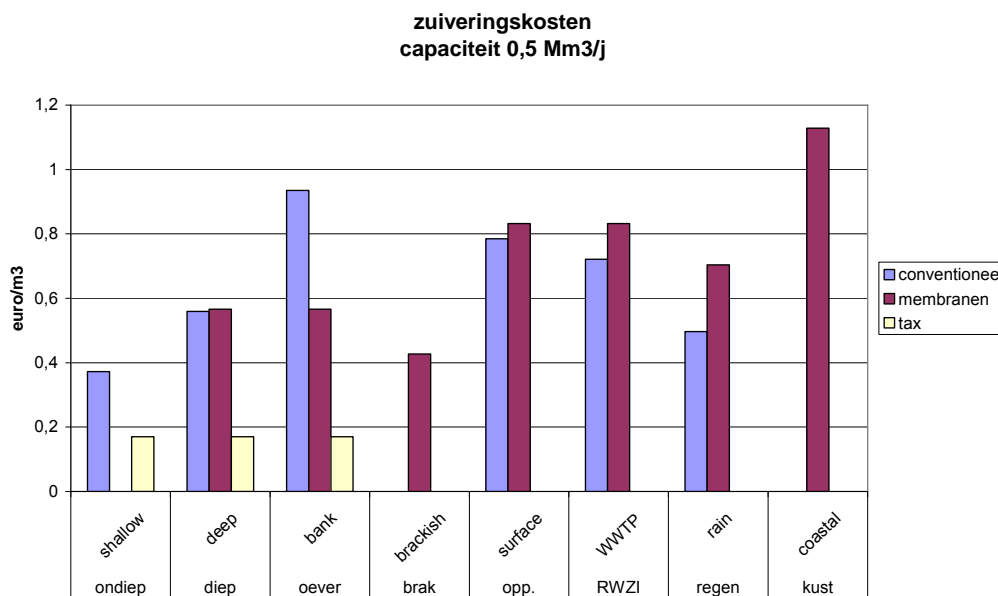
Op basis van berekeningen van de beschikbaarheid (voorraad en jaarlijkse aanvulling) van 9 typen bronnen is geconcludeerd dat er in Nederland water in overvloed is (neerslagoverschot, de aanvoer van oppervlaktewater en de aanwezigheid van dikke watervoerende grondlagen). De omvang van jaarlijks incidenteel beschikbare bronnen, zoals bemalingen, variëren sterk per provincie (variërend van 4-34 Mm<sup>3</sup>/jaar) en zijn interessant als bron voor drinkwaterproductie mits het watervraagpunt dicht bij de bron ligt.

## *Zuiveringskosten en transportkosten*

Voor 9 typen beschikbare bronnen is de gemiddelde waterkwaliteit vastgesteld, op basis waarvan zuiveringsschema's zijn ontwikkeld voor drie verschillende productiecapaciteiten (0,5 Mm<sup>3</sup>/jaar, 5 Mm<sup>3</sup>/jaar en 50 Mm<sup>3</sup>/jaar), uitgesplitst naar een zuiveringsvariant met conventionele technologie en een zuiveringsvariant met geavanceerde technologie (membranen). De kosten (afschrijving en verbruikskosten) van een grote installatie zijn lager dan van kleine installaties (zie figuren), afhankelijk van de schaalfactor. Omdat de schaalfactor afhankelijk is van de proceskeuze en bronkeuze, kan het voorkomen dat de inzet van membranen voor kleine capaciteiten aantrekkelijk is, terwijl conventionele zuiveringen voor grote capaciteiten het goedkoopst zijn.

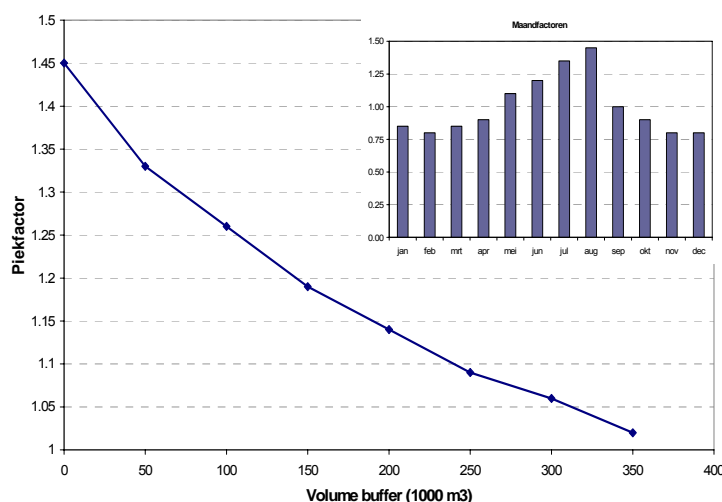


Wanneer transportkosten (te berekenen met een in dit project ontwikkeld Excel-programma) en zuiveringskosten per bron worden geïntegreerd blijkt dat het kosteneffect van schaalgrootte groter is dan het kosteneffect van de bronkeuze. Daarom is het vergroten van de zuiveringscapaciteit aantrekkelijk om kosten per kubieke meter drinkwater te verlagen, ook als daarvoor een grotere transportafstand noodzakelijk is. Bij grote capaciteiten (50Mm<sup>3</sup>) en een transportafstand van 10 kilometer kan uit regenwater (0,2 euro/m<sup>3</sup>), ondiep grondwater, brak grondwater, diep grondwater en oppervlaktewater goedkoop drinkwater worden geproduceerd, gevolgd door RWZI effluent, oevergrondwater en kustwater (0,90 euro/m<sup>3</sup>). Bij kleinere productiecapaciteiten (0,5 Mm<sup>3</sup>/jaar) is de bijdrage van de transportafstand aan de totale kosten groot. Daarom is het aantrekkelijk om de bron op beperkte afstand van het distributiegebied te zoeken.



### Relatie tussen waterbuffering en piekfactoren

Waterberging vormt de schakel tussen perioden met waterovervloed en waterschaarste, bijvoorbeeld als overbrugging tussen seizoenen of als buffer voor de reductie van piekvragen op dag- of uurbasis. De kostenvoordelen zijn afhankelijk van de extra kosten van de waterbuffer. Met het in dit project ontwikkelde Excel-programma 'Waterbuffer' is de relatie tussen de aanleg van een waterbuffer en de afname van de piekfactor berekend. Een waterbuffer van 100.000 m<sup>3</sup> kan de gemiddelde piekfactor in een transportleiding reduceren van 1,45 naar 1,25 (zie figuur), bij een waterwinning van met een omvang van 4Mm<sup>3</sup> /jaar.



Een andere manier om piekfactoren in leidingen te reduceren is waterberging bij huishoudens. Dit biedt mogelijkheden voor reductie van de dimensionering van de distributieleiding (in de straat) en/of

transportleidingen (als bijna alle huishoudens een berging hebben). De watertank bij een huishouden moet 3000 liter zijn om de (maand) piekfactor in de transportleiding terug te brengen van 1,45 naar 1,25. Het is daarom logischer om uur-piekfactoren te reduceren in distributieleidingen. Door waterberging bij de consument thuis neemt het aantal TapEenheden af. Een afname van het aantal tapeenheden per huishouden van 18 naar 10 (door introductie van een watertank van 300 liter) komt overeen met een eenmalige besparing van 10 euro per meter leiding (bij aanleg). Daar staat tegenover dat de aanschaf van een voorraadtank ook kosten met zich mee brengt. Omdat de pieken in het leidingnet afvlakken, vermindert het zelfreinigende vermogen van het leidingnet waardoor waterkwaliteitsproblemen kunnen optreden. Bovendien kunnen er waterkwaliteitsproblemen optreden in de voorraadtank zelf. Daarom is verstandig om drinkwaterconsumptie niet via het voorraadvat te laten verlopen. Uit oogpunt van minimale kostenvoordelen en mogelijke waterkwaliteitsproblemen lijkt waterberging bij de consument thuis niet geschikt. Toepassing van waterberging bij afgelegen en geïsoleerde woningen zou wel (significante) kostenvoordelen kunnen opleveren maar het waterkwaliteitsprobleem is daarmee niet opgelost.

### Mogelijkheden voor waterberging

Hoewel momenteel voor veel locaties voor bovengrondse waterberging zijn gepland is de potentie om dit water in te zetten voor drinkwaterproductie gering; er is sprake van een kortdurend hoog wateraanbod. Wanneer het

oppervlaktewater op permanente basis in opvanggebieden wordt opgeslagen is de potentie groter.

Met ASR (Aquifer Storage and Recovery) is het mogelijk om (rein) water (in tijden van overvloed) in de ondergrond te bergen. ASR maakt het bovendien mogelijk om zuiveringen kleiner dimensioneren voor pieken (peak-shaving). Grote delen van Nederland zijn uit geohydrologisch oogpunt geschikt voor ASR, met uitzondering van de oostelijke delen van de Achterhoek en Twente, Zuid Limburg en Westelijk Nederland (verziltig). De geschiktheid van een gebied voor de toepassing van ASR is echter zeer locatie afhankelijk (hydrogeologische en geochemische eigenschappen). Waterberging is ook mogelijk in freatische pakketten, zoals in de duinen. Dikke freatische pakketten met dikke onverzadigde zones zijn vooral in hoger gelegen gebieden aanwezig zoals op stuwwallen en de Veluwe.

#### *Flexwater concepten*

Lange afschrijvingstermijnen van productiemiddelen zijn een belemmering voor het ontwikkelen van nieuwe opties en concepten. Grootschalige vervanging is niet wenselijk vanwege kapitaalvernietiging. De introductie van nieuwe flexibele opties vereist dan ook een lange termijn strategie waarin stap voor stap naar een nieuwe situatie wordt toegewerkt, een transitieproces. Ter inspiratie zijn enkele flexwaterconcepten ontwikkeld die in een vervolgfase in pilots worden getoetst:

- De waterwinning aan huis (decentralisatie van bron tot tap);
- De seizoensgebonden winning (winnen op basis van wateraanbod);
- De groene winning (winnen zonder natuurschade);
- De groene weide (afschrijven huidige infrastructuur en opnieuw investeren);
- Het Net (alle waterwinningen aan elkaar gekoppeld);
- De tijdelijke winning (inzet van tijdelijk beschikbare bronnen).

#### *Hoe nu verder?*

Flexibele opties en concepten voor een flexibele drinkwatervoorziening zijn een antwoord op toekomstige uitdagingen. De flexibele opties en concepten zijn bouwstenen voor een optimale inrichting van drinkwaterproductie op regionale én landelijke schaal. Om de bijdrage van flexibele opties en concepten aan optimalisering van de drinkwatervoorziening concreter te maken, worden in een vervolgfase pilots opgestart. In de pilots wordt met behulp van een, nog te ontwikkelen beslissingsondersteunend rekeninstrument, bestudeerd welke inrichtingsvarianten voorhanden zijn als antwoord op toekomstige uitdagingen en hoe suboptimale situaties kunnen worden geoptimaliseerd met behulp van flexibele oplossingen.

# Inhoud

	<b>Samenvatting</b>	<b>1</b>
	<b>Inhoud</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1	Integrated Water Resources Management	9
1.2	Flexibele waterwinning in Nederland?	9
1.3	Flexwater: wat is dat?	11
1.4	Leeswijzer	13
<b>2</b>	<b>Bronnen voor drinkwaterproductie</b>	<b>15</b>
2.1	Inleiding	15
2.2	Beschikbaarheid en winbaarheid	15
2.3	Regenwater	15
2.3.1	Seizoensfluctuaties in neerslag	16
2.4	Grondwater	18
2.5	Stedelijk grondwater	19
2.6	Oppervlaktewater	20
2.6.1	Fluctuaties in rivierafvoeren	20
2.7	Oevergrondwater	22
2.8	Kwelwater	23
2.9	Rwzi effluent	23
2.9.1	Fluctuaties in rwzi-effluent	24
2.10	Brak grondwater	25
2.11	Zeewater/kustwater	26
2.12	Bemalingswater van bouwputten	26
2.13	Samenvatting	28
<b>3</b>	<b>Kwaliteit bronnen</b>	<b>29</b>
3.1	Inleiding	29
3.2	Regenwater (run-off verharde oppervlakten)	29
3.3	Grondwater	30
3.3.1	Ondiep freatisch grondwater	30
3.3.2	Diep (semi-spannings) grondwater	30
3.4	Stedelijk grondwater	31
3.5	Oppervlaktewater	31
3.6	Oevergrondwater	32
3.7	Kwelwater (zoet)	33



3.8	RWZI effluent.	33
3.9	Brak grondwater	34
3.10	Kustwater (oeverfiltraat)	34
<b>4</b>	<b>Zuiveringskosten</b>	<b>37</b>
4.1	Inleiding	37
4.1.1	Aanpak	37
4.1.2	Afhankelijkheid van ontwerpcapaciteit	37
4.2	Regenwater	37
4.2.1	De bron	37
4.2.2	De zuivering	38
4.2.3	De kosten	38
4.3	Ondiep freatisch grondwater	39
4.3.1	De bron	39
4.3.2	De zuiveringsscenario's	39
4.3.3	De kosten	39
4.4	Diep semi spannings grondwater	39
4.4.1	De bron	39
4.4.2	De zuivering	40
4.4.3	De kosten	40
4.5	Stedelijk grondwater	41
4.6	Oppervlaktewater	41
4.6.1	De bron	41
4.6.2	De zuivering	41
4.6.3	De kosten	42
4.7	Oevergrondwater	42
4.7.1	De bron	42
4.7.2	De zuivering	43
4.7.3	De kosten	43
4.8	RWZI-effluent	43
4.8.1	De bron	43
4.8.2	De zuivering	44
4.8.3	De kosten	44
4.9	Brak grondwater	45
4.9.1	De bron	45
4.9.2	De zuivering	45
4.9.3	De kosten	45
4.10	Zeewater/kustwater	46
4.10.1	De bron	46
4.10.2	De zuivering	46
4.10.3	De kosten	46
4.11	Vergelijking scenario's	47
4.11.1	Overzicht scenario's	47
4.11.2	Overzicht zuiveringskosten	47
<b>5</b>	<b>Kosten van watertransport</b>	<b>49</b>
5.1	Inleiding	49

5.2	Kosten watertransport door leidingen	49
5.3	Bepaling piekfactoren en de invloed van buffering	50
5.4	Alternatieven voor watertransport door pijpleidingen	51
5.5	Variabiliteit in gebruiksduur van infrastructuur	54
5.6	Kosten voor distributie	55
<b>6</b>	<b>Kosten voor zuivering en transport</b>	<b>57</b>
6.1	Uitgangspunten kosten	57
6.1.1	Kosten zuivering	57
6.1.2	Kosten infrastructuur	57
6.2	Kosten transport en zuivering	57
6.3	Conclusies	63
6.4	Flexibiliteit in bronnen, transport en zuivering	64
<b>7</b>	<b>Waterberging en waterbuffering</b>	<b>65</b>
7.1	Inleiding	65
7.2	Waterberging bij de consument thuis	65
7.2.1	Conclusies	68
7.3	Waterberging in de ondergrond	69
7.3.1	Inleiding	69
7.3.2	Aquifer Storage & Recovery	69
7.3.3	Randvoorwaarden bij toepassing van Aquifer Storage & Recovery	70
7.3.4	Hydrogeologische geschiktheid van de Nederlandse ondergrond	71
7.3.5	Conclusie	76
7.4	Bovengrondse waterberging	76
7.4.1	Inleiding	76
7.4.2	Landelijke plannen	77
7.4.3	Plannen voor waterberging in de provincies Zeeland en Utrecht	77
7.4.4	Conclusie	78
<b>8</b>	<b>Flexwater concepten</b>	<b>79</b>
8.1	Inleiding	79
8.2	Concepten voor flexibele waterwinning	79
8.2.1	Inleiding	79
8.2.2	Concepten	79
<b>9</b>	<b>Conclusies</b>	<b>81</b>
<b>I</b>	<b>Literatuur</b>	<b>83</b>
<b>II</b>	<b>Uitgangspunten zuivering</b>	<b>87</b>
<b>III</b>	<b>Uitgangspunten kostenberekeningen</b>	<b>89</b>
<b>IV</b>	<b>Waterkwaliteiten stedelijk grondwater</b>	<b>91</b>



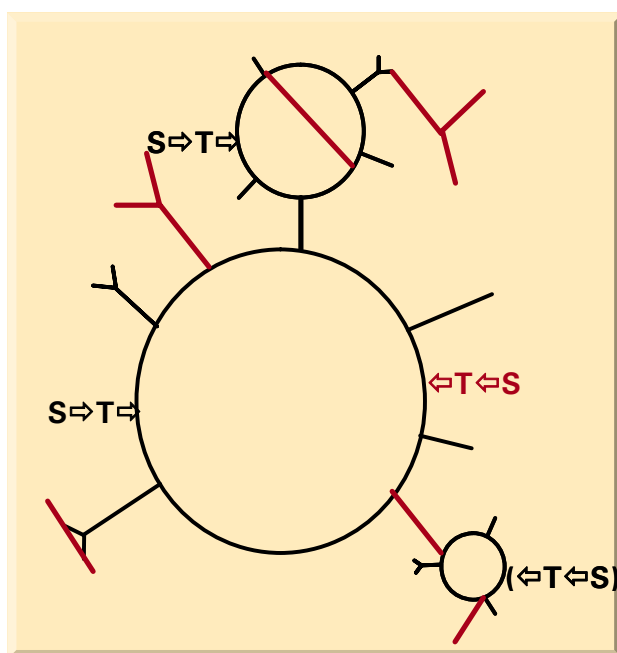
# 1 Inleiding

## 1.1 Integrated Water Resources Management

Directeuren van Nederlandse waterbedrijven bezochten in maart 2003 de Verenigde Staten en namen het concept van Integrated Water Resources Management (IWRM) mee terug. Amerikanen bleken met creatief gebruik van meerdere bronnen in hun waterbehoefte te voorzien, door decentrale oplossingen, tijdelijke opslag van seizoensgebonden overschotten en gebruik van oceaanwater of communaal afvalwater. De noodzaak om van iedere beschikbare bron drinkwater te maken is in Nederland niet aanwezig. Er is een neerslagoverschot en er zijn voldoende oppervlaktewater en grondwaterbronnen. Het IWRM-concept biedt wel handvatten voor de ontwikkeling van een robuuste strategie als antwoord op lange termijn ontwikkelingen zoals klimaatveranderingen en nieuwe regelgeving.

## 1.2 Flexibele waterwinning in Nederland?

De drinkwatervoorziening is sinds WO II 'organisch gegroeid'; het concept van centrale watervoorziening is in de loop der jaren uitgebreid en geoptimaliseerd. Fusies tussen waterbedrijven en opschaling van productielocaties spelen hierin een belangrijke rol. Dit concept is ook voor de komende jaren robuust en succesvol; de 'organische groei' wordt



gecontinueerd (zie figuur 1) met de bestaande infrastructuur als uitgangspunt.

Het gevaar van 'organische groei' is dat er een 'qwerty-dilemma' ontstaat; we bouwen net zo lang voort op het oorspronkelijke concept totdat suboptimale situaties ontstaan (Van de Klundert, 2005).

*Figuur 1 Uitbouwen van de huidige succesvolle centrale drinkwatervoorziening (Meuleman et al., 2004): S staat voor 'Source', T staat voor 'Treatment'.*

Er zijn diverse ontwikkelingen en trends (beleid, maatschappij en technologie) die het huidige concept van watervoorziening voor uitdagingen stelt en op de lange termijn kunnen zorgen voor een suboptimale inrichting van de watervoorziening, bijvoorbeeld:

### *Klimaatveranderingen*

Klimaatverandering resulteert in een seizoensafhankelijke toename van de wateroverlast én tekorten; de flexibiliteit van watersystemen en waterafhankelijke economische functies, zoals drinkwaterwinning en scheepvaart, om met deze dynamiek om te gaan wordt steeds vaker op proef gesteld. Sinds WO II is de flexibiliteit van zowel watersystemen als waterafhankelijke economische functies drastisch afgenomen; watersystemen zijn met ingrijpende maatregelen sterk gereguleerd om landgebruikfuncties, zoals landbouw, transport, woningbouw optimaal te laten functioneren. De waterafhankelijke economische functies, zoals de drinkwatervoorziening, zijn vervolgens afgestemd op deze rigide inflexibele watersystemen.

Veranderingen die (water)systeemgrenzen overschrijden zorgen voor problemen, bijvoorbeeld:

- Dat vergunningscapaciteiten van grondwaterwinningen worden overschreden als gevolg van een toename in de watervraag in droge zomers;
- Sommige ecosystemen worden meer kwetsbaar als gevolg van neerslagtekorten waardoor waterwinningen binnen deze ecosystemen ter discussie worden gesteld;
- Oppervlaktewaterbedrijven krijgen te maken met extreem lage rivierafvoeren waardoor waterinname door hogere concentraties van probleemstoffen bedreigd wordt. Bovendien zal zoutwaterintrusie toenemen;
- Hogere temperaturen zorgen mogelijk voor verhoogde microbiologische groei (*Legionella*) in het leidingnet en binneninstallaties.

### *Onzekerheid over watervraag*

De watervraag is sinds WO II toegenomen. Sinds het midden van de jaren negentig is de watervraag gestabiliseerd en lokaal sterk afgenomen; de bevolkingsgroei is afgevlakt, het gemiddelde drinkwaterverbruik per persoon is sinds 1996 van 138 liter naar 124 liter afgenomen en door de introductie van grondwaterbelasting zijn boeren en industrieën zelf water gaan winnen (vluchtgedrag). Investerings in grootschalige nieuwe locaties of bestaande locaties zijn op basis van watervraag toename niet te verwachten (in sommige gebieden is sprake van overcapaciteit), tenzij andere (lokale) ontwikkelingen investeringen noodzakelijk maken. Er is behoefte aan flexibiliteit om met onzekerheden in de toekomstige watervraag om te gaan.

### *Terrorisme*

Een centraal georganiseerde watervoorziening is kwetsbaar voor externe interventies met kwade opzet, zoals opzettelijke vervuiling van bronnen en het leidingnet. Naast de ontwikkeling van monitorings- en bewakingssystemen kunnen ook de beschikbaarheid van reservebronnen (in noodgevallen) of een decentrale opzet de drinkwatervoorziening minder kwetsbaar maken.

### *Vervanging van infrastructuur*

Na WO II is in korte tijd een groot deel van het infrastructurele netwerk ontwikkeld. De verwachting is dat in de nabije toekomst een grote inspanning moet worden gepleegd om deze 'bult' te vervangen omdat de technische levensduur is bereikt. De omvang van de vervangingsbult en het tijdstip van vervanging staan nog ter discussie. Naast het vraagstuk van de vervangingsbult worden waterbedrijven iedere dag geconfronteerd met infrastructurele vervangingsvraagstukken, als gevolg van leidingbreuken (mogelijk veroorzaakt door veenklink of kleizetting) of werkzaamheden aan weg (vervanging riolering). Bij iedere investeringsbeslissing speelt de vraag: wordt de buis vervangen of kan de watervoorziening op een andere wijze worden georganiseerd? Het belang van deze vraagstukken wordt versterkt wanneer er sprake is van:

- Gebieden (in het landelijke gebied) waar de kosten relatief hoog zijn om daarheen drinkwater te distribueren, bijvoorbeeld omdat het van ver wordt aangevoerd met grote infrastructurele werken.
- Zuiveringsstations die met waterkwaliteitsproblemen te kampen hebben.

### *Technologische ontwikkelingen*

Ontwikkelingen in zuiveringstechnologie en monitoringstechnologie maken nieuwe (decentrale) watervoorzieningsconcepten en de inzet van nieuwe bronnen steeds realistischer (de kosten dalen). Technologische ontwikkelingen spelen een belangrijke rol bij investeringsbeslissingen zoals het vervangen distributiesystemen en de inrichting van zuiveringsstations. Voorbeeld hiervan is de op de BTO-onderzoeksbijeenkomst (2005) gepresenteerde ontwikkelingen op het gebied van nanofiltratie en Reverse Osmosis (RO); beide technologieën op den duur een 'commodity' zouden kunnen worden (Wessels, 2005).

### *Waterwinningen met lokale problemen*

Diverse waterwinningen kampen met vervuilende bronnen (bestrijdingsmiddelen, nitraat, residuen van medicijnen et cetera). Daarnaast hebben veel waterwinningen te maken met concurrerende landgebruikfuncties en met strenge milieueisen (Vogel- en Habitatrichtlijn, verdroging).

### *Fusies en samenwerking*

Na WO II zijn waterbedrijven op grote schaal gefuseerd of samenwerkingsverbanden aangegaan (met andere waterbedrijven of in de waterketen). Hierdoor veranderen de randvoorwaarden voor (productie) beslissingen continu. Er ontstaan immers nieuwe mogelijkheden voor het verbinden van leidingnetten, de inzet van nieuwe bronnen et cetera. Fusies en samenwerkingsverbanden stellen waterbedrijven voor de uitdaging om de watervoorziening opnieuw te optimaliseren.

## **1.3 Flexwater: wat is dat?**

Als antwoord op bovenstaande uitdagingen worden in dit rapport nieuwe mogelijkheden voor een flexibele drinkwatervoorziening verkend. Met als

doel opties en concepten aan te reiken om de watervoorziening in de toekomst goedkoper, robuuster (leveringszekerheid) en flexibeler (met het oog op de toekomst) te organiseren. De opties en concepten zijn bouwstenen voor een optimale inrichting van drinkwaterproductie op regionale én landelijke schaal.

Het daadwerkelijk introduceren van nieuwe opties en concepten vereist verandering van de huidige situatie. Snelle veranderingen zijn vaak niet wenselijk uit oogpunt van de lange gebruiksduur van productiemiddelen en lange investeringstermijnen; organische groei is moeilijk te doorbreken. Toch is het noodzakelijk om, met de geschetste uitdagingen in het achterhoofd, nieuwe opties en concepten te verkennen om in de toekomst goedkoper en robuuster te produceren.

Flexibilisering is een containerbegrip met meerdere betekenissen:

- Flexibiliteit in bronnengebruik: gebruik maken van alle potentieel beschikbare bronnen voor drinkwaterproductie, inclusief bronnen met incidentele beschikbaarheid en niet-conventionele bronnen zoals regenwater en zeewater. De inzet van nieuwe bronnen maakt het mogelijk om structurele veranderingen door te voeren in de huidige watervoorziening, bijvoorbeeld in gebieden waarheen water tegen hoge kosten moet worden getransporteerd of waterwinningen onder druk staan (waterkwaliteit of door verdrukking door andere landgebruikfuncties).
- Flexibiliteit in de tijd: mogelijkheden voor waterberging bij de consument thuis of in de ondergrond als schakel tussen perioden met wateroverschotten en perioden met (regionale) watertekorten. Er is niet alleen sprake van waterschaarste in de zomer (te weinig water) maar ook in geval van calamiteiten en grootschalige verontreinigingen (in de bron of in het leidingnet).
- Flexibiliteit in interactie met de omgeving: waterberging combineren met nieuwe (seizoensgebonden) waterwinningen zodat de invloed op de omgeving (verdroging) wordt geminimaliseerd en de 'license to produce' blijft bestaan, vooral in gebieden waar waterwinningen aan strenge randvoorwaarden zijn gebonden als gevolg van nieuwe natuurwetten.
- Flexibiliteit in waterproductie: is het productietechnisch mogelijk om binnen een productielocatie meerdere kwaliteiten water met variërende volumes te behandelen? Vooralsnog valt deze vraag buiten de kaders van het project.
- Flexibiliteit in schaalgrootte: in sommige gebieden kan door inzet van nieuwe bronnen en nieuwe technologie (membraantechnologie, monitoring) kleinschaliger worden geproduceerd, bijvoorbeeld in geïsoleerde gebieden waar water tegen hoge kosten heen wordt getransporteerd. Dit stelt tevens nieuwe eisen de opvang van piekvragen en infrastructurele concepten.
- Flexibiliteit in de toekomst (robuustheid): keuzes zijn op de toekomstige onzekerheden afgestemd en waterbedrijven zijn in staat om hun strategie snel aan te passen als toekomstige randvoorwaarden veranderen.

Om flexibele opties voor de toekomst te ontwikkelen zijn bouwstenen nodig. Daarom is een verkenning uitgevoerd naar aanbod, kwaliteit en locatie van beschikbare bronnen voor drinkwaterproductie, de kosten van watertransport en zuivering en mogelijkheden voor waterberging. De bouwstenen zijn als volgt gedefinieerd en worden in de volgende hoofdstukken verder uitgewerkt:

- Beschikbaarheid van 9 typen bronnen in Nederland.
- Kwaliteit van deze 9 typen bronnen
- Kosten van waterzuivering, afhankelijk van de bronkeuze en de schaalgrootte van het zuiveringsstation
- Kosten van drinkwatertransport via alternatieve transportmodaliteiten
- Mogelijkheden en kosten waterberging in de ondergrond (ASR), bovengronds en bij de consument thuis

Voor bovenstaand onderzoek is onderscheid gemaakt in 9 typen bronnen:

- Regenwater
- Grondwater
- Stedelijk grondwater
- Oppervlaktewater
- Oevergrondwater
- Kwelwater
- RWZI effluent
- Brak grondwater
- Zeewater/kustwater

De resultaten van deze eerste fase zijn in deze rapportage beschreven. In deze verkenning worden bijvoorbeeld de volgende vragen beantwoord:

- Wat is de omvang en geschiktheid van seizoen of incidenteel beschikbare bronnen (zoals bemalingswater) voor drinkwaterproductie?
- Wat zijn de kostenvoordelen om nabij het verbruikspunt water te winnen? En wat zijn de transportkosten van verschillende transportmodaliteiten?
- Welke plekken in Nederland zijn geschikt om Artificial Storage and Recovery (ASR) toe te passen?
- Hoe groot moet een reservoir zijn om pieken substantieel af te vlakken? En is het zinvol om water bij de consument te bergen?

De antwoorden op bovenstaande vragen zijn gebruikt om, als vingeroefening, nieuwe opties voor de watervoorziening te ontwikkelen. De resultaten van dit rapport worden in een vervolgfase verwerkt in een instrument om scenario's voor de inrichting van de watervoorziening te ontwikkelen en door te rekenen. Het instrument wordt in een pilot bij waterbedrijven getest.

#### **1.4 Leeswijzer**

De beschikbaarheid van de 9 onderscheiden typen bronnen is in hoofdstuk 2 geïnventariseerd. De waterkwaliteit verschilt per type bron, daarom zijn in hoofdstuk 3 kenmerkende waterkwaliteitsparameters beschreven om op basis hiervan in hoofdstuk 4 zuiveringskosten van de bronnen te berekenen.



Hoofdstuk 5 behandelt de relatie tussen de transportwijze en transportafstanden van drinkwater en de invloed van piekfactoren op de drinkwaterprijs. De kosten van zuivering en transportafstand per type bron zijn in hoofdstuk 6 berekend. In hoofdstuk 7 zijn mogelijkheden verkend om water te bergen: ASR en waterberging bij de consument thuis. Op basis van de bouwstenen uit hoofdstuk 2 tot en met 7 zijn in hoofdstuk 8, als vingeroefening, enkele flexwater varianten beschreven. Hoofdstuk 9 sluit af met conclusies.

## 2 Bronnen voor drinkwaterproductie

### 2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk is de beschikbaarheid van 9 brontypen voor drinkwaterproductie in kaart gebracht. Daarnaast is voor twee Nederlandse provincies bekeken wat de omvang is van incidenteel beschikbare bronnen, zoals bemalingswater.

1. Regenwater
2. Grondwater
3. Stedelijk grondwater
4. Oppervlaktewater
5. Oevergrondwater
6. Kwelwater
7. RWZI effluent
8. Brak water
9. Zeewater/kustwater

### 2.2 Beschikbaarheid en winbaarheid

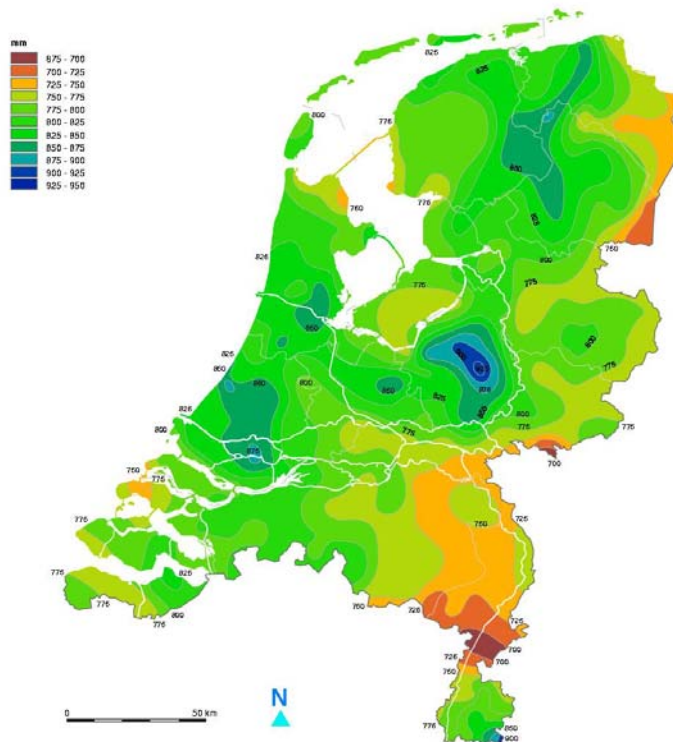
De beschikbaarheid per brontype is berekend op basis van indicatieve getallen en literatuuronderzoek. Veel gegevens zijn ontleend aan 'De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland' van het Rijksinstituut voor de Drinkwatervoorziening, RID (1965). De keuze voor de brontypen is gebaseerd op mogelijkheden voor drinkwaterbereiding. De gehanteerde indeling geeft daarom geen volledig beeld van alle waterstromen in de hydrologische kringloop.

Veel brontypen overlappen met elkaar in de hydrologische kringloop; regenwater gaat gedeeltelijk over in oppervlaktewater en grondwater, terwijl ook deze brontypen weer kunnen overgaan in bijvoorbeeld oevergrondwater of kwelwater. Daarnaast overlappen sommige subgroepen zoals het brontype stedelijk grondwater, dat onderdeel vormt van de groep grondwater.

Dit hoofdstuk heeft een brede oriënterende functie, waarbij geen rekening gehouden is met de economische haalbaarheid of de ruimtelijke inpasbaarheid van waterwinningen. Het begrip winbaarheid is dan ook opgevat als de beschikbaarheid van de volumestromen voor drinkwaterproductie, zonder nadelige effecten op andere functies, zoals natuur (verdroging), te bekijken. Voor enkele brontypen is naast de inkomende flux ook een indicatieve omvang van de voorraad berekend.

