

BTO 2017.020 | Mei 2017

BTO rapport

Toepasbaarheid van
Duits klimaatonderzoek
voor de Nederlandse
watersector

BTO

Toepasbaarheid van Duits klimaatonderzoek voor de Nederlandse watersector

BTO 2017.020 | Mei 2017

Opdrachtnummer

400554-142

Projectmanager

Edu Dorland

Opdrachtgever

BTO Thematisch Onderzoek: Klimaatbestendige watersector

Kwaliteitsborger

Flip Witte

Auteurs

Arnaut van Loon, Edu Dorland, Niels Hartog, Gijsbert Cirkel, Ruud Bartholomeus, Martin van der Schans, Martin Bloemendaal, Nikki van Bel en Flip Witte

Verzonden aan

Themagroep Klimaatbestendige Watersector

Jaar van publicatie
2017

Meer informatie
Dr. Ir. Arnaut van Loon
T 030 606 9550
E Arnaut.van.Loon@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



Watercycle
Research
Institute

BTO 2017.020 | April 2017 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd, 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.

BTO Managementsamenvatting

Duitse KLIMZUG-programma met klimaatonderzoek Nederlandse drinkwatersector brengt onderbelichte onderwerpen in beeld

Auteurs: dr.ir. Arnaut van Loon, dr. Edu Dorland, dr. Niels Hartog, dr.ir. Gijsbert Cirkel, dr.ir. Ruud Bartholomeus, ir. Martin van der Schans, ir. Martin Bloemendaal, dr.ir. Nikki van Bel en prof.dr.ir. Flip Witte

Vergelijking van de uitkomsten van het Duitse onderzoeksprogramma KLIMZUG met de onderzoeksagenda van de BTO themagroep Klimaatbestendige Watersector heeft geresulteerd in het vaststellen van onderbelichte thema's in collectief drinkwateronderzoek. Doel van KLIMZUG (2008-2014) was de ontwikkeling van hoogwaardige kennis op het gebied van klimaatverandering, waterbeheer en de ruimtelijke inrichting van stedelijk en landelijk gebied. Vanwege de overeenkomsten met doelstellingen van het BTO-klimaatonderzoek (sinds 2005) en de onafhankelijke positie van KLIMZUG, konden opbrengsten van het programma worden gebruikt als referentie voor het evalueren van de onderzoeksagenda van het BTO. Hierbij kwamen onderbelichte onderzoeksonderwerpen naar voren: (1) de zuiverende werking van bodempassage, (2) ruwwaterprognoses op basis van eenvoudige modelconcepten, (3) meten en modelleren van grondwateraanvulling, en (4) toekomstbestendig ontwerpen van drinkwaterzuiveringen. Wij adviseren over deze onderwerpen kennis uit te wisselen met de Duitse collega's en ze mee te nemen in de onderzoeksprogramma's van BTO-drinkwater en WiCE.

Belang: signaleren van blinde vlekken

Gedurende de periode 2005-2017 zijn binnen het BTO diverse klimaatonderzoeksprojecten uitgevoerd. Het overkoepelende doel hiervan was inzicht te krijgen in de risico's en kansen van klimaatverandering en de mogelijkheden voor klimaatadaptatie. Vanaf 2012 vond dit onderzoek plaats onder de vlag van de Themagroep Klimaatbestendige Watersector, met een drievoudige missie:

- kennisvergaring en prioritering van onderzoeksvragen;
- ontwikkeling van instrumenten voor het beschrijven van risico's van klimaatverandering en kwantitatieve effecten van maatregelen;
- in beeld brengen van de adaptatiemogelijkheden voor waterbedrijven.

Om bij te dragen aan deze missie beschrijft dit rapport resultaten uit het Duitse onderzoeksprogramma KLIMZUG (2008-2014) die kunnen worden benut om de BTO-programmering te optimaliseren, i.e. onderbelichte onderzoeksonderwerpen te identificeren.

Aanpak: inventariseren van de belangrijkste opbrengsten

Uit de zeven regio-gebonden deelprogramma's van KLIMZUG zijn een zeer groot aantal Duitstalige rapporten voortgekomen. Met een quickscan is de relevantie van deze projecten beoordeeld. In samenspraak met de Themagroep Klimaatbestendige Watersector zijn hieruit de 20 meest relevante deelprojecten geselecteerd. Vervolgens zijn voor deze deelprojecten de doelstellingen en bevindingen samengevat, is de relevantie voor de Nederlandse drinkwatersector geschat en is aangegeven hoe de projecten en de opbrengsten van KLIMZUG zich verhouden tot de onderzoeksagenda van de Themagroep. Tot slot is gekeken welke thema's in het collectieve onderzoeksprogramma van de Nederlandse drinkwaterbedrijven meer aandacht nodig hebben.

Resultaten: onderbelichte thema's in het collectieve drinkwateronderzoek

Op basis van de inventarisatie concluderen wij dat het Duitse programma op de volgende onderwerpen meerwaarde heeft :

- **Versterken van de zuiverende werking door bodempassage.** Klimaatverandering kan leiden tot structuurbederf van de bodem en tot tijdelijk kortere reistijden van oevergrondwater door hogere rivierafvoeren. Onderzoek naar maatregelen ter versterking van de zuiverende werking van bodempassage kan bijdragen aan het beperken of afvlakken van schommelingen in de belasting van drinkwaterzuiveringen.
- **Ruwwaterprognoses op basis van eenvoudige modelconcepten.** Met zulke modellen van de ruwwatersamenstelling kunnen kwaliteitsproblemen worden voorspeld voordat ze daadwerkelijk optreden, de oorzaken daaraan worden geanalyseerd en kan worden beoordeeld welke maatregelen effectief zijn om problemen te voorkomen. Een stroombaanbenadering zoals in KLIMZUG toegepast biedt een pragmatische oplossing om met de complexiteit van chemisch transport van verontreinigingen om te gaan.
- **Metten en modelleren van grondwateraanvulling.** Binnen het KLIMZUG-programma zijn concepten toegepast die mogelijk kunnen helpen bij het kwantificeren van grondwateraanvulling als modelparameter. Nederlandse gangbare methodes geven nog onvoldoende zicht op omvang en dynamiek van grondwateraanvulling, die sterk bepalend zijn voor grondwaterstanden, reistijden en de ligging van intrekgebieden.
- **Toekomstbestendig ontwerpen van drinkwaterzuiveringen**
Modulaire drinkwaterzuivering zorgt ervoor dat onvoorziene ontwikkelingen binnen de afschrijftermijn van de zuivering flexibeler het hoofd kunnen worden geboden. Binnen KLIMZUG is daar ervaring mee opgedaan. Ook de Nederlandse drinkwatersector heeft steeds meer belangstelling om in te kunnen spelen op onzekerheden in de toekomstige ontwikkeling van de watervraag en ruwwaterkwaliteit.

Implementatie: kennisuitwisseling en programmering onderzoek

Voor de onderzoeksagendering van het BTO op het gebied van klimaatadaptatie kan KLIMZUG als referentiepunt worden gebruikt. De overlap van beide programma's bevestigt de adequate invulling van het lopende collectieve klimaatonderzoek van de drinkwatersector. Wij verwachten dat de Duitse collega's de kennis en ervaring die in Klimzug is gedocumenteerd inmiddels verder hebben ontwikkeld. Daarom adviseren wij op de eerder genoemde onderwerpen kennisuitwisseling met de Duitse collega's te organiseren. Daarnaast is het raadzaam om in de onderzoeksprogramma's van BTO-drinkwater en WiCE aandacht te geven voor deze onderwerpen.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in rapport *Toepasbaarheid van Duits klimaatonderzoek voor de Nederlandse watersector* (BTO-2017.020).

Inhoud

Inhoud	3
1 Inleiding	5
1.1 Het Duitse klimaatprogramma 'KLIMZUG'	5
1.2 Klimzug <i>versus</i> BTO	5
1.3 Doelstelling en inkadering	6
1.4 Aanpak en opbouw van het rapport	7
2 Deelprogramma DYNAKLIM	8
2.1 Overzicht	8
2.2 Uitdagingen van de invloed van klimaatverandering op de drinkwatervoorziening	8
2.3 Aanpassingsmogelijkheden voor de drinkwaterwinning en bereiding	12
2.4 Gevolgen van klimaatverandering op grondwaterkwaliteit (nitraat, sulfaat, chloride)	15
2.5 Bescherming van de drinkwaterkwaliteit in het distributienet bij veranderende bodemtemperaturen	17
2.6 Prognose regionale grondwateraanvulling en afvoer bij klimaatverandering	19
2.7 Ontwikkeling van een dynamisch model voor de berekening van de grondwateraanvulling bij klimaatverandering	21
2.8 Gevolgen van klimaatverandering op de water- en stoffenbalans van de bodem in het stroomgebied van de Emscher	23
2.9 Gevolgen van klimaatverandering en hergebruik van afvalwater voor waterbehandeling	24
2.10 Adaptatie strategie voor vermindering van de hittestress in stedelijk gebied	26
2.11 Ondergrondse warmte-eilanden in de stad – casus Oberhausen	28
3 Deelprogramma INKA BB	30
3.1 Overzicht	30
3.2 Klimaataangepaste ruimtelijke ordening in de regio Uckermark-Barnim en Lausitz-Spreewald	31
4 Deelprogramma REGKLAM	33
4.1 Effecten van klimaatverandering op grondwaterbeheer en -beschikbaarheid in stedelijk gebied (Dresden)	33
4.2 Strategieën voor de optimalisatie van de productie van drinkwater uit rivierwater en oeverfiltraat bij variabele ruwwaterkwaliteit	35

4.3	Klimaatadaptatie door integrale landschapsplanning	37
5	Deelprogramma KLIMZUG-NORD	39
5.1	Overzicht	39
5.2	Strategieën voor klimaatbestendig landgebruik in cultuurlandschappen – casus Hamburg-regio	39
6	Deelprogramma KLIMZUG-Nordhessen	43
6.1	Adaptatiestrategieën voor beheersing van neerslag-afvoerprocessen	43
7	Discussie en conclusies	45
7.1	Algemene indruk van het Klimzug onderzoeksprogramma	45
7.2	Aanbevelingen voor onderzoeksagenda	46
7.3	Conclusies	48
	Bijlage I Overzicht geselecteerde gebieden per regionaal programma en per thema	49

1 Inleiding

1.1 Het Duitse klimaatprogramma 'KLIMZUG'

Tussen 2008 en 2014 is in Duitsland het onderzoeksprogramma Klimzug (www.klimzug.de) uitgevoerd. Het doel van dit onderzoeksprogramma is het ontwikkelen van hoogwaardige kennis op het gebied van klimaatverandering, waterbeheer en de ruimtelijke inrichting van stedelijk en landelijk gebied. Naast een studie van de kwetsbaarheid voor klimaatverandering, is er veel aandacht besteed aan het ontwikkelen van adaptieve maatregelen en de uitvoering daarvan. De mogelijke maatregelen zijn vastgelegd in een zgn. roadmap voor regionale adaptatie. Het totale budget van het Klimzug programma was 80 miljoen euro.

Het Klimzug programma is uitgevoerd in zeven regio's in Duitsland, zowel in stedelijk gebied (o.a. Berlijn, Hamburg, Dresden) als in landelijk gebied. Uit een eerste analyse van het Klimzug programma is gebleken dat de resultaten van drie regio's zeer relevant lijken voor het BTO thema klimaatbestendige watersector. Deze regio's zijn Dynaklim (Emsch-Lippe stroomgebied), Inka BB (Regio Berlijn) en Regklam (regio Dresden). Twee andere regio's (Klimzug Nord en Klimzug Nordhesen) lijken redelijk relevant en twee regio's (Nortwest 2050 en Radost) wat minder relevant (Doelstelling en inkadering

Het doel van dit rapport is het signaleren van blinde vlekken in de kennis en kennisagenda van de Nederlandse watersector op het gebied van (1) nieuwe maatschappelijke ontwikkelingen, en (2) strategieën en maatregelen voor klimaatadaptatie. Inzicht in deze kennisleemten biedt mogelijk aanknopingspunten voor het verder optimaliseren van de bedrijfsvoering van drinkwaterbedrijven (risicobeheersing), het versterken van de rol van drinkwaterbedrijven als maatschappelijk partner en het programmeren van onderzoek in het BTO of daarbuiten. Mogelijke kennisleemten zijn gesignaleerd door het onderzoek dat in het kader van de Themagroep Duurzame Bronnen en Watersystemen sinds 2012 is uitgevoerd, te vergelijken met de rapporten die onder de vlag van Klimzug openbaar zijn gemaakt.

Tabel 1).

1.2 Klimzug versus BTO

Gedurende de periode 2005-2017 zijn binnen het BTO diverse klimaatonderzoeksprojecten uitgevoerd. Het overkoepelende doel van deze onderzoeken was inzicht te krijgen in de risico's en kansen die klimaatverandering met zich mee brengt voor de Nederlandse drinkwaterbedrijven en de mogelijkheden voor klimaatadaptatie. Vanaf 2012 vond dit onderzoek plaats onder de vlag van de Themagroep Klimaatbestendige Watersector. De onderzoeksagenda van deze themagroep bevat onderwerpen die op hoofdlijnen overeenkomen met die van Klimzug, namelijk

1. Chemische kwaliteit van oppervlaktewater bij veranderd klimaat en emissies;
2. Fysieke kwetsbaarheid van het leidingnet;
3. Biologische stabiliteit van het drinkwater in het distributienet bij klimaatverandering;
4. Verdamping door vegetatie, grondwateraanvulling en grondwaterkwaliteit
5. Drinkwaterverbruik, waaronder piekfactoren;

6. Impacts van klimaatverandering op de landbouw en afgeleide gevolgen voor waterkwaliteit en -kwantiteit;
7. Microbiologische kwaliteit van oppervlaktewater, inclusief impacts voor waterzuivering.

Een belangrijk verschil tussen beide onderzoeksprogramma's is de doelgroep: het BTO is gericht op het ondersteunen van de drinkwatersector bij het maken van keuzes op strategisch en operationeel niveau. Klimzug daarentegen, is ingericht op het ondersteunen van regionale overheden bij het ontwikkelen van adaptatiestrategieën. De rapporten die onder de vlag van het Klimzug-programma zijn uitgebracht zijn hierdoor geschreven vanuit een andere context, namelijk regionale klimaatadaptatie binnen Duitse regio's. Desondanks kan het Klimzug-programma kennis en informatie hebben opgeleverd die bij kan dragen aan de missie van de Themagroep Klimaatbestendige Watersector. Deze missie bestaat uit

1. Kennisvergaring en prioritering van onderzoeksvragen;
2. Ontwikkelen van tools en instrumenten om risico's van klimaatverandering en effecten van maatregelen kwantitatief te beschrijven;
3. In beeld brengen van de adaptatiemogelijkheden voor de drinkwaterbedrijven.

1.3 Doelstelling en inkadering

Het doel van dit rapport is het signaleren van blinde vlekken in de kennis en kennisagenda van de Nederlandse watersector op het gebied van (1) nieuwe maatschappelijke ontwikkelingen, en (2) strategieën en maatregelen voor klimaatadaptatie. Inzicht in deze kennisleemten biedt mogelijk aanknopingspunten voor het verder optimaliseren van de bedrijfsvoering van drinkwaterbedrijven (risicobeheersing), het versterken van de rol van drinkwaterbedrijven als maatschappelijk partner en het programmeren van onderzoek in het BTO of daarbuiten. Mogelijke kennisleemten zijn gesignaleerd door het onderzoek dat in het kader van de Themagroep Duurzame Bronnen en Watersystemen sinds 2012 is uitgevoerd, te vergelijken met de rapporten die onder de vlag van Klimzug openbaar zijn gemaakt.