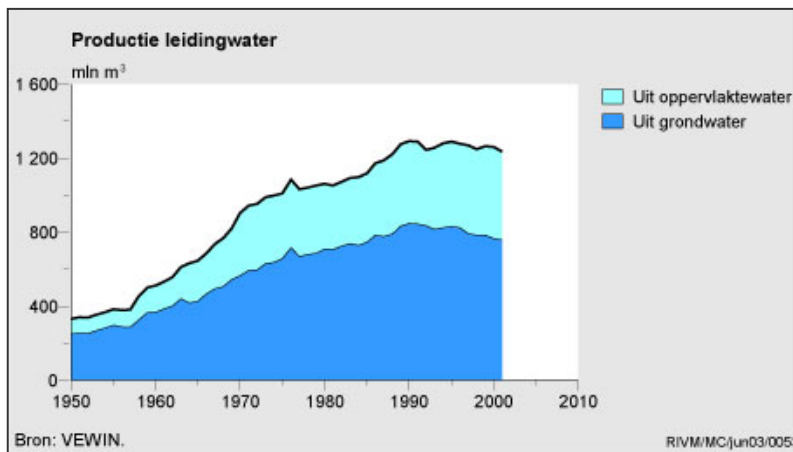
### 2.3 Regenwater

De jaarlijkse neerslaghoeveelheid in Nederland is gemiddeld 797 mm (1970-2000) (zie figuur 2) en correspondeert met een jaarlijks volume regenwater van 26 miljard m<sup>3</sup>. Door klimaatverandering zal deze hoeveelheid in 2100 naar verwachting ongeveer 10% zijn toegenomen (KNMI, 2003). De gemiddelde jaarlijkse neerslag correspondeert met een volume van 797 liter per m<sup>2</sup> per jaar.



Figuur 2 Gemiddelde jaarlijkse neerslagsom 1970-2000 (KNMI, 2004).

De gemiddelde drinkwaterproductie per Nederlander is ongeveer 75 m<sup>3</sup> per jaar. Als de drinkwaterbehoefte met regenwater zou worden voorzien is circa 94 m<sup>2</sup> nodig per persoon nodig, slechts 5% van de neerslag. De totale productie van drinkwater in Nederland is weergegeven in figuur 3.

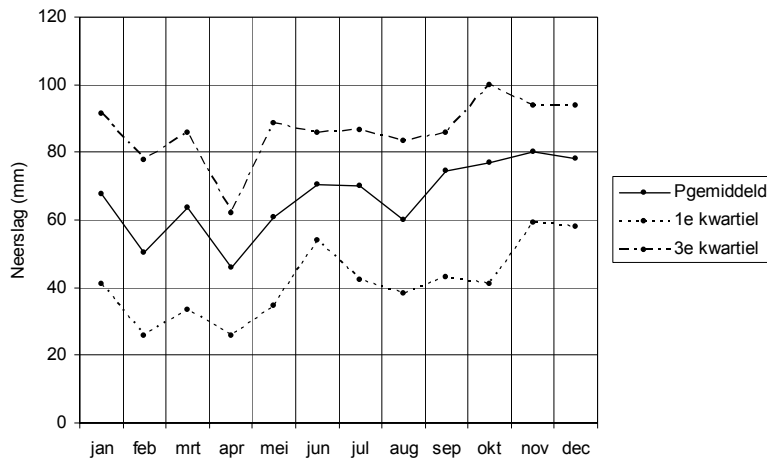


Figuur 3 Totale productie van leidingwater in Nederland (RIVM, 2003).

### 2.3.1 Seizoensfluctuaties in neerslag

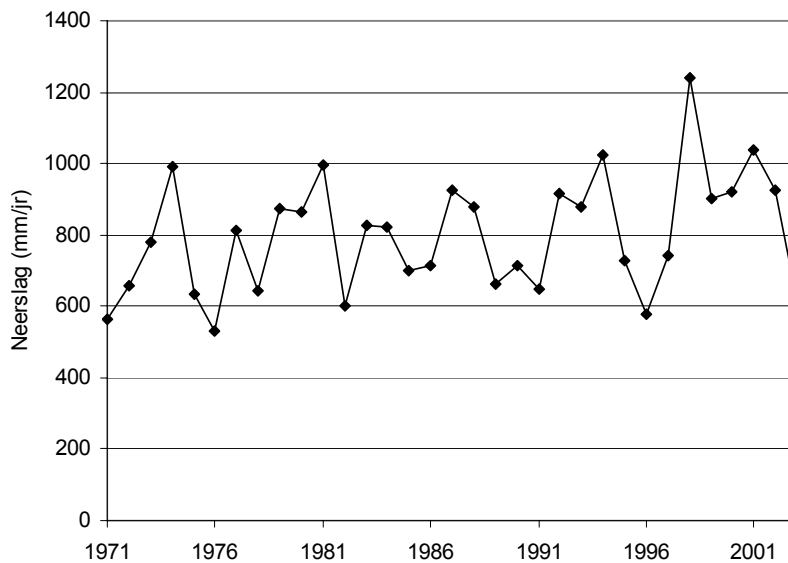
In figuur 4 is het maantotaal van de gemiddelde neerslag in De Bilt tussen 1971-2003 uitgezet, met het eerste kwartiel (25% van de maandsommen van 1971-2003 is lager dan deze waarde) en het derde kwartiel (25% van de maandsommen is hoger dan deze waarde). De figuur laat zien dat gemiddeld over deze jaren in april de minste neerslag valt en de neerslagspreiding klein is.

gemiddelde maandsom neerslag 1971-2003



Figuur 4 De gemiddelde maandsom in 1971-2003, de bovengrens van de 25% laagste maandsommen (1<sup>e</sup> kwartiel) en de ondergrens van de 25% hoogste maandsommen van de neerslag (KNMI, 2004).

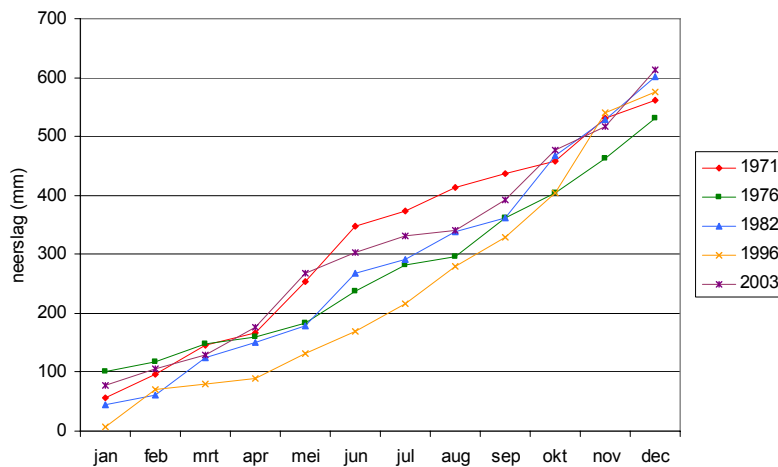
jaarsom neerslag



Figuur 5 De jaarsom van de neerslag in de jaren 1971-2003 (KNMI, 2004).

In figuur 5 is de jaarsom van de neerslag uitgezet voor de vijf droogste jaren in de periode 1971-2003 (1971, 1976, 1982, 1996 en 2003). Deze jaren zijn geselecteerd om inzicht te krijgen in de lengte van een relatief droge periode (neerslag lager dan het eerste kwartiel). In de 5 droogste jaren valt in april de minste neerslag (gemiddeld 7 mm per dag). Daarna volgen februari, maart, juli en augustus met gemiddeld 11 mm per dag. In de periode februari-mei valt gemiddeld de minste neerslag. Dit betekent overigens niet dat het watertekort groot is omdat de verdamping dan beperkt is.

cumulatieve maandsom neerslag in 5 droge jaren, De Bilt



Figuur 6 De cumulatieve maandsom van de neerslag in de loop van de 5 jaren met de laagste jaarsom (KNMI, 2004).

## 2.4 Grondwater

De grondwatervoorraad in Nederland is groot omdat de ondergrond uit dikke sedimentlagen bestaat. De totale grondwatervoorraad bedraagt ongeveer 750 miljard m<sup>3</sup> (hiervan is ongeveer 67% zoet, RID), De grondwatervoorraad is meer dan 600 keer zo groot als de jaarlijkse drinkwaterproductie. Duurzame grondwaterwinning wordt echter bepaald door grondwateraanvulling en de invloed op andere functies.

De grondwatervoorraad wordt vrijwel geheel gevoed door neerslag. Grondwateraanvulling hangt af van landgebruik, bodemkarakteristieken en grondwaterstand en bedraagt gemiddeld 200 – 250 mm/jaar, ofwel 200 – 250 liter per m<sup>2</sup> per jaar. Grondwateraanvulling is optimaal in gebieden met goed doorlatende bodems en grondwatertrappen groter dan IV; regenwater kan de bodem goed indringen en de capillaire nalevering is beperkt door lage grondwaterstanden. Grondwateraanvulling in polders, kwelgebieden en gebieden met oppervlaktewater is minimaal. De oppervlakte van gebieden met grondwateraanvulling bedraagt ongeveer 23000 km<sup>2</sup>, totaal 4 – 5 miljard m<sup>3</sup>/jaar (ongeveer de helft van Nederland).

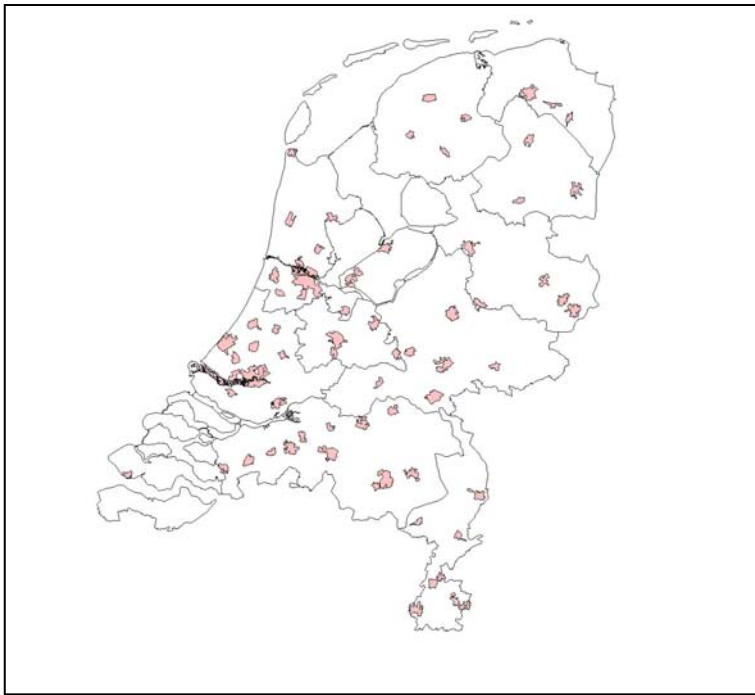
Naast grondwaterbeschikbaarheid bepalen ook negatieve effecten op andere functies de te winnen grondwater hoeveelheden. Ruimtelijke functies die schade ondervinden van grondwateronttrekking zijn:

- Natuur (verdrogingschade voor grondwaterafhankelijke vegetatie, schade die voortvloeit uit verminderde beek- en rivierafvoeren).
- Landbouw (verdrogingschade).
- Bebouwing en infrastructuur (zettingsschade en funderingsschade).
- Recreatie (schade door verminderde beek- en rivierafvoeren).

Daarnaast wordt grondwaterwinning indirect beperkt door wet- en regelgeving, zoals de beperking van grondwaterbeschermingszones voor landgebruikfuncties in of rondom grondwaterwinningen.

## 2.5 Stedelijk grondwater

De totale oppervlakte stedelijk bebouwd gebied in Nederland is ongeveer 2200 km<sup>2</sup> waaronder zich circa 40 miljard m<sup>3</sup> stedelijk grondwater bevindt



(uitgaande van een gemiddelde dikte van de watervoerende laag van 75 meter en een effectieve porositeit van 25%). Nederland heeft 69 stedelijke gebieden met een oppervlakte van meer dan 10 km<sup>2</sup> (figuur 7).

Figuur 7 Stedelijke gebieden met een aaneengesloten oppervlakte van meer dan 10 km<sup>2</sup> (Geodan, 2002).

De grondwateraanvulling in stedelijke gebieden is geringer dan in landelijke gebieden door afstroming op verharde oppervlakten. De jaarlijkse grondwateraanvulling in stedelijke gebieden bedraagt ongeveer 150- 200 mm/jaar, maar verschillen in grondwateraanvulling tussen stedelijke gebieden kunnen groot zijn als gevolg van verschillen in oppervlakte onverhard terrein, bodemgesteldheid, hemelwater afkoppeling en grondwaterstanden. Lekkende rioleringsbuizen kunnen grondwater vervuilen en hebben in gebieden met hoge grondwaterstanden een drainerende werking.

25 - 40% van de neerslag in stedelijke gebieden wordt afgevoerd via de riolering, 20 - 30 % is grondwateraanvulling en de resterende hoeveelheid verdampt of stroomt af naar het oppervlaktewater. In sommige wijken is hemelwater afgekoppeld van het rioleringsstelsel en wordt direct op het oppervlaktewater geloosd of in de bodem geïnfiltrerd met wadi's en grindkoffers.

De bevolkingsdichtheid in stedelijk gebied is 2500 - 4000 inwoners per km<sup>2</sup>. Bij een gemiddeld drinkwaterverbruik van 200 liter per persoon per dag zou een grondwateraanvulling van 200 - 250 mm per jaar benodigd zijn om stedelingen van drinkwater te voorzien met stedelijk grondwater. In sterk verstedelijkte gebieden is grondwateraanvulling echter minder dan 200

mm/jaar en niet toereikend om de stedelijke bevolking van drinkwater te voorzien, geproduceerd uit stedelijk grondwater.

Stedelijke grondwaterwinningen kunnen nadelige effecten op gebouwen en infrastructuur hebben door zetting van de bodem en rotting van houten heipalen als gevolg van grondwaterstanddaling. Daarnaast kunnen waardevolle vegetaties (stadsparken) schadelijke effecten van grondwateronttrekking ondervinden.

## 2.6 Oppervlaktewater

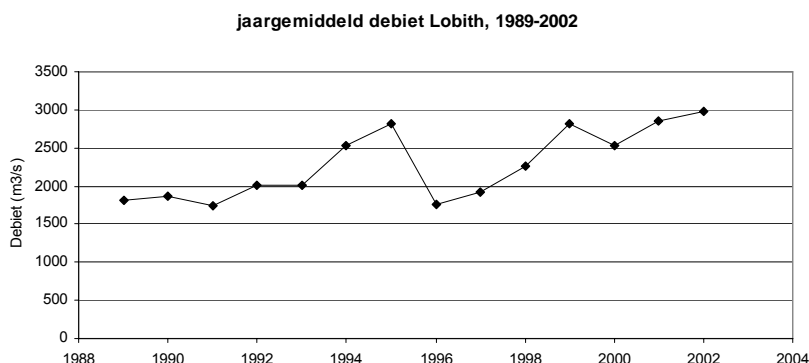
Oppervlaktewater wordt hoofdzakelijk aangevoerd door grote rivieren zoals Rijn en Maas. De Rijn heeft een gemiddelde afvoer van circa 2100 m<sup>3</sup>/seconde (zie ook tabel 1), de totale neerslag in Nederland bedraagt slechts 1/3 van de Rijnafvoer. Rivierafvoeren vertonen sterke fluctuaties, zowel op een meerjarige tijdsschaal als op een termijn van dagen of weken. Tijdens droge zomerse perioden wordt het rivierwater (vooral van de Rijn) gebruikt om oppervlaktewater aan te vullen en daarmee ook het grondwaterpeil te reguleren. In perioden met lage afvoeren verslechtert de waterkwaliteit aanzienlijk en ondervindt de scheepvaart hinder.

Rijn	70
Maas	8
Overige rivieren	1,5
<b>Totaal</b>	<b>79,5</b>

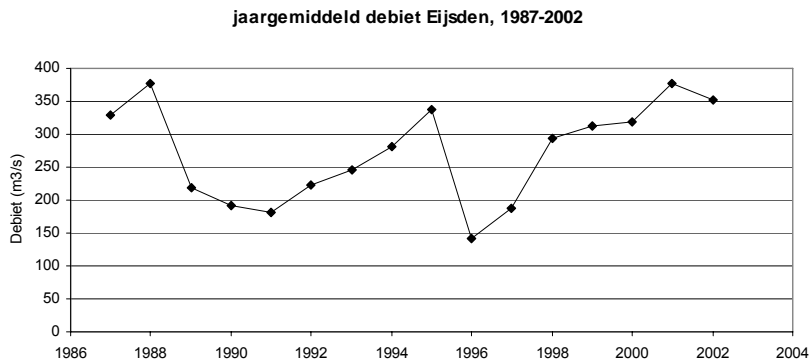
Tabel 1 Gemiddelde aanvoer van rivierwater in miljarden m<sup>3</sup>/jaar.

### 2.6.1 Fluctuaties in rivierafvoeren

In 1987-2002 is het gemiddelde debiet in de Rijn bij Lobith 2300 m<sup>3</sup>/seconde en het debiet in de Maas bij Eijsden 273 m<sup>3</sup>/seconde. De spreiding van de debieten over de jaren is groot (zie figuur 8 en 9); het minimale jaargemiddelde debiet bij Lobith is bijna half zo groot als het maximum jaargemiddelde debiet (1750, respectievelijk 3000 m<sup>3</sup>/seconde) en het minimum jaargemiddelde debiet bij Eijsden is half zo groot als het maximum jaargemiddelde debiet (150, respectievelijk 375 m<sup>3</sup>/seconde).

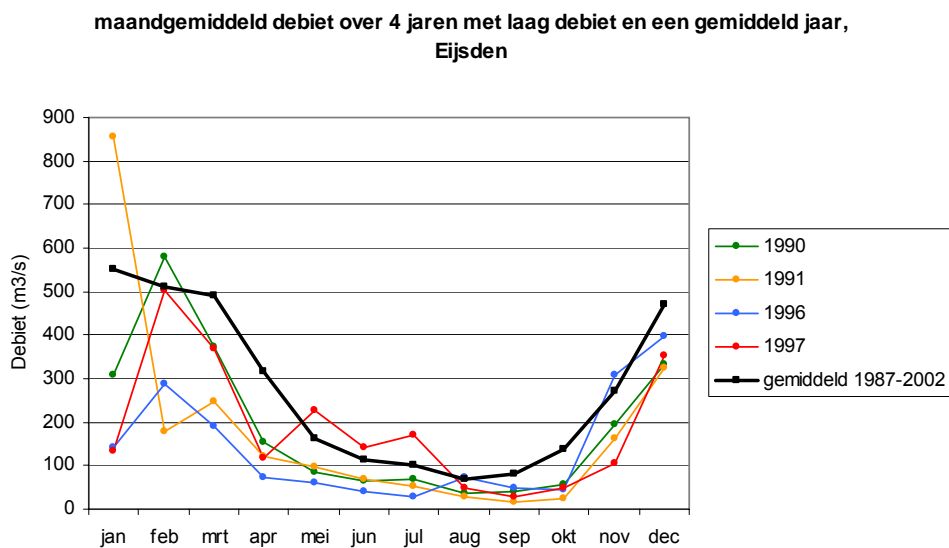


Figuur 8 Het jaargemiddelde debiet in de Rijn bij Lobith in de jaren 1989-2002 (database Rijkswaterstaat).



*Figuur 9* Het jaargemiddelde debiet in de Maas bij Eijsden in de jaren 1987-2002 (database Rijkswaterstaat).

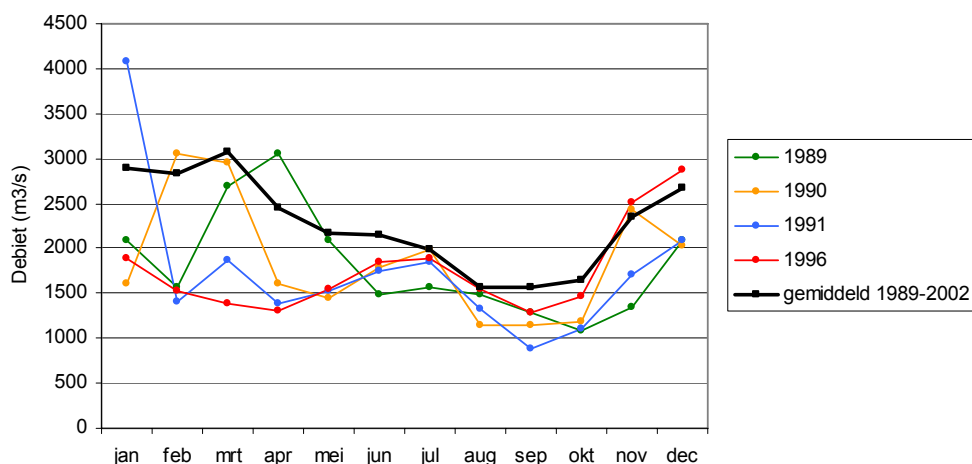
Debietfluctuaties zijn sterk seizoensgebonden. Maas-debieten (regenrivier) vertonen grotere fluctuaties dan Rijn-debieten (regen- en smeltwaterrivier). De Maas heeft in alle jaren (ook in de gemiddelde jaren) een droge periode (zie figuur 10) door een gering neerslagoverschot in mei-oktober. Vergeleken met een gemiddeld jaar bij Eijsden is in de droge jaren het debiet vooral in maart, april, mei en oktober lager. In de Rijn bij Lobith daarentegen varieert het tijdstip van lage debieten en is het debiet meer over het jaar verdeeld (zie figuur 11). In de Rijn valt de droogste periode over het algemeen in de zomer en in het begin van de herfst als gevolg van een laag smeltwateraanbod en een laag regenwateraanbod. De droge jaren onderscheiden zich van een gemiddeld jaar door een lagere afvoer in voornamelijk februari tot en met mei.



*Figuur 10* Maandgemiddeld debiet in de Maas bij Eijsden in 4 jaren met een relatief laag jaargemiddeld debiet en het gemiddelde van 1987-2002 (database Rijkswaterstaat).



maandgemiddeld debiet over 4 jaren met laag debiet en een gemiddeld jaar,  
Lobith



Figuur 11 Maandgemiddeld debiet in de Rijn bij Lobith in 4 jaren met een relatief laag jaargemiddeld debiet en het gemiddelde van 1987-2002 (database Rijkswaterstaat).

## 2.7 Oevergrondwater

Oevergrondwater is geïnfilterd rivierwater dat langs rivieren wordt gewonnen met putten of drainageleidingen. Het onttrokken grondwater is overwegend afkomstig uit oppervlaktewater. Als het grondwater niet in het rivierbed maar op de oever wordt onttrokken kan er schade optreden voor de dijken en de bebouwing (zetting, paalrot), voor landbouw, scheepvaart (in geval van zeer lage rivierafvoer) en natuur. Opties voor oevergrondwaterwinning zonder significante schadelijke effecten op grondwaterstanden zijn:

- Onttrekking onder de rivierbedding.
- Onttrekking bij hoge oevers met een grondwaterstand van meer dan 2 meter beneden maaiveld en een bodemopbouw die zettingsongevoelig is.
- Onttrekking in poldergebieden die lager liggen dan het rivierpeil.

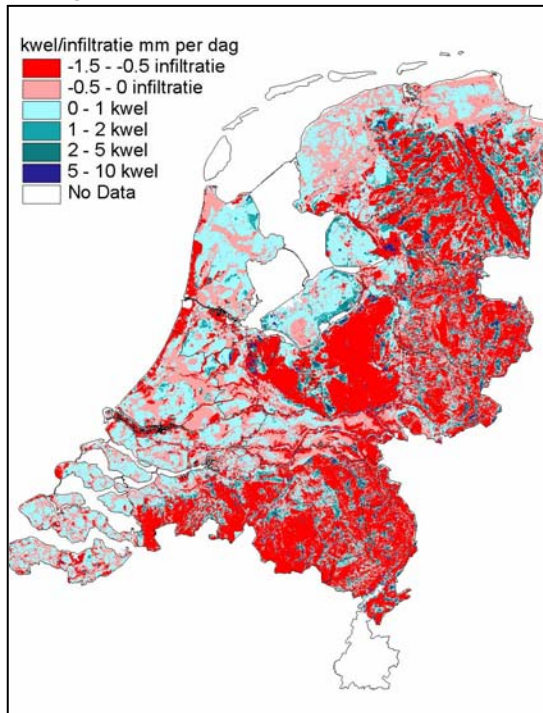
De kwelflux van oevergrondwater in de omgeving van Bergambacht en in de Tielerwaard wordt geschat op respectievelijk 30 en 45 liter per seconde, ofwel 1 - 1,5 miljoen m<sup>3</sup>/jaar per kilometer oeverlengte. In tabel 2 is de geschatte winbare hoeveelheid oevergrondwater weergegeven (RID 1965).

Locatie	Winbaar debiet (miljoenen m <sup>3</sup> /jaar)
langs Neder-Rijn, Lek en Waal	500
langs de Maas beneden Grave	300
langs de IJssel	100
langs de Maas boven Grave	100
Overig	200
<b>Totaal</b>	<b>1200</b>

Tabel 2 Schatting van de winbare hoeveelheden oevergrondwater in miljoenen m<sup>3</sup> per jaar (RID, 1965).

## 2.8 Kwelwater

Grondwaterstromen monden uit in oppervlaktewateren en in polders. Zoet kwelwater is vaak al meer dan honderd jaar onderweg en bruikbaar voor drinkwaterbereiding. Oppervlaktewater dat vanuit de Rijn, Lek en Waal opkwelt in aangrenzende poldergebieden wordt in deze studie gerekend tot oevergrondwater.



Langs de IJssel en de zuidelijke randmeren stroomt een kwelflux van 200 miljoen m<sup>3</sup>/jaar van de hoge zandgronden (Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug) naar Flevoland, het Veluwemeer en de oostelijke Veluwezoom. Dit kwelwater is oud grondwater met een uitstekende kwaliteit en wordt al gedeeltelijk gewonnen in bestaande pompstations. Winning van deze kwel wordt vaak beperkt door de verdrogingseffecten op natuur en landbouw.

*Figuur 12 Kwelintensiteiten in Nederland (RIZA, 2003).*

## 2.9 Rwzi effluent

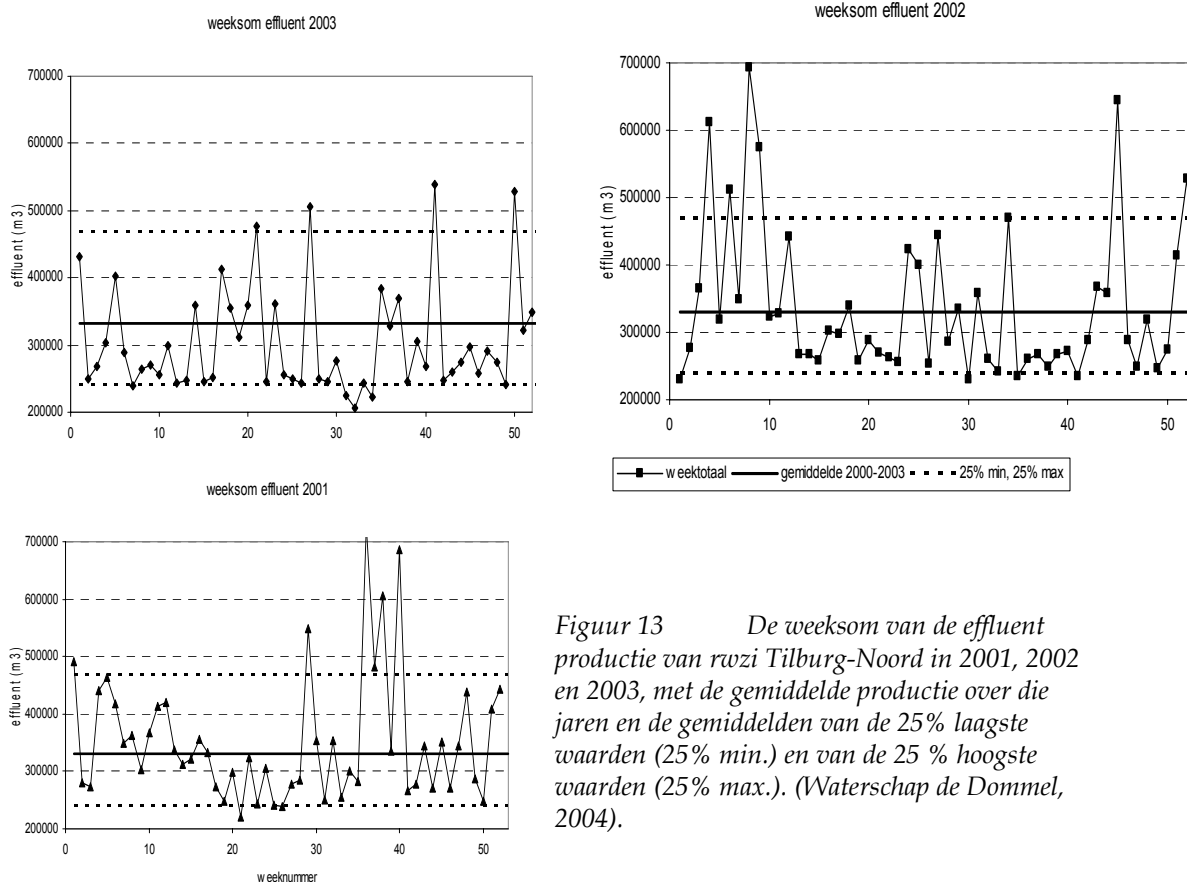
De RWZI-effluent hoeveelheden zijn in tabel 3 beschreven, inclusief de (ontwerp) jaarcapaciteit van de rwzi's voor Nederland in totaal en per provincie. Nederlandse rwzi's produceren gemiddeld over 1998-2002 2100 miljoen m<sup>3</sup> effluent. Zuid-Holland is de grootste rwzi-effluent producent, gevolgd door Noord-Brabant, Noord-Holland en Gelderland.

	Nederland	Groningen	Friesland	Drenthe	Overijssel	Flevoland	Gelderland	Utrecht	Noord-Holland	Zuid-Holland	Zeeland	Noord-Brabant	Limburg
1998	2 144	79	89	67	144	24	258	139	308	460	58	358	160
1999	1 992	64	79	66	126	23	233	130	282	435	53	335	167
2000	1 997	63	88	58	128	25	243	130	293	426	51	331	161
2001	2 132	86	94	65	130	27	263	136	294	464	56	347	170
2002	2 047	80	91	62	124	26	254	127	270	436	54	341	182
<b>Capaciteit per jaar, gemiddeld 1998-2002 (*1000 inwonerequivalenten)*</b>	25200	815	1000	850	1850	360	3000	1670	3970	4680	670	4570	1750

\*capaciteit: De (ontwerp)capaciteit van de rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland, uitgedrukt in inwonerequivalenten. Een inwonerequivalent is een maat voor de hoeveelheid zuurstofbindende stoffen die zich in het afvalwater van een persoon per dag bevinden. Ook de vervuilingsgraad van bedrijfsafvalwater wordt uitgedrukt in inwonerequivalenten.

Tabel 3 Jaarsom van de afvoer van afvalwater (effluent in miljoen m<sup>3</sup>) voor Nederland en per provincie in de jaren 1998-2002 en de capaciteit van de rwzi's uitgedrukt in inwonerequivalenten ([www.statline.cbs.nl](http://www.statline.cbs.nl)).

## 2.9.1 Fluctuaties in rwzi-effluent

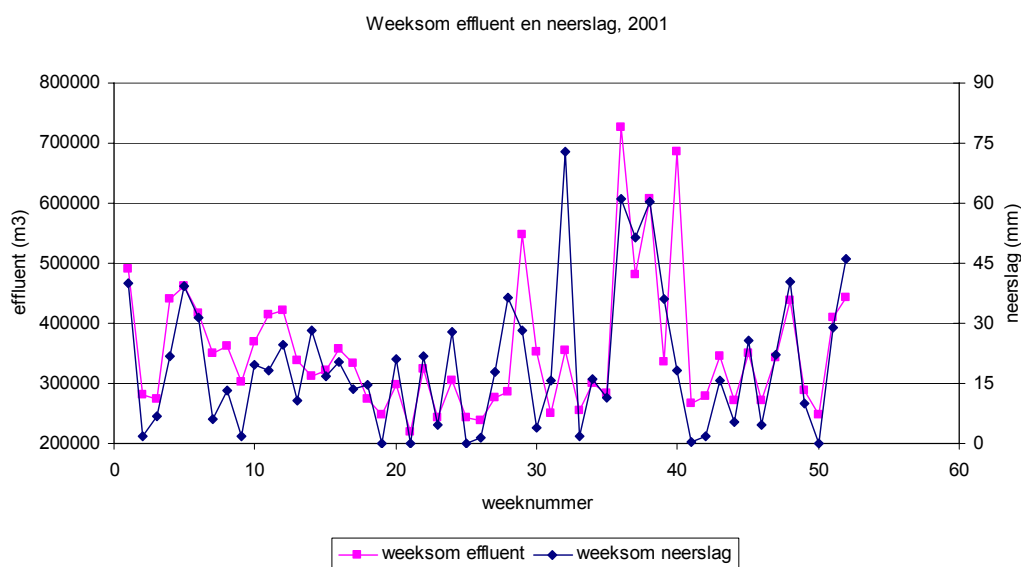


Figuur 13 De weksom van de effluent productie van rwzi Tilburg-Noord in 2001, 2002 en 2003, met de gemiddelde productie over die jaren en de gemiddelden van de 25% laagste waarden (25% min.) en van de 25% hoogste waarden (25% max.). (Waterschap de Dommel, 2004).

De tijdreeksen van het weektotaal aan effluent van rwzi Tilburg-Noord in 2001, 2002 en 2003 zijn in figuur 13 uitgezet. In de figuren is te zien dat de

effluentproductie een basisniveau heeft van rond het gemiddelde van de 25% laagste waarden (25% min). Bovenop dit basisniveau komen pieken voor die tot drie maal zo hoog zijn dan het basisniveau. Deze pieken hangen nauw samen met neerslaghoeveelheden (zie figuur 14).

Rwzi's verwerken vooral huishoudelijk afvalwater, industrieel afvalwater en regenwater maar ook instromend grond- en oppervlaktewater. Niet alle aanvoer wordt biologisch gezuiverd. Bij extreem hoge aanvoer wordt een gedeelte via twee regenwater bezinktanks omgeleid. Dit afvalwater, dat alleen fysisch is gezuiverd, wordt in de effluentvijver gemengd met biologisch gezuiverd water en daarna geloosd op het oppervlaktewater.



Figuur 14 Tijdsreeksen van de weksom van de neerslag in De Bilt en van de effluentproductie in rwzi Tilburg-Noord in 2001 (KNMI/Waterschap de Dommel, 2004).