TABEL 1 OVERZICHT VAN HET KLIMZUG PROGRAMMA EN BELANG VOOR BTO THEMA KLIMAATBESTENDIGE WATERSECTOR.

Deelprogramma	Regio	Doelstelling	Belang
Dynaklim	Emsch-Lippe stroomgebied	Onderzoeken van de potentiële gevolgen op de regionale waterbalans en het identificeren van adaptatiemogelijkheden voor bevolking, economie en milieu	+++
Inka BB	Regio Berlijn	Ontwikkelen van innovatieve methodes voor klimaatadaptatie voor risicobeheersing en het benutten van kansen voor landgebruik, waterbeheer en volksgezondheid.	+++
Regklam	Regio Dresden	Voorzien in mogelijkheden voor klimaatadaptatie voor (1) de stedelijke omgeving, (2) infrastructuur voor drink- en afvalwater, en (3) stedelijk en ruraal landgebruik.	+++
Klimzug Nord	Regio Hamburg	Ontwikkelen van strategieën voor klimaatadaptatie voor de Hamburg-regio, met specifieke aandacht voor het beheer van het Elbe estuarium, integrale ruimtelijke ontwikkeling en natuurbeheer en -beleid.	++

Klimzug Nordhessen	Nordhessen	(1) Identificeren van kwetsbaarheden van natuurlijke hulpbronnen, transport, toerisme, educatie, gezondheidszorg en energie, in het landelijk en stedelijk gebied. (2) Ontwikkelen van duurzame oplossingen voor regionale bestuurders en belanghebbenden.	++
Northwest 2050	Regio Bremen	Het vaststellen van de kwetsbaarheid voor klimaatverandering van de voedselindustrie, energieproductie en -distributie en havenbeheer	+
Radost	Baltische Zee kust	Het ontwikkelen van adaptatie strategieën voor de Duitse Baltische zee regio, in dialoog met wetenschap, industrie, overheid en de burgermaatschappij.	+

1.4 Aanpak en opbouw van het rapport

Het KLIMZUG programma heeft een zeer groot aantal rapporten opgeleverd, verspreid over alle (sub)projecten van de eerder genoemde zeven regio's. Middels een quick-scan is de relevantie van deze projecten beoordeeld (Bijlage I). In de regionale programma's 'Rad-Ost' en 'Northwest 2050' werden geen projecten geselecteerd i.v.m. gebrek aan relevantie. De relevantste projecten uit de overige vijf regio's (35 projecten in totaal) zijn op deze manier bijeengebracht.

In samenspraak met de themagroep is een prioritering aangebracht om het aantal geselecteerde projecten terug te brengen tot ca. 20. Vier waterbedrijven hebben hiervoor de projecten gescoord op prioriteit. Acht projecten werden niet geprioriteerd en zijn afgefallen. Projecten die door drie of vier bedrijven werden geprioriteerd (acht projecten) zijn geselecteerd. De overige 12 projecten die eenmaal of tweemaal geprioriteerd werden, zijn geselecteerd op basis van hun onderwerp en thema-indeling. Deze 12 projecten zijn door inhoudelijk deskundigen nader bekeken en beoordeeld op relevantie voor de Nederlandse (drink)watersector. In dit rapport worden de doelstellingen en bevindingen uit deze 12 Klimzug-projecten samengevat. Voor ieder project wordt, indien relevant, tevens aangegeven (1) de relevantie voor de Nederlandse drinkwatersector, en (2) hoe de thematiek en opbrengsten van het Klimzug-project zich verhouden tot de onderzoeksagenda van de Themagroep Klimaatbestendige Watersector.

De rapporten worden behandeld volgens de structuur van het Klimzug-programma. Dit betekent dat de Klimzug-rapporten niet naar thematiek zijn ingedeeld, maar naar het deelprogramma waarbinnen ze zijn verschenen. Achtereenvolgens komen aan de orde het deelprogramma DYNACLIM (Hoofdstuk 2), INKA BB (Hoofdstuk 3), KLIMZUG-NOORD (Hoofdstuk 4) en KLIMZUG-Nordhesen (Hoofdstuk 5), en REGKLAM (Hoofdstuk 6). Ten slotte bevat Hoofdstuk 7 de discussie, conclusies en aanbevelingen.

2 Deelprogramma DYNAKLIM

2.1 Overzicht

Het deelprogramma DYNAKLIM had als doel het verbeteren van het adaptief- en innovierend vermogen van het projectgebied ten behoeve van een proactieve en toekomstgerichte ontwikkeling van het stedelijk gebied. Van dit deelprogramma zijn negen projecten geselecteerd die hieronder kort besproken worden.

2.2 Uitdagingen van de invloed van klimaatverandering op de drinkwatervoorziening

2.2.1 Bron

Rohn, A. & H.-J. Mälzer, 2010. Herausforderungen der Klimawandelauswirkungen für die TW-Versorgung. Dynaklim - Publikation Nr. 3.

2.2.2 Doel

Het doel van dit project is om op basis van literatuur- en internetonderzoek inzicht te verkrijgen in alle facetten van klimaatverandering die van invloed kunnen zijn op de drinkwatervoorziening in Duitsland.

2.2.3 Bevindingen

Effecten van klimaatverandering

Klimaatverandering zal in Duitsland, net als in Nederland, leiden tot langere en frequenter voorkomende droge en warme zomerperioden. Daarom wordt verwacht dat pieken in waterverbruik door verschillende gebruikers langer zullen duren, met als gevolg een toename van het verschil tussen wateraanbod en watervraag. Hierdoor zal de concurrentie tussen drinkwater, en water voor landbouw en industrie toenemen. Of dit tot knelpunten in de drinkwatervoorziening zal leiden, is afhankelijk van lokale factoren.

Met het grilliger wordende weer, zal ook de grondwateraanvulling in de toekomst aan grotere seizoenale fluctuaties onderhevig zijn. Dit heeft zowel gevolgen voor de hoeveelheid winbaar grondwater, als voor de kwaliteit van grondwatervoorraden. Zo kan tijdelijke uitdroging van de bodem negatieve effecten hebben op de filterwerking van de bodem, en kan de nitraatproblematiek lokaal verergeren. De grondwaterkwaliteit kan tevens negatief beïnvloed worden door de mobilisatie van verontreinigingen uit sediment en bodem na overstromingen.

Door het grilliger weer, zullen ook grotere schommelingen in oppervlaktewaterstanden en afvoeren optreden. Hierdoor zullen in droogteperioden, met een hoge watervraag, als gevolg van verminderde verdunning van verontreinigingsbronnen tijdelijke pieken in concentraties van ongewenste stoffen op kunnen treden. Ook kunnen als gevolg van toename van de oppervlaktewatertemperatuur meer geleidelijke veranderingen optreden, zoals lagere zuurstofconcentraties, langere groeiperiode en veranderingen in de microbiologie.

Gevolgen voor drinkwatersector

Klimaatverandering kan de volgende gevolgen hebben voor waterwinning:

- Toenemend risico op cavitatie (ontstaan van gasbellen door te lage druk) bij ruw waterpompen als gevolg van een daling van de grondwaterstand, verstopping en verhoogde energiekosten voor transport;
- Toename corrosieschade aan putten;
- Toenemende kwetsbaarheid van winningen met kleine intrekgebieden, vooral als die niet met andere wingebieden verbonden zijn;
- verminderde beschikbaarheid van oppervlaktewater bij extreem laag water.
- Kortere reistijden en kortsluitstroming (overstroming van winputten) naar oeverinfiltratiewinningen als gevolg van hoogwater.

Daarnaast worden de volgende mogelijke gevolgen voor waterbehandeling genoemd:

- Een verslechtering van de ruwwaterkwaliteit vereist tijdelijke hogere dosis aan chemicaliën, en gebruik van meer spoelwater;
- Effectiviteit van bodempassage, en daarmee de robuustheid van de oeverinfiltratiewinningen, dient te worden onderzocht bij lage zuurstofconcentraties, hoge concentraties verontreinigende stoffen of bij kortere verblijftijden bij hoogwater;
- Denitrificatie kan als onderdeel van drinkwaterbereiding lokaal belangrijker worden;
- Verhoogde bromide concentraties in ruw water kan tot verminderd inzet van ozonisatie leiden.

Voor distributie van drinkwater kunnen de gevolgen van klimaatverandering zijn:

- Verhoging van temperatuur van leidingwater kan tot hygiëne problemen leiden;
- Het bestaande leidingnet is wellicht onder-gedimensioneerd om pieken in waterverbruik en de gevolgen van demografische veranderingen op het watergebruik op te vangen
- In droge perioden neemt risico op leidingbreuken toe als gevolgen van het uitdrogen van de bodem.

Adaptatiemaatregelen

In het rapport worden suggesties gedaan voor adaptatiemaatregelen zowel voor het waarborgen van de waterkwantiteit, als het waarborgen van de waterkwaliteit. De adaptatiemaatregelen voor het waarborgen van de waterkwantiteit zijn:

- Verbind watersystemen, met name die van verschillende oorsprong, om op grotere ruimtelijke schaal watertekorten op te kunnen vangen;
- Nastreven van ecologisch grondwaterbeheer;
- Toezien op een minimaal debiet van oppervlaktewateren met het oog op oeverfiltratie;
- Toezien op een verantwoorde verdeling van beschikbaar grondwater;
- Aanvullen van grondwater met oppervlaktewater om lokaal sterke dalingen van grondwaterstanden te voorkomen;
- Aanleg van tijdelijke extra opslagruimte om tijdelijke tekorten of kwaliteitsschommelingen op te kunnen vangen en af te vlakken.

De effecten van klimaatverandering op waterkwaliteit zijn veelal nog onduidelijk. Er zijn dan ook nauwelijks adaptatiemaatregelen in gebruik. Wel zijn de volgende aanbevelingen voor adaptatie voor het waarborgen van de waterkwaliteit geformuleerd:

- Aanvullende zuiveringsstappen (multi-barrière) kunnen in de toekomst nodig zijn, vooral wanneer door perioden met laag water hoge concentraties aan schadelijke stoffen ontstaan;

- Het kan hierdoor noodzakelijk worden om wanneer teveel chemische stoffen nodig zijn voor drinkwaterbereiding, over te schakelen op andere stoffen met eenzelfde zuiverende werking en/of een andere zuiveringstechnologie;
- Maak bindende afspraken met landbouwsector om problemen met nitraat en andere landbouwstoffen (meststoffen, insecticiden etc.) te voorkomen;
- Verhoog de flexibiliteit van drinkwaterbehandelingssystemen door te kiezen voor een modulaire opbouw;
- Vaker spoelen van distributienetwerken of voorzie ze van mogelijkheden voor desinfectie;
- Overweeg om leidingen op grotere diepte te plaatsen om breuken als gevolg van zetting te voorkomen. De consequentie van deze maatregel is dat aanlegkosten hoger zullen zijn en het risico op grotere gevolgschade als er wel lekkage optreedt.

Om te kunnen bepalen of aanpassing in waterbehandeling nodig zijn, dienen veranderingen in de kwaliteit van ruw water, die het gevolg zijn van klimaatverandering geïdentificeerd te worden. Hiervoor zijn trendanalyses op water van de Roer uitgevoerd. Tabel 4.1 vermeld hiervan de resultaten.

TABEL 4.1. WATERKWALITEITSPARAMETERS VAN DE ROER.

Parameter	Afhankelijk van debiet (Q)	Afhankelijk van temperatuur (T)
Vertroebeling, nitraat, aluminium	↑ als Q ↑	
DOC, arseen		↑ als T ↑
DTPA, Carbamazepine, Diatrizoate	↑ als Q ↓	
Geleidingsvermogen, bromide, sulfaat, natrium, kalium, koper, nikkel	↑ als Q ↓	↑ als T ↑
Zuurstof	↓ als Q ↓	↓ als T ↑

2.2.4 Relevantie voor de watersector

De in dit rapport benoemde risico's voor waterwinning, -behandeling, en -distributie zijn niet alleen van toepassing op de Nederlandse watersector, zij zijn ook reeds als zodanig benoemd. Binnen de themagroep Klimaatbestendige watersector wordt naar verschillende van de hierboven genoemde aspecten onderzoek gedaan, zoals naar piekfactoren in toekomstig waterverbruik, hotspots in het leidingnet, fysieke kwetsbaarheid van leidingen en de invloed van de afvoer op de waterkwaliteit van Rijn en Maas.

De invloed van de afvoer op de waterkwaliteit van de Maas is een belangrijk onderwerp voor Dunea. Bij lage afvoeren is de waterkwaliteit van de Maas duidelijk slechter, met name voor stoffen zoals geneesmiddelen die door puntlozingen in de Maas terecht komen. Ook de mogelijke verzilting van de Lek bij lage afvoeren van de Rijn is van belang, omdat dit het noodinnamepunt van Dunea langs de Lek (Bergambacht) kan bedreigen in de toekomst.

Naast de overlap in onderzoeksthema's, geeft dit project aan dat klimaatverandering er toe zal leiden, dat de Duitse drinkwaterbedrijven, net als de Nederlandse, in toenemende mate afhankelijk worden van hun omgeving. Zo speelt in beide landen het verdelingsvraagstuk rond oppervlaktewater gedurende droogteperiodes. Hoewel in Nederland dit verdelingsvraagstuk in de vorm van de verdringingsreeks goed is geregeld, staat de prioriteitsvolgorde toch weer ter discussie. In dit Klimzug rapport wordt tevens het verdelingsvraagstuk voor grondwater geadresseerd. Dit verdelingsvraagstuk heeft in Nederland weinig aandacht, hoewel er onder waterbeheerders wel een toenemende aandacht

lijkt te zijn voor het beheersen van het grondwatergebruik op basis van de actuele grondwatervoorraad. Daarnaast wordt het belang van omgevingsmanagement voor het beheersbaar houden van waterkwaliteitsproblemen als gevolg van agrarische activiteiten onderstreept.

2.3 Aanpassingsmogelijkheden voor de drinkwaterwinning en bereiding

2.3.1 Bron

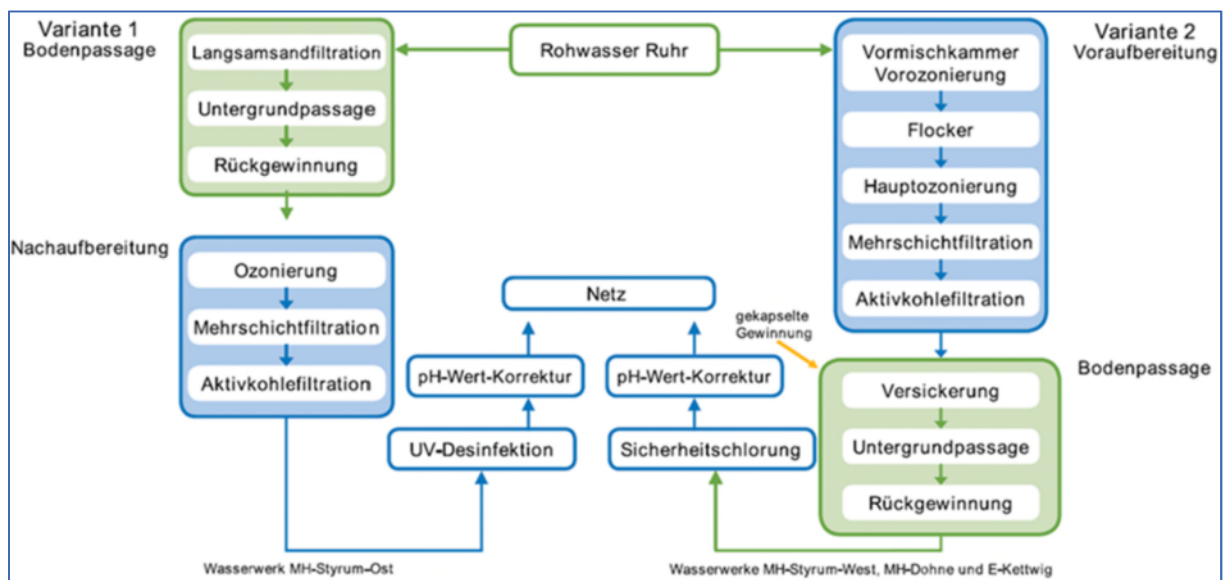
Staben N. en Nahrstedt A. „Anpassungsoptionen der Trinkwassergewinnung und -aufbereitung an sich ändernde Rahmenbedingungen“ Dynaklim-Publikation Nr. 53 (2014)

2.3.2 Doel

Het doel van dit project is om inzicht te krijgen in de consequenties van klimaatverandering op grondwater- en oppervlaktewaterbronnen wat betreft waterkwantiteit en kwaliteit. Tevens is vastgesteld in hoeverre waterbehandeling op basis van adsorptie en oxidatie met ozon volstaan om verandering in de waterkwaliteit ten gevolge van klimaatverandering het hoofd te kunnen bieden.

2.3.3 Bevindingen

De auteurs stellen voor om de effectiviteit van adsorptie en oxidatie met ozon op onbehandeld water voor de relevante stoffen en concentratiebereiken in de toekomst te bepalen. Daarnaast wordt gesteld dat in veel gevallen mogelijk de aanpassing van de operationele instellingen van de reeds geïnstalleerde zuiveringsstappen tot een aanzienlijke verbetering van de zuiveringsprestaties kan leiden. Deze stelling werd nader getoetst voor de aanwezige vijf zuiveringstappen (Figuur 2-1) bij de productielocatie Mülheim. Hieruit bleek het meerstappen "Mülheim proces" over het algemeen geschikt te zijn om de onderzochte verschillen in ruwwaterkwaliteit die in het Ruhrgebied worden waargenomen op te kunnen vangen.

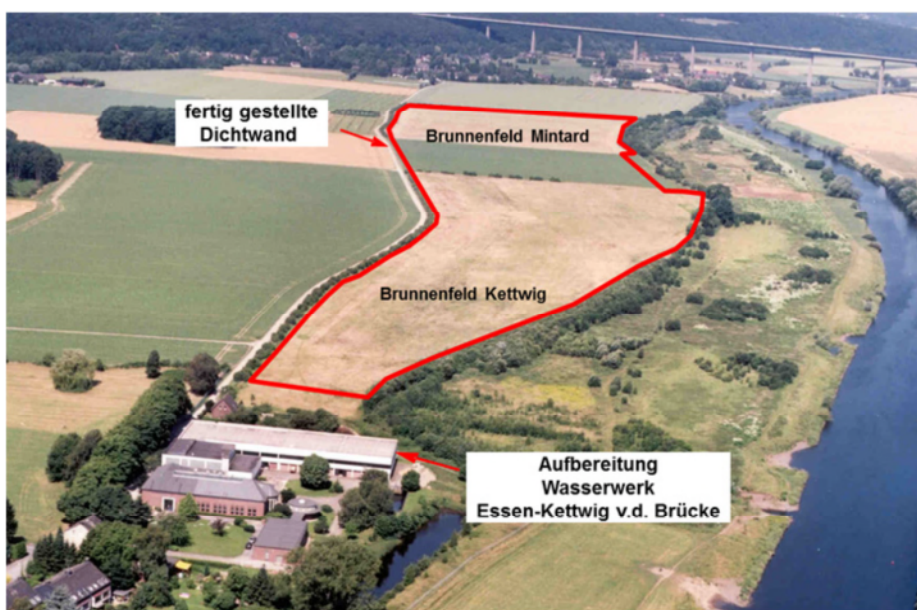


FIGUUR 2-1: "MÜLHEIM PROCES" BIJ OPPERVLAKTEWATERWINNING WAAR BIJ MÜLHEIM WATER UIT DE RUHR GEWONNEN WORDT.

De auteurs concluderen dat zelfs bij sterke toename van de troebelheid of de DOC-concentratie goed drinkwater kan worden geproduceerd. Ze benadrukken dat met name de toepassing van bodempassage goed werkt ter menging en demping van kwaliteitsschommelingen. Bij de beschouwing en op pilot-schaal testen van de mogelijkheden en beperkingen van ozonisatie als operationele optimalisatie strategie, wordt met name de toepassing van ozon in het Mülheim-proces gezien als robuuste methode om

om te gaan met variabele ruw waterkwaliteiten van met name AOC. Zelfs bij hogere temperaturen in het distributienet bleef het water hierdoor microbiologisch stabiel.

Een opvallende adaptatiestrategie die daarnaast in het rapport benoemd wordt, is de plaatsing van een afdichtingswand rondom het wingebied. Dit om overstroming met oppervlaktewater te voorkomen, en de reistijden van het oevergrondwater naar de onttrekkingsputten te verlengen. Voor de winlocatie Essen-Kettwig is een dergelijke damwand in 2013 gerealiseerd (Figuur 2-2). Gesteld wordt dat hierdoor de reistijd en het "opslagvolume" van grondwater in het bodempassagevolume vergroot wordt, waardoor er een grotere buffer aanwezig is in geval van extreme weersomstandigheden en calamiteiten. De wijze van uitvoering zal bepalend zijn voor de mate waarin deze voordelen van bodempassage daadwerkelijk benut kunnen worden.



FIGUUR 2-2: LUCHTFOTO VAN DE WINLOCATIE ESSEN-KETTWIG MET DE OMLIJNING VAN DE IN 2013 VOLTOOIDE ONDERGRONDSE AFDICHTINGSWAND OM DE INFILTRATIE VAN NIET VOORBEHANDELD WATER UIT DE RUHR IN HET WATERWINGEBIED TE VOORKOMEN

2.3.4 Relevantie voor watersector

De nadruk op de toepassing van ozon in het onderzoek naar drinkwaterproductie uit Ruhrwater, sluit aan bij BTO onderzoek naar toepassing van geavanceerde oxidatie technieken. Daarnaast sluit de benadrukking van het belang van bodempassage als voorzuivering aan bij het BTO onderzoek naar bodempassage. In de beschouwde Duitse rapporten wordt dit belang echter alleen als zodanig benoemd en niet in die mate kwantitatief uitgewerkt als in het recente BTO onderzoek naar kwaliteitsveranderingen tijdens bodempassage en de factoren die daarbij een rol spelen. Bovendien werken de Nederlandse drinkwaterbedrijven continue aan de optimalisatie van hun huidige procesvoering met als doel het robuuster maken van het drinkwaterproductieproces voor de veranderende ingangswaterkwaliteit.

Vanaf 2020 gaat Dunea de voorzuivering van het ingenomen Maaswater uitbreiden door middel van geavanceerde oxydatie (AOP) op locatie Bergambacht. Aanvankelijk zal de AOP-stap worden toegepast op een deelstroom (20% van het ingenomen debiet), maar als de waterkwaliteit van de Maas onvoldoende verbetert zal deze capaciteit stapsgewijs worden uitgebreid in de toekomst. Ook PWN werkt reeds met geavanceerde oxidatie.

2.4 Gevolgen van klimaatverandering op grondwaterkwaliteit (nitraat, sulfaat, chloride)

2.4.1 Bron

Kubeck, C., Bergmann, A., en Herzberg, A., Modellierung und Prognose der durch den Klimawandel verursachten Änderungen der Wasserquantität und -qualität. Dynaklim-publikation Nr. 45.

2.4.2 Doel project

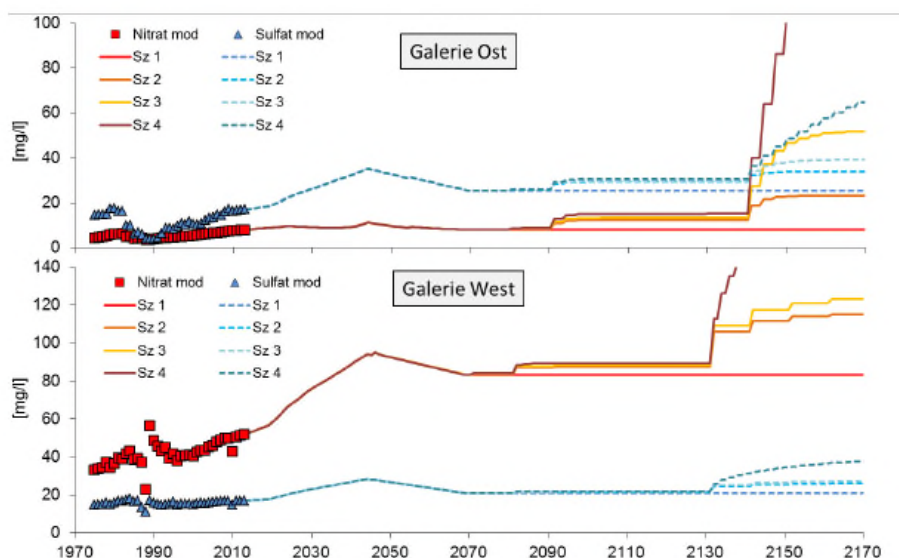
Het doel van dit project is het ontwikkelen van een plannings- en beslissingsondersteunend instrument voor landbouwkundige benutting van grondwatervoorraden en het veiligstellen van de drinkwatervoorziening. Hiervoor is een reactief transport model gebouwd, waarmee chemische omzettingsprocessen langs karakteristieke stroombanen worden gesimuleerd en ter plaatse van onttrekkingsputten worden gecumuleerd. Dit resulteert in lange termijn prognoses van de concentraties aan nitraat, sulfaat en chloride in ruwwater.

2.4.3 Samenvatting of belangrijkste bevindingen

Prognoses van ruwwaterparameters kunnen efficiënt uitgevoerd worden op basis van een beperkt aantal chemische reactie modellen (in dit geval PhreeqC) door het intrekgebied op basis van bodembedekking, reistijden en geochemisch milieu op te delen in representatieve delen (zie onderstaande figuur). Hiervoor is o.a. een 3D grondwatermodel, inzicht in de geochemische opbouw van de ondergrond, en gegevens over de nitraatmissie uit landbouwgronden noodzakelijk.

In de simulaties is expliciet de aanvoer van nitraat door het oppompen van agrarisch beïnvloed grondwater meegenomen. De resultaten geven aan dat deze nitraatvracht substantieel kan zijn. Hierdoor kan beregning het negatieve effect van bemesting op de grondwaterkwaliteit en ruwwaterkwaliteit versterken, indien de stikstofbemesting niet wordt gecompenseerd voor de stikstofvracht die met het beregeningswater wordt aangevoerd (zie Figuur 2-3).

In het rapport wordt veel aandacht besteed aan de resultaten van een literatuurstudie over de invloed van bodemopbouw (organische stof) en -vorming voor de (ontwikkeling van de) gevoeligheid voor nitraatuitspoeling. Hoewel daar veel kennis over bestaat, blijven bodemprocessen de grote onbekende bij de prognoses van de grondwater- en ruwwaterkwaliteit.



FIGUUR 2-3: GESIMULEERDE ONTWIKKELING VAN NITRAAT EN SULFAAT IN RUWWATER, ALS GEVOLG VAN LANDBOUWKUNDIGE BEREKENING (SCENARIO 1: ZONDER BEREKENING, SCENARIO 2: 33% VAN HET LANDBOUWAREAAL BEREKENING, SCENARIO 3: 67% BEREKENING, EN SCENARIO 4: 100% BEREKENING).

2.4.4 Relevantie voor Nederlandse watersector

Prognoses van de ruwwaterkwaliteit kunnen zeer behulpzaam zijn bij het bepalen van bronnen strategieën en het ondersteunen van beleidsontwikkelingen op het gebied van grondwaterbescherming. Het uitvoeren van dergelijke prognoses is echter een rekenintensieve taak; zowel de hoeveelheid noodzakelijke data als de rekentijden kunnen enorm groot zijn. Het modelinstrumentarium gebaseerd op een stroombaanbenadering dat Kubeck e.a. beschrijven geeft hier een pragmatische oplossing voor. De aanpak zelf is echter niet heel vernieuwend meer: in het kader van het BTO is tot 2012 een soortgelijk modelinstrumentarium (RESPOND, Vink en Stuyfzand, 2011) ontwikkeld om prognoses van nitraat, sulfaat, nikkel en hardheid in ruwwater te kunnen maken. RESPOND is inmiddels toegepast op een aantal kwetsbare grondwaterwinningen met een mestprobleem. Later is RESPOND buiten het BTO uitgebreid voor het maken van prognoses van pesticiden concentraties in het ruwwater van een aantal Limburgse grondwaterwinningen. Sindsdien is er weinig aandacht meer geweest voor het uitvoeren van ruwwaterprognoses op basis van stroombaanbenadering.

De gedachte dat berekening uit grondwater bij kan dragen aan de belasting van het grondwater met nitraat is relevant voor grondwaterbescherming. Een nadere verkenning van de bijdrage van deze aanvoerroute aan de nitraatbelasting van het grondwater kan in het licht van grondwaterbescherming op zijn plaats zijn. Een dergelijke analyse dient wel verder te gaan dan een vrachtbenadering, aangezien berekening ook invloed heeft op de uitspoeling en opname van nitraat dat via bemesting is aangevoerd.

2.5 Bescherming van de drinkwaterkwaliteit in het distributienet bij veranderende bodemtemperaturen

2.5.1 Bron

Grobe, S., Wagner, J., Wingender, J., 2014. Sicherung der Trinkwasserqualität bei der Wasserverteilung bei veränderten Bodentemperaturen. Dynaklim-Publikation 52

2.5.2 Doel

Het doel van dit project is om inzicht te verwerven in de invloed van de oppervlaktewatertemperatuur op het voorkomen van pathogene micro-organismen in het drinkwater en de biofilm in het distributienet.

2.5.3 Bevindingen

Door de klimaatverandering stijgt met name in grote steden de bodemtemperatuur. In combinatie met een hogere temperatuur van het oppervlaktewater kan dit leiden tot een hogere drinkwatertemperatuur in het distributienet. Dit kan gevolgen hebben voor de groei van pathogene micro-organismen in het drinkwater en de biofilm vorming in het distributienet.

De invloed van de watertemperatuur is getest op een aantal micro-organismen: coliformen, *Escherichia coli*, *Legionella* spp., *Legionella pneumophila* en *Pseudomonas aeruginosa*. De eerste twee bacteriesoorten duiden op een fecale besmetting van het drinkwater. De laatste twee bacteriesoorten zijn opportunistische pathogenen die mensen met een verzwakt immuunsysteem infecteren.