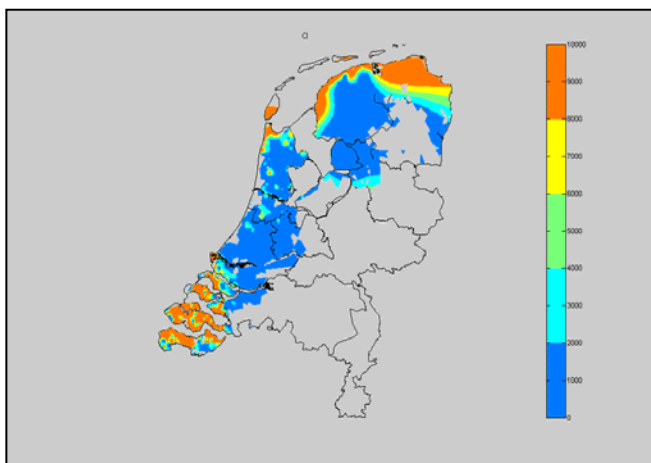
## 2.10 Brak grondwater

De BTO rapporten 2002.152 ('Voorkomen, winbaarheid en kwaliteit van brak grondwater voor de Nederlandse drinkwatervoorziening') en 2003.006 ('Brak water als grondstof voor drinkwater en zoethouder') beschrijven in welke gebieden en in welke hoeveelheden brak water voor de drinkwaterproductie beschikbaar is. Onderstaande passages zijn afkomstig uit deze rapporten.

Momenteel wordt in het 'zoete deel' van Nederland (dat ongeveer tweederde deel van het landoppervlak inneemt; circa 40 mm/jaar wordt gewonnen voor de drink- en industriewatervoorziening. Extrapolatie van deze hoeveelheid naar het brakke deel van het land (het westen van Nederland en het IJsselmeergebied) levert een bovengrens op van 500 miljoen m<sup>3</sup> winbaar brak grondwater per jaar. Het concept van de 'zoethouder' (zie BTO-rapport 2003.006) kan worden ingezet om van brak grondwater drinkwater te maken.

Het zoutgehalte van het grondwater varieert en niet al het brakke water is bruikbaar voor drinkwaterproductie. In figuur 15 is het gemiddelde

chloridegehalte van het grondwater in de bovenste 10 meter van het Pleistoceen pakket gevisualiseerd, dat is de bovenste aquifer, die voor drinkwaterwinning in aanmerking komt. Aangenomen dat het grondwater met een chloridegehalte van 8000 mg/liter nog bruikbaar is voor drinkwaterproductie, dan is de winbare hoeveelheid brak grondwater ongeveer 375 miljoen m<sup>3</sup>/jaar.



De geohydrologische gesteldheid kan beperkend zijn voor brakwater winning. De gesteldheid is echter locatie afhankelijk en hangt af van bestuurlijke beslissingen.

*Figuur 15 Gemiddelde chloridegehalte van het grondwater in de bovenste 10 meter van het Pleistoceen pakket (Stuyfzand et. al, 2003).*

De ondergrond van het IJsselmeer bevat ook brak water. Brakwater winning voor drinkwaterproductie in het IJsselmeer is nieuw en vergt daarom een onconventionele opzet. Daar staat tegenover dat er nauwelijks negatieve effecten op het milieu zijn. In het IJsselmeergebied kan jaarlijks 150 miljoen m<sup>3</sup>/jaar brak grondwater worden gewonnen. De totale winbare hoeveelheid brak water in Nederland is totaal:

- In het brakke gedeelte:	375 M m <sup>3</sup> /jaar
- In het IJsselmeer:	<u>150 Mm<sup>3</sup>/jaar</u>
<b>Totaal</b>	<b>525 M m<sup>3</sup>/jaar</b>

### 2.11 Zeewater/kustwater

Zeewater of kustwaterwinning in Nederland heeft weinig beperkingen. Zeewater is langs de lange Nederlandse kust in overvloed aanwezig. Omdat de kustgebieden intensief worden gebruikt kan de beschikbare ruimte voor oeverfiltratie beperkt zijn.

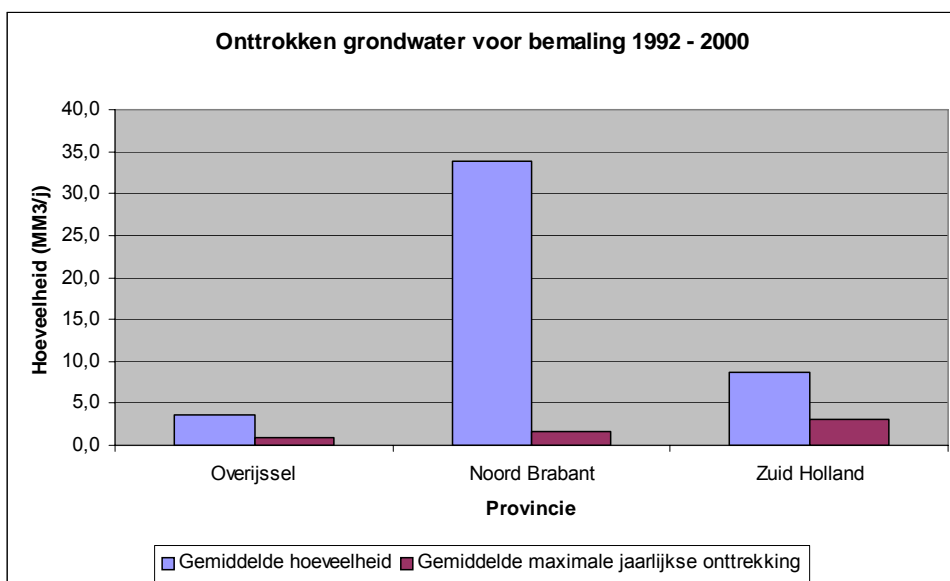
### 2.12 Bemalingswater van bouwputten

Tijdens de bouw van civiele en infrastructurele werken wordt veelal bemaling toegepast, de bemaling is soms permanent. Het onttrokken grondwater wordt (eventueel na eenvoudige zuivering) geloosd op de riolering of op het oppervlaktewater. Voor de provincies Overijssel, Noord Brabant en Zuid Holland is globaal geïnventariseerd hoeveel bemalingswater jaarlijks wordt geloosd. Daarvoor zijn de openbare provinciale gegevensbestanden over de periode 1992 - 2000 onderzocht en alle voor drinkwaterproductie geschikte onttrekkingen gesommeerd. Helaas zijn gegevens per provincies moeilijk te vergelijken omdat provincies geen uniforme categorisering van bemalingen hanteren. In tabel 4 zijn de

provinciale categorieën van grondwaterbemaling opgesomd en is aangegeven welke categorieën in de inventarisatie zijn meegenomen.

Inventarisatie	Categorieën per provincie
	<i>Noord Brabant</i>
+	Andere doeleinden
+	Grondwaterbeheersing
-	Sanering
+	Overige civieltechnische werken
+	Riolering en leidingen
+	Utiliteitsbouw
	<i>Zuid Holland</i>
+	Kelder, tunnel en polderbemalingen
+	Bouwputbemalingen
	<i>Overijssel</i>
+	Grondwaterwinning-bronbemaling (inclusief een klein deel saneringen)
-	Grondwaterwinning – bodem en grondwatersanering

Tabel 4 Provinciale categorieën van grondwaterbemaling.



Figuur 16 Hoeveelheden onttrokken grondwater voor bemaling in drie provincies.

Figuur 16 laat zien dat de gemiddelde onttrokken hoeveelheden bemalingswater per provincie sterk verschillen. In de provincie Noord-Brabant wordt jaarlijks bijna 35 miljoen m<sup>3</sup> bemalingswater onttrokken. Voor drinkwaterproductie is vooral de gemiddelde maximale jaarlijkse onttrekking interessant (grootste onttrekkingspunt in de provincie). De gemiddelde jaarlijkse maximale onttrekkingen bedragen ongeveer 1,5-3,5 miljoen m<sup>3</sup>

bemalingswater per jaar en kunnen interessant zijn als aanvulling op de huidige drinkwatervoorziening.

### 2.13 Samenvatting

Nederland is waterrijk en heeft een groot neerslagoverschot, door de ligging in een gematigde en humide klimaatzone. Via de Rijn en de Maas worden zeer grote hoeveelheden water aangevoerd, afkomstig uit stroomgebieden buiten Nederland; de oppervlaktewateraanvoer is ongeveer drie keer zo groot als de neerslagaanvoer. De Nederlandse ondergrond bestaat uit dikke lagen sediment met grote voorraden grondwater. Tweederde van de grondwatervoorraad is zoet en de jaarlijkse grondwateraanvulling bedraagt 4,5 miljard m<sup>3</sup>/jaar. Het merendeel van het winbare zoete grondwater bevindt zich in het oosten en zuiden van het land. In tabel 5 is per brontype de voorraad en de jaarlijkse aanvulling weergegeven.

Brontype	Voorraad	Aanvulling per jaar
<b>Regenwater</b>		26,4 Miljard m <sup>3</sup> /jaar
<b>Oppervlaktewater</b>		80,0 Miljard m <sup>3</sup> /jaar
<b>Grondwater</b>		4,5 Miljard m <sup>3</sup> /jaar
Totaal	1025 miljard m <sup>3</sup>	
Zout	525 miljard m <sup>3</sup>	
Zoet	500 miljard m <sup>3</sup>	
<b>Stedelijk grondwater</b>	41 miljard m <sup>3</sup>	330 Miljoen m <sup>3</sup> /jaar
<b>Stedelijk regenwater</b>		1760 Miljoen m <sup>3</sup> /jaar
<b>Stedelijk regenwater dat wordt afgevoerd via de riolering</b>		440 Miljoen m <sup>3</sup> /jaar
<b>Oevergrondwater</b>		1,2 Miljard m <sup>3</sup> /jaar
<b>Kwelwater van de hoge zandgronden</b>		200 Miljoen m <sup>3</sup> /jaar
<b>RWZI effluent</b>		2100 Miljoen m <sup>3</sup> /jaar
<b>Bemalingswater</b>		>120 Miljoen m <sup>3</sup> /jaar

Tabel 5 Overzicht van de voorraad en jaarlijkse aanvulling voor 9 brontypen.

## 3 Kwaliteit bronnen

### 3.1 Inleiding

In hoofdstuk 2 is de beschikbaarheid van tijdelijke wateroverschotten (bemalingen) en de beschikbaarheid van stationaire (alternatieve) bronnen voor drinkwaterproductie beschreven. Naast de beschikbaarheid bepaalt de kwaliteit van deze bronnen hoe en tegen welke kosten het water tot drinkwater kan worden gezuiverd. Kritische parameters voor de zuivering (oxidatie en reductie vermogen, pH, zwevend stof, fluctuaties in pH en temperatuur) krijgen hierbij speciale aandacht. De 9 te onderzoeken brontypen zijn:

1. Regenwater (run-off verharde oppervlakten)
2. Grondwater (ondiep en diep)
3. Stedelijk grondwater
4. Oppervlaktewater
5. Oevergrondwater
6. Kwelwater
7. RWZI effluent
8. Brak water
9. Zeewater/kustwater

### 3.2 Regenwater (run-off verharde oppervlakten)

Regenwater is een zoutarme bron (Stolk, 2001) en vaak vervuild met in de lucht opgeloste componenten (ammoniak, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>). Afhankelijk van de verzamelingwijze worden ook componenten van daken en verharde oppervlakken in afstromend regenwater aangetroffen, bijvoorbeeld zink, lood en koper door het gebruik van zinken dakgoten, loodslabben en andere daken en gevelbekleding (Van Mourik et al., 2003). Regenwater van wegen kan verontreinigd zijn met zware metalen, zwevend stof, minerale olie en PAKs. Teunissen (1998) heeft verhoogde concentraties metalen (koper, lood en zink), PAK's en minerale olie aangetoond in het afstromende hemelwater (regenwaterriool) in woonwijken. Sterke afspoeling van bestrijdingsmiddelen (glyfosaat en het metaboliet AMPA) van verharde oppervlakken is geconstateerd door Withagen et al. (2003). Belangrijke parameters en indicatieve gemiddelde concentratieniveaus zijn opgenomen in tabel 6 (gebaseerd op getallen gepubliceerd door Lemmen & Oomens, 2001). In de tabel staan maximale waarden van stoffen die voorkomen in afstromend hemelwater (afkomstig van daken, wegen, parkeerplaatsen en woonwijken).



Component	Eenheid	Drinkwaternorm	Afstromend regenwater
Ammonium	mgN/l	< 0,2	3,9
Koper	µg/l	2000	225
Lood	µg/l	10	400
Zink	µg/l	3000	5000
PAK	µg/l	0,1	6,7
Minerale olie	mg/l		5,4

Tabel 6 Indicatie van concentratie niveau's van stoffen in afstromend regenwater die belangrijk zijn voor drinkwaterproductie.

### 3.3 Grondwater

#### 3.3.1 Ondiep freatisch grondwater

Ondiep (freatisch) grondwater wordt in heel Nederland gewonnen. De samenstelling van grondwater is zeer divers maar op slechts enkele locaties wordt aëroob water gewonnen dat niet verontreinigd is met organische microverontreinigingen en meststoffen. Voor relatief ondiep anaëroob grondwater of mengwater (aëroob/anaëroob) worden eenvoudige grondwaterzuiveringen (beluchting, gevolgd door snelfiltratie) toegepast. Daarbij zijn in de tabel 7 beschreven parameters vooral van belang (Stuyfzand & Bannink, 2003). Het ondiepe grondwater bevat incidenteel bestrijdingsmiddelen of metabolieten (bentazon, BAM, mecoprop) in concentraties hoger dan de drinkwaternorm.

Component	Eenheid	Drinkwaternorm	Ondiep grondwater
Ijzer	mg/l	< 0,2	3
Mangaan	mg/l	< 0,05	0,2
Ammonium	mgN/l	< 0,2	0,3
TH	mmol/l	1-2,5	2
TAC	mmol/l	> 1	2,6
Nitraat	mgN/l	< 50	2
Sulfaat	mg/l	< 150	40
Chloride	mg/l	< 150	30
SiO <sub>2</sub>	mgSi/l		11
TDS	mg/l		300
OMIVE's	µg/l	< divers	> norm

Tabel 7 Indicatie van concentratie niveau's in ondiep (freatisch) grondwater die van belang zijn voor drinkwaterproductie (Stuyfzand & Bannink, 2003).

#### 3.3.2 Diep (semi-spannings) grondwater

De samenstelling van diep grondwater is evenals ondiep grondwater divers. Diep grondwater bevat vaak methaan dat meestal met intensieve beluchting wordt verwijderd voorafgaand aan snelfiltratie. In tabel 8 is de samenstelling van diep methaanhoudend grondwater beschreven.

Component	Eenheid	Drinkwaternorm	Diep grondwater
IJzer	mg/l	< 0,2	10
Mangaan	mg/l	< 0,05	0,3
Ammonium	mgN/l	< 0,2	2,5
TH	mmol/l	1-2,5	1,5
TAC	mmol/l	> 1	4
Nitraat	mgN/l	< 50	< 1
Sulfaat	mg/l	< 150	22
Methaan	mg/l		5
Chloride	mg/l	< 150	30
SiO <sub>2</sub>	mgSi/l		13
TDS	mg/l		400

Tabel 8 Indicatie van concentratie niveau's in diep (semi-spannings) grondwater die van belang zijn voor drinkwaterproductie.

### 3.4 Stedelijk grondwater

Steeds meer waterwingebieden liggen binnen stedelijke invloedssfeer. Naar verwachting ligt in 2015 25 tot 30% van de huidige pompstations binnen stedelijke invloedssfeer. Het beschermingsniveau van waterwingebieden neemt hierdoor af. Stedelijk grondwater omvat een breed palet aan grondwatertypen, elk met een specifieke samenstelling, afhankelijk van lokale omstandigheden. In het kader van het BTO project 'Stedelijk waterbeheer en waterwinning: risicobeheer, kosten-batenanalyse en monitoringstrategie' zijn zes indicatieve stedelijke grondwatertypen benoemd, namelijk:

- 1) aëroob basisch grondwater (pH 7-8) met nitraat en gechloreerde koolwaterstoffen;
- 2) aëroob basisch grondwater met BTEX, MTBE, PAK en cyaniden;
- 3) aëroob basisch grondwater met gechloreerde koolwaterstoffen, zink, pesticiden en virussen;
- 4) aëroob zuur grondwater (pH 5-6) met metalen (Al, Cd, Cu, Ni, Pb en Zn) en gechloreerde koolwaterstoffen;
- 5) anaëroob basisch grondwater met ammonium, ijzer, OMIVE uit oppervlaktewater (o.a. bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen); en
- 6) anaëroob basisch grondwater met BTEX, MTBE, hoog Na, K, Cl en virussen.

Bovenstaande stedelijke grondwatertypen zijn indicatief, in veel stedelijke gebieden worden de normen voor een groot aantal stoffen niet overschreden. Zo worden in de huidige winningen in stedelijk gebied in Nederland (o.a. Pompstation Engelse Werk-Zwolle, pompstation Hengelo, Zeist, Nijmegen-Nieuwe Marktstraat) beperkt normoverschrijdingen waargenomen. De werkelijk aangetroffen gehalten zijn bovendien afhankelijk van de ondergrond (grondwaterstroming, samenstelling bodem, et cetera).

### 3.5 Oppervlaktewater

Vanwege de omvang van het Rijn stroomgebied wordt Rijnwater als typisch voor oppervlaktewater in Nederland beschouwd (de samenstelling van de Maas is vergelijkbaar, met uitzondering van chloride). Relevante stoffen en concentratieniveaus zijn in tabel 9 beschreven. De gegevens zijn gebaseerd

op de gemiddelde concentraties zoals gepubliceerd door RIWA Rijn over de jaren 2001 en 2002 bij Lobith. Concentraties van sommige stoffen zijn seizoensgebonden (bestrijdingsmiddelen), of afvoergebonden (pH, zwevend stof, mede afhankelijk van algenbloei). De overschrijding van de drinkwaternorm voor Fe en Mn wordt veroorzaakt door het hoge gehalte aan zwevend stof. Organische microverontreinigingen die incidenteel de drinkwaternorm overschrijden zijn vooral bestrijdingsmiddelen; in de Maas diuron, glyfosaat, isoproturon, AMPA, atrazin, chloortoluron en MCPA en in de Rijn isoproturon, glyfosaat, AMPA.

Component	Eenheid	Drinkwaternorm	Oppervlaktewater
Ijzer	mg/l	< 0,2	1,2
Mangaan	mg/l	< 0,05	0,06
Ammonium	mgN/l	< 0,2	< 0,1
TH	mmol/l	1-2,5	2,2
TAC	mmol/l	> 1	2,8
Nitraat	mgN/l	< 50	3,0
Sulfaat	mg/l	< 150	53
Chloride	mg/l	< 150	85
Zwevend stof	mg/l		31
TDS	mg/l		450
OMIVE's	µg/l	< divers	> norm
Desinfectie	log	< divers	> norm

Tabel 9 Indicatie van concentratie niveau's in oppervlaktewater die van belang zijn voor de productie van drinkwater.

### 3.6 Oevergrondwater

Oevergrondwaterwinningen trekken infiltrerend rivierwater aan. In oevergrondwater komen dan ook oppervlaktewater verontreinigingen voor. Vooral organische microverontreinigingen zijn voor de zuivering van belang (bestrijdingsmiddelen), zo overschrijdt bentazon de drinkwaternorm incidenteel. Ook bromacil, mecoprop, dichloormethaan en trichlooretheen komen soms in verhoogde concentraties voor. Onder specifieke omstandigheden worden micro-organismen aangetroffen (Stuyfzand & Bannink, 2003). In tabel 10 zijn concentratie niveau's in oevergrondwater beschreven die voor drinkwaterproductie van belang zijn, gebaseerd op gemiddelde concentraties in oevergrondwater locaties 2002 in REWAB.

Component	Eenheid	Drinkwaternorm	Oevergrondwater
IJzer	mg/l	< 0,2	3,0
Mangaan	mg/l	< 0,05	0,5
Ammonium	mgN/l	< 0,2	2,6
TH	mmol/l	1-2,5	2,5
TAC	mmol/l	> 1	4,0
Nitraat	mgN/l	< 50	< 1
Sulfaat	mg/l	< 150	44
Chloride	mg/l	< 150	91
TDS	mg/l		480
OMIVE's	µg/l	< divers	> norm

Tabel 10 Indicatie van concentratie niveau's in oevergrondwater die van belang zijn voor drinkwaterproductie (REWAB).

### 3.7 Kwelwater (zoet)

De watersamenstelling van kwelwater is zeer uiteenlopend, variërend van brak water (West Nederland) tot zoet water. Voor de verschillende typen kwelwater kan ruwweg de samenstelling van diep of ondiep grondwater worden aangehouden.

### 3.8 RWZI effluent.

Afvalwater is een potentiële bron voor drinkwaterproductie (zie ook STOWA, 2001). De kwaliteit van het communale RWZI-effluent is vaak beter dan oppervlaktewater, waardoor de zuivering gelijkwaardig of eenvoudiger is. In tabel 11 zijn concentratie niveau's in RWZI-effluent beschreven die voor drinkwaterproductie van belang zijn (Gommers & Rienks, 1999; STOWA, 2001). RWZI effluent bevat diverse organische microverontreinigingen en de drinkwaternorm wordt regelmatig overschreden voor onder andere bestrijdingsmiddelen (Zindler, 2004), ftalaten, PAK's, vluchtige koolwaterstoffen, chloroform en dichloormethaan (zie Van der Spoel et al., 1990; Gommers & Rienks, 1999).

Component	Eenheid	Drinkwaternorm	RWZI effluent
Ammonium	mgN/l	< 0,2	1-3
TH	mmol/l	1-2,5	1-2,5
TAC	mmol/l	> 1	2
Nitraat	mgN/l	< 50	3-5
Sulfaat	mg/l	< 150	60-110
Chloride	mg/l	< 150	70-110
Lood	µg/l	10	0,5-17
Nikkel	µg/l	20	1-77
Zwevend stof	mg/l		2-8
OMIVE's	µg/l	< divers	> norm
Desinfectie	log	< divers	> norm

Tabel 11 Indicatie van concentratie niveau's in RWZI-effluent die van belang zijn voor drinkwaterproductie (Gommers & Rienks, 1999; STOWA, 2001).

### 3.9 Brak grondwater

Het chloride gehalte van brak (grond)water varieert tussen 300-10.000 mg/l. Brak water is meestal een mengsel van verschillende watersoorten, doorgaans zoet regen- of rivierwater en zout zeewater. De winning van brak grondwater heeft als voordeel dat:

- de zoet grondwatervoorraad nauwelijks wordt aangetast.
- de voorraad brak grondwater groot is.
- de effecten op de omgeving minder zijn dan zoet waterwinning (minder verdroging, minder zetting).
- en de kwaliteit is vrijwel altijd onberispelijk (wat betreft microbiologie en organische microverontreinigingen).

De watersamenstelling van brak grondwater is vergelijkbaar met diep grondwater, met uitzondering van de zoutconcentratie. In tabel 12 zijn concentraties van parameters in brak grondwater beschreven. Hierbij is uitgegaan van gebieden die geschikt zijn voor de winning van brak grondwater voor drinkwaterproductie (Kappelhof & Stuyfzand, 2003), zoals Rijnmond (60-300 m -NAP) en het oostelijke poldergebied van Zuid-Holland (30-120 m -NAP).

Component	Eenheid	Drinkwaternorm	Rijnmond	Delft
IJzer	mg/l	< 0,2	10	25
Mangaan	mg/l	< 0,05	2	0,4
Ammonium	mgN/l	< 0,2	32	16
TH	mmol/l	1-2,5	32	14
TAC	mmol/l	> 1	16	12
Sulfaat	mg/l	< 150	550	10
Chloride	mg/l	< 150	8400	2000
Methaan	mg/l	<	2	2
Natrium	mg/l	150	4600	900
TDS	mg/l		15500	4000

Tabel 12 Indicatie van concentratie niveau's in brak grondwater die van belang zijn voor drinkwaterproductie.

### 3.10 Kustwater (oeverfiltraat)

Geïnfiltreerd kustwater is een potentiële bron voor drinkwaterproductie. De watersamenstelling is in tabel 13 is beschreven, gebaseerd op de Noordwijk raai (km 2). De samenstelling Nederlandse kustwateren wordt beïnvloed door rivierwater, de bijdrage ligt op gemiddeld 10 % (Van Zeijl et al., 2001) en nabij de Nieuwe Waterweg is de bijdrage van rivierwater groter. Bij Noordwijk (2 kilometer uit de kust) is de gemiddelde bijdrage van rivierwater 20 %.

<b>Component</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Drinkwaternorm</b>	<b>Kustwater</b>
Ammonium	mgN/l	< 0,2	0,03
TH	mmol/l	1-2,5	57
TAC	mmol/l	> 1	2,3
Nitraat	mgN/l	< 50	0,5
Sulfaat	mg/l	< 150	2440
Chloride	mg/l	< 150	17400
Natrium	Mg/l		9700
magnesium	Mg/l		1160
Calcium	Mg/l		370
Kalium	Mg/l		360
Zwevend stof	mg/l		10
TDS	mg/l		31500

*Tabel 13      Indicatie van concentratie niveau's in zeewater die van belang zijn drinkwaterproductie, gebaseerd op een bijdrage van 10% uit rivierwater.*



## 4 Zuiveringskosten

### 4.1 Inleiding

Op basis van de typering van mogelijk inzetbare bronnen voor drinkwaterproductie (zie hoofdstuk 2) en de gemiddelde kwaliteit van deze bronnen (zie hoofdstuk 3) zijn de kosten van zuivering per type bron berekend, afhankelijk van de schaalgrootte van het zuiveringsstation, gebaseerd op de DHV kostensystematiek. De 9 typen bronnen zijn:

1. Regenwater (run-off verharde oppervlakten)
2. Grondwater (ondiep en diep)
3. Stedelijk grondwater
4. Oppervlaktewater
5. Oevergrondwater
6. Kwelwater
7. RWZI effluent
8. Brak water
9. Zeewater/kustwater

#### 4.1.1 Aanpak

De gemiddelde waterkwaliteit is voor ieder type bron vastgesteld, op basis van parameters die voor zuivering van belang zijn. Vervolgens zijn voor ieder type bron kostenberekeningen gemaakt voor drie schaalgroottes uitgesplitst naar een conventioneel scenario en een geavanceerd (membraan) scenario. De kostenberekeningen bestaan uit investerings- en exploitatiekosten.

#### 4.1.2 Afhankelijkheid van ontwerpcapaciteit

Zuiveringskosten zijn afhankelijk van de productiecapaciteit. Daarom zijn de zuiveringskosten voor drie verschillende productiecapaciteiten berekend:

1. 0.5 Mm<sup>3</sup>/jaar (kleine zuivering), vergelijkbaar met de omvang van de huidige kleinste grondwaterzuiveringen in Nederland.
2. 5 Mm<sup>3</sup>/jaar (middelgrote zuivering), vergelijkbaar met de gemiddelde omvang van huidige grondwaterzuiveringen in Nederland.
3. 50 Mm<sup>3</sup>/jaar (grote zuivering), groter dan de grootste drinkwaterzuivering in Nederland.

De betrouwbaarheid van kostenberekeningen voor kleinste capaciteiten is gering. Ondanks het ontbreken van betrouwbare kostenfuncties voor kleinschalige zuivering is het interessant kostenberekeningen vanwege besparingen op investeringen in infrastructuur. De uitgangspunten voor ontwerp en kosten zijn beschreven in bijlage 2 en 3.

## 4.2 Regenwater

### 4.2.1 De bron

Regenwater is een zoutarme bron maar vaak vervuild met in de lucht opgeloste componenten (ammoniak, CO<sub>2</sub>, Nox). Bij regenwaterverzameling kunnen ook componenten van daken en andere verharde oppervlakken in het regenwater terecht komen, zoals metalen en minerale oliën. De voor



drinkwaterproductie belangrijke parameters zijn in tabel 6 beschreven (paragraaf 3.2).

#### 4.2.2 De zuivering

##### Scenario 1 (UF-RO-MarmerF)

Deeltjesverwijdering en desinfectie van regenwater is mogelijk met MF/UF. Om organische stoffen te verwijderen wordt gebruik gemaakt van NF/RO. Omdat NF/RO leidt tot verregaande ontzouting moet er daarna opharding plaatsvinden met behulp van marmerfiltratie (het ontzoute water wordt met extra ionen wordt aangevuld).

##### Scenario 2 (MarmerF-AKF-IEX-UV)

In dit scenario wordt het zoutarme regenwater eerst opgehard met marmerfiltratie door verrijking met hardheidsionen. Om nagroei van het behandelde regenwater te minimaliseren (organische stoffen, waaronder AOC) is actieve koolfiltratie nodig. Met een ion-uitwisselaar kunnen eventuele zware metalen, zoals zink van zinken daken, uit het regenwater worden verwijderd. Met UV wordt vervolgens gedesinfecteerd.

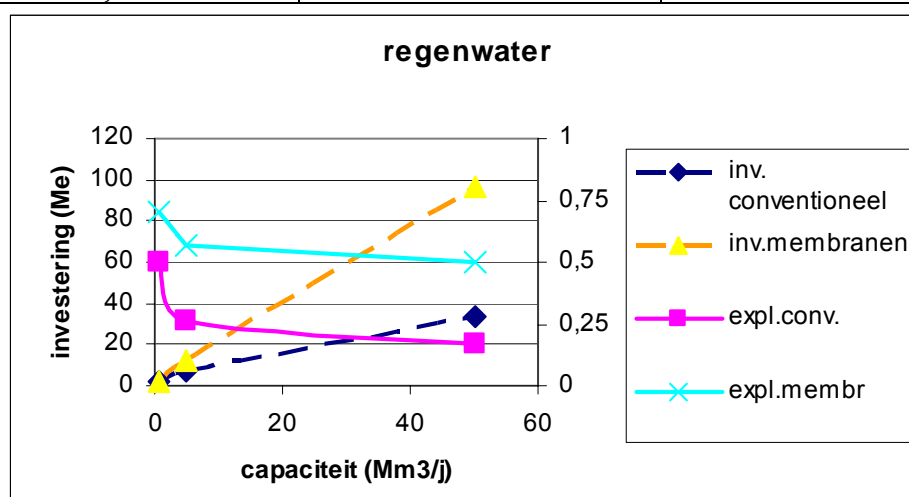
#### 4.2.3 De kosten

Kosten voor regenwater zuivering in scenario 1.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	1.73	0.704
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	12.30	0.572
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	96.52	0.499

Kosten voor regenwater zuivering in scenario 2.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	1.67	0.497
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	7.11	0.264
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	33.06	0.168



Figuur 17 Kosten voor zuivering van regenwater met conventionele technieken en membranen.

### 4.3 Ondiep freatisch grondwater

#### 4.3.1 De bron

Op enkele locaties is slechts beluchting nodig om drinkwater te produceren uit ondiep grondwater, onder de voorwaarde dat aërobe grondwater niet met organische microverontreinigingen en meststoffen is verontreinigd. Omdat beluchting als enige zuiveringsstap slechts op enkele locaties wordt toegepast is dit type waterwinning niet verder beschreven.

Eenvoudige grondwaterzuiveringen bestaan uit beluchting en snelfiltratie. Deze opzet is alleen mogelijk met lage ijzer-, ammonium- en mangaangehaltes en is meestal van toepassing op ondiep anaëroob grondwater of mengwater (aëroob/anaëroob). De relevante parameters voor dit type water zijn in paragraaf 3.3.1 beschreven.

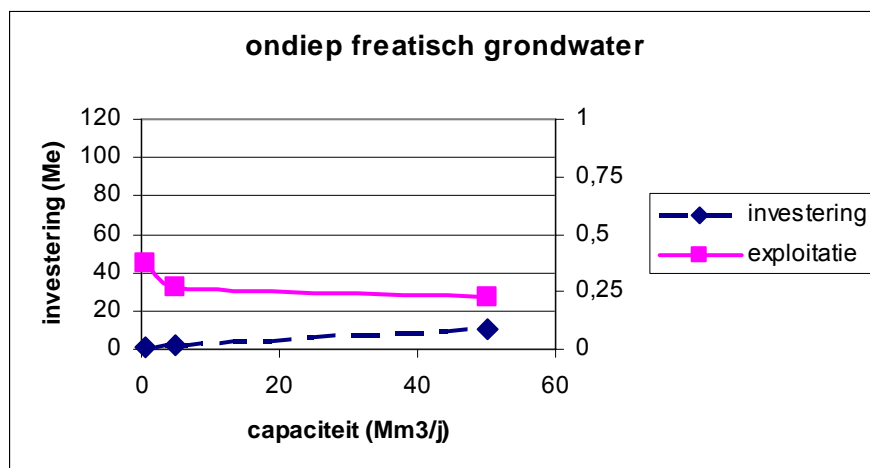
#### 4.3.2 De zuiveringsscenario's

De meest toegepaste technieken voor ondiep grondwater zijn eenvoudig, meestal beluchting in combinatie met snelfiltratie. Toepassing van geavanceerde zuiveringen zoals membraantechnieken ligt bij deze bron niet voor de hand.

#### 4.3.3 De kosten

Kosten voor zuivering van ondiep grondwater met beluchting en snelfiltratie

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	0,63	0,37
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	2,6	0,27
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	11,0	0,23



Figuur 18 Kosten voor zuivering van ondiep grondwater met conventionele technieken.

### 4.4 Diep semi spannings grondwater

#### 4.4.1 De bron

In diepe grondwaterwinningen wordt anaëroob methaanrijk water gewonnen. De combinatie van intensieve beluchting en snelfiltratie zorgt

voor methaanverwijdering en biologisch stabiel drinkwater. De relevante parameters voor dit type water zijn in paragraaf 3.3.2 beschreven.

#### 4.4.2 De zuivering

Bij conventionele zuivering van diep grondwater moet methaan chemisch/fysisch met intensieve beluchting worden verwijderd. Hiervoor bestaan meerdere systemen. In dit voorbeeld is gekozen voor plaatbeluchting. Na beluchting is dubbele filtratie voldoende om drinkwater te produceren.

Bij geavanceerde zuivering van diep grondwater is aangenomen dat de bron anaëroob is en weinig deeltjes bevat. Onder anaërobe omstandigheden is membraanvervuiling te voorkomen. De membranen verwijderen nagenoeg alle grotere ionen en organische moleculen. Gassen en kleine ionen, zoals methaan en ammonium zijn nog in het permeaat aanwezig. Na membraanbehandeling is nabehandeling nodig om gassen (methaan) en restanten ammonium te verwijderen en de hardheid te verhogen. De nabehandeling kan bestaan uit beluchting en een marmerfilter. In de beluchting wordt methaan grotendeels verwijderd en zuurstof ingebracht. In het marmerfilter worden ammonium en het resterende methaan door aërobe bacteriën (deze bacteriën gebruiken zuurstof) biologisch omgezet. Daarnaast zal met het in het water aanwezige koolzuur marmer worden opgelost, waardoor de hardheid toeneemt tot de gewenste waarde.

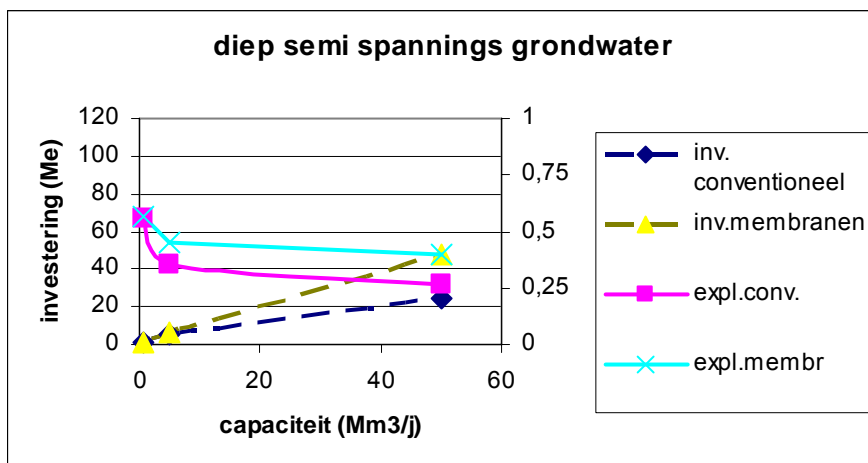
#### 4.4.3 De kosten

Kosten voor zuivering van diep grondwater met plaatbeluchting, snelfiltratie, beluchting en snelfiltratie.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	1,4	0,56
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	5,8	0,35
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	25,0	0,26

Kosten voor zuivering met membranen (nanofiltratie-beluchting-snelfiltratie).

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	1,1	0,57
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	6,7	0,45
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	48,0	0,40



Figuur 19 Kosten voor zuivering van diep grondwater met conventionele technieken en membranen.

#### 4.5 Stedelijk grondwater

De waterkwaliteit van stedelijk grondwater varieert per locatie. Sommige stedelijke grondwateren zijn zwaar vervuild terwijl andere stedelijke grondwateren vrijwel niet hoeven worden gezuiverd. In het kader van het BTO project 'Stedelijk waterbeheer en waterwinning: risicobeheer, kostenbatenanalyse en monitoringstrategie' zijn zes indicatieve stedelijke grondwatertypen benoemd. Voor ieder type zijn 2 zuiveringsscenario's opgesteld. Omdat de waterkwaliteit zo sterk varieert heeft het geen zin een uniform zuiveringsschema op te stellen, tenzij dit zuiveringsschema alle verontreinigingen kan verwijderen.

In algemene zin kan worden opgemerkt dat zuiveringsschema's voor stedelijke grondwater lijken op zuiveringsschema's voor oevergrondwater; meestal is er geen desinfectie nodig en er zijn organische microverontreinigingen aanwezig.

#### 4.6 Oppervlaktewater

##### 4.6.1 De bron

Oppervlaktewater bevat vele componenten, zoals micro-organismen en microverontreinigingen. De componenten zijn in tabel 9 in paragraaf 3.5 opgesomd.

##### 4.6.2 De zuivering

Voor de bereiding van hoogwaardig proceswater uit oppervlaktewater (dat gratis en vrijwel onbeperkt beschikbaar is) met membraanfiltratie is meestal een combinatie van ultrafiltratie en NF/RO nodig. Meestal treedt vervuiling op door organische stoffen en deeltjes bij ultrafiltratie en biofouling bij nanofiltratie en Reverse Osmosis.

##### Scenario 1 (Coag/sed.-SF-DuinF-PO-O3-BAKF-LZF)

De conventionele zuiveringsvariant bestaat uit een coagulatie stap met FeCl<sub>3</sub> om vlokken te maken die vervolgens met lamellenseparatoren worden

gesedimenteerd. Snelle zandfiltratie en duinfiltratie verwijderen grove zwevende deeltjes en met pelletontharding worden hardheidsionen (calcium, magnesium) verwijderd. Met ozonisatie en actieve koolfiltratie vindt desinfectie en afbraak van organisch materiaal plaats. Tenslotte wordt een langzame zandfilter gebruikt om nagroei te beperken.

#### Scenario 2 (Coag/sed.-SF-UF-NF)

De geavanceerde zuiveringsvariant bestaat uit coagulatie, sedimentatie en membraanfiltratie. Ultra- of microfiltratie proces zorgen voor desinfectie door verwijdering van deeltjes en biomassa. Resterende organische stoffen (o.a. AOC) kunnen nagroei veroorzaken. Met nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO) wordt het water ontzout en resterende organische stoffen verwijderd. De kans op nagroei in dit proces is niet uitgesloten.

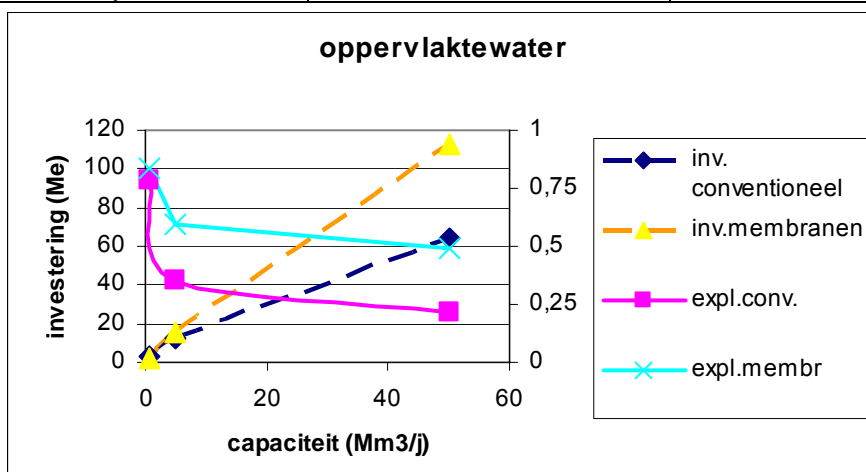
#### 4.6.3 De kosten

Kosten voor conventionele zuivering van oppervlaktewater.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	2.97	0.785
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	12.10	0.352
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	64.34	0.212

Kosten van geavanceerde zuivering van oppervlaktewater.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	2.47	0.832
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	15.30	0.599
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	112.28	0.493



Figuur 20 Kosten voor zuivering van oppervlaktewater met conventionele technieken en membranen.

## 4.7 Oevergrondwater

### 4.7.1 De bron

Oevergrondwater dat langs rivieroeveren wordt gewonnen bestaat gedeeltelijk uit rivierwater (bevat organische microverontreinigingen). De belangrijkste oevergrondwater componenten zijn tabel 10 in paragraaf 3.6 beschreven.

#### 4.7.2 De zuivering

Oevergrondwater kan organische microverontreinigingen bevatten waarvoor aanvullende zuiveringsstappen nodig zijn, zoals actieve koolfiltratie voor de conventionele zuiveringsvariant.

#### 4.7.3 De kosten

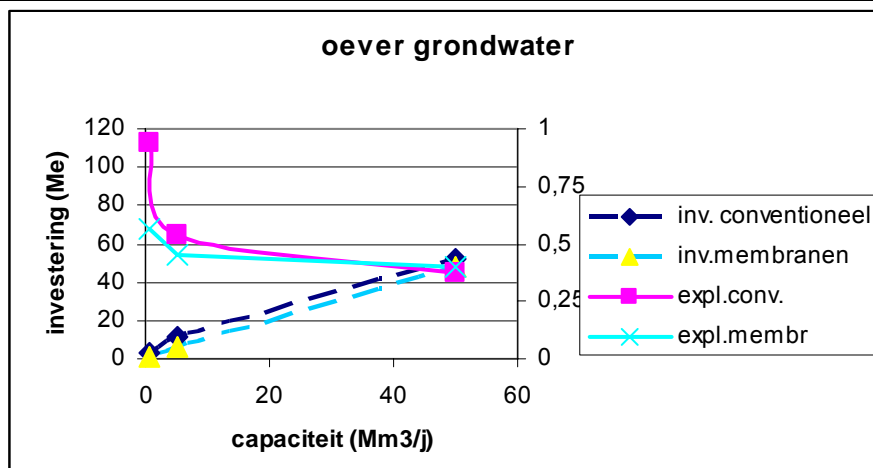
In onderstaande kosten is belasting op grondwater (17 cent) verwerkt. Op basis van gerechtelijke uitspraken is het in de toekomst mogelijk dat deze belasting in de toekomst komt te vervallen als blijkt dat het aandeel grondwater in de oevergrondwaterwinning is te verwaarlozen.

Kosten voor conventionele zuivering van oevergrondwater (plaatbeluchting-snefiltratie-beluchting-pelletontharding-snefiltratie-actieve koolfiltratie-UV desinfectie).

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	2,8	0,93
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	12,0	0,54
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	52,0	0,37

Kosten voor geavanceerde zuivering van oppervlaktewater (nanofiltratie-beluchting-snefiltratie).

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	1,1	0,57
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	6,7	0,45
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	48,0	0,40



Figuur 21 Kosten voor zuivering van oevergrondwater met conventionele technieken en membranen.

## 4.8 RWZI-effluent

### 4.8.1 De bron

De kwaliteit van RWZI-effluent is vaak beter dan oppervlaktewater. De samenstelling van RWZI-effluent is in tabel 11 van paragraaf 3.8 beschreven.

#### 4.8.2 De zuivering

De kwaliteit van biologisch behandeld afvalwater (rwzi-effluent en awzi-effluent) is relatief constant door de verblijftijd in de zuivering. De biologische kwaliteit is sterk verbeterd maar niet voldoende om biofouling te voorkomen. Het effluent is gratis beschikbaar.

##### Scenario 1 (Coag/sed.-SF-AKF-UV-UF)

De conventionele zuiveringsvariant bestaat uit coagulatie stap met  $\text{FeCl}_3$  om vlokken te maken die vervolgens met lamellenseparatoren worden gesedimenteerd. Zwevende stoffen worden na de sedimentatie stap verwijderd met snelle zandfiltratie. Met actieve koolfiltratie worden organische stoffen (o.a. AOC's) verwijderd, gevolgd door UV als extra desinfectie barrière en MF/UF om deeltjes te verwijderen.

##### Scenario 2 (Coag/sed.-SF-UF-NF)

De geavanceerde zuiveringsvariant bestaat uit coagulatie, sedimentatie en membraanfiltratie; een ultra- of microfiltratie proces voor desinfectie door verwijdering van deeltjes en biomassa. Resterende organische stoffen (o.a. AOC) kunnen nagroei veroorzaken. Met nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO) wordt het water ontzout en resterende organische stoffen verwijderd. De kans op nagroei is niet uitgesloten.

##### Scenario 3 (MBR-NF)

De inzet van een membraanbioreactor is een derde variant, met een actief slib proces waarbij de conventionele bezinkingsstap is vervangen door ultra- of microfiltratie. In de MBR vindt afbraak plaats van afbreekbare organische componenten, desinfectie en filtratie van deeltjes en biomassa. Hierdoor worden hogere slibbelastingen en betere effluent kwaliteiten behaald. Een nageschakelde NF/RO installatie zorgt voor ontzouting en aanvullende desinfectie.

#### 4.8.3 De kosten

De kosten voor conventionele zuivering van RWZI-effluent.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	2.50	0.721
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	12.24	0.411
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	72.78	0.287

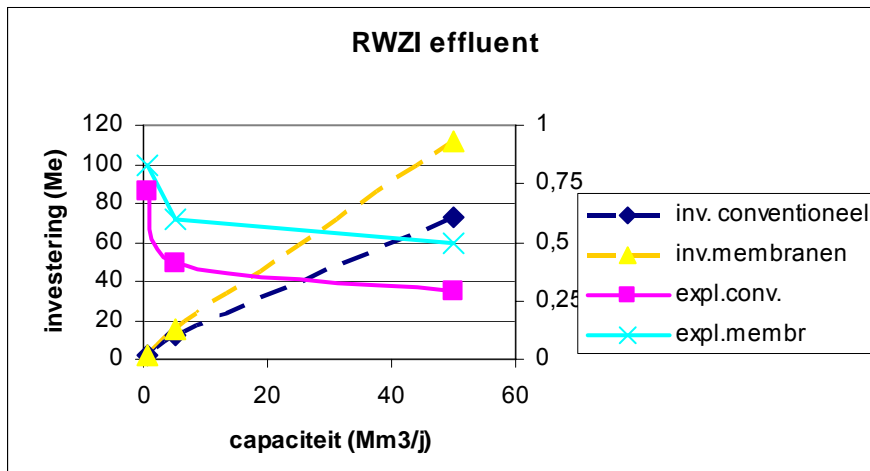
De kosten voor geavanceerde zuivering van RWZI-effluent met membraanfiltratie.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	2.47	0.832
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	15.30	0.599
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	112.28	0.493

De kosten voor geavanceerde zuivering van RWZI-effluent met MBR-technologie.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	2.20	0.928

5 Mm <sup>3</sup> /jaar	18.87	0.836
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	166.13	0.770



Figuur 22 Kosten voor zuivering van RWZI-effluent met conventionele technieken en membranen.

## 4.9 Brak grondwater

### 4.9.1 De bron

De samenstelling van brak grondwater is vergelijkbaar met diep grondwater, met uitzondering van hoge concentraties Natrium en Chloride. De samenstelling van brak grondwater is in tabel 12 in paragraaf 3.9 beschreven.

### 4.9.2 De zuivering

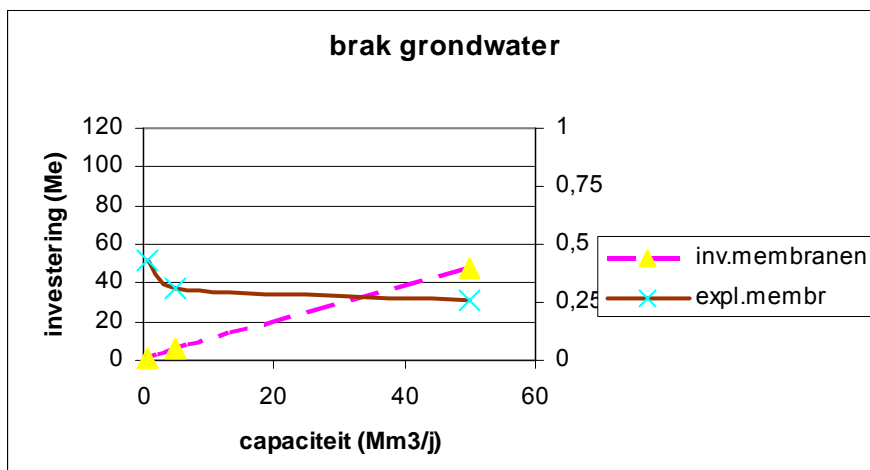
Alleen membraanfiltratie is geschikt voor zuivering van brak grondwater. De inzet van het type membraan is afhankelijk van het zoutgehalte: een relatief open membraan voor lage zoutconcentraties en een dicht membraan voor hoge zoutconcentraties. Beluchting en snelfiltratie conditioneren het water vervolgens en wordt polishing gerealiseerd (ammonium, ijzer, methaan).

### 4.9.3 De kosten

De kosten voor zuivering van brak grondwater.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m <sup>3</sup> )
0.5 Mm <sup>3</sup> /jaar	1,1	0,41
5 Mm <sup>3</sup> /jaar	6,7	0,29
50 Mm <sup>3</sup> /jaar	48,0	0,24





Figuur 23 Kosten voor zuivering van brak grondwater met membranen.

#### 4.10 Zeewater/kustwater

##### 4.10.1 De bron

Kustwater is zeewater dat aan de kust als oevergrondwater wordt gewonnen. De bodempassage reduceert de concentratie zwevende stof, desinfectie zal niet noodzakelijk zijn. De chemische samenstelling van kustwater is gelijk aan zeewater. De samenstelling van zeewater is in tabel 13 in paragraaf 3.10 beschreven.

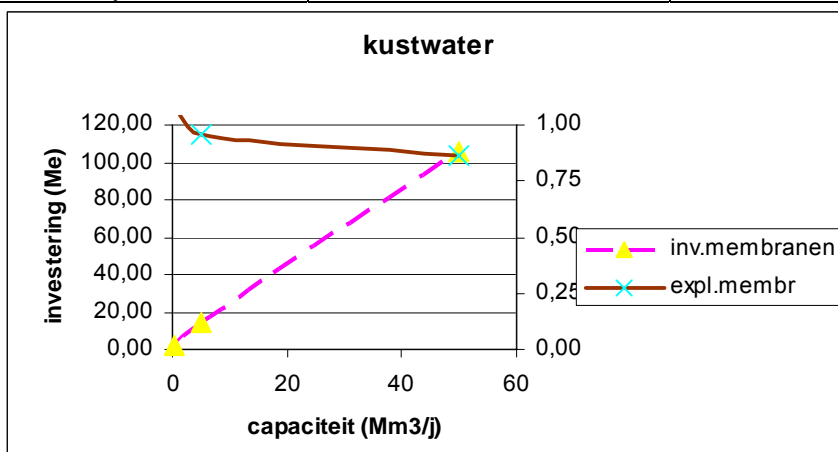
##### 4.10.2 De zuivering

Het zuiveringsschema lijkt op zuivering van brak grondwater. Omdat het zoutgehalte van zeewater hoog is en daardoor de osmotische druk hoger, is een hoge voedingsdruk in de membraaninstallatie nodig (van circa 65 bar).

##### 4.10.3 De kosten

De kosten voor zuivering van zeewater.

Capaciteit	Investeringskosten (M€)	Exploitatiekosten (€/m³)
0.5 Mm³/jaar	2,01	1,13
5 Mm³/jaar	13,85	0,96
50 Mm³/jaar	105,45	0,86



Figuur 24 Kosten voor zuivering van zeewater met membranen.

## 4.11 Vergelijking scenario's

### 4.11.1 Overzicht scenario's

De beschreven zuiveringsscenario's zijn ontleend aan de huidige praktijk en huidige inzichten in de zuiveringstechnologie. Het is waarschijnlijk dat de beschreven scenario's voor individuele situaties niet optimaal zijn. Het is daarom belangrijk om per situatie de meest optimale scenario's te definiëren met lokale randvoorwaarden en uitgangspunten. De beschreven scenario's geven een globaal beeld van de consequenties van de keuze voor een conventioneel of geavanceerd zuiveringsscenario.

	<b>Conventioneel</b>	<b>Geavanceerd</b>
Regenwater	MarmerF-AKF-IX-UV	UF-RO-MarmerF
Ondiep grondwater	BEL-SF	-
Diep grondwater	PLBEL-SF-BEL-SF	NF-BEL-MarmerF
Oppervlaktewater	COAG/SED-SF-Duinf- PO-O3-BAKF-LZF	COAG/SED-SF-UF-NF
Oevergrondwater	PLBEL-SF-BEL-PO-SF- AKF-UV	NF-BEL-MarmerF
RWZI-effluent	COAG/SED-SF-AKF- UV-UF	COAG/SED-SF-UF-NF Of MBR-NF
Brak grondwater	-	RO-BEL-MarmerF
Kustwater		RO-marmerF

BEL = beluchting

SF = snelfiltratie

PLBEL = plaatbeluchting (intensief)

NF = nanofiltratie (ontzouting)

RO = omgekeerde osmose (ontzouting)

MarmerF = marmerfiltratie (conditionering)

PO = pelletontharding

AKF = actieve koolfiltratie

UV = UV desinfectie

COAG/SED = coagulatie/sedimentatie (verwijdering zwevend stof)

Duinf = duinfiltratie en onttrekking (bodempassage)

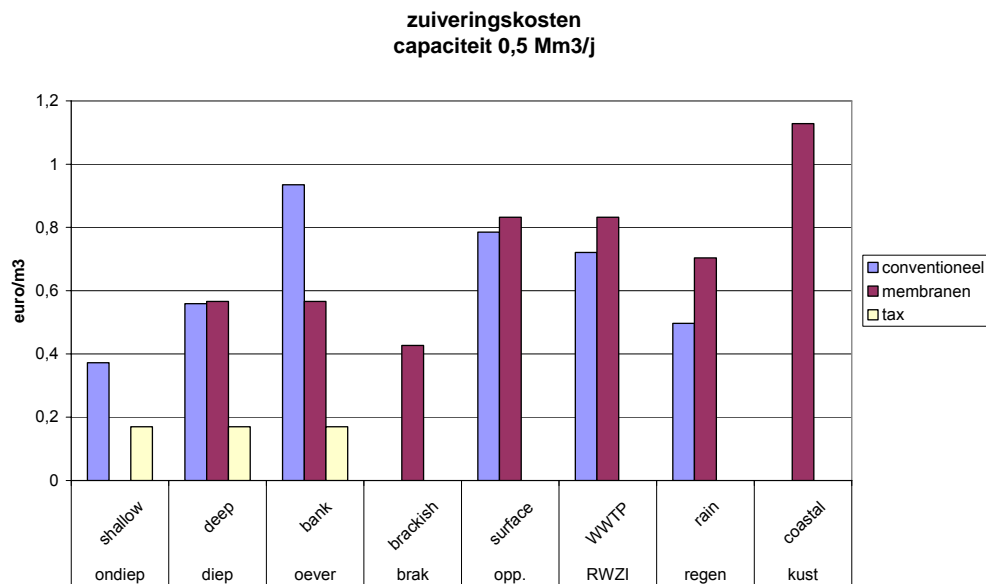
O3 = ozonisatie (oxidatie organische stof)

BAKF = biologisch actieve koolfiltratie

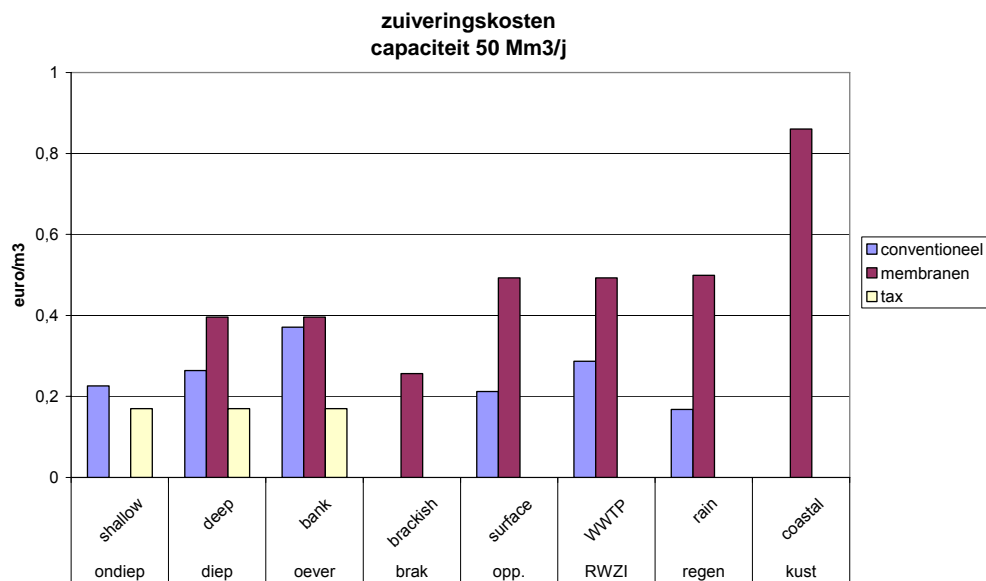
MBR = membraanbioreactor

### 4.11.2 Overzicht zuiveringskosten

De kosten voor de conventionele en geavanceerde (membranen) zuiveringsscenario's zijn vergeleken voor twee extreme ontwerpcapaciteiten: 0,5 Mm<sup>3</sup>/j en 50 Mm<sup>3</sup>/j, zie figuur 25 en 26.



Figuur 25 Vergelijking behandelingskosten per scenario voor een ontwerpcapaciteit van 0,5 Mm<sup>3</sup>/jaar.



Figuur 26 Vergelijking behandelingskosten per scenario voor een ontwerpcapaciteit van 50 Mm<sup>3</sup>/jaar.

De exploitatiekosten (afschrijving en verbruikskosten) van een grote installatie zijn beduidend lager dan van kleine installaties, afhankelijk van de schaalfactor. Omdat de schaalfactor afhankelijk is van de proceskeuze en bronkeuze, kan het voorkomen dat de inzet van membranen voor kleine capaciteiten aantrekkelijk is, terwijl conventionele zuiveringen voor grote capaciteiten goedkoper zijn. De keuze tussen grootschalige centrale zuiveringen of decentrale kleinschalige zuiveringen hangt van zuiveringskosten én transportkosten. Daarom zijn transportkosten in hoofdstuk 5 gedetailleerder beschreven.

# 5 Kosten van watertransport

## 5.1 Inleiding

Watertransport is kostbaar en bepaalt, naast zuivering, de ontwikkeling van flexconcepten. Daarom is een eenvoudig kostenmodel opgesteld dat in paragraaf 5.2 wordt beschreven. Om de gevolgen van watertransport voor mogelijke flexconcepten in kaart te brengen zijn specifieke aspecten bekeken; invloed van buffering op piekfactoren (paragraaf 5.3) en kosten van verschillende watertransport modaliteiten (paragraaf 5.4).

## 5.2 Kosten watertransport door leidingen

Voor de berekening van watertransportkosten is een Excel-programma ontwikkeld met een invoerscherm en een resultaat scherm. Het invoerscherm bestaat uit: projectinput, variabele input en vaste input. Bij projectinput worden specifieke projectgegevens ingevoerd, zoals de afstand van watertransport, de capaciteit en hoogteverschillen. De variabele input bestaat uit variabele projectspecifieke gegevens zoals leidingdiameters, het aantal parallelle leidingen en het aantal opjagers. Vaste input bestaat uit stabiele variabelen, zoals kosten, rentepercentage en afschrijvingstermijn/levensduur.

Het programma gaat uit van een aantal van te voren bepaalde diameters. Daarbij is aangenomen dat leidingen met een diameter <500 mm in PVC worden uitgevoerd en leidingen >500 mm in staal worden uitgevoerd. De gehanteerde prijzen in het programma zijn gebaseerd op aanleg in landelijk gebied, voor stedelijk gebied en horizontaal gestuurde boringen wordt een prijsverhoging doorgevoerd. De kosten voor leidingen zijn gebaseerd op expert kennis. Overige kosten, zoals reinwaterreservoirs, het pompstation en opjagers zijn gebaseerd op de door DHV ontwikkelde kostensystematiek.

Het programma bepaalt met controleberekeningen of de gekozen leidingcapaciteit voldoende is en vervolgens worden op basis van ingevoerde kentallen de aanlegkosten bepaald. Door de aanlegkosten, inclusief energiekosten, contant te maken wordt de prijs per m<sup>3</sup> per jaar berekend. Omdat tracé vooraf niet is bepaald zullen resultaten niet nauwkeurig zijn.

In onderstaand kostenmodel is alleen bestaande technologie beschouwd en wordt er alleen gerekend met de aanleg van nieuwe transportleidingen die de bestaande distributienetten verbinden.

Flexwaterconcept: bepaling kosten investeringen en exploitatie voor transport water van A naar B				
<b>Projectinput</b>		<b>Flex</b>		<b>Resultaat</b>
Projectnaam:				
Gemiddelde capaciteit:	10	Mm3/jr		<b>Stap 1: Controle capaciteit</b>
Piekfactor:	1,5			Hoogteverschil A-B: -2 m
Maatgevende hoeveelheid:	1712	m3/h		Maximum verhang: 1,56 m/km
Gemiddelde hoeveelheid:	1142	m3/h		Min benodigde diameter: 705 mm
				voldoet
Lengte watertransport:	50	km		Max stroomsnelheid: 0,98 m/s
Waarvan totale lengte stedelijk:	12,5	km		Max weerstand: 44,8 mwk
Waarvan totale lengte gestuurde boringen:	2	km		Max leidingdruk: 46,8 mwk
Maaiveldhoogte punt A:	0	m+NAP		voldoet
Maaiveldhoogte punt B:	0	m+NAP		
Uitstroombuigpunt B:	2	m+mv		
<b>Variabele input</b>		<b>st 813</b>		<b>Stap 2: Aanlegkosten</b>
Diameter leiding:	787	mm		Efficiency parallele aanleg: 1
Binnendiameter leiding:	711	mm		Aanlegkosten leidingwerk: 500 Euro/m
Aantal parallele leidingen:	1			Aanlegkosten leidingwerk landelijk: 17,75 M€
Aantal opjagers:	0			Aanlegkosten leidingwerk stedelijk: 8,13 M€
Maximum leidingdruk:	80	mwk		Aanlegkosten gestuurde boring: 1,89 M€
				Aanlegkosten reinwaterkelder: 1,39 M€
				Aanlegkosten pompstation: 2,71 M€
				Aanlegkosten opjagers: 0,00 M€
				Totale aanlegkosten: 31,87 M€
<b>Vaste input</b>		<b>0,1</b>		<b>Stap 3: Prijs per m3</b>
k-waarde leiding:	0,1	mm		NCW aanleg: € 1.843 k€
Temperatuur water:	10	C		Energieverbruik: 170 Wh/m3
Netto rentepercentage:	4	%		Energiekosten: 0,14 M€/jr
Afschrijvingstermijn:	30	jaar		Investeringen per m3 € 0,18 /m3
Energiekosten:	0,08	€/kwh		Energie per m3 € 0,01 /m3
				<b>Totaal: € 0,198 /m3</b>
				<b>Kosten per tonkilometer: € 0,004 /m3/km</b>
<b>Leidinggegevens</b>				
	buiten diam	wanddikte	cimentering	binnen diamten aanleg
	(mm)	(mm)	(mm)	(€/m)
pvc 110	110	3,5	103	50 €
pvc 125	125	4,0	117	60 €
pvc 160	160	5,0	150	80 €
pvc 200	200	6,3	187	100 €
pvc 250	250	7,8	234	130 €
pvc 315	315	9,8	295	160 €
pvc 400	400	12,4	375	200 €
pvc 500	500	15,5	469	250 €
st 610	610	6,3	5	587 400 €
st 711	711	7,1	5	687 450 €
st 813	813	8,0	5	787 500 €
st 914	914	10,0	5	884 550 €
st 1016	1016	10,0	5	986 600 €
st 1220	1220	16,0	5	1178 700 €
aannname <500 PVC >500 staal				
Factor stedelijk			1,3	
Efficiency parallele aanleg:			0,8	
gestuurde bor	€ 1,00	Euro/mm/m	buitendiam	
			1,2 factor binnen buiten bij boring	
<b>Reinwaterreservoir</b>				
uurcapaciteit	1712,328767	m3/h		
verblijftijd	3	uur		
Inhoud	5137	m3		
staartkosten	1,02	M€		
	137%			
	1,39	M€		
<b>Pompstation</b>				
uurcapaciteit	1712,328767	m3/h		
staartkosten	1,98	M€		
	137%			
	2,71	M€		
<b>Opjager</b>				
uurcapaciteit	1712,328767	m3/h		
	0,49	M€		

Figuur 27 Het invoerscherm om kosten van watertransport te berekenen.

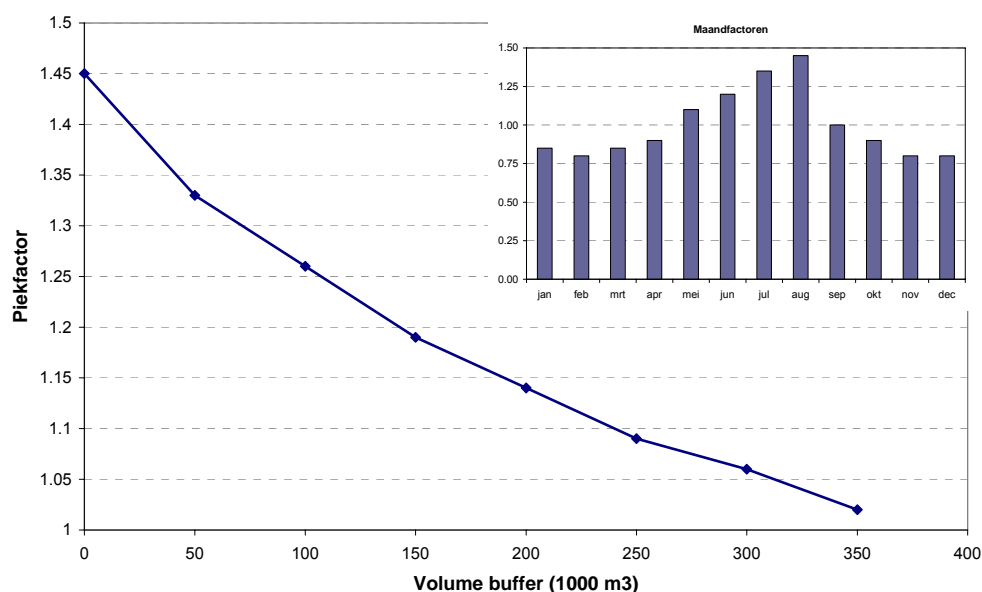
### 5.3 Bepaling piekfactoren en de invloed van buffering

De verhouding tussen de gemiddelde waterafname en ontwerphoeveelheden zijn afhankelijk van:

- variatie per dag (met een maximum tijdens de zomerpiek).
- variatie per uur (met een maximum tijdens de ochtend en avondpiek).

Afvoervariaties worden vereffend door reservoirs:

- grootschalige buffers, die de variatie over het jaar geheel of gedeeltelijk vereffenen.
- reinwaterreservoirs, die de variatie over de dag vereffenen.



Figuur 28 Relatie volume buffer en piekfactor voor gegeven maandfactoren en een jaarlijks verbruik van 4 Mm<sup>3</sup>.

De inzet van waterbuffers maakt het mogelijk strategische voorraden aan te leggen als de ruwwateraanvoer stagneert, bijvoorbeeld door grootschalige verontreinigingen of leidingbreuken. Door buffering is het eveneens mogelijk leidingen kleiner te dimensioneren. De kostenvoordelen zijn afhankelijk van de extra kosten van de waterbuffer en de kostenreductie door kleinere dimensionering. Waterkwaliteitsgegevens spelen een belangrijke rol bij langdurige buffering; grootschalige buffering van ruwwater is alleen zinvol met open reservoirs, en drinkwaterberging is alleen zinvol met ondergrondse opslag.

Figuur 28 laat de relatie zien tussen het volume van een buffer en de reductie van de piekfactor van de aanvoerleiding, voor een gegeven jaarlijks verbruik en patroon van maandfactoren. De relatie is met het Excel programma 'Waterbuffer' bepaald. 'Waterbuffer' berekent ook de invloed van reservoirs op dagelijkse piekfactoren.