In het eerste deel van het onderzoek is een veldstudie uitgevoerd. Hiervoor zijn in en om de stad Oberhausen acht locaties geselecteerd met elk een eigen microklimaat: binnenstad, park met hoge loofbomen, bedrijventerrein met hoge en lage stroomsnelheid van het drinkwater, stadsrand, bos, weiland en drinkwaterproductielocatie met pompstation. Op deze locaties zijn naast de drinkwaterleiding by-pass leidingen aangelegd met daarin verschillende stukken leidingmateriaal (EPDM, PE 80/100, RVS) en is in november/december 2010, maart 2011 en september 2011 het water en de biofilm geanalyseerd op bovengenoemde micro-organismen. De watertemperatuur varieerde tussen de 2,3°C en 23°C.

Bij hogere watertemperaturen is geen algemene verslechtering van de waterkwaliteit gemeten, maar wel meer biofilmvorming waarin ook meer coliforme bacteriën aanwezig waren. De overige bacteriën werden niet aangetroffen met de kweekmethode die alleen levende én kweekbare bacteriën detecteert. Echter, met de FISH-methode zijn ook bacteriën aan te tonen die niet kweekbaar, maar wel levend en mogelijk ook infectieus zijn, zogenaamde *viable but not culturable* (VBNC) bacteriën. Met FISH werden alle soorten bacteriën zowel in het drinkwater, als in de biofilm op alle drie de meetmomenten aangetoond.

In het tweede deel zijn laboratoriumexperimenten uitgevoerd met een biofilmreactor waarin is gekeken naar de hechting en overleving van micro-organismen (*E. coli*, de coliform bacterie *Klebsiella pneumoniae*, *P. aeruginosa*, *L. pneumophila*) in een drinkwater biofilm die in het laboratorium is gekweekt op twee soorten leidingmateriaal (EPDM en PE 80/100) en bij verschillende watertemperaturen (8°C - 29°C). Bij een laag AOC-gehalte (5,5 µg C/l, vergelijkbaar met het Nederlandse drinkwater van 1-20 µg C/l) en bij alle geteste watertemperaturen, waren *E. coli* en *K. pneumoniae* één dag na aanenting niet meer met de kweekmethode, maar wel met de alternatieve FISH-methode, detecteerbaar in de biofilm. *L. pneumophila* handhaaft zich bij verschillende temperaturen gedurende een beperkte periode

in de biofilm. Hechting en overleving van *P. aeruginosa* was onafhankelijk van de temperatuur en was gedurende het gehele experiment van 28 dagen met kweek detecteerbaar in de biofilm en het water. Voor *L. pneumophila* en *P. aeruginosa* was er geen groei meetbaar in de biofilm, de concentratie daalde gedurende de gemeten 28 dagen bij alle temperaturen.

De Duitse onderzoekers concluderen uit deze experimenten dat de temperatuur geen duidelijk direct effect heeft op de microbiologische drinkwaterkwaliteit. Echter, de hechting en overleving van micro-organismen in de biofilm is wel afhankelijk van de temperatuur en van de soort bacterie. Aangezien bacteriën los kunnen laten uit de biofilm en vervolgens in het drinkwater terecht komen, heeft de watertemperatuur indirect wel een effect op de waterkwaliteit. De onderzoekers wijzen erop dat de temperatuur niet de enige factor is die invloed heeft op de microbiologie in het distributienet; andere fysische, chemische en biologische parameters spelen hierin ook een rol en kunnen niet altijd van elkaar gescheiden worden.

2.5.4 Relevantie

Met name de laboratoriumexperimenten met de biofilmmonitor waarbij 5,5 µg C/l aanwezig is, zijn interessant voor de Nederlandse situatie. De Duitse resultaten komen overeen met experimenten met de biofilmmonitor bij KWR, waarbij *P. aeruginosa* zich bij een grote temperatuurrange kan handhaven in de biofilm. Van *L. pneumophila* is bekend dat het pas bij hogere temperaturen kan groeien, vanaf 30°C in afwezigheid van andere *Legionella* spp. en pas vanaf 34,5°C in aanwezigheid van concurrerende micro-organismen. Dit komt overeen met de resultaten uit het Duitse onderzoek, waarbij bij de hoogst geteste temperatuur van 29°C geen groei meetbaar was van *L. pneumophila*.

Het bepalen van de aanwezigheid van micro-organismen in het distributienet met het bypass systeem is minder relevant, aangezien vergelijkbare studies naar het voorkomen van micro-organismen, waaronder *L. pneumophila* en *P. aeruginosa*, eerder in Nederlandse distributienet zijn uitgevoerd.

2.6 Prognose regionale grondwateraanvulling en afvoer bij klimaatverandering

2.6.1 Bron

Barein, A., Werner, F., Meßer, J. en Fohrmann, R., 2013. Prognose der Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser mit Hilfe eines Grundwasserströmungsmodells am Beispiel der RWW-Wassergewinnung Üfter Mark. Dynaklim-Publikation 42.

2.6.2 Doel

Het doel van het onderzoek is om een stationair model te ontwikkelen voor de drinkwaterwinning van RWW Uffter Mark. Dit als illustratie om mogelijke effecten van klimaatverandering op de grondwaterstanden en -stroming te voorspellen. Met het model zijn effecten berekend voor de nabije toekomst (2021-2050) en de verre toekomst (2050-2100) t.o.v. een referentieperiode (1961-1990).

2.6.3 Bevindingen

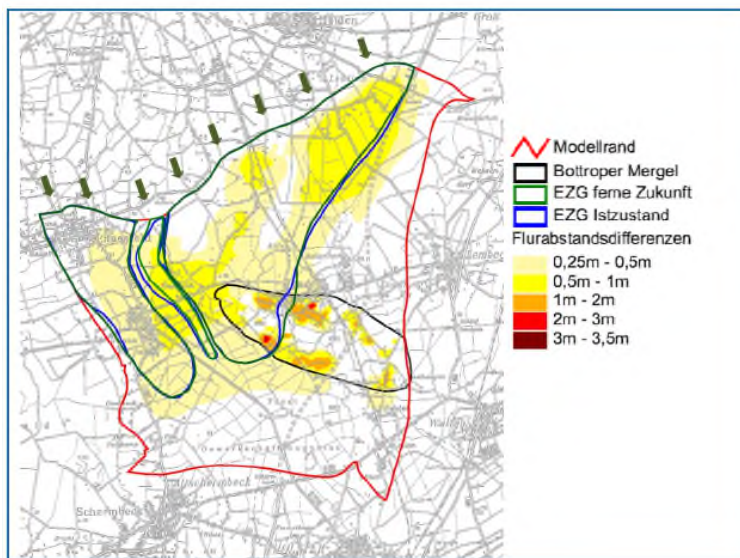
Voor dit onderzoek is een stationair grondwatermodel ontwikkeld. De methode voor het berekenen van de grondwateraanvulling en toekomstige verandering van de grondwateraanvulling is overgenomen uit het klimaatdeelrapport "Ontwikkeling van een dynamisch model voor berekening van de grondwateraanvulling bij klimaatverandering" (zie paragraaf 2.7). De bodemopbouw is bepaald op basis van geologische gegevens. Voor berekening zijn per gewas en type landgebruik aannames gedaan over het percentage percelen dat berekening ontvangt.

In de nabije toekomst t/m 2040 zal de grondwateraanvulling met 10% toenemen door hogere neerslag en een beperktere verhoging van de verdamping. De verschillen zijn redelijk gelijkmatig verdeeld over het gebied, omdat de neerslag overal toeneemt. Tegenover de toename van de grondwateraanvulling staat een toename van de berekening. Hierdoor vindt netto nog wel meer grondwateraanvulling plaats, waardoor de intrekgebieden van drinkwaterwinningen in het studiegebied enkele procenten kleiner worden bij gelijkblijvende onttrekkingshoeveelheden. De drainage en afvoer door het oppervlaktewatersysteem nemen ook toe.

In de verre toekomst t/m 2100 zal door hogere temperaturen het aandeel berekening in de akkerbouw vermoedelijk sterk stijgen. Daarnaast neemt de neerslag af. Dit leidt tot een afname van de hoeveelheid beschikbaar grondwater met 20%. Grondwaterstanden zullen hierdoor dalen, maar deze daling varieert per locatie (zie Figuur 2-4). Ook moet rekening worden gehouden met een vergroting van de intrekgebieden als reactie op de afname van de grondwateraanvulling. Hierdoor treedt ook een geringe verschuiving op in het aandeel grondwater afkomstig van landbouw- en stedelijk gebied.

In de modelberekeningen is aangenomen dat in het jaar 2100 alle akkerbouwpercelen berekend worden. De werkelijke ontwikkeling kan hiervan afwijken als gevolg van veranderingen in landgebruik, techniek of beleid- en regelgeving ten aanzien van berekening.

Het onderzoek maakt duidelijk dat problemen kunnen ontstaan doordat er concurrerend gebruik is van grondwater. Met name wanneer de berekening nog verder toeneemt zal de grondwaterstand in de toekomst dalen en incidenteel sterk dalen.



FIGUUR 2-4: INVLOED VAN KLIMAATVERANDERING OP HET INTREKGEBIED VAN DRINKWATERWINNINGEN IN 2100 (GROENE LIJN) VERGELEKEN MET HUIDIGE INTREKGEBIED (BLAUWE LIJN). DE TOENAME VAN HET INTREKGEBIED IS NIET GOED ZICHTBAAR, VERMOEDELIIK OMDAT DEZE DEELS BOVENSTROOMS VAN HET MODELGEBIED PLAATSVINDT. DE GELE/ RODE VLAKKEN TONEN DE VERLAGING VAN GRONDWATERSTANDEN DOOR AFNAME VAN DE GRONDWATERAANVULLING EN TOENAME VAN DE BEREKENING.

2.6.4 Relevantie

Het vigerende beschermingsbeleid in Nederland gaat in belangrijke mate uit van grondwaterbeschermingsgebieden. Deze gebieden zijn in de jaren 1980 vastgesteld op basis van 25- of 50-jaarzones, die zijn bepaald met behulp van modelberekeningen. Dit beschermingsbeleid gaat daarmee impliciet uit van reistijden onder het huidige klimaat en waterbeheer. Anno 2017 wordt het beschermingsbeleid steeds meer ingevuld vanuit een risicobenadering. Dit betekent dat het drinkwaterbelang niet meer zondermeer geborgd is in wet- en regelgeving, maar onderdeel wordt van een integraal afwegingsproces waar ook concurrerende ontwikkelingen onderdeel van zijn. Tegelijkertijd zijn de mogelijkheden voor het ontwikkelen van nieuwe winvelden of het intensiveren van bestaande winvelden zeer beperkt. Het handhaven van het huidige beschermings-, c.q. voorzieningenniveau vereist daarom grondig inzicht in de risicovolle activiteiten en kwetsbaarheden in het GWG.

Interessant aan de Duitse studie is dat in beeld is gebracht wat de invloed is van klimaatverandering, als gevolg van verandering van de grondwateraanvulling, op het intrekgebied van de grondwaterwinning. Dit geeft aan dat grondwaterbescherming geen statisch concept is, en zo kan bovendien geanticipeerd worden welke gebieden in de toekomst mogelijk ook bescherming behoeven.

Een dergelijke aanpak zou goed aansluiten bij een meer stochastische benadering om de huidige intrekgebieden te berekenen. Dit houdt in dat expliciet rekening wordt gehouden met de onbetrouwbaarheid van modelparameters door het intrekgebied te berekenen voor verschillende realisaties van bodemopbouw, grondwateraanvulling en berekening. Zo ontstaat een beter beeld welke gebieden in ieder geval bescherming behoeven en welke mogelijk ook relevant zijn maar momenteel buiten beeld vallen; zowel nu als in de toekomst. Binnen het lopende BTO-project 4D grondwaterbescherming (themagroep Duurzame bronnen en watersystemen) wordt de meerwaarde van een dergelijke stochastische benadering bij risico-inventarisaties voor de winning Helmond (Brabant Water) onderzocht.

2.7 Ontwikkeling van een dynamisch model voor de berekening van de grondwateraanvulling bij klimaatverandering

2.7.1 Bron

Meßer, J., Ohlenbusch, R., en Getta, M., 2011. Entwicklung eines instationären Prognosewerkzeuges zur Berechnung der Klimawandel-bedingten Veränderungen der Grundwasserneubildung. Dynaklim-Publikation 14.

2.7.2 Doel

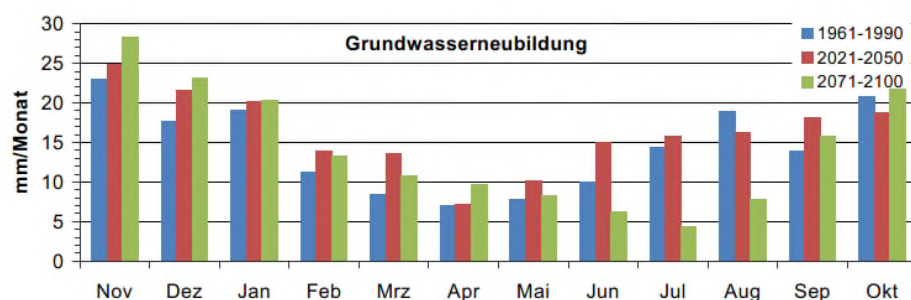
Het doel van het onderzoek is om in beeld te brengen hoe klimaatverandering doorwerkt op de grondwaterhuishouding in stedelijke gebieden en hoe met beheersmaatregelen afdoende ontwatering is te garanderen. Het onderzoek is gericht op stedelijk gebied, omdat verandering van grondwaterstanden met name hier effect hebben op bebouwing, infrastructuur en stedelijke waterinfrastructuur. Bovendien vergt adaptatie van de waterhuishouding in stedelijk gebied een lange-termijnplanning vanwege inpassing in bestaand landgebruik.

2.7.3 Bevindingen

In het kader van dit onderzoek is een niet-stationair grondwatermodelinstrumentarium ontwikkeld om effecten van klimaatverandering door te rekenen. Het model omvat een gebied van 856 km² in het westen van Duitsland: het Emschergebied gelegen tussen Oberhausen en Dortmund.

Het grondwatermodel bestaat grotendeels uit samengevoegde bestaande stationaire modellen. De grondwateraanvulling is niet-stationair berekend en omvat neerslag, verminderd met een door landgebruik bepaalde verdamping en afstromingsfactor. De grondwateraanvulling is berekend voor homogene deelgebieden. Deelgebieden zijn samengesteld op basis van landgebruik, helling, grondwaterstand, verharding en bodem. Voor enkele deelgebieden zijn detailmodellen opgesteld. Deze zijn niet-stationair geijkt op stijghoogtemetingen, via zowel een automatische als handmatige trial-and-error kalibratie.

De klimaatscenario's zijn afkomstig van de regionale klimaatmodellen COSMO-CLM. Berekeningen voor toekomstscenario's t/m het jaar 2100 tonen met name een toename van de neerslag en afstroming (runoff). Effecten op de gemiddelde grondwateraanvulling zijn beperkt. De grondwateraanvulling zal volgens de berekeningen vooral toenemen in de maanden december, januari en april en afnemen in de periode juni t/m september (Figuur 2-5). Uit berekeningen met een detailmodel blijkt dat de grondwateraanvulling in bebouwde gebieden lokaal kan toenemen met enkele tientallen mm per jaar.