#### 5.4 Alternatieven voor watertransport door pijpleidingen

De meest voor de hand liggende wijze van drinkwatertransport is door leidingen. In normale omstandigheden is dit een goedkope en betrouwbare wijze voor grootschalig continu watertransport. Afgesloten leidingen bieden bovendien garanties voor de waterkwaliteit. Nadeel van leidingen is de inflexibiliteit, voor zowel de locatie van inname, het afgiftepunt van water als voor de capaciteit van levering.

Continue levering met een lange afschrijvingsperiode heeft een prijsdrukkend effect. Als meer flexibiliteit gewenst is dan kunnen ook transportmodaliteiten worden ingezet, zoals:

1. Vervoer met vrachtwagens

2. Trein
3. Binnenvaart
4. Open kanalen

In een standaardwerk voor logistiek vergelijkt Visser (1999) vijf transportmodaliteiten op basis van 7 criteria, zie tabel 14. Deze vergelijking bevestigt het hierboven geschetste beeld dat watertransport door leidingen goedkoop is maar inflexibel. Visser berekent dat watertransport per schip (zeeschepen) het goedkoopste is, gevolgd door transport door pijpleidingen.

	Vrachtwagen	Trein	Schip	Vliegtuig	Pijpleiding
Snelheid	2	3	4	1	5
Bereikbaarheid	1	2	4	3	5
Variabiliteit	2	3	4	5	1
Bruikbaarheid	3	2	1	4	5
Frequentie	2	4	5	3	1
Beschadiging	4	5	2	3	1
Kosten	4	3	1	5	2
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Snelheid: tijd die gemiddeld nodig is om de afstand tussen productie en klant te overbruggen.</li> <li>- Bereikbaarheid: is elke locatie bereikbaar, hangt af van het type distributienetwerk.</li> <li>- Variabiliteit: mogelijkheid dat transport begint en eindigt op een afgesproken tijdstip, hangt af van kans op vertragingen.</li> <li>- Bruikbaarheid: is het transportmiddel bruikbaar is voor transport van uiteenlopende afmetingen, materialen, etc.</li> <li>- Frequentie: beschikbaarheid in tijd voor het inzetten van het transportmiddel.</li> <li>- Beschadiging: wat levert het grootste risico op voor beschadiging of verlies.</li> <li>- Kosten: uit te drukken in tonkilometer.</li> </ul>					

Tabel 14 Rangschikking per criterium van verschillende transportmodaliteiten, van gunstig (1) naar ongunstig (5) (Visser, 1999).

In een mobiliteitsstudie voor de Vlaamse overheid zijn kengetallen gebruikt voor kosten van verschillende vervoersmodaliteiten (Estarte, 2001). In tabel 15 zijn gegevens over kosten van verschillende transportmodaliteiten uit Estarte (2001) en bewerkte gegevens uit Visser (1999) weergegeven. De kosten voor transport per leiding zijn 0,004 €/ton/km (grootschalig transport met een lange afschrijvingstermijn). Uit deze cijfers blijkt dat transport per pijpleiding veel goedkoper is dan transport met andere transportmodaliteiten. Een andere wijze van transporteren komt alleen in beeld bij nieuwe (extreme) situaties (korte afschrijvingstermijnen, hoge rentepercentages, hogere kosten van aanleg of extreme piekfactoren).

Voor het doorrekenen van andere vervoersmodaliteiten wordt op basis van de gegevens uit tabel 15 voorgesteld de volgende kostenkentallen te hanteren:

- Vrachtwagen: 0,09 €/tonkilometer
- Trein: 0,05 €/tonkilometer
- Binnenvaart: 0,02 €/tonkilometer

Vervoermiddel	Estarte (verwachting 2010)		Visser (bewerkt) verhouding
	€/tonkm	Factor	
Pijpleiding	0,004	1,0	gesteld op 1,0
Vrachtwagen	0,09	* 23	* 11,1
Trein	0,06	* 15	* 2,6
Schip	0,02	* 5	* 0,8

Tabel 15 Kosten per tonkilometer (Visser, 1999 en Estarte, 2001).

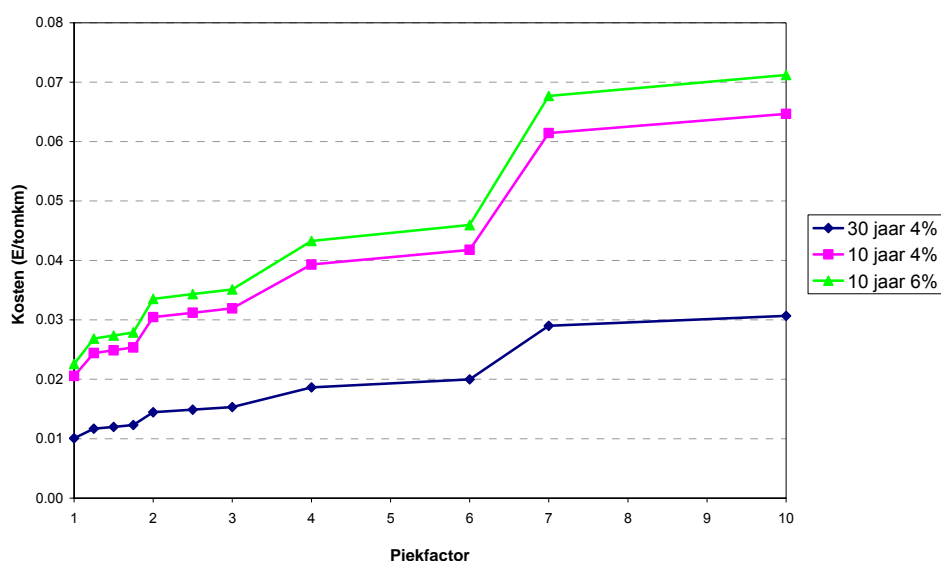
Kosten onder Estarte voor pijpleidingstransport zijn afkomstig uit figuur 30. De kosten per schip van Estarte zijn voor de binnenvaart, de kosten van Visser hebben waarschijnlijk betrekking op zeevaart.

Voor watertransport door open kanalen zijn vooralsnog geen kostenkennallen bekend. Watertransport door een open kanaal is goedkoper dan een leiding maar is alleen geschikt voor ruwwatertransport. Om die redenen is deze transportmodaliteit niet verder uitgewerkt.

Met het in paragraaf 5.2 gepresenteerde model voor de berekening van watertransport door leidingen is het volgende extreme en daardoor financieel ongunstige voorbeeld doorgerekend: een kleine winning (1 Mm<sup>3</sup>/jaar) en transport over een lange afstand (50 km), waarbij de piekfactor varieert van 1 tot 10. De berekende financieringsscenario's zijn:

- traditioneel (afschrijving 30 jaar, rente 4%),
- korte afschrijvingstermijn (afschrijving 10 jaar, rente 4%),
- korte afschrijvingstermijn en hoge rente (afschrijving 10 jaar, rente 6%).

In figuur 29 zijn de resultaten van deze berekening gepresenteerd. Zelfs in ongunstige situaties zijn de transportkosten per ton/km van leidingen lager dan watertransport per binnenschip, trein of vrachtwagen.



Figuur 29 Kosten van watertransport per leiding (€/ton/km) in een ongunstige situatie: een gemiddeld verbruik van 1 Mm<sup>3</sup>/jaar, over een lengte van 50 km.

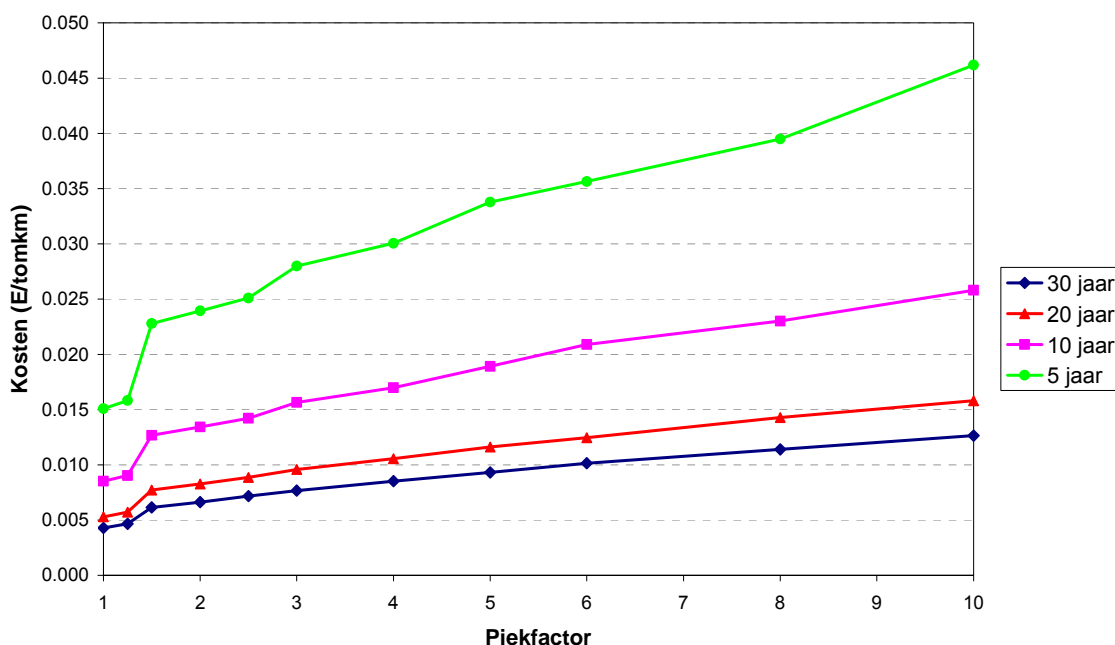


## 5.5 Variabiliteit in gebruiksduur van infrastructuur

Om een beeld te krijgen van de invloed van een flexibele watervoorziening op watertransport is het effect van gebruiksduur (en afschrijvingen) en de discontinuïteit in de afzet (uitgedrukt in de piekfactor) in beeld gebracht.

1. Bedrijven die hun bedrijfsvoering zo flexibel mogelijk op de toekomst willen inrichten, kunnen kiezen voor een kortere gebruiksduur.
2. Bij flexibele oplossingen zoals seizoensgebonden winning of het winnen van regenwateroverschot, is er discontinuïteit in waterhoeveelheden. Dit is ongunstig omdat de kosten van aanleg, die worden bepaald door de ontwerpcapaciteit, slechts over een relatief beperkt aantal m<sup>3</sup> verdisconteerd worden.

In figuur 30 is een uitwerking van de relatie tussen de kosten van watertransport (voor een gemiddelde capaciteit van 5 Mm<sup>3</sup>/jaar over een lengte van 50 kilometer en bij een netto rentepercentage van 4%) en de piekfactor (variatie van 1-10). In deze berekening varieert de afschrijvingstermijn van 5 tot 30 jaar. De kosten van watertransport zijn gebaseerd op berekeningen in paragraaf 5.4 (uitgedrukt in euro per tonkilometer). Uit deze berekening blijkt dat het effect van het verlagen van de afschrijvingstermijn van 30 tot 20 jaar leidt tot een geringe kostentoeename, echter een verdere verkorting van de afschrijvingstermijn leidt tot beduidend hogere kosten voor watertransport. Uit figuur 30 blijkt tevens dat een toename van de piekfactor, vooral bij langere afschrijvingstermijnen, niet leidt tot een grote toename van de kosten van watertransport. Dit is te verklaren doordat bij grote leidingdiameters de transportcapaciteit sterke toeneemt, terwijl de kosten van aanleg slechts in geringe mate toenemen.



Figuur 30 Effect afschrijvingstermijn en piekfactor op de kosten van watertransport (€/ton/km), voor een gemiddelde afname van 5 Mm<sup>3</sup>/jaar, over een lengte van 50 kilometer en bij een netto rente percentage van 4%.

## 5.6 Kosten voor distributie

In decentrale kleinschalige watervoorzieningsconcepten (wijkniveau, blokniveau of zelfs huishoudensniveau) zijn mogelijke kostenbesparingen voor het distributienet en opslag te verwachten. De berekening van mogelijke kostenbesparingen is in het volgende gedachte-experiment uitgewerkt maar kan niet naar de huidige situatie worden vertaald. Op basis van gegevens uit de VEWIN-benchmark 2003 (Vewin, 2004b) is het totale aandeel van de kosten per aansluiting gemiddeld voor alle waterbedrijven 204 euro per aansluiting per jaar. De operationele kosten die zijn toe te schrijven aan het distributieproces (transportleidingen en distributienet) bedragen gemiddeld 20 euro per aansluiting per jaar. Dit is de potentiële winst op korte termijn als alle operationele activiteiten worden stopgezet (in een hypothetische situatie). Op langere termijn is er extra kostenvoordeel te boeken door niet te investeren waardoor rente - en afschrijvingslasten langzaam zullen afnemen. Op dit moment bedragen deze kosten gemiddeld 36 euro per aansluiting per jaar (VEWIN, 2004a, 2004b). Wanneer de afschrijvingstermijn is verstreken kan het kostenvoordeel oplopen tot gemiddeld 56 euro per aansluiting per jaar<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> In de VEWIN benchmark (2004b) zijn de vermogenskosten en de afschrijvingskosten, respectievelijk 43 euro en 42 euro (totaal 85 euro per aansluiting per jaar). In de Waterleidingstatistiek (VEWIN, 2004a) is berekend dat 42% van de huidige investeringen is toe te schrijven aan distributiemiddelen. Dit betekent dat 36 euro (42% van 85 euro) is gerelateerd aan investeringslasten voor distributie.



## 6 Kosten voor zuivering en transport

In hoofdstuk 4 en 5 zijn respectievelijk de zuiveringskosten en transportkosten toegelicht. In dit hoofdstuk zijn beide kostenposten geïntegreerd waardoor een beeld ontstaat van het kosteneffect van de transportafstand en bronkeuze.

### 6.1 Uitgangspunten kosten

#### 6.1.1 *Kosten zuivering*

Kosten voor putten en inlaatwerken zijn niet in de totale zuiveringskosten verwerkt; deze kosten zijn relatief beperkt en zullen niet onderscheidend zijn bij de keuze tussen bronnen. Zuiveringskosten zijn gebaseerd op een 'gebruikelijke afschrijvingstermijn', namelijk 30 jaar voor civiele werken, 20 jaar voor werktuigbouwkundige werken en 10 jaar voor elektrotechnische werken (bij een permanente inzet). Bij de berekening van zuiveringskosten wordt een piekfactor van 1,4 gehanteerd. In het distributienet moet daarom een opslagcapaciteit ter grootte van een maximale dag aanwezig zijn.

#### 6.1.2 *Kosten infrastructuur*

Bij de kosten voor de infrastructuur zijn alleen kosten voor het transport van ruw of behandeld water naar het distributienet berekend. De kosten voor het distributienet, inclusief de voor realisatie van een piekfactor van 1,4 benodigde berging, zijn niet in beschouwing genomen; voor waterverdeling naar consumenten is namelijk altijd hetzelfde distributienet nodig, zowel voor kleine productielocaties (0,5 Mm<sup>3</sup>/jaar) als voor grote productielocaties (50 Mm<sup>3</sup>/jaar).

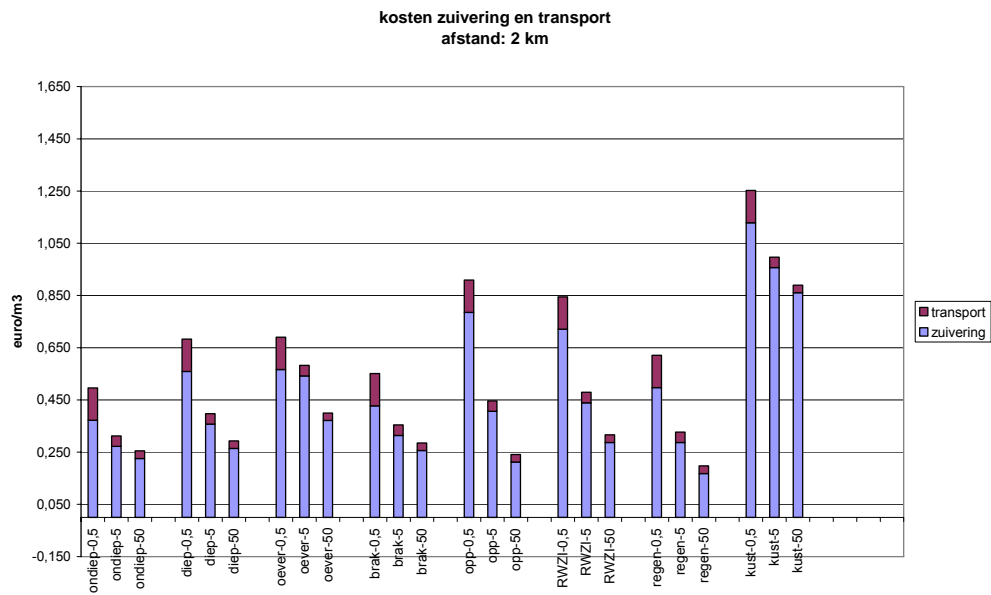
### 6.2 Kosten transport en zuivering

Voor ieder type bron is vastgesteld wat de laagste kosten zijn van de conventionele of membraanvariant bij een gegeven productie (0,5; 5 en 50 Mm<sup>3</sup>/jaar). De totale kosten voor iedere bron-capaciteit combinatie en verschillende transportafstanden zijn in figuur 31a-c gepresenteerd<sup>23</sup>.

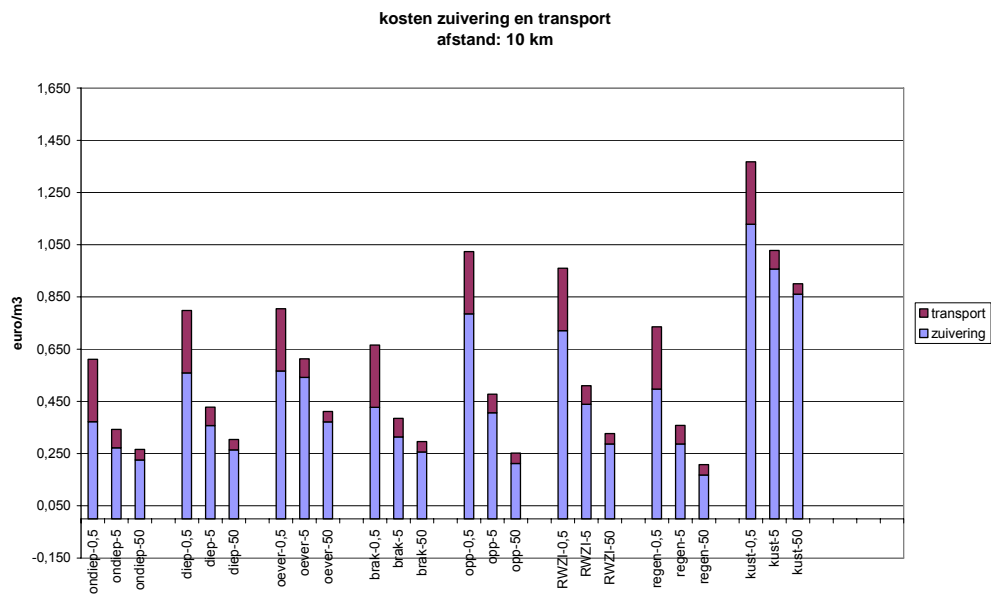
---

<sup>2</sup> Bij de in dit hoofdstuk gepresenteerde transportkosten is uitgegaan van een afschrijvingstermijn van 30 jaar.

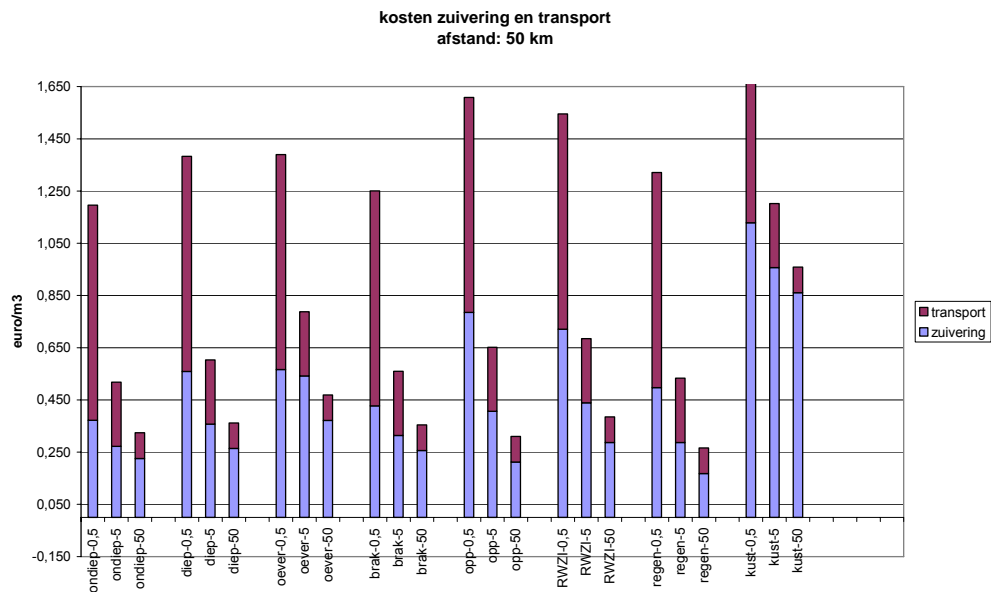
<sup>3</sup> In het project is gerekend met 1 lange transportpijp van bijvoorbeeld 50 kilometer. Als vanuit een productiestation 4 transportpijpen van ieder 12,5 kilometer worden gelegd dan zullen de kosten voor transport hoger zijn.



Figuur 31a Relatie tussen de keuze van bron en capaciteit (0,5; 5; en 50 Mm<sup>3</sup>/jaar) bij een transportafstand van 2 km.

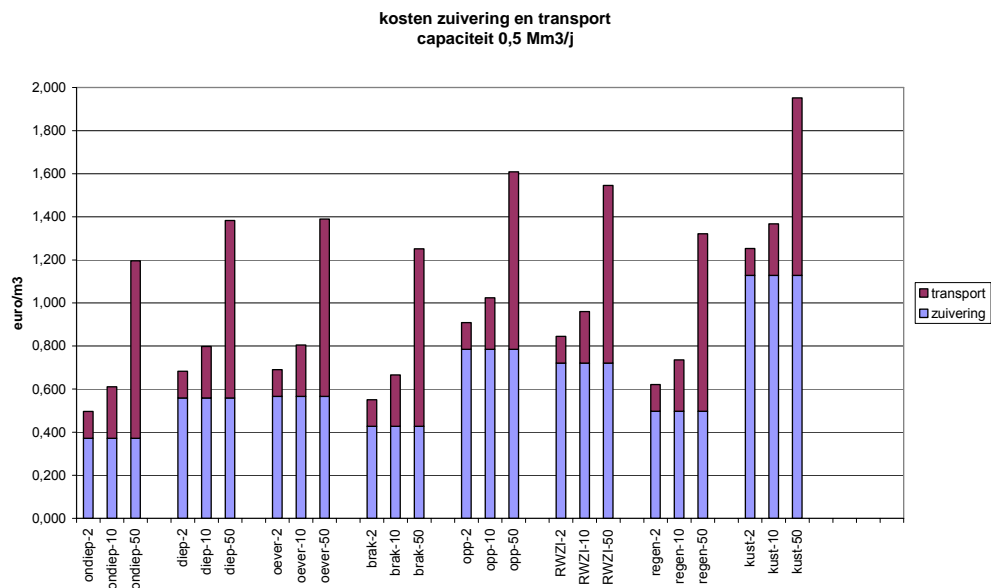


Figuur 31b Relatie tussen de keuze van bron en capaciteit (0,5; 5; en 50 Mm<sup>3</sup>/jaar) bij een transportafstand van 10 km.



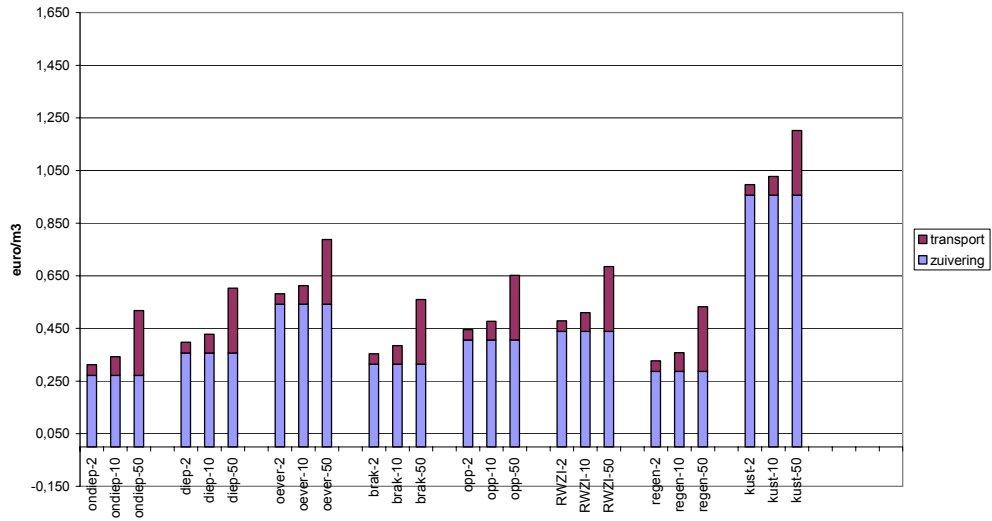
Figuur 31c Relatie tussen de keuze van bron en capaciteit (0,5; 5; en 50 Mm<sup>3</sup>/jaar) met de totale kosten bij een transportafstand van 50 km.

Dezelfde gegevens zijn ook op een andere wijze gepresenteerd, waardoor een beeld ontstaat van de keuze van bron en afstand op de totaalkosten bij verschillende capaciteiten, zie figuren 32a-c.



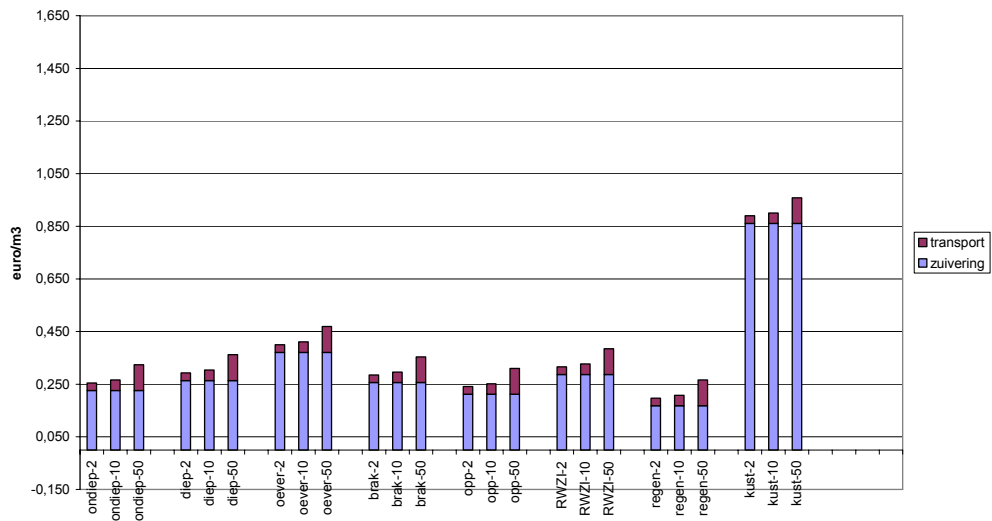
Figuur 32a Relatie tussen de bronkeuze en transportafstand (2, 10 en 50 km) bij een ontwerpcapaciteit van 0,5 Mm<sup>3</sup>/jaar.

kosten zuivering en transport  
capaciteit 5 Mm<sup>3</sup>/j



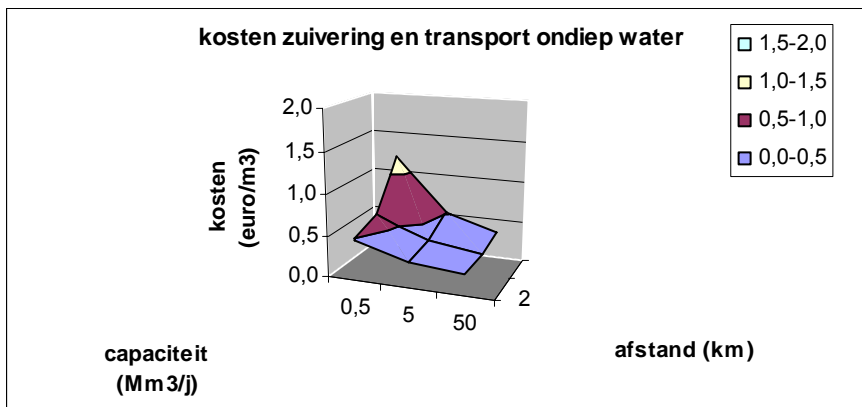
Figuur 32b Relatie tussen de bronkeuze en transportafstand (2, 10, 50 km) bij een ontwerpcapaciteit van 5 Mm<sup>3</sup>/jaar.

kosten zuivering en transport  
capaciteit 50 Mm<sup>3</sup>/j

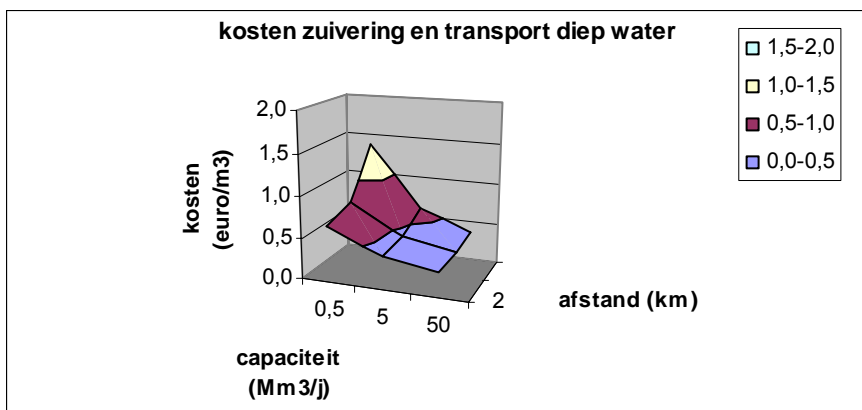


Figuur 32c Relatie tussen de bronkeuze en transportafstand (2, 10, 50 km) bij een ontwerpcapaciteit van 50 Mm<sup>3</sup>/jaar.

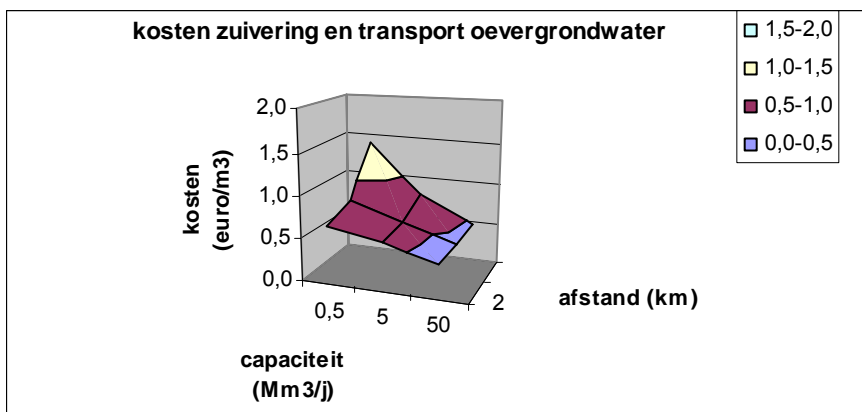
Dezelfde gegevens als hierboven beschreven zijn ook 3-dimensionaal voor iedere bron in kaart gebracht (zie figuur 33a-h).



*Figuur 33a Relatie tussen kosten voor zuivering en transport van ondiep grondwater (de transportafstand varieert van 2- 50 km, de ontwerpcapaciteit varieert van 0,5- 50 Mm<sup>3</sup>/jaar).*

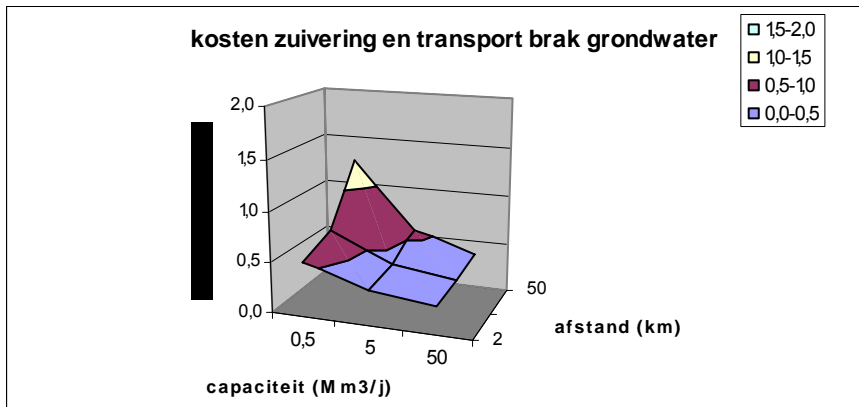


*Figuur 33b Relatie tussen kosten voor zuivering en transport van diep grondwater (de transportafstand varieert van 2- 50 km, de ontwerpcapaciteit varieert van 0,5- 50 Mm<sup>3</sup>/jaar).*

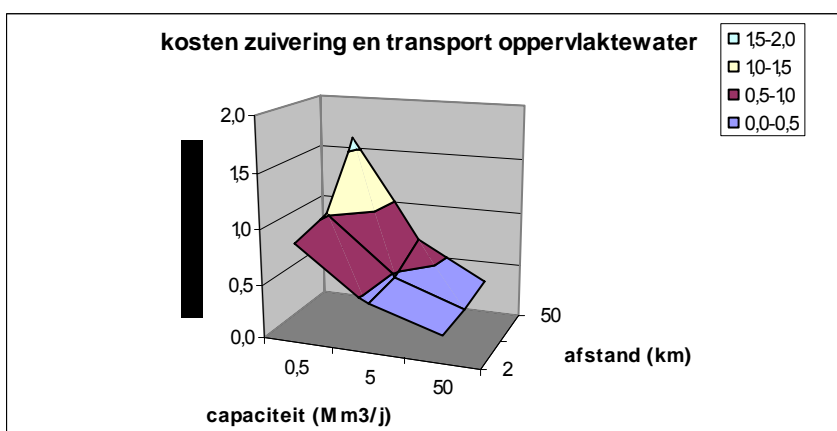


*Figuur 33c Relatie tussen kosten voor zuivering en transport van oevergrondwater (de transportafstand varieert van 2- 50 km, de ontwerpcapaciteit varieert van 0,5- 50 Mm<sup>3</sup>/jaar).*

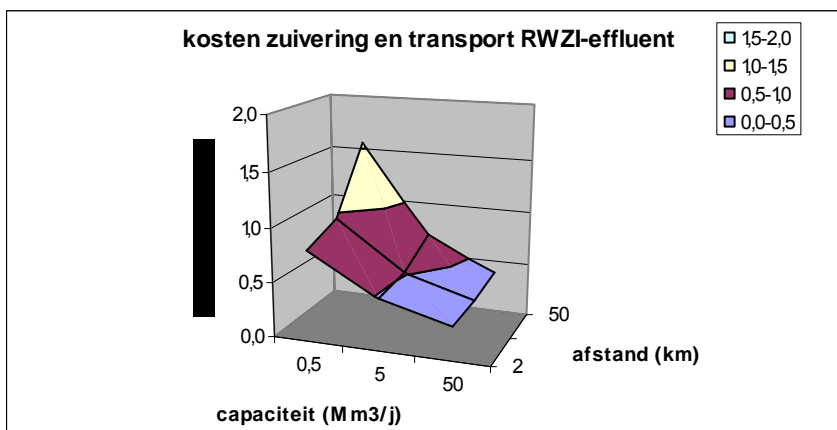




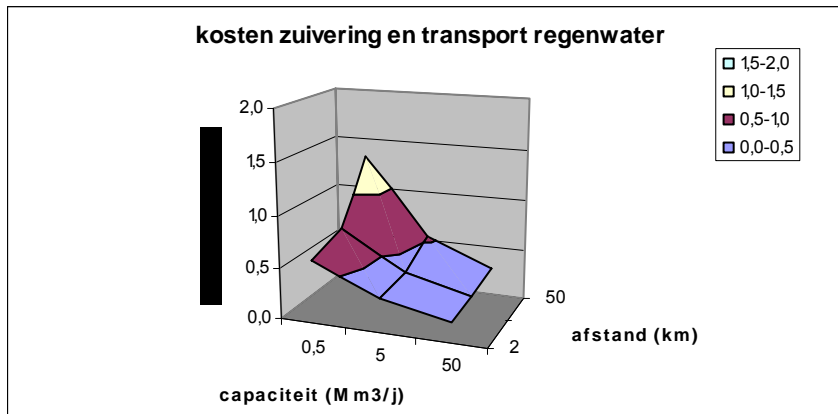
Figuur 33d Relatie tussen kosten voor zuivering en transport van brak grondwater (de transportafstand varieert van 2- 50 km, de ontwerpcapaciteit varieert van 0,5- 50 Mm<sup>3</sup>/jaar).



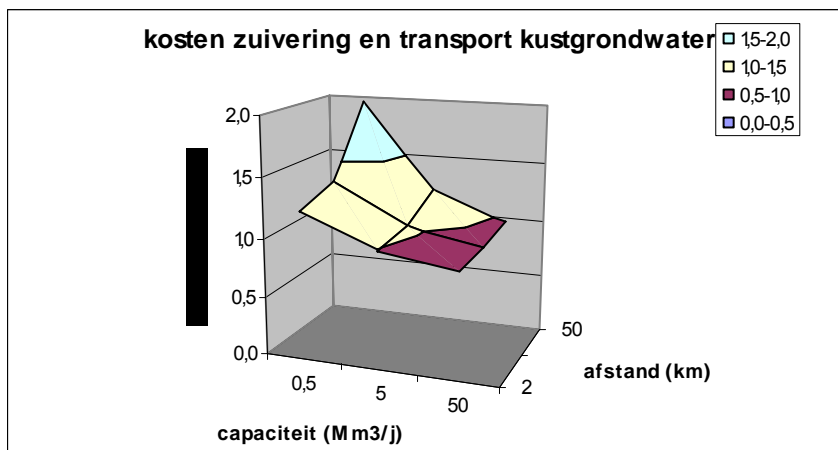
Figuur 33e Relatie tussen kosten voor zuivering en transport van oppervlaktewater (de transportafstand varieert van 2- 50 km, de ontwerpcapaciteit varieert van 0,5- 50 Mm<sup>3</sup>/jaar).



Figuur 33f Relatie tussen kosten voor zuivering en transport van RWZI-effluent (de transportafstand varieert van 2- 50 km, de ontwerpcapaciteit varieert van 0,5- 50 Mm<sup>3</sup>/jaar).



Figuur 33g Relatie tussen kosten voor zuivering en transport van regenwater (de transportafstand varieert van 2- 50 km, de ontwerpcapaciteit varieert van 0,5- 50 Mm<sup>3</sup>/jaar).



Figuur 33h Relatie tussen kosten voor zuivering en transport van kustgrondwater (de transportafstand varieert van 2- 50 km, de ontwerpcapaciteit varieert van 0,5- 50 Mm<sup>3</sup>/jaar).

### 6.3 Conclusies

Het kosteneffect van schaalgrootte is groter dan het kosteneffect van de bronkeuze. Daarom is het vergroten van de zuiveringscapaciteit aantrekkelijk om kosten per kubieke meter drinkwater te verlagen, ook als daarvoor een grotere transportafstand noodzakelijk is. Bij grote capaciteiten kan uit regenwater, ondiep grondwater en oppervlaktewater goedkoop drinkwater worden geproduceerd, gevolgd door brak grondwater, diep grondwater, RWZI effluent, oevergrondwater en kustwater.

Bij kleinere productiecapaciteiten is de bijdrage van de transportafstand aan de totale kosten groot. In dit geval is het aantrekkelijk om de bron op beperkte afstand van het distributiegebied te zoeken. Bovendien is de keuze van de bron (en zuiveringstechniek) van grote invloed op de kosten: oppervlaktewater, RWZI effluent en kustwater zijn in dit geval duur. Ondiep grondwater en brak grondwater zijn de goedkoopste opties voor kleinere capaciteiten.

#### **6.4 Flexibiliteit in bronnen, transport en zuivering**

Wanneer zuiveringen flexibel of tijdelijk worden ingezet is de gebruiksduur korter en moeten kortere afschrijvingstermijnen worden gehanteerd, het aandeel vaste kosten zal hierdoor toenemen. Het kosteneffect van tijdelijke inzet van zuiveringen met kortere afschrijvingstermijnen kan voor elk alternatief (combinatie bron-afstand) worden berekend met de in dit project ontwikkelde spreadsheet. Deze berekeningen met verschillende afschrijvingstermijnen voor de zuiveringsvarianten worden uitgevoerd en gerapporteerd in fase 2 van dit project. Variabiliteit in zuivering kan ook betrekking hebben op piekfactoren, waarbij de ontwerpcapaciteit niet verandert, maar de jaarproductie lager wordt. Het effect van periodieke inzet van middelen op de kosten kan met de huidige inzichten worden berekend.

Wanneer de capaciteit kleiner is dan 0,5 Mm<sup>3</sup>/jaar kan het distributienet mogelijk worden aangepast; bijvoorbeeld een distributienet op wijkniveau. Dit heeft ook gevolgen voor de kostenverhouding tussen zuiveringscapaciteit en opslag. In paragraaf 5.5 zijn indicatieve kostenvoordelen van een watervoorziening zonder distributie berekend.

De werkelijk gemaakte kosten per kubieke meter geleverd drinkwater verschillen sterk tussen afnemers in stedelijke gebieden (gezamenlijk) en landelijke gebieden (individueel). Wanneer waterbedrijven voor de keuze staan nieuwe investeringen in landelijke gebieden te plegen komen daarom ook flexibele (decentrale) watervoorzieningsconcepten in beeld. In fase 2 van het project wordt hier nader op ingegaan.

# 7 Waterberging en waterbuffering

## 7.1 Inleiding

Door water in tijden van overvloed (binnen een jaar, seizoen of dag) te benutten en deze overschotten in tijden van schaarste (binnen een jaar, seizoen of dag of in geval van een calamiteit) te benutten zijn waterbedrijven in staat de watervoorziening te flexibiliseren en beter in staat met toekomstige onzekerheden om te gaan. Waterberging speelt hierbij een belangrijke rol en vormt de schakel tussen waterovervloed en waterschaarste.

Er zijn vele waterbergingsvarianten:

- ruwwaterberging in open bekkens om seizoensfluctuaties op te vangen
- reinwaterkelders om piekfactoren in drinkwatervraag af te vlakken
- opslag van (rein)water in de bodem (ASR)
- opslag van (drink)water bij de consument

In hoofdstuk 5 is het programma 'Waterbuffer' beschreven. Dit programma berekent de relatie tussen het volume van een buffer en de mogelijke reductie van de piekfactor van de aanvoerleiding, voor een gegeven jaarverbruik en maandpatroon.

De focus van dit hoofdstuk ligt op mogelijkheden en kosten van waterberging in de ondergrond (Aquifer Storage and Recovery) en waterberging bij de consument thuis. In onderstaande paragrafen worden beide opties verder uitgewerkt en de potentiële inzet voor nieuwe flexwaterconcepten beschreven.

Daarnaast is in paragraaf 7.4 beschreven waar mogelijkheden bestaan om mee te liften met waterberging projecten en plannen. Waterberging projecten, meestal uitgevoerd door waterschappen en provincies, komen voort uit het nieuwe waterbeleid voor de 21<sup>e</sup> eeuw en zijn gericht op het creëren van ruimte langs rivieren, in lage polders en in de haarvaten van het watersysteem van Hoog-Nederland om in tijden van overvloed het water te bergen en infiltratie naar het grondwater te bevorderen. Afhankelijk van lokale omstandigheden, zoals waterkwaliteit, kunnen waterbedrijven deze waterreservoirs inzetten voor drinkwaterproductie, eventueel in combinatie met ASR.

## 7.2 Waterberging bij de consument thuis

Het voordeel van waterberging bij de consument thuis is dat het water goedkoop wordt ingenomen (vergelijkbaar met nachstroom). Een combinatie van berging en individuele zuivering is optioneel; de consument kan dan goedkoper water (van mindere kwaliteit) geleverd krijgen.

Lagere piekfactoren maken een kleiner leidingnet dimensionering mogelijk. Dit geldt alleen voor de leidingen waarachter piekafvlakking (door berging) optreedt. Een reinwaterkelder heeft tot gevolg dat de aanvoerleiding voor de kelder anders wordt gedimensioneerd. Berging bij de klant heeft eventueel

gevolgen voor de dienstleiding (afhankelijk van de grootte van de voorraadtank) en voor de distributie- en transportleiding (als (bijna) alle klanten een eigen berging hebben):

- dienstleiding: kans op gelijktijdig watergebruik binnen een woning is beperkt, weinig gevolgen voor de dienstleiding
- distributieleiding: kans op gelijktijdig watergebruik binnen wijk is groter, er wordt met de  $q\sqrt{n}$ -methode gedimensioneerd
- transportleiding: kans op gelijktijdig watergebruik in het hele voorzieningsgebied is groot, er wordt met de piekfactorenmethode gedimensioneerd

Na een vulperiode van de tank bij de consument thuis ('s nachts) is afvlakking van de (ochtend)piekvraag mogelijk; tijdens het vullen van de tank is de volumestroom klein (circa 0,01 l/s of 36 l/h), terwijl in 'normale' situaties (zonder tank) een volumestroom van 0.14 l/s (500 l/h) kan optreden, bijvoorbeeld tijdens het douchen<sup>4</sup>. De douche en de keukenkraan hebben de grootste invloed op pieken binnenshuis omdat beide veel worden gebruikt tijdens piekuren (in tegenstelling tot de wasmachine) en een grote volumestroom teweeg brengen (in tegenstelling tot de wc).

Een voorraadtank heeft invloed op de piekfactoren omdat een kleinere volumestroom gedurende een langere periode optreedt. Afvlakking van pieken treedt alleen op als het volume van de tank groot genoeg is om aan de watervraag tijdens pieken te voldoen. Wanneer de aanvoer- en afvoersnelheid van het water niet gelijk zijn dan kan de tank leeg raken en dat is onwenselijk.

- De tank kan worden gedimensioneerd opdat deze in minder dan 1% of 5% van de gevallen leeg raakt. Dit betekent dat 2 mensen die na elkaar gaan douchen geen hinder mogen ondervinden, daarvoor moet de inhoud van de tank minstens 150 liter zijn.
- Zodra de tank leeg raakt moet er voldoende volumestroom zijn, bijvoorbeeld door een bypass van de voorraadtank.

Het water in de voorraadtank staat stil en kan eventueel opwarmen, dit geeft potentieel waterkwaliteitsproblemen. Daarom is verstandiger drinkwaterconsumptie niet via het voorraadvat te laten verlopen. Voor wassen en toiletspoeling worden geen problemen voorzien. Bij het douchen kan legionella een probleem vormen (verneveling).

In het flexwaterconcept is aangenomen dat bestaande distributieleidingen een gegeven zijn (zijn vrijwel altijd nodig, ook in decentrale watervoorzieningsconcepten) en dat alleen transportleidingen nieuw aangelegd kunnen worden.

De inhoud van de tanks bij alle klanten samen moet gelijk zijn aan het totale volume van waterberging dat is berekend in paragraaf 5.3 om pieken af te

---

<sup>4</sup> Lage volumestromen hebben overigens een verhogend effect op de miswijzing door watermeters.

vlakken in transportleidingen; in figuur 28 is de relatie tussen de grootte van waterberging en watervraag pieken beschreven. Afhankelijk van de huishoudengrootte en de grootte van de woning kan inhoud van de voorraadtank worden berekend (zie ook het voorbeeld in het kader).

In het voorbeeld in paragraaf 5.3: een jaarverbruik van  $4 \text{ Mm}^3 \Rightarrow$  delen door 365 dagen en ongeveer 130 liter per persoon per dag, ongeveer 2,4 persoon per woning betekent circa 35.000 woningen. De voorraadtank die werd voorgesteld ( $100.000 \text{ m}^3$ ) is bedoeld om de piekfactor van 1,45 naar 1,25 terug te brengen. Dit betekent per woning een voorraadtank van bijna 3000 liter aanwezig moet zijn om de piekfactor in de transportleiding te reduceren. Dit is een grote tank.

Bovenstaand voorbeeld betreft afvlakking van maand-piekfactoren in transportleidingen. Bij individuele berging op huishoudensniveau lijkt het logischer om uur-piekfactoren af te vlakken. Afvlakking van uur-piekfactoren heeft vooral betrekking distributieleidingen en minder op transportleidingen. Op dit moment worden distributieleidingen gedimensioneerd met de  $q\sqrt{n}$ -methode. Door berging bij de consument wordt het aantal tapeenheden ( $n$ ) verkleind en daardoor worden de maximale momentafname en de piekfactor in distributieleidingen minder.

Voorbeeld: bij 100 middelgrote woningen, 18 tapeenheden (zonder gevelkraan) wordt met  $q\sqrt{n}$  berekend dat met een  $Q$  van  $3,5 \text{ l/s}$ , een snelheid tussen  $0,4$  en  $1,5 \text{ m/s}$  een leidingdiameter tussen  $105 - 55 \text{ mm}$  nodig is. Wanneer met een voorraadtank het aantal tapeenheden vermindert tot 10 (douchemengkraan en keukenmengkraan tappen uit voorraadvat) en het vullen van het vat met een kleine volumestroom plaatsvindt, dan is de Tap Eenheden bijdrage bijna  $0^5$ ) en is een diameter van  $90 - 45 \text{ mm}$  nodig. Een diameterreductie van ongeveer  $10 - 15 \text{ mm}$  levert een (eenmalige) kostenbesparing van ongeveer  $\text{€}10,-$  per meter op voor de aanleg van distributieleidingen.

---

<sup>5</sup> Wanneer een tank van 300 liter in 8 uur wordt gevuld is een volumestroom van  $0,01 \text{ l/s}$  nodig, dus ook slechts een Tap Eenheid van  $0,015$  (berekend op basis van de  $q\sqrt{n}$ -methode).

tappunten per woning	q <sub>v</sub> (l/s)	aantal tapeenheden (TE)
toilet 1	0,042	0,25
toilet 2	0,042	0,25
fonteinkraan 1	0,042	0,25
fonteinkraan 2	0,042	0,25
keukenmengkraan	0,167	4
vaatwasmachine	0,167	4
bad/douche-mengkraan	0,167	4
wastafelkraan	0,083	1
wasmachinekraan	0,167	4
buitengevelkraan	0,167	4
<b>totaal</b>	<b>1,086</b>	<b>22</b>

Tabel 16 Het aantal tapeenheden per woning (Boomen & Vreeburg, 1999).

Omdat douche en keukenkraan het meest bijdragen aan de pieken zouden deze door de tank moeten worden gevoed. Dit betekent dat één douche van 10 minuten met 10 l/min (=100 liter) in elk geval uit de tank moet. In grotere huishoudens moet de inhoud van de tank circa 300 liter zijn.

In het huidige distributienet zijn pieken in volumestroom ingecalculeerd. De pieken dragen bij aan het zelfreinigende vermogen van het leidingnet; door pieken is de volumestroom zo hoog dat sediment opwervelt en wordt afgevoerd (zelfreinigende leidingnetten). Wanneer consumenten, aangesloten op een bestaand distributienet, water in een voorraadtank opslaan kan de zelfreinigende werking verminderen en kunnen waterkwaliteitsproblemen optreden.

### 7.2.1 Conclusies

Kostenbesparingen door waterberging bij de consument thuis zijn gering. Wanneer piekfactor reductie in het transportleidingnet wordt nagestreefd van 1,45 naar 1,25 zullen alle op waterwinning aangesloten huishoudens (35.000 huishoudens, omvang waterwinning 4Mm<sup>3</sup>) een tank van 3000 liter moeten installeren. Het ligt meer voor de hand om distributienet (op straatniveau) kleiner dimensioneren. Uit berekeningen blijkt echter dat een kleinere dimensionering door introductie van voorraadtanks bij de consument thuis beperkte invloed heeft op de aanlegkosten van het distributienet (eenmalig 10 euro per strekkende meter van de dienstleiding). Het gewenste volume van de tank is ongeveer 300 liter voor een gemiddeld huishouden om te voldoen aan piekvragen. De aanschaf van een voorraadtank brengt ook kosten met zich mee. Daarnaast bestaat het gevaar dat de waterkwaliteit in de opslagtank verslechtert waardoor gebruik voor drinkwatertoepassingen waarschijnlijk ongeschikt is en dat beperkt het effect van de opslag. Bovendien zijn pieken in het distributieleidingnet gewenst voor het zelfreinigende vermogen. Toepassing van waterberging bij afgelegen en geïsoleerde woningen zou wel (significante) kostenvoordelen kunnen opleveren, het waterkwaliteitsprobleem is daarmee niet opgelost.

## 7.3 Waterberging in de ondergrond

### 7.3.1 Inleiding

Met ondergrondse waterberging kunnen periodieke wateroverschotten worden geborgen. Berging is nodig omdat watervraag en wateraanbod meestal niet tegelijkertijd optreden. De ideale berging biedt altijd voldoende bescherming, kent geen lekverliezen of toevoer van ander water, vertoont geen nadelige chemische interacties met het water, belast natuur en milieu niet, kost weinig en kan elk moment eenvoudig water leveren. De nadruk ligt in dit project op het bergen van grotere volumes voorgezuiverd water, zodat vooral de open ondergrondse reservoirs in beeld komen. Twee mogelijke, in deze studie nader uitgewerkte, methodes voor open ondergrondse berging zijn:

- berging in diepere (eventueel brakke) afgesloten aquifers en
- berging in freatische aquifers in gebieden met een grote onverzadigde zone.

### 7.3.2 Aquifer Storage & Recovery

Het bergen van tijdelijke wateroverschotten in watervoerende pakketten wordt ook wel ASR (Aquifer Recharge & Recovery) genoemd. ASR is een techniek waarbij water in tijden van overschot wordt opgeslagen in de ondergrond (ondergronds waterreservoir) en in tijden van tekort aan het grondwaterreservoir wordt onttrokken. Het opgeslagen water verdringt het natuurlijk aanwezige water in de aquifer en vormt een grote bel rond de put. De bel opgeslagen water is over het algemeen afgesloten door onder- en bovenliggende impermeabele geologische formaties. Er zijn echter ook toepassingen bekend in niet afgesloten aquifers ([www.asrforum.com](http://www.asrforum.com)). Voor de toepasbaarheid van ASR heeft de AWWA (American Water Works Association) drie criteria opgesteld (AWWA, 1996).

#### Variabiliteit

Toepassing van ASR is geschikt als wateraanvoer, waterkwaliteit of watervraag variabel zijn. Het drinkwaterverbruik in Nederland kent een seizoenspatroon met grote zomer fluctuaties, zie bijvoorbeeld figuur 34. Fluctuaties in de drinkwatervraag kunnen leveringszekerheid in gevaar brengen en maken de zuivering kostbaar. Met ASR wordt in de winter (gezuiverd) drinkwater opgeslagen, dat in zomerperiode wordt ingezet voor het opvangen van pieken in het drinkwaterverbruik.

#### Geschikte aquifer

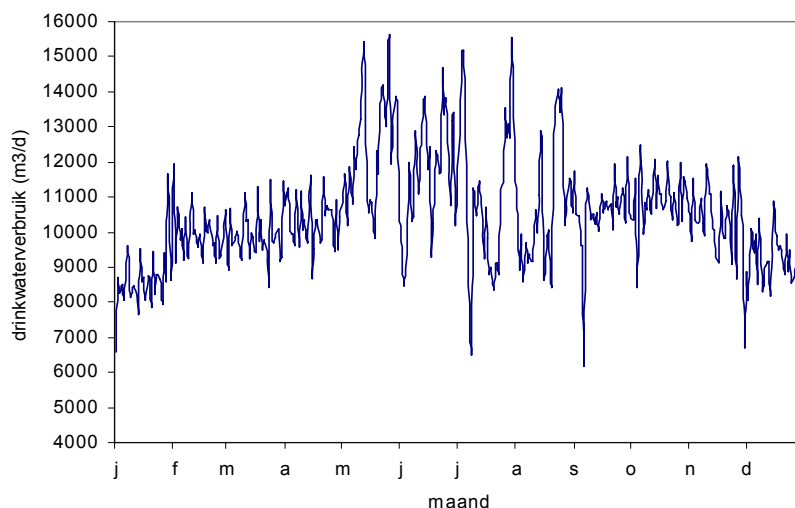
De hydrogeologische ondergrond moet geschikt zijn om water op te slaan. De opslagzone moet voldoen aan hydraulische, geochemische en waterkwaliteitseisen. In 7.3.3 wordt verder ingegaan op de in Nederland geldende eisen voor het opslaan van drinkwater in aquifers.

#### Investing

Het derde criterium is de financiële rendabiliteit van de investering. De ontwikkelingskosten van een eerste ASR put zijn aanzienlijk door vooronderzoek (geohydrologisch, geochemisch). Deze investeringen kunnen



worden terugverdiend door verlaging van de piekfactor in de zuivering en vergroting van de leveringszekerheid (Pyne, 1995; Beckers et al., 1998; Kooiman et al., 1999). De hoeveelheid herwonnen water moet volgens de AWWA minimaal 3800 m<sup>3</sup>/dag bedragen om ASR rendabel in te zetten.



Figuur 34 Verloop van het drinkwaterverbruik in voorzieningsgebied Budel in het jaar 2001.

### 7.3.3 Randvoorwaarden bij toepassing van Aquifer Storage & Recovery

Voor het toepassen van ASR gelden randvoorwaarden. Zo moet de ideale doelaquifer voor ASR-toepassing aan richtlijnen voldoen, zoals geohydrologische, hydrochemische (van het oorspronkelijke grondwater) en geochemische richtlijnen. In het tekstkader zijn richtlijnen voor een ideale doelaquifer beschreven.

<p><b>GEOHYDROLOGISCH</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Relatief dun ten opzichte van beldiameter L (dikte &lt; 3L)</li> <li>• Voldoende doorlatend (<math>K_{H1} &gt; 10</math> m/d) en poreus (<math>&gt; 0,2</math>)</li> <li>• aan boven- en onderzijde voldoende afgesloten (c-waarden SDPs &gt; 5000 d)</li> <li>• regionaal grondwaterverhang niet te groot (&lt; 3 m/8 km),</li> <li>• volkomen filter over volle dikte doelaquifer mogelijk (korte blinde stukken toegestaan tenzij er spanningsverschillen tussen lagen zijn)</li> </ul>
<p><b>HYDROCHEMISCH (OORSPRONKELIJKE GRONDWATER)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ijzer (&lt; 11.2 mg/L)</li> <li>• SAR (Sodium Adsorption ratio = <math>Na/\sqrt{(Ca+Mg)}</math> in mmol/L); SAR &lt; 6 als EGV 40-100 mS/m, SAR &lt; 3 als EGV 200-500 mS/m</li> <li>• anorganische en organische microverontreinigingen: WLB 2001.</li> </ul>
<p><b>GEOCHEMISCH</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zonder gips (<math>CaSO_4 \cdot 2H_2O</math>), anhydriet (<math>CaSO_4</math>) en haliet (NaCl)</li> <li>• zo inert mogelijk ten aanzien van ijzer- en mangaanmineralen, fluoride en arseen</li> </ul>

Ook voor de kwaliteit van het infiltratiewater zijn richtlijnen van toepassing. Deze kwaliteitsrichtlijnen worden bepaald door wettelijke eisen en door technische eisen voor infiltratie. In onderstaand tekstkader zijn algemeen

geldende kwaliteitsrichtlijnen van infiltratiewater voor ASR-toepassing in zandige doelaquifers weergegeven.

<p><b>ALGEMENE KWALITEITSNORMEN</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infiltratiebesluit Bodembescherming (IB, 1993)</li> <li>• Herziene Waterleidingbesluit (WLB, 2001)</li> </ul>
<p><b>VERSTOPPINGSPOTENTIE (TECHNISCHE INFILTRERBAARHEID)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zwevend stof (&lt;0.1 mg/L)</li> <li>• troebelingsgraad (&lt; 1NTU)</li> <li>• ijzer (&lt;0.01 mg/L)</li> <li>• SAR (Sodium Adsorption ratio = <math>\text{Na}^+ / (\text{Ca} + \text{Mg})</math> in mmol/L); SAR &lt;6 als EGV 40-100 mS/m</li> <li>• DOC (&lt;2 mg/L)</li> <li>• AOC (Assimilable Organic Carbon; &lt; 10 ug acetaat-C/L); en</li> <li>• MFI (Modified Fouling Index; &lt;3-5 s/L<sup>2</sup>).</li> </ul>
<p><b>HANDHAVING AËROBIE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zuurstofconcentratie zodanig dat water &gt;90% verzadigd aan maaiveld</li> <li>• dosering extra zuurstof en/of nitraat lijkt wenselijk</li> <li>• pH indien nodig opgehoogd door dosering van b.v. NaOH, opdat pH in doelaquifer &gt;7,1 blijft.</li> <li>• bij voorkeur wordt het water zo koud mogelijk geïnjecteerd.</li> </ul>

#### 7.3.4 *Hydrogeologische geschiktheid van de Nederlandse ondergrond*

In bijlage V is de geologische opbouw van Nederland met behulp van doorsneden en verspreidingskaartjes weergegeven. Per provincie zijn de geologische profielen en de eigenschappen van de pakketten beschreven. Voor de beschrijving van de formaties is de nieuwe lithologische indeling van TNO gebruikt (de Mulder et al, 2003). Een voor ASR geschikte formatie bevat bij voorkeur grofzandige fluviatiele afzettingen. De doorlatendheid van deze formaties is over het algemeen hoog zodat injectie en onttrekking vergemakkelijken. De formaties zijn over het algemeen niet doorstroomd met sulfaat houdend water en bevatten lage gehalten aan organisch materiaal. De kans op de aanwezigheid van pyriet is hierdoor lager, waardoor ook de kans op kwaliteitsverandering van het geïnjecteerde water minder is.

Uit een quick scan van de Nederlandse geologische formaties (zie ook bijlage V) komen de volgende formaties (per provincie) als kansrijk voor ASR naar voren:

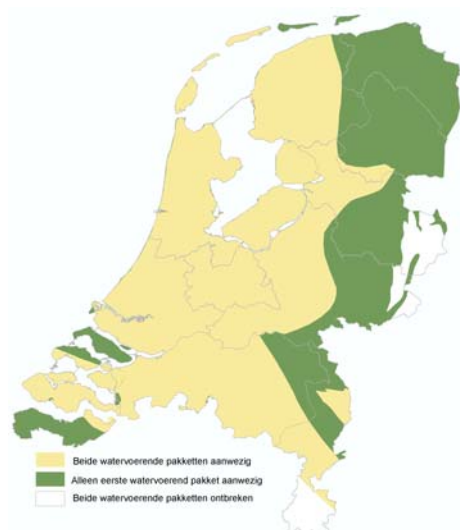
<i>Limburg:</i>	<i>Formaties van Beegden, Sterksel, Stramproy en de Kiezeloöliet Formatie</i>
<i>Noord-Brabant:</i>	<i>Formaties van Beegden, Sterksel, Stramproy, Maassluis, Breda en de Kiezeloöliet Formatie</i>
<i>Zeeland:</i>	<i>Formaties van Oosterhout en Breda</i>
<i>Noord- en Zuid Holland:</i>	<i>Formaties van Urk, Sterksel, Stramproy, Peize, Maassluis en Oosterhout</i>
<i>Gelderland en Overijssel:</i>	<i>Formaties van Urk, Peize en Oosterhout</i>
<i>Groningen en Friesland:</i>	<i>Formaties van Appelscha, Peize, Maassluis en Oosterhout</i>

Uit de beschrijvingen van de formaties en de doorsneden (zie ook bijlage V) blijkt dat binnen de formaties veel variatie in opbouw bestaat. Daarom is besloten om de indeling in geologische formaties los te laten en de studie te beperken tot (eigenschappen van) watervoerende pakketten.

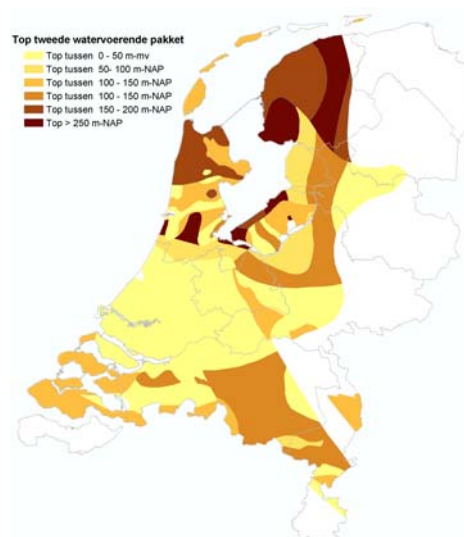
In samenwerking met IF technology zijn de in Nederland aanwezige ondiepe (<300 m-NAP) aquifers onderzocht. De benodigde gegevens voor deze studie zijn gebaseerd op een door IF technology uitgevoerde studie naar de mogelijkheden voor koudeopslag in Nederland. Omdat koudeopslag en ASR op het hetzelfde principe berusten - onttrekken en infiltreren van grondwater uit een zandpakket - kunnen resultaten worden gebruikt om de globale bodemtechnische mogelijkheden voor ASR in Nederland te bepalen. In de studie naar mogelijkheden voor koudeopslag wordt de ondergrond van Nederland tot globaal 300 m-mv onderverdeeld in watervoerende pakketten. De eigenschappen van de pakketten zijn gebaseerd op Provinciale Grondwaterplannen (De Vries, 1974) en aangevuld met informatie uit de Grondwaterkaart.

#### *Watervoerende pakketten in Nederland*

In deze studie wordt een onderscheid gemaakt tussen geen watervoerend pakket (< 500 m<sup>2</sup>/d), een eerste (ondiepe) en een tweede (diepe) watervoerende pakket. In sommige gebieden is een derde watervoerende pakket aanwezig, maar vanwege het beperkte doorlaatvermogen en de diepte is dit pakket buiten beschouwing gelaten. De aan- of afwezigheid van de verschillende watervoerende pakketten in Nederland is weergegeven in figuur 35. De meeste watervoerende pakketten bevinden zich tussen 0 en 50 m-NAP. De diepte van de top van het tweede watervoerende pakket is grilliger; voor de meeste gebieden tussen 50 en 150 m-NAP (figuur 36).



Figuur 35 Aanwezigheid van watervoerende pakketten in Nederland (IF technology).



Figuur 36 Diepteligging top tweede watervoerende pakket (IF technology).

Op basis van figuur 35 en 36 kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- In Nederland is bijna overal een watervoerend pakket aanwezig. In enkele delen van Nederland (Twente, de Achterhoek en Zuid-Limburg) ontbreken geschikt watervoerend pakket binnen 200 meter-NAP.
- In het grootste deel van Nederland zijn minimaal twee watervoerende pakketten aanwezig, met uitzondering van het noordoostelijke en oostelijke deel van Nederland en Zeeuws-Vlaanderen.

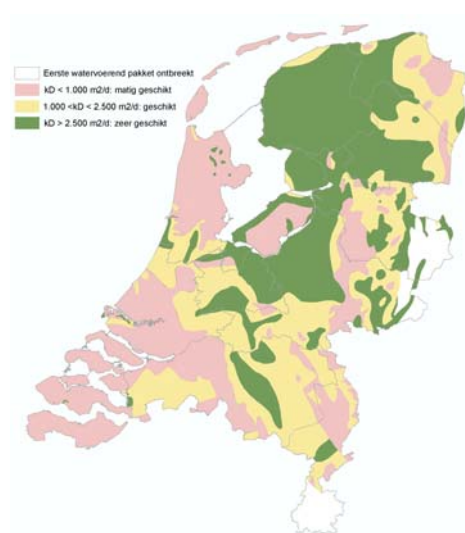
### Geschiktheid

Op basis van het doorlaatvermogen (kD) van een watervoerend pakket is de geschiktheid voor het onttrekken en infiltreren van water vastgesteld. In tabel 17 zijn de gebruikte klassen weergegeven.

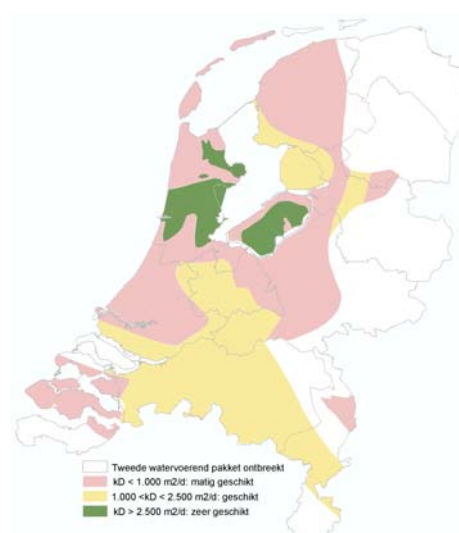
doorlaatvermogen [m <sup>2</sup> /d]	geschiktheid
< 1000	matig geschikt
1000 – 2.500	geschikt
> 2.500	zeer geschikt

Tabel 17      *Geschiktheidsklassen voor ASR*

In figuur 37 en 38 is de geschiktheid voor onttrekken en infiltreren voor het eerste en tweede watervoerende pakket weergegeven. Hierbij dient opgemerkt te worden dat op basis van kD waarden slechts een grove indeling mogelijk is. Lokaal kunnen pakketten met een geringe dikte maar voldoende hoge k-waarde toch geschikt zijn voor ASR toepassing.