FIGUUR 2-5: BEREKEND JAARLIJKS VERLOOP VAN DE GRONDWATERAANVULLING VOLGENS KLIMAATSCENARIO CLM2 VOOR EEN REPRESENTATIEF DEELGEBIED

2.7.4 Relevantie

De resultaten van de Duitse studie zijn niet direct vertaalbaar naar de Nederlandse situatie. Dit komt omdat de hydrologische situatie niet vergelijkbaar is met de meest kwetsbare stedelijke gebieden in Nederland. Bovendien is het effect van een verandering van de grondwateraanvulling op de stedelijke infrastructuur, bebouwing en waterhuishouding niet verder uitgewerkt.

De werkwijze is ook weinig relevant voor Nederland. Nederland beschikt namelijk al over een eigen methode om vlakdekkende grondwatermodellen op te stellen, die verder lijkt te zijn uitwerkt dan het modelinstrumentarium dat in Duitsland is gebruikt. Bovendien wordt in Nederland met meerdere klimaatscenario's gerekend.

Interessant aan het Duitse onderzoek is de focus op de effecten van klimaatverandering op grondwaterstanden in stedelijk gebied. De nadruk van klimaatstudies in Nederlands stedelijk gebied ligt vooral op warmte (*Urban Heat Islands*) en afvoer van piekneerslag via riool- en oppervlaktewatersysteem. Schade aan gebouwen en infrastructuur door droogte kan mogelijk wel interessant zijn, ook in gebieden met drinkwaterwinningen in stedelijk gebied.

2.8 Gevolgen van klimaatverandering op de water- en stoffenbalans van de bodem in het stroomgebied van de Emscher

2.8.1 Bron

Höke, S., M. Denneborg & C. Kaufmann-Boll, 2011. Klimabedingte Veränderung des Bodenwassert- und Stoffenhaushaltes und der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Emscher. Dynaklim-Publikation No. 11. Rapport, 96 p.

2.8.2 Doel

Het doel van dit project is om meer zicht te krijgen op de gevolgen van klimaatverandering op de waterbalans en de stoffenbalans van de bodem in het stroomgebied (775 km²) van de Emscher, een 83 km lang zijriviertje van de Rijn, gelegen in het Ruhrgebied.

2.8.3 Bevindingen

Klimaatverandering zal in Duitsland waarschijnlijk, net als in Nederland, leiden tot hogere temperaturen, drogere zomers en nattere winters. Het rapport bevat verwijzingen naar bijna 100 literatuurreferenties, meestal Duitstalige rapporten. Op basis hiervan wordt uitgebreid gespeculeerd over de gevolgen van klimaatverandering op tal van bodemeigenschappen, zoals de korrelgrootteverdeling, het humusgehalte, het carbonaatevenwicht, de structuur, verdichting, en bodemopbouw. Met een SWAT-model zijn voor verschillende bodemtypen de gevolgen van klimaatverandering voor de bodemvocht beschikbaarheid en grondwateraanvulling gekwantificeerd. Daarin zijn noch de veranderingen in bodemeigenschappen, noch de veranderingen in het verdampingsgedrag van de vegetatie meegenomen. Als reactie daarop wordt verwacht dat het ijzer- en sulfaatgehalte in het percolatiewater waarschijnlijk toe zal nemen en dat mogelijk hetzelfde geldt voor cadmium. Een onderbouwing van deze verwachting ontbreekt echter.

Al met al komt men tot het weinig verrassende inzicht dat klimaatverandering invloed heeft op de kwantiteit en chemische samenstelling van de grondwateraanvulling, en uiteindelijk ook op respectievelijk het grond- en oppervlaktewater. Tevens stelt men vast dat een ruimtelijk grondwatermodel het geëigende middel is om dergelijke veranderingen mee te onderzoeken. De grondwateraanvulling is de belangrijkste invoerpost van zo'n model. Deze post hangt niet alleen af van de neerslag en potentiële verdamping, maar ook van de bodemvochtthuishouding. Veranderingen in de afbraak van organische stof en in het gedrag van bodemverontreinigingen beïnvloeden uiteindelijk grond- en oppervlaktewater, aldus de weinig spectaculaire samenvatting van het rapport.

2.8.4 Relevantie

Het rapport is rijkelijk voorzien van meetgegevens, bijvoorbeeld van de ontwikkeling van de bodemtemperatuur op 50 cm diepte van 1890 tot 2010 (stijging van bijna 2 °C). In de geraadpleegde literatuur zijn mogelijk meetgegevens te halen die waardevol zijn voor de watersector. De onderzochte bodemtypen zijn echter atypisch voor de Nederlandse situatie: het gaat vooral om gleygronden en slechts 4% podzolbodems. Qua internationale inbedding stelt het rapport teleur; dat geldt ook voor de kwantificering van processen, bijvoorbeeld met modellen (zowel bodemwater als bodemchemie).

2.9 Gevolgen van klimaatverandering en hergebruik van afvalwater voor waterbehandeling

2.9.1 Bron

Kaleß, M. & J. Pinnekamp, 2014. Bautechnische, verfahrenstechnische und betriebstechnische Anpassung der Abwasserbehandlung in der Emscher-Lippe-Region und angepasste Konzepte zur Nutzung gereinigten kommunalen Abwassers. Dynaklim - Publikation Nr. 57.

2.9.2 Doel

Het doel van dit project was om op basis van literatuuronderzoek en modelsimulaties inzicht te verkrijgen in de mate waarin rioolwaterzuiveringsinstallaties in de regio Emscher Lippe aangepast moeten worden aan de gevolgen van klimaatverandering. Focus ligt daarbij op de verandering in temperatuur en neerslagpatronen. Daarnaast worden ontwikkelingsbehoeften gesignaleerd ten aanzien van concepten voor hergebruik van gezuiverd afvalwater als zoetwaterbron in perioden met watertekorten en de daarvoor benodigde aanpassingen aan de waterbehandeling. Ten slotte wordt een model voor de afvalwaterzuiveringsinstallatie van de toekomst geschetst die de hogere toekomstige temperatuur zoveel mogelijk benut.

2.9.3 Belangrijkste bevindingen

Effecten van klimaatverandering op werking rioolwaterzuiveringsinstallaties

Net als Nederland wordt de Regio Emscher Lippe geconfronteerd met hogere luchttemperaturen en langere droge perioden, afgewisseld met hevige neerslag als gevolg van het veranderende klimaat. De verwachting is dat in de toekomst meer neerslag zal vallen in de winter en minder in de zomer (maar wel meer piekbuien in de zomer); de jaarlijkse neerslag neemt in het extreme Wh scenario met 10,5 mm/jaar toe.

Met de computersoftware SIMBA® is onder meer de zuiverende werking van drie RWZI's gesimuleerd, voor verschillende klimaatscenario's. Uit de modelresultaten blijkt dat de werking van de installaties nauwelijks negatief beïnvloed wordt door de verwachte veranderingen in neerslag en temperatuur. Negatieve effecten kunnen wel optreden door een te grote belasting van de zuivering bij toename van neerslag in de winter. De voorspelde afname van neerslag in de zomerperiode kan leiden tot een betere zuivering en kan "compenseren" voor eventuele mindere zuivering in de winter. Hogere watertemperaturen hebben een positief effect op de efficiëntie van microbiële zuiveringsprocessen. Met name de afbraak van ammonium wordt positief beïnvloed en ook substraat wordt beter afgebroken. Fosfaatverwijdering kan verminderen. Al met al zien de auteurs geen noodzaak om het ontwerp van RWZI's aan te passen aan de gevolgen van klimaatverandering. Echter, deze conclusie geldt voor de regio Emscher Lippe en kan niet 1:1 naar andere regio's worden overgedragen.

Hergebruik gezuiverd afvalwater

Gezuiverd afvalwater wordt vooral veel gebruikt in gebieden met weinig neerslag. In de onderzochte regio is in het huidige klimaat vanwege het neerslagoverschot weinig noodzaak om effluent te hergebruiken. Desalniettemin kan de verwachte toename van langdurige droge perioden in de zomers ertoe leiden dat gezuiverd afvalwater toch een belangrijke bron van zoetwater wordt. Dit geldt voor toepassingen die minder hoge eisen aan de kwaliteit van het water stellen dan drinkwater. Restwater kan hergebruikt worden voor bijvoorbeeld autowassen, wasmachines, toilet doorspoelen, irrigatie van tuinen en landbouwgewassen, en koelwater voor industrie. Hergebruik van restwater als zoetwaterbron kan de druk op bronnen voor productie van drinkwater verminderen. Hiervoor is een gescheiden systeem voor de distributie van drinkwater en behandeld afvalwater nodig.

Het rapport schetst, gebaseerd op internationale normen en ervaringen, het wettelijk kader voor hergebruik van effluent, sanitaire aspecten en acceptatie door de bevolking. Tevens worden verschillende gebruikskoncepten voor gezuiverd afvalwater in de regio Emscher-Lippe in termen van hygiëne-eisen, seizoensgebondenheid van de vraag, het niveau van de behoefte en de benodigde uitbreiding van de infrastructuur gegeven.

RWZI van de toekomst

Het is voor de drie onderzochte RWZI's niet direct nodig om aanpassingen te doen aan de effecten van klimaatverandering. Vanwege de levensduur van een zuiveringsinstallatie van typisch enkele decennia, is het beter om pas bij vervanging het systeem in te richten op de heersende en verwachte klimatologische condities. Ook kan dan direct gebruik gemaakt worden van de modernste technologische mogelijkheden, demografische ontwikkelingen, wijzigingen in infrastructuur, het gedrag van de consument en veranderingen in de hoeveelheid en samenstelling van het afvalwater. Bij de RWZI van de toekomst ligt de focus naast het zuiveren van het afvalwater op energie-efficiëntie en hergebruik van reststoffen en water. De zuiveringsinstallatie van de toekomst is een water-, nutriënten- en energiefabriek.

Voor de zuiveringsinstallatie van de toekomst kan de temperatuurstijging als gevolg van klimaatverandering benut worden door:

- reductie van actieve biomassa door verhoogde microbiologische activiteit,
- gebruik te maken van zonne-energie of hernieuwbare energie om deelstromen te verwarmen tot energetisch gunstige biologische behandelbaarheid, of
- via optimale integratie van alle deelstromen de warmtebelasting van het gehele systeem te maximaliseren.

2.9.4 Relevantie voor de watersector

Hergebruik van gezuiverd restwater voor de zoetwatervoorziening kan de druk op het grondwatersysteem voor drinkwaterwinning verlagen. Deze aanpak past daarom bij de rol van gebiedspartner die drinkwaterbedrijven steeds meer in wens te vullen. Om tot praktijktoepassing te komen is echter een andere manier van het omgaan met restwaterstromen noodzakelijk. In dit project zijn daar een aantal concepten voor uitgewerkt. Een interessante optie is om de waterinfrastructuur in te richten op gescheiden systemen voor transport van drinkwater en 'recycled water'.

In Nederland staan veel innamepunten van oppervlaktewater onder invloed van RWZI-effluent. Inzicht in de invloed van klimaatverandering op de zuiveringsefficiëntie van RWZI's geeft daarom enig zicht op de lange termijnontwikkeling van deze problematiek. In de 3 onderzochte RWZI's blijkt klimaatverandering nauwelijks van invloed te zijn op het zuiveringsrendement. Deze resultaten kunnen echter niet direct vertaald worden naar de Nederlandse situatie. Wellicht biedt de gebruikte computersoftware daar aanknopingspunten voor.

2.10 Adaptatie strategie voor vermindering van de hittestress in stedelijk gebied

2.10.1 Bron

Kuttler, W., N. Müller, D. Dütemeyer, A.-B. Barlag, 2011. Prognose- und Diagnoseanalysen zur Verbesserung des Stadtklimas; stadtklimatische Untersuchungen in Oberhausen und Simulationen verschiedener Minderungs-strategien zur Reduktion der thermischen Belastung im Hinblick auf den Klimawandel. Dynaklim-Publication No. 25

2.10.2 Doel

In stedelijk gebied kan de temperatuur op hete dagen hoog oplopen. Naar verwachting zullen hete dagen vaker en intenser gaan optreden door het veranderende klimaat. Het doel van deze studie is de invloed van verschillen in inrichting van de stedelijke ruimte op de thermische belasting in beeld te brengen. Hierbij is de thermische belasting uitgedrukt als Physical Equivalent Temperature (PET).

2.10.3 Bevindingen

Invloed van stedelijke inrichting op het stadklimaat

In de stad Oberhausen zijn op verschillende plaatsen meteostations geplaatst om inzicht te krijgen in de relatie tussen stedelijke inrichting en het stadklimaat. Op basis van deze metingen zijn micro-meteorologische modelscenario's opgesteld en doorgerekend om te komen tot effectieve mitigerende maatregelen voor toenemende thermische belasting in stedelijk gebied.

Uit het onderzoek komt naar voren dat verdampende oppervlakken de grootste verkoelende invloed hebben op het stadklimaat. Hoe hoger het percentage onverhard oppervlak, hoe beter het stadklimaat op hete dagen. Het 'ontharden' van de stad, i.e. het vervangen van verharde oppervlakken (bestrating, daken etc.) door verdampende oppervlakken (open water, vegetatie) blijkt de meest effectieve mitigerende maatregel tegen toenemende thermische belasting in steden.

Ontharden als inrichtingsmaatregel is vooral effectief in (hoog)stedelijke gebieden waar nu weinig verdampende oppervlakken aanwezig zijn. Uit de studie blijkt dat optimaal verdampende lage vegetaties afgewisseld met beschaduwende bomen het grootste verkoelende effect hebben (3 – 4 °C temperatuur daling op een hete dag). Open water is alleen effectief gedurende de dag. 's Nachts heeft open water juist een verwarmend effect op de omgeving, doordat de temperatuur van het oppervlaktewater hoog blijft terwijl de verdamping en daarmee de afkoeling terugvalt.

Het effect van verdampende open vegetatie strekt zich uit tot 100 meter rond het vlak en is daarmee ook effectief voor de verharde omgeving rondom het groen. Wel moet opgemerkt worden dat de begroeiing goed van vocht moet worden voorzien. Als de vochtvoorziening tekort schiet, reduceren de planten hun verdamping en neemt de verkoelende werking van de vegetatie sterk af. Een goede watervoorziening van stedelijk groen is dus cruciaal voor regulering van de thermische belasting in steden.

Mogelijke gevolgen voor de drinkwatervoorziening

Een toename van de frequentie en intensiteit van hete dagen is hoogstwaarschijnlijk van grote invloed op de watervraag. Hierbij speelt thermisch comfort een belangrijke rol (douchen, badjes vullen etc.). Daarnaast kunnen ook mitigerende maatregelen, zoals het vergroenen van de stedelijke omgeving, resulteren in extra watervraag, als voor de irrigatie van het 'nieuwe stedelijke groen' gebruik wordt gemaakt van leidingwater. Voor bijvoorbeeld de huidige generatie groene daken zal dit vaak geval zijn. Aan de andere kant biedt dit een kans voor de afzet van andere watertypen, zoals gezuiverd rioolwater en regenwater dat lokaal kan worden opvangen en gebufferd.