Figuur 37      *Geschiktheid eerste watervoerende pakket (IF technology).*



Figuur 38      *Geschiktheid tweede watervoerende pakket (IF technology).*

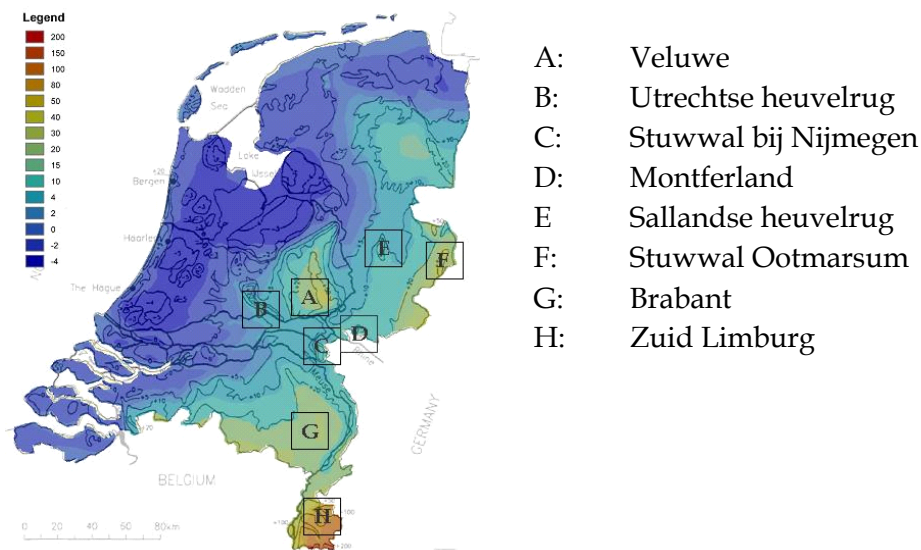
In tabel 18 is op basis van doorlaatvermogen aangegeven welke gebieden matig geschikt dan wel geschikt of zeer geschikt zijn.

matig geschikt
Zeeland
Zuid-Holland (midden, zuiden, westen)
Kop van Noord-Holland
delen van: Groningen, oost Brabant, Limburg en Overijssel
geschikt en zeer geschikt
Midden en zuiden van Noord-Holland
west en midden Brabant
Drenthe
Utrecht
Veluwe en west Gelderland
Flevoland
Friesland
Groningen (west)
delen van: Overijssel en Gelderland
Centrale deel Limburg

Tabel 18 Globale indeling gebieden naar geschiktheid voor ASR (selectie).

### Berging in freatische pakketten

Waterberging is ook mogelijk in freatische pakketten. Een bekend voorbeeld van infiltreren en terugwinnen van water uit freatische pakketten in Nederland zijn de duinwaterwinningen. Ook buiten de duinen is waterberging in freatische pakketten in zandige pakketten met dikke onverzadigde zones mogelijk. In figuur 39 zijn enkele locaties dikke onverzadigde zone's (buiten de duinen) weergegeven.



Figuur 39 Grondwaterstanden, hoogtelijnen en zoekgebieden voor freatische berging.

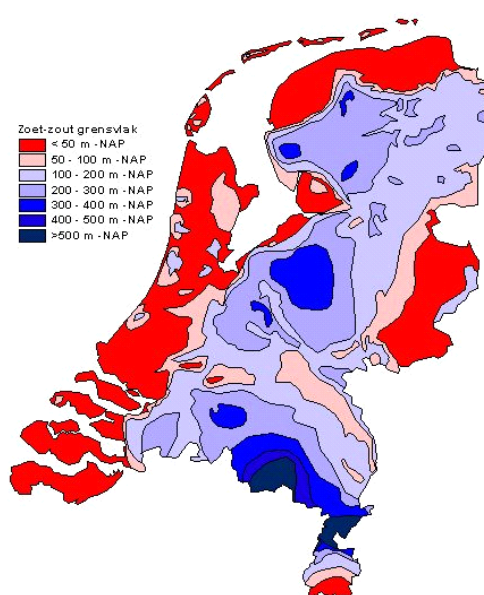
De meeste zoekgebieden zijn gestuwde formaties. In Noord Brabant zijn tevens eolische topsystemen met voldoende dikke onverzadigde zones zoals de Brabantse wal en Loonse en Drunense duinen aanwezig. In Zuid Limburg

komen in de Maasterrassen en op de plateau's dikke onverzadigde zone's voor. Of de gebieden geschikt zijn voor freatische berging hangt sterk af van de ondergrond en grondwaterverhang. De aanwezigheid van gestuwde Tertiaire kleien en keileem in de stuwwallen bij Ootmarsum en de Sallandse heuvelrug maakt het waarschijnlijk moeilijk om hier water te bergen. In Zuid Limburg kan water moeilijk worden geborgen omdat de doorlaatfactor in de verkarste kalksteen en grindpakketten zeer hoog is en er een aanzienlijk grondwaterverhang is. De Utrechtse heuvelrug, de Veluwe, de stuwwal bij Nijmegen en Montferland bieden grotere kansen voor berging, vooral de zandige fluvioglaciale afzettingen (Sandr's).

### Zout water

De lokale geschiktheid voor ASR hangt samen met de diepte van het zoet-zout grensvlak en de concentratie van het zoute water. In Nederland is op veel plaatsen brak of zout grondwater ondiep aanwezig. In figuur 40 is de globale diepte van het zoet-zout grensvlak weergegeven. Het toepassen van ASR in aquifers met zout- of brakwater hoeft geen probleem te zijn. In de Verenigde Staten wordt ASR in een groot aantal gevallen in zoute of

brakke aquifers toegepast. Voordeel van het gebruik van brakke of zoute aquifers is dat onbenutte ruimte in de ondergrond gebruikt wordt voor de drinkwatervoorziening. Zout- en zoetwater mengen door het verschil in dichtheid nauwelijks. Bij injectie van zoetwater ontstaat een bel water die 'drijft' op het zoute water. De grootte van de dispersiezone (mengzone tussen zoet- en zoutwater) wordt bepaald door verschillen in zoutconcentratie en grondwaterstroomsnelheid. Bij opslag van drinkwater in brakke en zoute aquifers is het noodzakelijk vooraf dit zoute water te verdrijven en plaats te maken voor zoet water. Bij injectie in dikke zoute aquifers ontstaat een bel zoetwater rond het injectiepunt. Als de injectie gestopt wordt en er weer wordt onttrokken is de kans groot dat de bel opdrijft en er zout water wordt opgepompt. Voorwaarde voor toepassing onder zoute of brakke omstandigheden is dat de aquifer een dusdanige dikte heeft dat het zoute



Figuur 40 Diepte van het zoet-zout grensvlak in Nederland.

water over de gehele dikte van de aquifer verdrongen kan worden. Bij onttrekking zal dan geen opdrijving van de zoetwaterbel optreden.

### 7.3.5 *Conclusie*

In vrijwel geheel Nederland bestaan er vanuit geohydrologisch oogpunt mogelijkheden voor Aquifer Storage & Recovery toepassing. In de oostelijke delen van de Achterhoek en Twente en in Zuid Limburg zijn de mogelijkheden zeer beperkt of afwezig. In deze gebieden zijn hoge investeringen nodig om ASR toe te passen in diepe geschikte aquifers.

De geschiktheid voor ASR is bepaald door de ondergrond op globale wijze te bestuderen, lokale eigenschappen zijn wel belangrijk maar zijn niet bestudeerd. Voor selectie van geschikte locaties zijn gedetailleerde studies noodzakelijk. Lokale geschiktheid hangt af van de geochemische eigenschappen van de ondergrond; geïnfiltrerd water mag (vrijwel) geen kwaliteitsveranderingen ondergaan. Het sediment van de doelaquifer moet daarom zo inert mogelijk zijn.

Naast de technische criteria zijn strategische overwegingen van belang om ASR toe te passen. ASR is in de volgende situaties voor drinkwateropslag interessant (Van Hogezaand, 1998):

1. Seizoensfluctuaties in watervraag en kwaliteit. Door toepassing van ASR is constante productie mogelijk waardoor de zuivering niet op de piekfactor hoeft te worden gedimensioneerd. Zuiveringskosten zullen dalen en de leveringszekerheid is hoger.
2. Het gebruik van oppervlaktewater voor drinkwaterproductie. Oppervlaktewater is gevoeliger voor seizoensfluctuaties en heeft een complexere zuivering nodig. Door toepassing van ASR kan de (dure) zuivering efficiënter worden benut.
3. Uitbreiding of vervanging van de productiemiddelen. Door het toepassen van ASR kunnen investeringen voor waterzuiveringen en berging worden beperkt of uitgesteld. Nieuwe zuiveringen kunnen efficiënter worden ingericht.

## 7.4 **Bovengrondse waterberging**

### 7.4.1 *Inleiding*

Na overstromingen eind jaren negentig is een discussie over het waterbeheer in de 21<sup>e</sup> eeuw opgestart. De plannen voor het nieuwe waterbeheer zijn gericht op de trits vasthouden van water in de haarvaten van het watersysteem (meestal in Hoog-Nederland), bergen (regionaal, langs beken, langs rivieren en in diepe polders) en daarna pas afvoeren (met gemalen, dijken en andere technische middelen). Oppervlaktewater en regen in waterbergingsgebieden (voor piekafvlakking of structureel) zijn een potentiële bron voor drinkwaterproductie. Waterbedrijven kunnen op deze manier meeliften met plannen voor waterberging. In onderstaande paragrafen zijn landelijke en regionale plannen voor waterberging geïnventariseerd om een beeld te geven waar mogelijkheden voor 'meeliften'

bestaan. De waterplannen van de provincie Zeeland en de provincie Utrecht zijn gedetailleerder toegelicht.

#### 7.4.2 *Landelijke plannen*

Resultaten van literatuurstudie en interviews bij waterschappen en provincies laten zien dat de meeste waterbergingsprojecten op dit moment nog in de planfase verkeren. De plannen voor waterberging bestaan uit:

- 'Ruimte voor de rivier' van de rijkswateren, noodoverloopgebieden, verkenning voor nieuwe randmeren en het verruimen van waterberging in droogmakerijen
- Zoekgebieden voor waterberging

#### 7.4.3 *Plannen voor waterberging in de provincies Zeeland en Utrecht*

##### **Provincie Zeeland**

In provincie Zeeland staan nog geen plannen op de kaart, het beleid is vastgelegd in de 'Deelstroomgebiedsvisie Zeeland' van 2004. Vasthouden van water in de Zeeuwse bodem is vaak niet mogelijk (behalve in natuurgebieden), de aandacht is gericht op bergen en afvoeren. Afvoeren betekent in Zeeland niet dat het water wordt afgewenteld op een benedenstrooms gelegen gebied en significante peilstijging van de omliggende oppervlaktewateren ligt niet voor de hand. Extra waterberging biedt mogelijkheden voor meervoudig ruimtegebruik en is noodzakelijk overstromingsnormen te halen; oplossingen zijn intensivering van de drainage extra openwater berging (45% van de maatregelen), natuurvriendelijke oevers (45% van de maatregelen) en gecontroleerde inundatie (10% van de maatregelen). De schatting van het benodigde areaal voor extra berging ligt op totaal 670 ha (260 open water, 390 natuurvriendelijke oevers, 20 gecontroleerde inundatie).

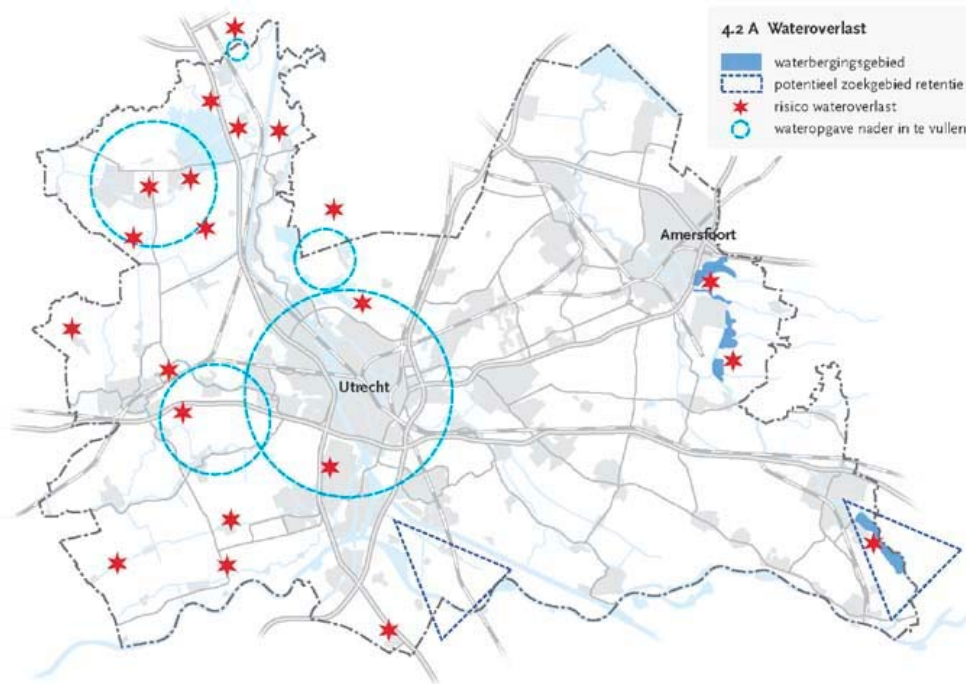
##### **Provincie Utrecht**

In het voorzieningsgebied van waterschap Vallei en Eem, gelegen in de provincie Utrecht, ligt circa 850 hectare waterbergingsgebied, verdeeld over drie gebieden: Schammerpolder (ten oosten van Amersfoort), Asschat (ten zuidoosten van Leusden) en Binnenveld (ten zuidoosten van Veenendaal), zie figuur 41. De frequentie van overstroming van alle drie de gebieden gezamenlijk is eens in de 100 jaar, 375 hectare overstroomt eens in de 10 jaar en 40 hectare overstroomt eens per jaar. De omvang van de overstroming is niet exact bekend, maar wordt geschat op:

- Frequentie eens per 100 jaar: 4 miljoen m<sup>3</sup>
- Frequentie eens in de 10 jaar: 0,5 à 1,0 miljoen m<sup>3</sup>
- Frequentie eens per jaar: 0,1 miljoen m<sup>3</sup>.

De duur van de overstroming is meestal enkele dagen. Nieuwe gebieden voor waterberging worden in 2007 gepresenteerd.





Figuur 41 Zoekgebieden voor waterberging en risicogebieden in de Provincie Utrecht (Provincie Utrecht).

#### 7.4.4 Conclusie

De hierboven beschreven plannen voor waterberging laten zien dat er locaties en mogelijkheden bestaan voor waterbedrijven om mee te liften op het nieuwe waterbeleid voor de 21<sup>e</sup> eeuw. Een deel van de projecten is gericht op het benutten van watersysteemkarakteristieken om meer water te infiltreren, dit is positief voor de grondwateraanvulling. De meeste projecten zijn gericht op het afvangen van piekafvoeren in gebieden voor de duur van enkele dagen. De mogelijkheden voor waterbedrijven om het opgeslagen water te gebruiken als bron voor drinkwaterproductie nemen hierdoor af; er is sprake van een kortdurend hoog wateraanbod. Als waterbedrijven door flexibele productiemethoden dit water weten te benutten is vaak ook nog berging van het geproduceerde drinkwater (in de ondergrond) noodzakelijk, afhankelijk van de hoogte van de watervraag op dat moment. De potentie voor de productie van drinkwater uit oppervlaktewater dat tijdelijk in overloopgebieden wordt geborgen lijkt daarom gering.

# 8 Flexwater concepten

## 8.1 Inleiding

In voorgaande hoofdstukken is beschreven dat het mogelijk is om flexibiliteit in de drinkwatervoorziening te introduceren. Lange afschrijvingstermijnen van grootschalige distributienetwerken zijn een belemmering voor het ontwikkelen van nieuwe concepten, zoals flexibele productiecapaciteiten, variatie in transportafstanden, variatie in piekfactoren, kortere planningstermijnen, interactie met de omgeving en koppeling van functies (bouwen, bergen en winnen). Flexibilisering en optimalisering van de drinkwatervoorziening vraagt niet alleen om een technisch innovatieproces maar ook een transitieproces.

De introductie van nieuwe flexibele opties vereist een lange termijn stappenplan zonder dat grootschalige kapitaalvernietiging plaatsvindt. Vanuit kostenoptiek is het overigens soms wel interessant om niet afgeschreven productiemiddelen voortijdig te vervangen als een nieuwe situatie netto meer kostenvoordelen oplevert (netto contante waarde). De keuze om wel of niet te vervangen voordat de economische levensduur is bereikt is locatiespecifiek.

## 8.2 Concepten voor flexibele waterwinning

### 8.2.1 Inleiding

Onderstaande uitdagingen beïnvloeden het transitieproces en maken veranderingen mogelijk op basis waarvan enkele concepten voor flexibele waterwinning zijn ontwikkeld.

- Watervoorziening naar geïsoleerd gelegen gebieden is soms problematisch en duur. Is decentralisering de oplossing?
- Hoe worden lokale verschuivingen in watervraag geacommodeerd? (onder andere gestimuleerd door het nieuwe bouwen)
- Bieden gebieden waar grootschalige investeringen zijn gepland (zuiveringstations en/of renovatie en aanleg van infrastructuur) kansen voor nieuwe concepten?
- Hoe wordt omgegaan met locaties waar de bronnen ter discussie staan ten gevolge van natuur- en waterbeleid?
- Zijn er mogelijkheden om aan te haken bij de ontwikkeling van blauwe diensten (waterberging, ASR)?
- Hoe kunnen waterbedrijven omgaan met overcapaciteit in zuivering en vergunning; hoe worden de overcapaciteit economisch benut?

### 8.2.2 Concepten

De concepten zijn geen blauwdrukken voor de watervoorziening maar zijn bedoeld ter inspiratie. De concepten zullen in een volgende fase, met behulp van een beslissingsondersteunend rekeninstrument, in pilots worden getoetst.

*De waterwinning aan huis: decentralisatie van bron tot tap*

Gericht op kleinschalige winning in gebieden waar (en/of):

- transportkosten een dominante factor vormen
- lokale bronnen voldoende aanwezig zijn
- koppeling van functies mogelijk zijn (waterbeheer/drainage en waterproductie)

*De seizoensgebonden winning*

Gericht op het bergen (ondergronds en bovengronds) en gebruiken van tijdelijke wateroverschotten, ter ondersteuning van grootschalige productie-eenheden, die vlak draaien (vrijwel geen piekfactor).

*De groene winning*

Vergelijkbaar met de seizoensgebonden winning. De waterproductie is geheel gebaseerd op grondwaterwinning zonder negatieve invloed op de omgeving.

*De groene weide*

Gericht op gebieden waar op korte termijn grootschalige investeringen te verwachten zijn (bijvoorbeeld Noordoostpolder) en nieuwe concepten snel zijn te realiseren.

*Het Net*

Gericht op de ontwikkeling van een infrastructuur-grid dat met een geautomatiseerd bedrijfsvoeringssysteem wordt bestuurd. Het grid verbindt alle productiestations, bronnen en vraagpunten met elkaar. Het bedrijfsvoeringssysteem optimaliseert continu op kosten, milieu-impact en klanttevredenheid. Het systeem wordt toegepast in Engeland bij Yorkshire Water.

*De tijdelijke winning*

De gebruiksduur en afschrijvingstermijnen van nieuwe productiemiddelen worden korter waardoor de investeringscyclus wordt versneld. Productiemiddelen kunnen na 10 jaar weer worden vervangen.

## 9 Conclusies

Flexibilisering van de drinkwatervoorziening biedt mogelijkheden om in te spelen op toekomstige ontwikkelingen en is een bouwsteen om de watervoorziening te (her)optimaliseren. Flexibilisering omvat de zoektocht naar nieuwe bronnen voor drinkwaterproductie, mogelijkheden voor waterberging (voor het overbruggen van schaarse periodes) en distributievraagstukken zoals transportkosten en piekfactorreductie.

Op landelijke schaal is beschikbaarheid van water geen probleem. Door het neerslagoverschot, de grote rivieren en aanwezigheid van dikke watervoerende grondlagen zijn 9 typen bronnen voor drinkwaterproductie beschikbaar. De omvang van jaarlijks incidenteel beschikbare bronnen, zoals bemalingen, varieert sterk per provincie (variërend van 4-34 Mm<sup>3</sup>/jaar). De gemiddelde maximale jaarlijkse onttrekkingen (grootste onttrekkingspunt in een provincie) variëren van 1,5-3,5 Mm<sup>3</sup>/jaar) en zijn interessant als bron voor drinkwaterproductie.

De exploitatiekosten (afschrijving en verbruikskosten) van grote installaties zijn lager dan van kleine installaties, afhankelijk van de schaalfactor. Omdat de schaalfactor afhankelijk is van de proceskeuze en bronkeuze, kan het voorkomen dat inzet van membranen voor kleine capaciteiten aantrekkelijk is, terwijl conventionele zuiveringen voor grote capaciteiten het goedkoopst zijn. Wanneer transportkosten en zuiveringskosten per bron worden geïntegreerd blijkt dat het kosteneffect van schaalgrootte groter is dan het kosteneffect van de bronkeuze. Daarom is het vergroten van de zuiveringscapaciteit aantrekkelijk om kosten per kubieke meter drinkwater te verlagen, ook als daarvoor een grotere transportafstand noodzakelijk is. Bij kleinere productiecapaciteiten (0,5 Mm<sup>3</sup>/jaar) is de bijdrage van de transportafstand aan de totale kosten groot. Daarom is het aantrekkelijk om de bron op beperkte afstand van het distributiegebied te zoeken. Daarnaast is de keuze van de bron (en zuiveringstechniek) van grote invloed op de kosten.

Waterberging kan de hoogte van piekvragen reduceren. Een waterberging met een inhoud van 100.000 m<sup>3</sup> reduceert de gemiddelde piekfactor in een transportleiding van 1,45 naar 1,25. Waterberging bij huishoudens biedt eveneens mogelijkheden voor piekfactorreductie in distributieleidingen (in de straat) en transportleidingen. De watertank bij alle aangesloten huishoudens moet 3000 liter zijn om de (maand) piekfactor in de transportleiding terug te brengen van 1,45 naar 1,25 (bij een waterwinning met een omvang van 4 Mm<sup>3</sup>). Het is daarom logischer om uur-piekfactoren te reduceren in distributieleidingen. Afname van het aantal tapeenheden per huishouden van 18 naar 10 (door introductie van een watertank van 300 liter) komt overeen met een eenmalige besparing van 10 euro per meter leiding (bij aanleg). Het zelfreinigende vermogen in het leidingnet neemt wel af door piekafvlakking waardoor waterkwaliteitsproblemen kunnen optreden. Bovendien kunnen er waterkwaliteitsproblemen optreden in de voorraadtank zelf. Waterberging bij huishoudens lijkt daarom niet geschikt. Toepassing van waterberging bij

afgelegen en geïsoleerde woningen zou wel (significante) kostenvoordelen kunnen opleveren maar het waterkwaliteitsprobleem blijft bestaan.

Hoewel momenteel voor veel locaties bovengrondse waterbergingen zijn gepland is de potentie om dit water in te zetten voor drinkwaterproductie gering; er is sprake van een kortdurend hoog wateraanbod. Wanneer het oppervlaktewater op permanente basis in opvanggebieden wordt opgeslagen is de potentie groter. Met ASR is het mogelijk om (rein) water (in tijden van overvloed) in de ondergrond te bergen. Vrijwel geheel Nederland is uit geohydrologisch oogpunt geschikt voor ASR, met uitzondering van de oostelijke delen van de Achterhoek en Twente en in Zuid Limburg. De geschiktheid van een gebied voor de toepassing van ASR is echter locatie afhankelijk. Waterberging is ook mogelijk in freatische pakketten, zoals in de duinen. Dikke freatische pakketten met dikke onverzadigde zones zijn vooral in hoger gelegen gebieden aanwezig zoals op stuwwallen en de Veluwe.

Lange afschrijvingstermijnen van productiemiddelen zijn een belemmering voor het ontwikkelen van nieuwe opties en concepten. Grootschalige vervanging is niet wenselijk vanwege kapitaalvernietiging. De introductie van nieuwe flexibele opties vereist dan ook een lange termijn strategie waarin stap voor stap naar een nieuwe situatie wordt toegewerkt, een transitieproces. Ter inspiratie zijn enkele flexwaterconcepten ontwikkeld die in een vervolgfase in pilots worden getoetst: a). De waterwinning aan huis: decentralisatie van bron tot tap, b). De seizoensgebonden winning, c). De groene winning, d). De groene weide, e). Het Net, f). De tijdelijke winning.

# I Literatuur

- Anonymus. (1967). *De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland*, Rapport van de centrale commissie voor drinkwatervoorziening.
- AWWA. (1996). *Aquifer storage recovery of treated drinking water*, AWWA Research Foundation, Denver, USA
- Boomen, M. van den, Vreeburg, J. H. G. (1999). *Nieuwe ontwerprichtlijnen voor distributienetten*. Kiwa SWE rapport 99.011.
- Berbee, R.P.M. (1999). *Legionella in oppervlaktewater, in koelwater, in RWZI's in .....; waar eigenlijk niet?* RIZA rapport 99.057.
- DHV (1998). *Kostenboekjes*.
- Eck, W. van, Hamminga, W., Naeff, H.S.D., Bont, C.H.M., de, Querner, E.P. (2000). *Nederland in plannen: voorbeelden aan de hand van de Nieuwe Kaart van Nederland 2*. Alterra rapport.
- Estarte. (2001). *Ontwerp mobiliteitsplan Vlaanderen: berekening van de economische aspecten; Bijlage: Nota macro-economische toetsing*. In opdracht van: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en infrastructuur, 2001, <http://viwc.lin.vlaanderen.be/mobiliteit/toetsing.pdf>
- GEODAN (2002). *Geen titel*.
- Gommers, P., Rienks, J. (1999). *'Gezuiverde' cijfers over zuiveren*. RIZA rapport 99.018.
- Hogezand, R.J.P. van, J.A.M. Tolboom. (1998). *ASR in Nederland*. DHV Water, Amersfoort.
- IF Technology en Krachtwerktuigen. (1992). *Koude-opslag in de bodem - vergunningverlening in het kader van de grondwaterwet*. NOVEM rapport.
- Kappelhof, J. & P. Stuijzand (2003). *Brak grondwater: als grondstof voor drinkwater (!) en als zoethouder (!); scan van potentie en haalbaarheid*. BTO rapport 2003.006.
- Klundert, B. van (2005). *Querty-planning*. In: Landwerk 2, pp. 7.
- Kooiman, J.W. (1998). *Aquifer Storage and Recovery (ASR): Haalbaarheid in Nederland, toepassing van WMO*. Kiwa-rapport KOA 98.169.
- Kooiman, J.W. (1999). *ASR in Zuid-Engeland en Nederland; verslag van een werkbezoek van WML, WMO en Kiwa aan Zuid-Engeland*. Kiwa-rapport KOA 99.207.

- Kooiman, J.W., R. Kloosterman, Castenmiller, E. (1999). *Aquifer Storage and Recovery (ASR): aanzienlijke besparingen door beheer van ondergrondse (drink)watervoorraden*. In: H2O 1999 (29), 13-15.
- Kooiman, J.W. (1999). *ASR in Zuid-Engeland en Nederland; verslag van een werkbezoek van WML, WMO en Kiwa aan Zuid-Engeland, 12-13 oktober 1999*. Kiwa-rapport KOA 99.207.
- KNMI (2004). *Neerslagkarakteristieken, De Bilt*.
- Lemmen, G.B. & A.J. Oomens (2001). *Effecten en grenzen van afkoppelen in bestaand stedelijk gebied; beleidsverkenning naar effecten en grenzen van het sturen met hemelwater in bestaand stedelijk gebied*. Rapport Grontmij.
- Meuleman, A.F.M., Ramaker, A.B., Kappelhof, J. (2004). *The flexwaterconcept: towards flexible resources management in the Netherlands*. AWWA Water Resources Conference, Austin Texas.
- Ministerie voor VROM. (2004). *Nota Ruimte, Den Haag*.
- Mourik, W. van, H.J. van der Mijle Meijer, W.J.M. van Tilborg & R.J.M. Teunissen (2003). *Emissies van bouwmaterialen: vaststelling van afspoelsnelheden op basis van metingen aan proefopstellingen*. RIZA rapport 2003.027.
- Mühlschlegel, J.H.C. (1992). *Basisrapport winning en zuivering van grondwater voor drink- en industriewatervoorziening*, RIVM rapport nr. 719106003.
- Mulder, E.F.J. de, M.C. Geluk, I.L. Ritsema, W.E. Westerhoff, T.E. Wong. (2003). *De ondergrond van Nederland*. Wolters Noordhoff, Groningen/Houten.
- Provincie Noord-Brabant. (2002). *Inventarisatie vraag en aanbod van water, concept*, Den Bosch.
- Provincie Utrecht. (onbekend). *Provinciaal Waterhuishoudingsplan, Utrecht*.
- Provincie Zeeland. (onbekend). *Waterkansenkaart 2001-2006, Middelburg*.
- Pyne, R.D.G. 1995. *Groundwater recharge and wells; a guide to aquifer storage recovery*. CRC Press Inc.
- Rijksinstituut voor de Drinkwatervoorziening (1965). *De toekomstige drinkwatervoorziening van Nederland*.
- RIVM (2003). *Milieucompendium, Bilthoven*.
- RIZA (2003). *Modelberekeningen kwelintensiteiten*.

- Spoel, H. van der, A.J.H. Schutte, G.H. Harmsen & H.B. Pols (1990). *Zwarte lijststoffen in Noord-Brabant; vrachtberekeningen en extrapolatie van effluenten van rioolwaterzuiveringsinstallaties*. RIZA werkdokument 90.048x-II.
- Stolk, A.P. *Landelijk meetnet regenwatersamenstelling: meetresultaten 2000*. RIVM rapport 723101057.
- STOWA (2001). *Compendium RWZI-effluent als bron voor 'ander water'*. STOWA rapport 2001.14.
- Stuyfzand, P.J. & A.D. Bannink (2003). *Zijn de Nederlandse bronnen van drinkwater voldoende beschermd tegen ziektenverwekkende micro-organismen?* KWR rapport 2003.021.
- Teunissen, R.J.M. (1998). *Samenstelling afstromend regenwater*. RIZA werkdokument 98.090x.
- VEWIN (2004a). *Waterleidingstatistiek 2000*, Rijswijk.
- VEWIN. (2004b). *Water in zicht 2003*, Rijswijk.
- Visser, H.M., A.R., Goor. (1999). *Werken met logistiek*. Educatieve Partners Nederland Houten, 1999, ISBN 90 11 05356 7.
- Vries, de. (1974). *Groundwater flow systems and streamnets in the Netherlands*. Dissertatie VU, Amsterdam.
- Wakker, J.C., Castemiller, E., Stuyfzand, P.J. (2003). *Aquifer Storage & Recovery in Limburg door WML*.
- Waterschap De Dommel en KNMI. (2004). *Gegevens over RWZI-effluent*.
- Wessels, P. et al. (2005). *Innovatie en drinkwater; highlights BTO 2005*, BTO rapport 2005.064, Nieuwegein.
- Withagen, A.C.L., C.L.M. van der Horst, W.H.J. Beltman & C. Kempenaar (2003). *Resultaten monitoring afspoeling glyfosaat in 2002 in 3 proefgemeenten; rapportage in het kader van het DOB project, projectonderdeel 4*. Alterra nota 230 Plant Research International.
- Zeijl, WJ.M. van, A. Akhiat, M.L. Kortekaas & O.C. Swertz (2001). *National evaluation report of the joint assessment and monitoring programme of the Netherlands 1999*. RIKZ rapport 2001.003.
- Zindler, J.A. (2004). *Hoe schoon zijn de RWZI's en gemalen? De kwaliteit van water en zwevend stof dat via rioolwaterzuiveringsinstallaties en gemalen op het Noordzeekanaal komt. Uitwerking gegevens uit 2002*. RWS, directie Noord-Holland, ANW-nota 03-19.



[www.statline.cbs.nl](http://www.statline.cbs.nl)  
database Rijkswaterstaat

## II Uitgangspunten zuivering

### Dosering Fe of FeCl<sub>3</sub>

Dosering : 10 mg Fe/l

### sedimentatie

Lamellenbezinking

Oppervlakte belasting: 0.9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.h

### Marmerfiltratie

Filtratie snelheid: 10 m/h

Hoogte marmerbed: 2 m

οπηαροδιγ: 1.5 mmol/l

### Snelfiltratie

Filtratie snelheid: 8 m/h

Hoogte zandbed: 2 m

### Langzame zandfiltratie

Filtratie snelheid: 0.4 m/h

Hoogte zandbed: 1 m

### Ozonisatie

Ozondosering: 1 mg/l

### Ontharding

ΔTH: 2 mmol/l

NaOH: 80 mg/l

Ca(OH)<sub>2</sub>: 0 mg/l

### Ionwisselaar

Filtratie snelheid: 20 m/h

Hoogte IEX bed: 2 m

### Actieve koolfiltratie

Contacttijd: 15 min.