De stadstemperatuur is tevens van invloed op de temperatuur in de bodem en huizen. Leidingwater kan hierdoor een ongewenst hoge temperatuur bereiken. Vooral onder verharde oppervlakken kan de temperatuur hoog oplopen. Het ontharden van de stad en omvormen naar korte, optimaal verdampende vegetatie van de buitenruimte kan reducerend werken op deze temperatuurverhoging.

2.10.4 Relevantie voor de watersector

Thermisch comfort en de ruimtelijke inrichting van stedelijk gebied is direct van invloed op de watervraag tijdens hete dagen. Een hogere frequentie en intensiteit van hete dagen zal leiden tot vaker optredende en hogere pieken in het watergebruik. Inzicht in deze relaties is dan ook van groot belang voor het dimensioneren en inregelen van de drinkwaterproductie en -distributie.

Dit onderzoek bevestigt dat klimaatverandering kan leiden tot opwarming van drinkwaterleidingen in stedelijk gebied met mogelijke verslechtering van de microbiologische drinkwaterkwaliteit tot gevolg. Dit onderzoek bevestigt tevens het belang van het benutten van synergie tussen drinkwaterveiligheid en stedelijke opgaven gerelateerd aan leefbaarheid, aangezien bodemopwarming gemitigeerd kan worden door het vergroenen van de stedelijke inrichting.

2.11 Ondergrondse warmte-eilanden in de stad – casus Oberhausen

2.11.1 Bron

Kuttler, W., Püllen, H., Düttemeyer, D., en Barlag, A., 2012. Unterirdische Wärmeinsel in Oberhausen; Untersuchung subterranean Wärme- und Energieflüsse in verschiedenen Klimatopen. Dynaklim-Publikation 23.

2.11.2 Doel

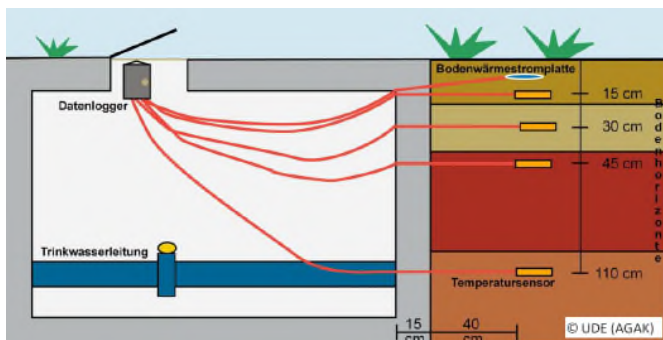
Het doel van dit project was om vast te stellen of klimaatverandering kan leiden tot verslechtering van de drinkwaterkwaliteit door verhoging van de bodemtemperatuur.

2.11.3 Bevindingen

Aanpak

In de stad Oberhausen (NRWF) is de bodemtemperatuur nabij en onder drinkwaterleidingen op verschillende locaties en op verschillende diepten gemeten (Figuur 2-6). De meetlocaties lagen verspreid over de stad, en verschilden onderling qua karakter, zoals in de stad, in een park, aan de rand van de stad etc. Er is gemeten van 1-8-2010 tot 31-7-2011.

Er wordt geen duidelijke vergelijking gemaakt met eerder uitgevoerde monitoring van de bodemtemperatuur. Hierdoor is het niet mogelijk om vast te stellen in hoeverre de bodemtemperatuur verandert als gevolg van klimaat verandering.



FIGUUR 2-6: SCEHTSMATIGE WEERGAVE VAN DE MEETOPSTELLING VOOR DE BOEMTEMPERATUUR ROND DRINKWATERLEIDINGEN

Conclusies

Het temperatuurverloop over de tijd en met de diepte gedraagt zich zoals verwacht, maar heeft plaats-specifieke kenmerken, afhankelijk van de bodemsamenstelling en de situatie aan maaiveld. Hoe dichter bebouwd, hoe warmer. In het centrum van de stad is de temperatuur ter hoogte van de drinkwaterleiding gedurende 12 weken hoger dan 20°C. Op de diepte van de drinkwaterleiding varieert de temperatuur van 3 tot 24°C. In gebieden waar het drinkwater een lange verblijftijd in het leidingnet heeft, kunnen daarom risico's gerelateerd aan temperatuurstijging van het drinkwater ontstaan.

Op basis van de verschillen in temperatuur tussen de verschillende meetlocaties wordt de invloed van het urban heat island geschat op circa 7 °C.

2.11.4 Relevantie voor de watersector

De Duitse en Nederlandse watersector kampen met dezelfde problematiek van opwarmende leidingen door toenemende bodemtemperatuur in stedelijk gebied. Uitwisseling van ervaringen kan bijdragen om mitigerende maatregelen te identificeren of optimaliseren. De

dataset die in dit project is opgebouwd kan waardevol zijn voor onderzoek naar de oorzaken van opwarming van leidingen en mitigerende maatregelen. In het lopende BTO-project “Maatregelen om hotspots in het leidingnet terug te dringen” staan deze mogelijkheden op het vizier.

3 Deelprogramma INKA BB

3.1 Overzicht

INKA BB staat voor “Innovationsnetzwerk Klimaanpassung Brandenburg Berlin”. Het is een van de zeven onderzoeksprogramma’s die onder de KLIMZUG-regeling zijn uitgevoerd. Het onderzoeksprogramma liep van juni 2009 tot en april 2014 en bestond uit 24 deelprojecten die door onderzoeksinstituten zijn uitgevoerd.

De omgeving Brandenburg-Berlin wordt gekenmerkt door talrijke rivieren en meren die gelegen zijn in een landschap op zandgrond. Dit in combinatie met de beperkte hoeveelheid neerslag maakt het gebied kwetsbaar voor de verwachte effecten van klimaatverandering. Daarom stond in het deelprogramma INKA BB het land- en watergebruik centraal, net als gezondheidsmanagement. Het doel van INKA BB was om de duurzaamheid van land- en watergebruik in de regio veilig te stellen onder veranderende klimaatomstandigheden en het bijdragen aan klimaatadaptief beheer van de gezondheidszorg.

Binnen dit deelprogramma zijn drie projecten uitgevoerd, namelijk

- Klimaatadaptieve ruimtelijke ordening in de regio Uckermark-Barnim en Lausitz-Spreewald
- Instrumenten en strategieën voor duurzaam waterbeheer in natte gebieden
- Technologieën voor klimaat adaptief stedelijk waterbeheer.

De resultaten uit de laatste twee projecten zijn niet openbaar gemaakt of erg summier ontsloten. Daarom is de beschrijving van het deelprogramma INKA BB beperkt tot het eerst genoemde project.

3.2 Klimaataangepaste ruimtelijke ordening in de regio Uckermark-Barnim en Lausitz-Spreewald

3.2.1 Bron

M. Martinsen, S. Knothe, P. Thur, 20xx. Klimaadaptierte Regionalplanung in den Regionen Uckermark-Barnim und Lausitz-Spreewald. Teilprojekte 4. Abschlussdokumentation.

3.2.2 Doel

Klimaatverandering brengt nieuwe uitdagingen voor de regionale planning met zich mee: ruimte- en landgebruik staan voor nieuwe of versterkte risico's en problemen, waarvan de oplossing voor een deel gezocht moet worden in de ruimtelijke planning. Daaraan gekoppeld verandert de aanspraak op ruimtegebruik en kunnen nieuwe conflicten tussen landgebruiksvormen ontstaan als gevolg van de knappere beschikbare ruimte. Dit noodzaakt tot een tijdige aanpassing van de planologie aan de te verwachten gevolgen van klimaatverandering. Tegelijkertijd bestaan nog altijd aanzienlijke onzekerheden aangaande de daadwerkelijke uitwerking van klimaatverandering, vooral op regionale schaal.

Het doel van dit deelproject is om aanbevelingen te geven voor de wijze waarop de gevolgen van klimaatverandering door regionale ruimtelijke planning kunnen worden gemitigeerd. Hierbij zijn de gevolgen van klimaatverandering op basis van de actuele kennis geanalyseerd.

3.2.3 Belangrijkste bevindingen

In tijden van klimaatverandering is het bergen van water in het landschap vanwege twee aspecten van toegenomen belang: Enerzijds om het verhoogde overstromingsrisico als gevolg van hogere regenval in met name de wintermaanden, te verminderen. Anderzijds, om in de zomermaanden, wanneer regenval juist minder is en verdamping toeneemt, over voldoende zoet water te kunnen beschikken.

In de huidige situatie geldt dat eutrofiëring het belangrijkste waterkwaliteitsprobleem is voor oppervlaktewateren en het is de verwachting dat als gevolg van klimaatverandering de hoeveelheid nutriënten in het water en algenbloei verder zullen toenemen.

Volgens de auteurs biedt het gebruikte instrumentarium voor regionale planning een goede basis voor klimaataangepaste ruimtelijk ordening, maar moet het instrumentarium verder ontwikkeld te worden om ondersteuning te kunnen bieden bij het vinden van oplossingen voor komende uitdagingen van klimaatverandering. De auteurs stellen dat het instrumentarium inzetbaar is om draagvlak in de regio te verkrijgen en in reguliere beslisprocessen te integreren.

Volgens de auteurs worden tot nog toe de aanbevelingen ten aanzien van de aanpassingen aan de gevolgen van klimaatverandering nog maar beperkt opgepakt door de relevante actoren in het projectgebied. Tevens constateren de auteurs weinig interesse in een consequente planologische voorzorgstrategie voor klimaatadaptatie. Aanbevolen wordt om in navolging van dit project een pilotproces op te starten, waarbij klimaatadaptatie op de agenda wordt gezet, en door de gebiedsdialog als discussieforum beleid wordt.

3.2.4 Relevantie voor de watersector

Het rapport gaat sterk uit van ontwikkeling van het Duitse ruimtelijke ordeningsbeleid en is vanuit de regionale planologie ingestoken. De resultaten zijn daarom niet vertaalbaar naar de Nederlandse situatie en zijn niet interessant voor de watersector. Mogelijk bevat het gebruikte instrumentarium voor regionale planning goede functionaliteiten of principes voor het uitwerken of toetsen van structuurvisies, maar de verantwoordelijkheid daarvoor ligt in Nederland bij de regionale overheden.

4 Deelprogramma REGKLAM

4.1 Effecten van klimaatverandering op grondwaterbeheer en -beschikbaarheid in stedelijk gebied (Dresden)

4.1.1 Bron

Ulrich, K. (2013) Grundwasserbewirtschaftung und Klimawandel, Handlungsansätze für Planungsträger und Genehmigungsbehörden. REGKLAM-Teilprojekt 3.2.2: Wasserhaushalt Stadt – Umland Produkt 3.2.2 e, Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt

4.1.2 Doel

Het doel van dit project was het bieden van handelingsperspectief voor grondwaterbeheer in relatie tot klimaatverandering, met als doelgroep plannenmakers en vergunningverleners in de regio Dresden. De handelingsuitgangspunten zijn vertaald in een leidraad voor de beoordeling van projecten met invloed op het grondwatersysteem, rekening houdend met effecten van klimaatverandering.

4.1.3 Bevindingen

In de omgeving van Dresden zullen in de zomer hoge temperaturen en droogte frequenter en intensiever optreden en zal de verdamping toenemen. De totale neerslaghoeveelheid neemt af en concentreert zich meer in intensieve buien. De klimaatmodellen geven geen duidelijk beeld van de effecten van klimaatverandering op het weer in de winter.

Klimaatverandering heeft in de omgeving Dresden volgens de rekenscenario's een sterk dalend effect op de grondwateraanvulling vergeleken met de referentieperiode: maar liefst 35% afname (mediaanwaarde) tot de periode 2021-2050 en 70% afname tot de periode 2071-2100 in het worst case scenario. De waterbeschikbaarheid voor kwetsbare ecosystemen en consumptie neemt hierdoor af en conflicten worden voorzien met andere bestaande grondwatergebruikers in de urbane omgeving. Daarnaast zal vanuit de landbouw een groter beslag worden gelegd op grondwater voor irrigatie.

Bovenbeschreven veranderingen brengen de drinkwatervoorziening voor de stad Dresden zelf niet in gevaar, omdat oeverfiltraat vanuit de Elbe en toestroming vanuit minder sterk pompte gebieden voor voldoende aanvoer van grondwater zorgt. Wel zijn er effecten te verwachten voor kleinere onttrekkingen in de omgeving. Dalende grondwaterstanden kunnen verder door zetting een risico vormen voor de stabiliteit van funderingen van gebouwen in de stad. Daarnaast zijn, door het toenemen van de intensiteit van buien, hogere afvoeren en waterstanden op de Elbe te verwachten. Omdat de dynamiek van het grondwatersysteem onder de stad sterk gerelateerd is aan de peildynamiek van de Elbe zal grondwateroverlast waarschijnlijk ook frequenter voorkomen.

Volgens de auteurs is het omgaan met onzekerheden in klimaatvoorspellingen de grootste uitdaging bij het nemen van adaptatiemaatregelen. Daarom adviseren ze om te focussen op zogenaamde no-regret maatregelen, c.q. maatregelen die andere toekomstige aanpassingen niet in de weg zitten. Verder wordt geadviseerd maatregelen te koppelen aan activiteiten die toch al uitgevoerd moeten worden. Daarvoor wordt het goed volgen van de verandering van het grondwatersysteem met intelligente monitoringssystemen noodzakelijk geacht. Concreet voor Dresden betekent dit dat maatregelen zich moeten richten op verminderen van het

verharde oppervlak (problematisch bij extreme buien) en het maximaliseren van de grondwateraanvulling door de verharde oppervlakken te vergroenen of minimaal waterdoorlatend te maken.

De auteurs adviseren verder om 20% van de gemiddelde jaarlijkse grondwateraanvulling te reserveren als ecosysteemreserve en onttrekking boven deze waarde niet toe te staan. Daarnaast kan nu al wettelijk worden geëist dat opgepompt grondwater na gebruik voor bijvoorbeeld koeling wordt geherinfiltrated in de ondergrond. Hoewel, zeker in het geval van koelwater, duurder dan lozing op de rivier, kan deze herinfiltratie een wezenlijke bijdrage leveren aan het in stand houden van de grondwatervoorraad. Onttrekkingen moeten daarnaast goed worden geregistreerd, ook als het gaat om kortdurende onttrekkingen. Verder wordt een tijdlimiet gesteld aan de vergunningsperiode van de onttrekking. Dit afhankelijk van de aard van de onttrekking. Publieke drinkwatervoorziening krijgt bijvoorbeeld een periode van 25 jaar, terwijl privaatgebruik is gelimiteerd tot een periode van 10 jaar.

Het energetisch gebruik van grondwater is de laatste jaren sterk toegenomen. Door de stijgende temperatuur zal ook de temperatuur van het ondiepe grondwater toenemen. Meer informatie is gewenst over het effect hiervan op de effectiviteit van WKO systemen. Om de effecten op het grondwater goed in beeld te krijgen, worden van systemen met een capaciteit van >5 m³/h gedetailleerde warmtetransport berekeningen geëist.

Verder wordt aangegeven dat de onttrokken hoeveelheden afhankelijk gemaakt kunnen worden van de op dat moment optredende grondwaterstanden. Bij lage grondwaterstanden kan dan gevraagd worden tijdelijk minder te onttrekken. Voor het actief volgen en sturen van de grondwatervoorraden en standen is naast passende regelgeving, goede monitoring cruciaal. Aanbevolen wordt om een intelligent en doelgericht monitoringssysteem in te richten en bij te houden.