Reactivaties: 24 maanden

Nieuw na: 10 reactivaties

### MBR

Recovery: 100%

Flux: 30 l/m<sup>2</sup>h

Voedingsdruk: 50 kPa

Efficiency: 70%

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 1 ppm

NaOCl: 1 ppm

MF/UF

Recovery: 90%  
Flux: 100 l/m<sup>2</sup>h  
Voedingsdruk: 50 kPa  
Efficiency: 70%  
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 1 ppm  
NaOCl: 1 ppm

NF/RO

Recovery: 75%  
Flux: 25 l/m<sup>2</sup>h  
Voedingsdruk: 1450 kPa  
Efficiency: 80%

### III Uitgangspunten kostenberekeningen

De volgende aannamen zijn gebruikt bij de kostenberekening van de verschillende zuiveringen:

- piekfactor = 1,4 (ontwerpcapaciteit: gemiddelde uurcapaciteit)
- De rentevoet is 7%
- 30 jaar afschrijving op civiele werken
- 15 jaar afschrijving op werktuigbouwkundige werken
- 10 jaar afschrijving op elektrotechnische werken
- 3 jaar afschrijving op membranen
- 15 jaar afschrijving op filtervullingen
- Onderhoudskosten op civiele werken bedragen 0.5% van de bouwkosten
- Onderhoudskosten op werktuigbouwkundige werken bedragen 2.0% van de bouwkosten
- Onderhoudskosten op elektrotechnische werken bedragen 4.0% van de bouwkosten
- Inrichtingskosten bedragen 10% van de bouwkosten
- Er worden geen staatkosten (inrichting, voorbereiding, etc.) meegenomen
- Er wordt geen bouwrente meegenomen



# IV Waterkwaliteiten stedelijk grondwater

	Grondwatertype 1			Grondwatertype 2			Grondwatertype 3			Grondwatertype 4			Grondwatertype 5			Grondwatertype 6			norm	
	aerob basisch nitraat gechloroerde CHS			aerob basisch BTEX MTBE PAK cyanide			aerob basisch gechloroerde CHS zink pesticides virussen			aerob zuur metalen gechloroerde CHS			anaerob basisch ammonium ijzer OMIVE uit opp water			anaerob basisch BTEX MTBE Na, K, Cl virussen				
	eenheid	Scenario 1	Scenario 2	ref.	Scenario 1	Scenario 2	ref.	Scenario 1	Scenario 2	ref.	Scenario 1	Scenario 2	ref.	Scenario 1	Scenario 2	ref.	Scenario 1	Scenario 2	ref.	
<b>algemene parameters</b>																				
pH		7,2	1		7,2	1		7,2	1		5,5	4,3	1	7	1		7	1		7-9,5
CO <sub>2</sub>	mg/l	8	1		8	1		8	1		6	6	1	0	1		0	1		>2
ECV	mS/cm	100	1		100	1		100	1					100	1		100	1		100
CH <sub>4</sub>	mg/l	0			0			0			0			2	12	16	2	12	16	16
SO <sub>4</sub>	mg/l	50	150	1	50	150	1	50	150	1	50	150	1	5	1		5	1		150
HCO <sub>3</sub>	mg/l	250	1		250	1		250	1		250	1		250	1		250	1		250
Ca	mg/l	100	120	1	100	120	1	100	120	1	100	120	1	100	120	1	100	120	1	100
Mg	mg/l	10	15	1	10	15	1	10	15	1	10	15	1	10	15	1	10	15	1	10
SiO <sub>2</sub>	mg/l	10	1		10	1		10	1		10	1		10	1		10	1		10
TOC	mgC/l	1,5	1		1,5	1		1,5	1		1,5	1		1,5	1		1,5	1		1,5
DOC	mgC/l	2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2	1		2
kleur	mg/l Pt	40	1		40	1		40	1		40	1		40	1		40	1		40
NO <sub>3</sub> -N	mgN/l	15	25	2	15	25	2	15	25	2	15	25	2	0	1		0	1		11,3
Cl	mg/l	150	1000	2	150	1000	2	150	1000	2	150	1000	2	75	1000	1	250	1000	1	150
Na	mg/l	100	600	2	100	600	2	100	600	2	100	600	2	50	600	1	200	600	1	150
K	mg/l	15	40	2	15	40	2	15	40	2	15	40	2	6,5	40	1	6,5	40	1	150
NH <sub>4</sub>	mg/l	0	2		0	2		0	2		0	2		2	1		2	1		0,2
Mn	µg/l	0	2		0	2		0	2		0	2		0,5	1		0,5	1		50
Fe	µg/l	0	2		0	2		0	2		0	2		4,4	1		4,4	1		200
<b>metalen</b>																				
As	µg/l	< norm		2	< norm			< norm			< norm			6	1		6	1		10
Cd	µg/l	0,4	0,6	2	0,4	0,6	2	0,4	0,6	2	0,5	0,6	2	< norm	170	2	< norm	170	2	5
Cu	µg/l	4	10	2	4	10	2	4	10	2	1,5	2		< norm			< norm			2000
Ni	µg/l	15	50	2	15	50	2	15	50	2	3	2		< norm			< norm			20
Pb	µg/l	3	12	2	3	12	2	3	12	2	5	2		< norm			< norm			10
Zn	µg/l	20	100	2	20	100	2	20	100	2	20	2		< norm			< norm			3000
Al	µg/l	15	200	2	15	200	2	15	200	2	15	200	2	15	200	2	15	200	2	200
<b>MTBE</b>																				
MTBE	µg/l	< norm			11,9	3		< norm			< norm			< norm			11,9	3		5-40
<b>BTEX</b>																				
Benzene	µg/l	< norm			0,1-0,2	1		< norm			< norm			< norm			0,1-0,2	1		1
Toluene	µg/l	< norm			0,5	13		< norm			< norm			< norm			0,5	13		1
Ethylbenzeen	µg/l	< norm			0,4	13		< norm			< norm			< norm			0,4	13		1
Xyleen	µg/l	< norm			0,7	13		< norm			< norm			< norm			0,7	13		1
<b>Boor</b>																				
Boor	µg/l	< norm			745	5		< norm			< norm			< norm			< norm			500
<b>Cyanide (totaal)</b>																				
Cyanide (totaal)	µg/l	< norm			1	1		< norm			< norm			< norm			1	1		50
<b>som PAK</b>																				
som PAK	µg/l	< norm			6	17		< norm			< norm			< norm			< norm	>400	7	50
<b>minerale olie</b>																				
minerale olie	µg/l				1	13											1	13		geen
<b>gechloroerde koolwaterstoffen</b>																				
Tetrachlooretheen (TeCE)	µg/l	5	1		< norm			5	1		5	1		5	1		< norm			10
Trichlooretheen (TCE, tri)	µg/l	120	53	5	< norm			120	53	5	120	53	5	120	53	5	< norm			10
cis-1,2 dichlooretheen	µg/l	> norm	1100	5	< norm			> norm	82	6	> norm	1100	5	> norm	82	6	> norm	82	6	< norm
Trichloormethaan (TCM)	µg/l	> norm	21	5	< norm			> norm	21	5	> norm	21	5	> norm	21	5	> norm	21	5	< norm
Tetrachloormethaan (TeCM)	µg/l	> norm	80	5	< norm			> norm	80	5	> norm	80	5	> norm	80	5	> norm	80	5	< norm
1,1,1-trichloorethaan (TCA)	µg/l	> norm	270	5	< norm			> norm	270	5	> norm	270	5	> norm	270	5	> norm	270	5	< norm
1,1 dichloorethaan	µg/l	> norm	2,2	6	< norm			> norm	2,2	6	> norm	2,2	6	> norm	2,2	6	> norm	2,2	6	< norm
1,2 dichloorethaan	µg/l	1,3	1		< norm			1,3	1		1,3	1		1,3	1		< norm			1
<b>dichlorobenzeen</b>																				
dichlorobenzeen	µg/l	0,2	1		< norm			< norm			< norm			2			< norm			1
<b>som gehal alifatische koolwaterstoffen</b>																				
som gehal alifatische koolwaterstoffen	µg/l	> norm	> norm		< norm			< norm	> norm		> norm	> norm		> norm	> norm		< norm	> norm		1
<b>som gehal monocyclische koolwaterstoffen</b>																				
som gehal monocyclische koolwaterstoffen	µg/l	< norm	> norm		< norm			< norm	> norm		< norm	> norm		> norm	> norm		< norm	> norm		1
<b>bestrijdingsmiddelen</b>																				
bromacil	µg/l	< norm			< norm			0,23-0,6	1,8		< norm			< norm			< norm			0,1
2,6-dichloorbenzamide (BAM)	µg/l	< norm			< norm			0,13-0,4	1,8,9		< norm			< norm			< norm			0,1
Amitrol	µg/l	< norm			< norm			0,11	8		< norm			< norm			< norm			0,1
mecoprop	µg/l	< norm			< norm			> norm	9		< norm			< norm			< norm			0,1
MCPA	µg/l	< norm			< norm			> norm	9		< norm			< norm			< norm			0,1
Bentazon	µg/l	< norm			< norm			0,2	1,9		< norm			< norm			< norm			0,1
2,4 D (2,4-dichloorfenoxyzijpzuur)	µg/l	< norm			< norm			> norm	9		< norm			< norm			< norm			0,1
Diuron	µg/l	< norm			< norm			> norm	9		< norm			0,6	14		< norm			0,1
isoproturon	µg/l	< norm			< norm			> norm	9		< norm			0,7	14		< norm			0,1
metoloxuron	µg/l	< norm			< norm			> norm	9		< norm			< norm			< norm			0,1
Linuron	µg/l	< norm			< norm			> norm	9		< norm			< norm			< norm			0,1
monolinuron	µg/l	< norm			< norm			> norm	9		< norm			< norm			< norm			0,1
Simazin	µg/l	< norm			< norm			> norm	9		< norm			< norm			< norm			0,1
Bentazon	µg/l	< norm			< norm			> norm	1,1	6	< norm			0,2	5	1	< norm			0,1
atrazin	µg/l	< norm			< norm			< norm			< norm			0,3	14		< norm			0,1
AMPA	µg/l	< norm			< norm			< norm			< norm			1,7	14		< norm			0,1
mecoprop	µg/l	< norm			< norm			< norm			< norm			< norm			< norm			0,1
glyfosaat	µg/l	< norm			< norm			< norm			< norm			0,3	14		< norm			0,1
<b>geneesmiddelen</b>																				
Ibuprofen	ng/l													120	12					geen
Carbamazepine	ng/l													500	12					geen
Diclofenac	ng/l													831	12					geen
Iopromide	ng/l													730	12					geen
<b>Micro-organismen</b>																				
Virussen		< norm			< norm			> norm	10,11		< norm			< norm			> norm	10,11		0
Bacterien		< norm			< norm			> norm	10,11		< norm			< norm			> norm	10,11		0

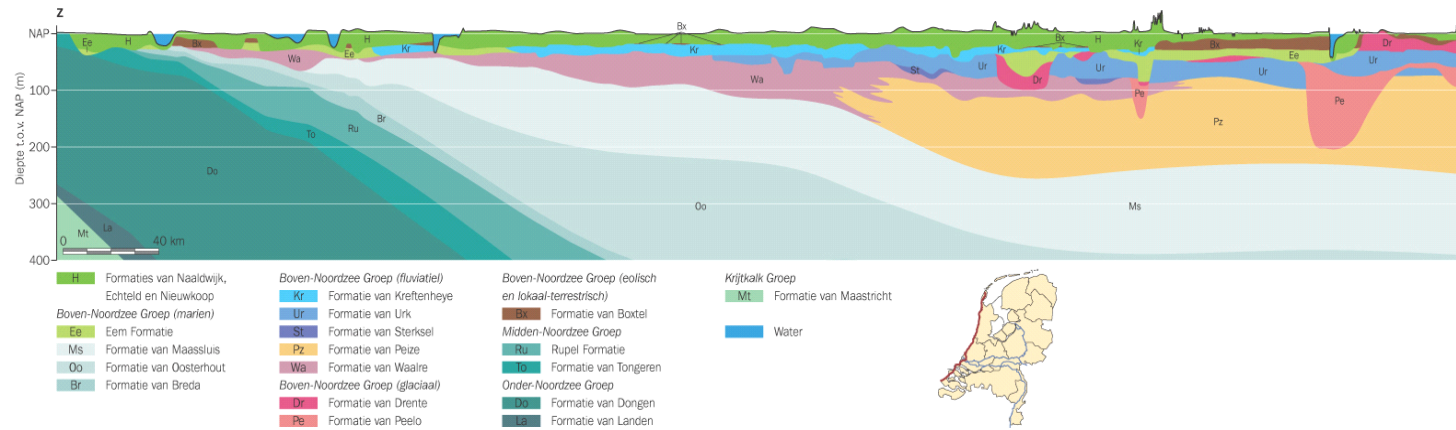


# V Geologie van Nederland

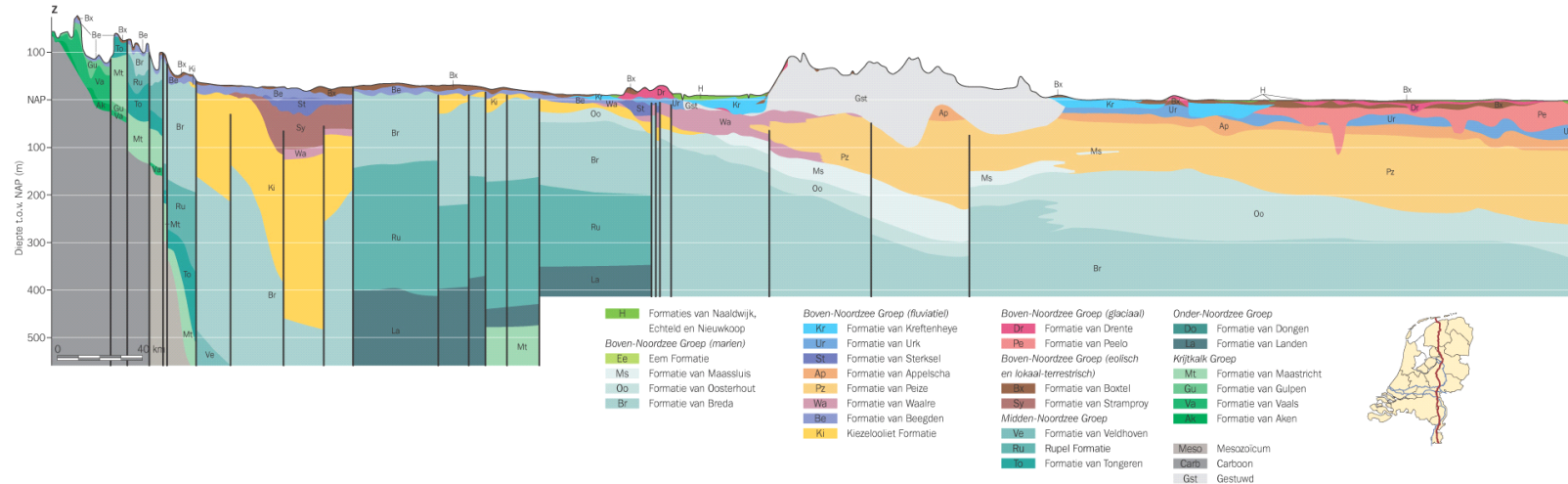
- Doorsneden
- Beschrijving pakketten
- Globale opbouw per provincie



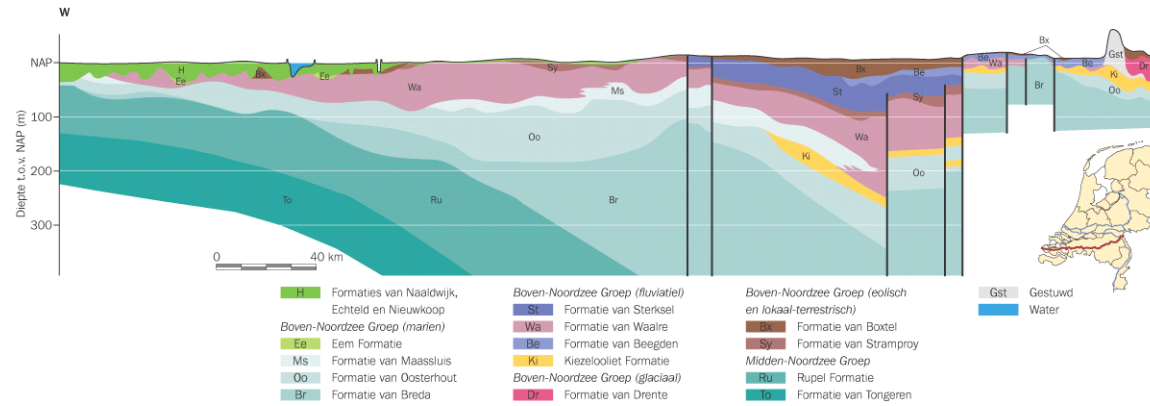
### Doorsnede A:



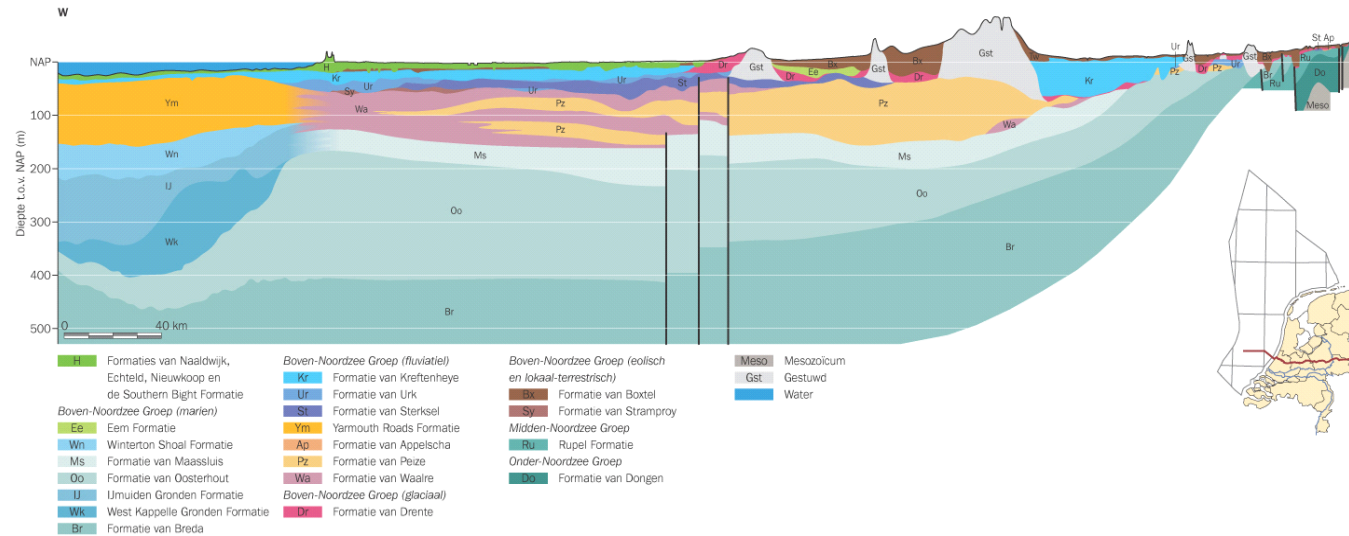
### Doorsnede B:



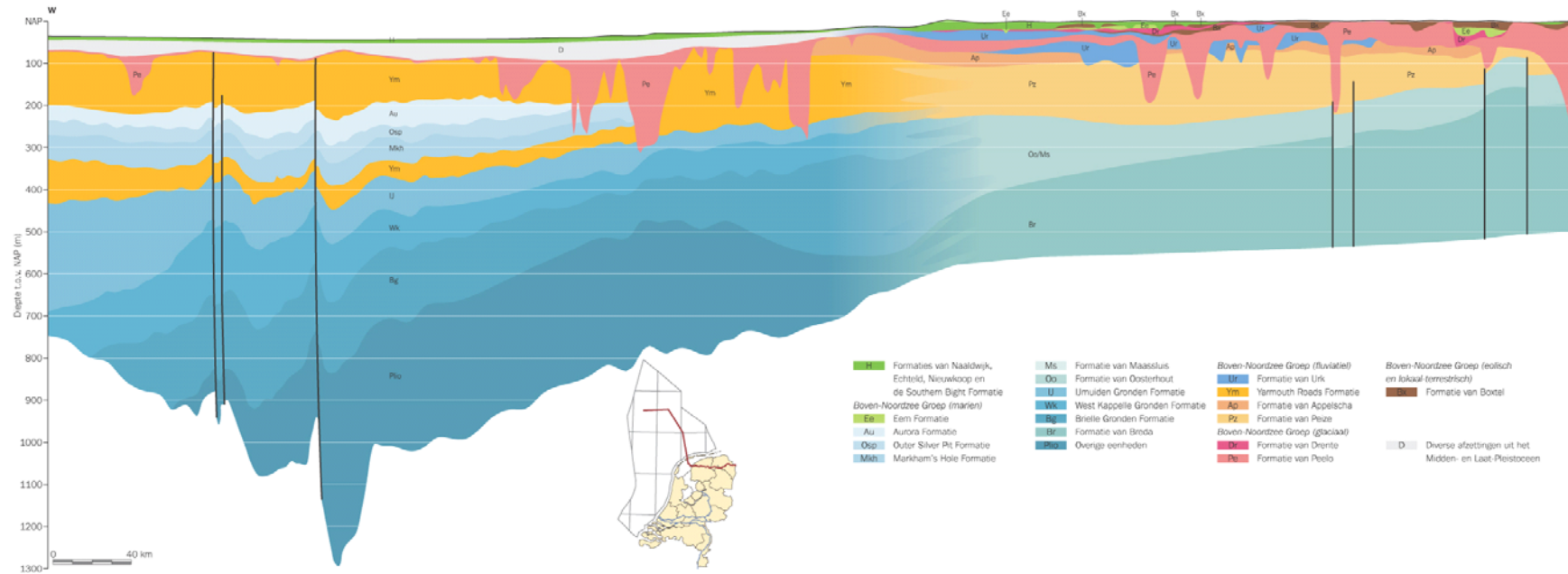
## Doorsnede C











## Doorsnede D













# Doorsnede E



I	II	II	V	V	II	II	X	X	II
Verbreiding	Formatie	Lithologie	Max. dikte (m)	Diepteligging bovenkant (m tov NAP)	Verbreiding	Formatie	Lithologie	Max. dikte (m)	Diepteligging bovenkant (m tov NAP)
 II V Echteld	V Klei, zwak siltig tot zandig, zand, zeer fijn tot uiterst grof, soms grindhoudend, kalkloos tot kalkhoudend	XVI 20	II +12 tot -15	 II	X Sterksel	X Zand, zeer fijn tot uiterst grof, en grind, plaatselijk kleilagen, deels kalkhoudend	XXI 70	II +75 tot -80	
 II V Kreftenheije	V Zand, matig fijn tot uiterst grof, grindhoudend en grind, plaatselijk kleilagen	XXVI >100	II +12 tot -65	 II	X Waalre	X Zand, zeer fijn tot uiterst grof, veel kleilagen, plaatselijk grindhoudend, deels kalkhoudend	XXXI 150	II +65 tot -250	
 II	V Zand, matig grof tot uiterst grof, zwak tot matig grindhoudend, plaatselijk	XXXVI 50	II +90 tot -65	 II	X Beegden	L Zand, matig grof tot uiterst grof en grind, plaatselijk kleilagen; aan de	XLI 55	II +130 tot -30	

V	Urk	kleilagen, kalkhoudend					oppervlakte dek van zwak zandige klei en leem												
II V	Appelscha	Zand, zeer grof tot uiterst grof, grindhoudend, kalkloos	XLVI 155	II +65 tot -125		X	Peize	L Zand, matig grof tot uiterst grof, plaatselijk grind, onderin kleilagen, bovenin lokaal stenen, kalkloos	LI >125	II +100 tot -250									
II	Verbreiding	V	Formatie	V	Lithologie	I	Max. dikte (m)	II	Diepteligging bovenkant (m tov NAP)	X	Verbreiding	X	Formatie	I	Lithologie	II	Max. dikte (m)	II	Diepteligging bovenkant (m tov NAP)
V VI	Kiezeloöliet	Zand, matig fijn tot uiterst grof, lichtgrijs tot wit; donkergrijs tot bruine klei met ingeschakelde veenlagen	LXVIII >300	X +225 tot -280		X	Eem	II Zand, uiterst fijn tot matig grof en klei, kalk- en schelphoudend	LXXIII 45	V +5.5 tot -20									

 <p>V VI Drente</p>	<p>II Klei, zandig tot siltig met grind en stenen (grondmorene) II Zand, uiterst fijn tot uiterst grof (fluvioglaaciaal) X Klei, zwak siltig (glaciolacustrien)</p>	<p>LXXX &lt;1 tot &gt;100</p>	<p>II +95 tot -110</p>	 <p>II Maassluis</p>	<p>V Zand, matig fijn tot zeer grof, plaatselijk met kleilagen, grindhoudend, kalken schelphoudend</p>	<p>V &gt;100</p>	<p>VI +12 tot -250</p>
 <p>II II Peelo</p>	<p>X Zand, uiterst fijn tot uiterst grof (fluvioglaaciaal) C Klei, zwak siltig tot zandig en hard (glaciolacustrien, glaciomarien)</p>	<p>XCI &lt;1 tot &lt;500</p>	<p>II 15 tot 50-zeebodem</p>	 <p>V Oosterhout</p>	<p>V Zand matig fijn tot matig grof, kalkrijk, sterk schelphoudend, plaatselijk zandige klei</p>	<p>VI &gt;450</p>	<p>II +10 tot -460</p>

 II X Naaldwijk	C Zand, zeer fijn tot matig grof en klei, kalk- en schelphou- dend	CI 90	II +50 tot - 55	 II V Breda	V Zand, zeer fijn tot matig grof, glauconiet houdend, sterk zandige tot matig siltige klei, plaatselijk schelphou- dend en glimmerrij- k	VI >700	II +145 tot - 835		
II Verbreiding	X Formatie	X Lithologie	CI Max. dikte (m)	II Diepteligging bovenkant (m tov NAP)	V Verbreiding	V Formatie	VI Lithologie	II Max. dikte (m)	II Diepteligging bovenkant (m tov NAP)
 X CI Nieuwkoop	II Veen, mineraalar- m tot sterk kleiig	CXXXIII >10	V +34 tot - 25	 V VI Stramproy	II Zand uiterst fijn tot zeer grof, klei- en veenlagen, humeuze bodems	CXXVIII >100	X +35 tot -90		
 X CI Boxtel	II Zand, uiterst fijn tot zeer grof, klei en leem, plaatselijk veen	CXXXIII 35	V +225 tot -50	 V VI Woudenberg	II Veen mineraalar- m soms kleihouden- d	CXXXVIII 3	X +1 tot - 20		

## Geologie in Limburg

Geologie	hydrogeologie	Doorlatendheid	omschrijving
Formatie van Boxtel	deklaag	Matig doorlatend	Afwisseling zandige en langs Maas kleiige afzettingen, veen en leemlaagjes
<i>Formatie van Beegden / Sterksel</i>	WVP 1	Goed doorlatend	Rivierafzettingen grove zanden, grinden, lokaal kleilagen
<i>Formatie van Stramproy</i>	WVP 1	Matig tot goed doorlatend	Fijne tot grove zanden, klei en veenlagen
Formatie van Waalre	WVP 2	Ondoorlatend en goed doorlatend	Klei van Tegelen, daaronder grove zanden van Tegelen, daaronder Belfeld klei, daaronder grove Belfeld zanden,
<i>Kiezeloöliet Formatie</i>	WVP 3	Goed doorlatend en ondoorlatend	Reuver klei, met inschakelingen van fijn zand, daaronder Schinveld zanden van matig fijn tot zeer grof, daaronder Brunssum klei met bruinkoolinschakelingen, daaronder matig grove Waubach zanden
Formatie van Breda	WVP 4	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen matig fijn zand

## Geologie in het zuiden van Nederland (Noord Brabant)

Geologie	hydrogeologie	Doorlatendheid	omschrijving
Formatie van Boxtel	deklaag	Matig doorlatend	Afwisseling zandige en langs Maas kleiige afzettingen, veen en leemlaagjes
<i>Formatie van Beegden / Sterksel</i>	WVP 1	Goed doorlatend	Rivierafzettingen grove zanden, grinden, lokaal kleilagen
<i>Formatie van Stramproy</i>	WVP 1	Matig tot goed doorlatend	Fijne tot grove zanden, klei en veenlagen
<i>Formatie van Waalre</i>	WVP 1	Ondoorlatend en goed doorlatend	Klei van Tegelen, daaronder grove zanden van Tegelen, daaronder Belfeld klei, daaronder grove Belfeld zanden,
<i>Formatie van Maassluis</i>	WVP 2	Matig tot goed doorlatend maar ook ondoorlatend	Mariene fijne zanden met kleilenzen
<i>Kiezeloöliet Formatie</i>	WVP 2	Goed doorlatend en ondoorlatend	Reuver klei, met inschakelingen van fijn zand, daaronder Schinveld zanden van matig fijn tot zeer grof, daaronder Brunssum klei met bruinkoolinschakelingen, daaronder matig grove Waubach zanden
<i>Formatie van Oosterhout</i>	WVP 2	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen met fijn tot matig grove zanden van Merksem, daaronder Kallo kleilaag daaronder schelphoudende fijne zanden en schelpgruis van Kattendijk
Formatie van Breda	WVP 3	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen matig fijn zand

## Geologie in het zuidwesten van Nederland (Zeeland)

Geologie	hydrogeologie	Doorlatendheid	omschrijving
Formatie van Naaldwijk	deklaag	Matig doorlatend	zeer fijn tot matig fijn kleiig zand met veel kleilaagjes
Formatie van Boxtel / Eem	WVP 1	Goed doorlatend tot matig doorlatend	Afwisseling fijnzandige en kleiige afzettingen en veenlagen
<i>Formatie van Waalre</i>	WVP 2	Ondoorlatend en goed doorlatend	Klei van Tegelen, daaronder grove zanden van Tegelen, daaronder Belfeld klei met veen en bruinkoollagen, daaronder grove zanden,
Formatie van Maassluis	Scheidende laag	Matig doorlatend	kleipakket
<i>Formatie van Oosterhout</i>	WVP 3	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen met fijn tot matig grove zanden van Merksem, daaronder Kallo kleilaag daaronder schelphoudende fijne zanden en schelpgruis van Kattendijk



<i>Formatie van Breda</i>	WVP 3	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen matig fijn zand
<i>Formatie van Rupel</i>		Slecht doorlatend	Klei van Boom en Nucla Klei, daaronder zanden van Berg

### Geologie in het westelijk kustgebied van Nederland (Noord- en Zuid Holland)

Geologie	hydrogeologie	Doorlatendheid	omschrijving
<i>Formatie van Naaldwijk / Formatie van Nieuwkoop / Formatie van Echteld</i>	Deklaag/WVP 1	Matig tot goed doorlatend, maar ook ondoorlatend	zeer fijn tot matig grof zand en klei, veen en klei
<i>Formatie van Boxtel</i>	WVP 2	Goed doorlatend tot matig doorlatend	Uiterst fijn tot zeer grof zand, , klei en leem, plaatselijk veen
<i>Formatie van Eem / Kreftenheije</i>	WVP 2	Goed doorlatend	Matig grof tot grove grindhoudende zanden afwisselend klei en veenlagen
<i>Formatie van Urk</i>	WVP 2	Goed doorlatend	Bovenin kleien en kleihoudende zanden, daaronder soms grindhoudende zanden
<i>Formatie van Sterksel</i>	WVP 2	Goed doorlatend	Rivierafzettingen grove zanden, grinden, lokaal kleilagen
<i>Formatie van Stramproy</i>	WVP 3	matig tot goed doorlatend maar ook ondoorlatend	Fijne tot grove zanden, klei en veenlagen
<i>Formatie van Waalre / Peize</i>	WVP 3	Ondoorlatend en goed doorlatend	Klei van Tegelen, daaronder grove zanden van Tegelen, daaronder Belfeld klei, daaronder grove Belfeld zanden, zanden uit de formatie van Peize komen in West Nederland vertand in de Formatie van Waalre voor
<i>Formatie van Maassluis</i>	WVP 4	Matig tot goed doorlatend maar ook ondoorlatend	Mariene fijne zanden met kleilenzen
<i>Formatie van Oosterhout</i>	WVP 4	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen met fijn tot matig grove zanden van Merksem, daaronder Kallo kleilaag daaronder schelphoudende fijne zanden en schelpgruis van Kattendijk
<i>Formatie van Breda</i>	WVP 4	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen matig fijn zand

### Geologie van het oosten van Nederland (Gelderland / Overijssel)

Geologie	hydrogeologie	Doorlatendheid	omschrijving
<i>Formatie van Boxtel / Woudenberg</i>	deklaag	Matig tot goed doorlatend	Afwisseling fijnzandige en kleiige afzettingen met veen en leemlagen, veen en gyttja
<i>Formatie van Kreftenheye / Eem</i>	WVP 1 bij rivieren	Goed doorlatend	Matig tot grove grindhoudende zanden afwisselend klei en veenlagen
<i>Formatie van Drenthe</i>	Scheidende laag	Slecht doorlatend, goed doorlatend	Dikke kleipakketten, keileem, afwisselende zand en veenlagen. (grondmorene, glaciolacustrien, glaciomarien), Bij fluvioglaciale afzettingen tevens uiterst fijne tot uiterst grove zanden
<i>Formatie van Urk</i>	WVP 1	Goed doorlatend	Bovenin kleien en kleihoudende zanden daaronder grove soms grindhoudende zanden
<i>Formatie van Peize</i>	WVP 2	Goed doorlatend maar ook ondoorlatend	Fluviatiele zanden met kleilenzen
<i>Formatie van Oosterhout</i>	WVP 2	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen met fijn tot matig grove zanden van Merksem, daaronder Kallo

			kleilaag daaronder schelphoudende fijne zanden en schelpgruis van Kattendijk
Formatie van Breda	WVP 3	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen matig fijn zand

### Geologie van het noorden van Nederland (Friesland / Groningen)

Geologie	hydrogeologie	Doorlatendheid	omschrijving
Formatie van Naaldwijk / Formatie van Nieuwkoop / Formatie van Echteld	Deklaag	Matig tot goed doorlatend, maar ook ondoorlatend	zeer fijn tot matig grof zand en klei, veen en klei
Formatie van Boxtel	deklaag	Matig tot goed doorlatend	Afwisseling fijnzandige en kleiige afzettingen met veen en leemlagen, veen en gyttja
Eem Formatie	deklaag	Goed doorlatend	Matig tot grove grindhoudende zanden afwisselend klei en veenlagen
Formatie van Drenthe	Scheidende laag	Slecht doorlatend	Dikke kleipakketten, keileem, afwisselende zand en veenlagen. (grondmorene, glaciolacustrien, glaciomarien)
Formatie van Peelo	Scheidende laag	Slecht doorlatend	Dikke kleipakketten, onderin meer zanden
<i>Formatie van Appelscha</i>	WVP 1	Goed doorlatend	Matig grof tot uiterst grof zand
<i>Formatie van Peize</i>	WVP 1	Goed doorlatend maar ook ondoorlatend	Fluviatiele zanden met vooral onderin kleilagen
<i>Formatie van Oosterhout / Maassluis</i>	WVP 2	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen met fijn tot matig grove zanden van Merksem, daaronder Kallo kleilaag daaronder schelphoudende fijne zanden en schelpgruis van Kattendijk
Formatie van Breda	WVP 2	Matig tot goed doorlatend	Mariene afzettingen matig fijn zand