4.1.4 Relevantie voor de watersector

Inzicht in de grondwateraanvulling wordt gezien als cruciaal voor het kunnen beoordelen van de waterbeschikbaarheid in de toekomst. Om schade voor ecosystemen te beperken wordt geadviseerd om 20% van de grondwateraanvulling te reserveren voor het ecosysteem. De totale onttrekkingshoeveelheid zal hier altijd onder moeten blijven. Daarnaast worden vergunning periodes voor onttrekkingen (ook die van de publieke drinkwatervoorziening) eindig gemaakt. Hiermee kan beter worden ingespeeld op veranderingen in het grondwatersysteem.

Actief grondwaterbeheer, waarbij onttrekkingshoeveelheden afhankelijk zijn van de optredende grondwaterstanden, is een interessante ontwikkeling voor de Nederlandse (drink)watersector. Een dergelijk beleid is sinds een aantal jaar operationeel voor het reguleren van agrarische grondwateronttrekkingen in de provincie Noord Brabant. Tevens wordt in Brabant gediscussieerd over de wenselijkheid en haalbaarheid van een verdringingsreeks voor grondwatergebruik. Dergelijke ontwikkelingen zijn van direct belang voor de positie van drinkwaterbedrijven in de regio en de leveringszekerheid van ruwwater voor drinkwaterproductie op de lange termijn. Het ophalen van informatie over de precieze vormgeving, draagvlak(verwerving) en effectiviteit bij de Duitse waterbeheerders kan behulpzaam zijn ter voorbereiding op de beleidsontwikkelingen die gaande zijn in Nederland.

4.2 Strategieën voor de optimalisatie van de productie van drinkwater uit rivierwater en oeverfiltraat bij variabele ruwwaterkwaliteit

4.2.1 Bron

Uhl, W. en Müller, S., 2012. Strategien zur Optimierung der Trinkwasseraufbereitung aus Flusswasser und Uferfiltrat bei variabler Rohwasser-qualität – Produkt 3.2.3a.

4.2.2 Doel

In dit rapport worden de mogelijke, klimaat-gerelateerde veranderingen in de kwaliteit van het rivierwater van de Elbe nabij Dresden beschreven, inclusief de daaruit voortvloeiende gevolgen voor oeverfiltratie en drinkwaterbereiding. Om in te spelen op de verwachte veranderingen in de kwaliteit van het rivierwater/oeverfiltraat als grondstof voor drinkwaterproductie zijn adaptatiestrategieën verkend. De focus ligt daarbij op de combinatie van afzonderlijke zuiveringsprocessen. De verwachting dat de gemiddelde jaartemperatuur en maximale watertemperaturen zullen stijgen wordt hierbij benadrukt, omdat de chemische en biologische processen sterk worden beïnvloed.

4.2.3 Bevindingen

Door de uitbreiding van de groeiseizoenen voor vegetatie en de toename van zware regenbuien wordt een toenemende influx van gesuspendeerd organisch materiaal verwacht. Volgens de auteurs is de reinigende werking van bodempassage afhankelijk van de kwaliteit van het oppervlaktewater, van de reistijd en afstand, de bodemgesteldheid, de temperatuur van het oppervlaktewater en de eigenschappen van de ondergrond. Kleine veranderingen in deze condities ten gevolge van klimaatverandering kunnen de effecten van fysische, chemische en microbiologische processen in de bodem, en daarmee de mate van zuivering die optreedt tijdens bodempassage, sterk beïnvloeden.

Als gevolg van kwantitatieve en kwalitatieve veranderingen van het Elbewater wordt een verandering van verwijdering en omzettingsprocessen van stoffen in het oeverinfiltraat tijdens bodempassage verwacht. Vooral worden hier veranderingen in pH, zuurstofconcentratie, concentratie aan opgeloste organische stoffen en de biologische belasting van het Elbewater verwacht. Door redoxveranderingen kan mogelijk de mobilisatie van organische verontreinigende stoffen en zware metalen plaatsvinden. De oplossingsrichting voor aanpassing wordt gezien in het toepassen van zoveel mogelijk verschillende bovengrondse behandelingsstappen.

Met een dergelijke *multi-barrier-benadering* kunnen korte-termijn schommelingen van de ruwwaterkwaliteit meestal worden opgevangen door het verhogen van het gebruik van chemicaliën in de flocculatie en desinfectie. Aangegeven wordt echter, dat deze aanpassing opties op korte termijn tot aanzienlijke kunnen kosten leiden door verhoogd spoelwater gebruik en slibproductie. De auteurs opperen daarvoor om te anticiperen op de ontwikkeling van de ruwwaterkwaliteit door regelmatig de piekconcentraties in het ruw water te bepalen om te kunnen bijsturen in bereidingsproces.

Daarnaast wordt gesteld dat investeringen in aanpassing en aanvulling van bewerkingsstappen mogelijk economisch haalbaar zijn op langere termijn. In individuele gevallen moet een kosten-batenanalyse worden uitgevoerd met betrekking tot de omstandigheden op het terrein. Er werd vastgesteld dat sommige methoden bijzonder geschikt lijken om te reageren op de verwachte veranderingen in ruwwater kwaliteit. De combinatie van flocculatie/ultrafiltratie wordt hierbij genoemd als maatregel ter anticipatie voor bijna alle mogelijke veranderingen in de kwaliteit van het ruwe water. De hybride

werkwijze van flocculatie en ultrafiltratie kan hier worden gebruikt als alternatief voor conventionele flocculatie-zandfiltratie. Gesteld wordt dat deze aanpak een flexibele voorbehandeling biedt die gemakkelijk aan te passen is.

4.3 Klimaatadaptatie door integrale landschapsplanning

4.3.1 Bronnen

Makeschin, F. en Witt, A., 2012. Kartierung und Ausweisung von Risikiogebieten – Ermittlung wassererosionsgefährdeter Gebiete mit Hilfe des Wassererosionstools in GISCAM – Produkt 3.3.3bb

4.3.2 Doel

Het doel van dit project was het beschrijven en toepassen van een “indicatorgebaseerd” bodemerosie-gevoeligheid-model (eenheid ton/ha/jaar) in relatie tot water. Het model houdt rekening met 4 bepalende factoren, namelijk (1) de vorm en sterkte van neerslag, (2) bodemeigenschappen, (3) afstromingseigenschappen van het reliëf (lengte en helling van het terrein), (4) soort bodembedekking en (5) soort bodembewerking. Arbitraire aanname is dat scores voor verschillende factoren met elkaar vermenigvuldigd worden tot een eindscore. Het model kan gebruikt worden voor landschapsplanning en -inrichting. Volgens de auteurs is het model tevens bruikbaar voor het kwantificeren van ecosysteemdiensten, waaronder (1) voedselproductie, (2) biomassa, (3) regulatie bodem erosie, (4) droogte risico regulatie, (5) overstromingsregulatie en (6) ecologische integriteit.

Het instrumentarium is uitgebreid om ook de opbrengst (euro's) van landbouw in te schatten en het watergebruik van gewassen. Met deze uitbreiding zijn naast een score op de 7 ecosysteemdiensten, ook de levensvatbaarheid van landbouwactiviteiten onder verschillende scenario's door te rekenen. Het instrument wordt als prototype online beschikbaar gesteld.

In het rapport staat het model, en niet het probleem of de oplossing centraal.

4.3.3 Bevindingen

Het model vereist een grote hoeveelheid data die ontleend worden uit literatuur, metingen, berekeningen of simulaties. De uitkomsten worden beïnvloed door percepties en begrip voor het functioneren van het ecosysteem.

Het model geeft duidelijk onderscheidende patronen in erosiegevoeligheid en kan de opbrengst uit verschillende ecosysteemdiensten ten opzichte van elkaar indiceren. Belangrijkste conclusie daaruit is dat lineaire landschapselementen de gevoeligheid voor bodemerosie sterk kunnen beperken. Ook blijkt het type vruchtwisseling sterk bepalend te zijn voor de erosiegevoeligheid van bodems.

Voor toepassing in andere gebieden, is de definitie van gestandaardiseerde landgebruik en bodembeheer klassen vereist (en vormt een beperking indien deze standaardklassen niet overeenkomen met de klassen van beschikbare landgebruikskaarten).

Verbetering van landbouwpraktijken (bijvoorbeeld andere manier van ploegen) kan bijdragen aan de ecosysteemdiensten op landschapsschaal. Het beste resultaat (regulatie overstromingen en droogte, bescherming tegen bodemerosie en ecologische integriteit) kan worden bereikt door grootschalige ‘conserverende bodembewerking’ met bebossing van de gevoelige gebieden. Conserverende bodembewerking is een verzamelnaam voor bodembewerkingstechnieken waarbij de erosiegevoeligheid van bodems wordt verminderd, bijvoorbeeld door de vorming van briklagen te voorkomen.

Minder intensief landgebruik heeft positieve synergie met regulerende en ondersteunende ecosysteemdiensten, zoals erosiebescherming, overstromingsregulatie, droogtere regulatie en ecologische integriteit). Met een knikpuntenanalyse (trade-offs) worden aanbevelingen aan regionale landschapsplanners gegeven.

4.3.4 Relevantie voor de watersector

Wellicht bevat de ontwikkelde methodiek ideeën om de waarde van ecosysteemdiensten van intrekgebieden te bepalen, daar prognoses van te maken, en de invloed van drinkwaterwinning daarop te bepalen. Bijvoorbeeld voor het bepalen van een “Well field blueprint” (als parallel voor de city blueprint). De meerwaarde van het instrument bestaat uit de holistische aanpak. Dit is ook meteen het knelpunt voor toepassing op de Nederlandse situatie: een aanzienlijke inspanning voor modelontwikkeling zal nodig zijn, o.a. vanwege verschillen in geodata, bepalende factoren voor landbouwopbrengsten en afwijkende bepalende factoren voor erosie (helling van beken is vaak relevanter dan helling van het terrein zelf). Bovendien zijn er op onderdelen (betere) alternatieve modelinstrumentaria beschikbaar of in ontwikkeling, denk aan Waterwijzer Natuur en Waterwijzer landbouw. Sommige onderdelen, zoals erosiegevoeligheid, spelen, Limburg daargelaten, op een ander niveau (inslijten beken) dan in Duitsland.

5 Deelprogramma KLIMZUG-NORD

5.1 Overzicht

Het project “Strategiën für eine klimaangepasste Landnutzung in Kulturlandschaften der Metropolregion Hamburg am Beispiel der Region Ostheide” bestond uit 4 deelprojecten. Deze deelprojecten hadden betrekking op verschillende facetten van klimaatadaptatie ten behoeve van natuurbescherming en leefbaarheid van de stedelijke omgeving, namelijk

- (1) Het Elbe-estuarium
- (2) Biotoopverbindingen, c.q. verbindingen tussen natuurwaarden ten behoeve van migratie van soorten
- (3) Natuurbescherming in het agrarisch gedomineerde cultuurlandschap
- (4) Stedelijke natuurontwikkeling.

De eindrapportages uit de deelprojecten zijn niet openbaar gemaakt. Wel zijn voor elk thema posters van de tussenresultaten en position papers beschikbaar. De posters zijn weinig informatief, omdat ze bedoeld zijn als communicatie van de invulling van de deelprojecten, zonder dat tussenresultaten worden gepresenteerd. De nadruk van de position papers ligt op de aanbevelingen die uit de deelprogramma's zijn voortgekomen. De achtergronden van deze aanbevelingen worden slechts zeer summier beschreven.

Omdat de position papers geen inzicht geven in de inhoudelijke opbrengsten uit dit deelprogramma, is de invulling van dit hoofdstuk beperkt tot het doel en de belangrijkste aanbevelingen voor beleidsontwikkeling. In tegenstelling tot de voorgaande hoofdstukken wordt de relevantie voor de drinkwaterbedrijven niet beschreven.

5.2 Strategieën voor klimaatbestendig landgebruik in cultuurlandschappen – casus Hamburg-regio

5.2.1 Deelprogramma Elbe-estuarium, natuurbescherming en klimaatverandering

Bron: Schoenberg, W., en Jensen, K., 2013. Positionspapier der Arbeitsgruppe Elbeestuar, Naturschutz und Klimawandel in der Querschnittsaufgabe Naturschutz.

Het deelprogramma had als doel om aanbevelingen te formuleren voor de aanpassing van de natuurbescherming aan klimaatverandering, met focus op de specifieke situatie van het Elbe-Estuarium. De aanbevelingen hebben betrekking op het hydrologisch, sedimentologisch en ecologisch functioneren van het Elbe-estuarium. Ze zijn daarom niet relevant voor Nederlandse drinkwaterbedrijven.

5.2.2 Deelprogramma biotoopverbindingen en klimaatverandering

Bron: Schoenberg, W., en Jensen, K., 2013. Positionspapier der Arbeitsgruppe Biotopverbund und Klimawandel in der Metropolregion Hamburg (MRH) in der Querschnittsaufgabe Naturschutz.

Dit deelprogramma had als doel om op basis van actuele onderzoeksresultaten en praktijkervaring aanbevelingen te doen voor de planning en realisatie van biotoopverbindingen (verbindingen tussen natuurgebieden) met inachtneming van klimaatverandering met zichtjaar 2050.

De belangrijkste aanbevelingen van deze werkgroep zijn:

- Concretiseer de inrichtingsplannen van het landschap, zodat verbindingen tussen natuurgebieden ontstaan.
- Versterk de natuurbescherming door
 - o Bestaande natuurgebieden de status van kernvlakken toe te kennen
 - o De ontwikkeling van een structureel en divers landschap na te streven
 - o De natuur ruimte te geven voor zelforganisatie, zodat ze tevens een rol kan vervullen in het vasthouden van water, o.a. door retentiegebieden in te richten
- Biotoopverbindingen integreren in ruimtelijke planning en compenserende maatregelen inzetten om verbindingen te realiseren.
- Monitoring van soorten, klimaatparameters en fenologische gegevens ten behoeve van eventuele aanpassing van maatregelen aan klimaatverandering.
- Synergie benutten met andere beleidsopgaven, bv voor binding koolstof of eutrofiering en verbetering van het lokale klimaat door vergroening.

5.2.3 Deelprogramma Cultuurlandschap en klimaatverandering

Bron: Schoenberg, W., en Jensen, K., 2014. Perspektiven für den Naturschutz in der Kulturlandschaft unter Einfluss des Klimawandels: Positionspapier der Arbeitsgruppe Kulturlandschaft & Klimawandel in der Querschnittsaufgabe Naturschutz.

Het deelprogramma Kultuurlandschap & Klimawandel had tot doel om op basis van actuele onderzoeksresultaten en praktijkervaring aanbevelingen te formuleren voor klimaatadaptatie strategieën voor natuurbescherming in het cultuurlandschap.

De belangrijkste aanbevelingen van deze werkgroep zijn:

- (1) Stel eisen aan de verscheidenheid aan soorten en habitats bij de ontwikkeling van het cultuurlandschap door:
 - a. Groter gewicht geven aan natuurvriendelijke ontwikkeling van het cultuurlandschap bij de afweging van belangen en het vaststellen van beleidsopgaven
 - b. Breed inzicht verkrijgen en bewustwording van de factoren die van invloed zijn op de beschermingsdoelen
 - c. Landelijke omarming van het biotopenverbond om compensatiemaatregelen voor flora en fauna mogelijk te maken
 - d. Optimalisatie van het waterbeheer om veranderingen in de neerslagpatronen te compenseren. Dit houdt een doelgeoriënteerd waterbeheer in.

- (2) Uitputting van bestaande wettelijke mogelijkheden en doorontwikkeling wettelijke instrumenten voor aanpassing van de natuurbeschermingspraktijk aan klimaatverandering, door:
 - a. Onderzoeken van het effect van de toenemende dynamiek op ecologische veranderingen en hoe daar mee om te gaan in het beschermingsbeheer.
 - b. Aanpassing en uitbreiding van wettelijke instrumenten.
- (3) Doorontwikkelen van sturingselementen, zoals:
 - a. Het aanpassen van het landgebruik aan klimaatverandering
 - c. Aanpassing van de subsidiepolitiek op basis van de verwachte effecten van klimaatverandering, bijvoorbeeld gericht op het stimuleren van ecosysteemdiensten.

De uitdagingen voor natuurbescherming zijn vergelijkbaar met die in Nederland: hoe beperk je de invloed van ontwatering, gewasbeschermingsmiddelen, meststoffen en atmosferische depositie op natuurontwikkeling tot een acceptabel niveau? Klimaatverandering kan enerzijds actuele problemen en conflicten versterken, en anderzijds kan het nieuwe kansen bieden voor samenwerking tussen gebiedspartners. In dit deelprogramma wordt deze thematiek geadresseerd, maar in de position papers bieden weinig concrete informatie of inzichten.

5.2.4 Deelprogramma Urbane ecosystemen en klimaatverandering

Bron: Schoenberg, W., en Jensen, K., 2014. Positionspapier der Arbeitsgruppe Urbane Okosysteme und Klimawandel in der Metropolregion Hamburg (MRH) in der Querschnittsaufgabe Naturschutz.

Het deelprogramma Urbane Okosystemen & Klimawandel had tot doel om aanbevelingen te doen voor de aanpassing van natuurbescherming aan klimaatverandering, met focus op het stedelijk gebied. Het betreft hier typisch stedelijke ecosystemen, zoals parken, stedelijke wildernis, begraafplaatsen, braakliggende gronden en muurvegetatie. De aanbevelingen betreffen de tijdshorizon tot 2050.

Recent onderzoek (Hoffmann 2012) laat zien dat de temperatuurverschillen tussen de stad Hamburg en het omliggende gebied vrijwel ongewijzigd zullen blijven, zelfs onder invloed van de klimaatverandering, zij het op een hoger temperatuurniveau - ervan uitgaande dat de fysieke structuur van de stad ongewijzigd blijft. Een aanpassing van de stedelijke structuur kan een temperatuurstijging tot 3 ° C mitigeren. Deze aanpassing houdt in het creëren van grotere groenvoorzieningen en grotere waterpartijen.

De belangrijkste aanbevelingen van deze werkgroep zijn:

- (1) Sterker meewegen van de effecten van klimaatverandering, en de aanpassing daarop, in de stedelijke planning.

Doelstelling van de stedelijke planning, met inbegrip van de aanpassing aan de klimaatverandering, moet zijn om een heterogene stedelijke structuur te verkrijgen met een groot aandeel van groene gebieden. De huidige trend van stedelijke ontwikkeling is echter in de tegengestelde richting door verdichting (toename verhard oppervlak). Hoewel er goede argumenten zijn voor verdichting, moeten de consequenties voor toename van het stedelijk warmte-eiland effect en een verlies van biologische diversiteit daarbij onder ogen worden gezien.

- (2) Vermindering van aandeel verhard oppervlak

Door het verminderen van het aandeel verhard oppervlak en het verhogen van het aandeel groene ruimten ontstaat meer ruimte voor flora en fauna en kan de temperatuurstijging in stedelijke gebieden worden verzacht. Dit draagt tevens bij aan een verhoogde infiltratie van regenwater bij extreme buien, wat op zijn beurt een positief effect heeft op het microklimaat. Ook kan plasvorming het microklimaat positief beïnvloeden en tegelijkertijd dienen als biotoop netwerk. Ontmanteling en “ontharding” van stedelijke voorzieningen mogen niet worden uitgesloten.

(3) Geef de ontwikkeling van spontane vegetatie ruimte

Vegetatie die spontaan groeit in open gebieden, zoals bermen en langs spoorlijnen wordt vaak gekenmerkt door kortstondige jaarlijkse soorten. Spontane vegetatie past zich snel aan aan de plaatselijke omstandigheden en reageert daarom snel op veranderingen. Spontane vegetatie kan een klimatologisch aangepast habitat bieden voor insecten en andere fauna, en het heeft een positief effect op het stadsklimaat door temperatuurpieken af te vlakken.

(4) Stimuleer de aanleg van groene daken en gevels

Groene daken en gevels kunnen een habitat vormen voor verschillende insecten en tegelijkertijd de temperatuurpieken dempen. Ze dragen bij aan het behoud van de biodiversiteit in de stad en aan het verkrijgen van een aantrekkelijke leefomgeving.

5.2.5 Relevantie voor de watersector

De meeste aanbevelingen van de werkgroep hebben betrekking op facetten van het natuurbeleid dat buiten de verantwoordelijkheden van de drinkwaterbedrijven valt. Voorbeelden zijn het behoud van estuaria, het creëren van migratieroutes door verbindingzones en de stedelijke biodiversiteit. De meest relevante thematiek betreft de mogelijkheden voor de beheersing van het stedelijk klimaat. Toenemende warmte kan gevolgen hebben voor de watervraag in stedelijke kernen en de opwarming van transportleidingen. De werkgroep beveelt als adaptatiemaatregel aan om meer stedelijk groen en waterpartijen te creëren, bij voorkeur op grotere aaneengesloten oppervlakten. Om hiervoor draagvlak bij de politiek en burgers te verkrijgen wordt het koppelen van beleidsopgaven, zoals biodiversiteit, stedelijke beleving, architectuur (groene gevels) en leefbaarheid, aanbevolen.

6 Deelprogramma KLIMZUG-Nordhessen

6.1 Adaptatiestrategieën voor beheersing van neerslag-afvoerprocessen

6.1.1 Bron

Theobald, Stephan, Anne Siglow, Alexander Rötz, Frank Roland, Klaus Träbing und Christian Bouillon (2013) "Anpassungsstrategien in der Wasserwirtschaft". in Alexander Roßnagel (Ed.) Interdisciplinary Research on Climate Change Mitigation and Adaption. Vol. 5 Regionale Klimaanpassung. Herausforderungen - Lösungen - Hemmnisse - Umsetzungen am Beispiel Nordhessen. Seiten 169-202. University Press. Kassel.

6.1.2 Doel

Het doel van dit project was om het in beeld brengen van

- i) effecten van klimaatverandering op doorstroming van rivieren, afvoer van water en runoff in het stroomgebied van de Fulda, en
- ii) de efficiëntie van adaptatiestrategieën die waterhuishoudkundige constructies zoals stuwmuren/dammen, uiterwaarden en veranderingen in landgebruik kunnen spelen in het neerslag-afvoer proces.

6.1.3 Bevindingen

Hoogwater en overstromingen spelen een belangrijke rol in de regio Noord-Hessen. Tegelijkertijd is het voorkómen van laagwater van belang voor de scheepvaart. De Edersee Dam heeft als doel laagwater te voorkomen en te beschermen tegen overstromingen, maar dient ook als waterkrachtcentrale en voor toerisme. De studie richt zich op neerslag-afvoermodellering, met gekoppelde waterbalans- en klimaatmodellen, van het stroomgebied van de Fulda.

Als gevolg van klimaatverandering is er een verschuiving in de seizoensdynamiek van de rivierafvoeren in het onderzochte stroomgebied: de afvoer in de winter neemt toe, in de zomer neemt de afvoer af. De contrasten binnen een jaar worden dus groter. De jaarlijkse afvoer verandert nauwelijks. De grootte van de gesimuleerde veranderingen is echter sterk afhankelijk van de gebruikte modellen.

Over de efficiëntie van adaptatiemaatregelen wordt geconcludeerd:

- Aanpassingen in landgebruik, zoals omzetting van agrarisch gebruik naar bos, met als doel de infiltratie van regenwater te vergroten en oppervlakkige afvoer te beperken, dragen bij aan het verlagen van de piekafvoeren bij hoogwater. Echter, de hogere verdamping van bos vergroot de laagwaterproblematiek.
- Grote bouwkundige voorzieningen, zoals stuwmuren, kunnen watertekorten aanvullen en wateroverlast verminderen. Nieuwe meet- en regeltechniek biedt kansen voor actieve en adaptieve controle.
- Kleine bouwkundige voorzieningen, zoals stuwen, hebben een gering effect op het beperken van hoogwater.

6.1.4 Relevatie voor de watersector

De studie richt zich op een specifiek gebied en op een problematiek die maar beperkt toepasbaar is voor de Nederlandse situatie. Echter, maatregelen om de infiltratie en grondwateraanvulling te vergroten en water vast te houden daar waar mogelijk en af te voeren wanneer nodig, zijn ook relevant voor het waterbeheer in Nederland. Tevens is voor oppervlaktewaterbedrijven kennis over de ontwikkeling van de beschikbare waterhoeveelheid en de kwaliteit van belang om de bedrijfsvoering daarop tijdig aan te kunnen passen.

7 Discussie en conclusies

7.1 Algemene indruk van het Klimzug onderzoeksprogramma

Het Klimzug onderzoeksprogramma heeft geresulteerd in een groot aantal Duitstalige rapporten over de gevolgen van klimaatverandering op water gerelateerde vraagstukken en de mogelijkheden voor klimaatadaptatie. De rapporten zijn uitgebracht binnen een van de zeven deelprogramma's die gedefinieerd zijn op basis van geografisch afgebakende regio's. Tussen deze zeven deelprogramma's bestaan grote verschillen in de wijze waarop de onderzoeksresultaten zijn ontsloten. Binnen het Dynaklim project, bijvoorbeeld, zijn alle rapporten online beschikbaar, terwijl voor het programma Klimzug-Nord alleen position papers konden worden opgevraagd. Hierdoor was het niet mogelijk om een evenwichtig beeld uit de opbrengsten van Klimzug te verkrijgen. Van de thema's die het relevantst zijn voor de Nederlandse drinkwatersector, waren de rapporten wel goed beschikbaar.

De Klimzug-rapporten zijn doorgaans gebaseerd op goed toegepast wetenschappelijk onderzoek (blijkens de grote hoeveelheid data die is verzameld), weliswaar hoofdzakelijk gebaseerd op Duitstalige literatuur. Hierdoor is het lastig om de gehanteerde aanpak te doorgronden en de onderzoeksresultaten op waarde te schatten. Een andere beperking van de informatiewaarde van de in dit rapport beschreven literatuurstudie, is dat de rapporten verschenen zijn in de periode 2008-2014. Hierdoor is sommige informatie uit deze rapporten enigszins gedateerd, zodat dit project een deel van zijn signaleringsfunctie voor nieuwe ontwikkelingen heeft gemist. Tegelijkertijd heeft deze review bevestigd dat binnen het collectieve drinkwateronderzoek de belangrijkste thema's op het gebied van klimaatverandering en -adaptatie zijn ondergebracht en dat de kwaliteit van het BTO-onderzoek zich kan meten aan het Klimzug-programma. Bovendien lijkt het BTO-onderzoek veel beter internationaal te zijn ingebed, zowel doordat het put uit internationaal onderzoek, als doordat de resultaten ervan internationaal worden gepubliceerd.

Het Klimzug-onderzoeksprogramma is uitgevoerd met het oog op klimaatadaptatieve maatregelen binnen de geografische en beleidsmatige context van de deelgebieden. Omdat deze afwijken van de Nederlandse context, zijn de meeste uitkomsten niet direct toepasbaar op de Nederlandse situatie. Wel legitimeren een aantal opbrengsten uit Klimzug de agendering van een aantal onderwerpen die tot nog toe op onderdelen onderbelicht zijn gebleven in het collectieve onderzoek van de drinkwatersector. Deze onderzoeksonderwerpen zijn:

- Versterken van de zuiverende mechanismen van bodempassage;
- Ruwwaterprognoses op basis van eenvoudige concepten;
- Meten en modelleren van grondwateraanvulling;
- Toekomstbestendig ontwerp van drinkwaterzuiveringen;

De aanbevelingen voor deze onderwerpen worden in de volgende paragrafen uitgewerkt.

7.2 Aanbevelingen voor onderzoeksagenda

7.2.1 Versterken van de zuiverende werking door bodempassage

Grondwaterwinningen

Het Klimzug-programma adresseert de mogelijke consequenties van toenemende droogte door klimaatverandering voor de kwetsbaarheid van grondwaterwinningen in relatie tot activiteiten aan maaiveld. Dit onderwerp is tot nog toe onderbelicht gebleven in het BTO. De resultaten uit Klimzug wijzen uit dat uitdroging van bodems zou kunnen leiden tot een afname van de zuiverende werking door bodempassage als gevolg van structuurbederf. Hierdoor neemt de contacttijd af tussen infiltrerend regenwater en de chemisch reactieve bodem. Dit is voor een deel een onomkeerbaar proces, zodat incidenteel voorkomende extreme droogte voor langere tijd gevolgen kan hebben voor de kwetsbaarheid van grondwaterwinningen. Inzicht in de gevoeligheid van bodems voor structuurbederf onder invloed van droogte en de factoren die daar een rol in spelen kan bijdragen aan het ontwikkelen van maatregelen om de zuiverende werking van de bodems ook op de lange termijn te kunnen blijven benutten of zelfs te verbeteren. Andersom geldt dat zonder deze kennis de (toekomstige) kwetsbaarheid van grondwaterwinningen mogelijk wordt onderschat.

Oeverinfiltratiewinningen

Binnen Klimzug is ook onderzoek verricht naar de bijdrage die bodempassage kan leveren aan het dempen van kwaliteitsschommelingen van oeverinfiltratiewinningen. In het lopende BTO (Themagroep Klimaatbestendige Watersector) wordt onderzoek verricht naar het verbeteren van de bijdrage van bodempassage aan het drinkwaterproductieproces (Hartog e.a., 2017). De focus ligt hierbij vooral op maatregelen om de risico's beheersbaar te maken van verhoogde concentraties aan verontreinigingen in oppervlaktewater als gevolg van droogte en lozingen. Binnen Klimzug wordt tevens gewezen op het perspectief van bodempassage om kwaliteitsvariaties in het ruwwater gedurende natte perioden op te vangen of te dempen. Het gaat daarbij om maatregelen om de werkende mechanismen voldoende te behouden bij korte reistijden en om zuurstofloze omstandigheden die zich voor kunnen doen tijdens natte winters. Een van de maatregelen die daarbij in de praktijk is onderzocht is de plaatsing van damwanden tussen de oeverinfiltratiewinning en de rivier, zodat het stromingspatroon wordt verlegd. Mogelijk kunnen ook andere innovatieve ondergrondse zuiveringstechnieken (bijvoorbeeld gebaseerd op het "funnel-and-gate-principe") bijdragen aan het nivelleren van schommelingen in, of het beperken van, de belasting van drinkwaterzuiveringen. Aangezien de klimaatscenario's voor Nederland een toename van weersextremen aangeven, kan deze aanvullende mogelijkheid voor het benutten van bodempassage relevant zijn voor het zekerstellen van de beschikbaarheid van waterbronnen op de lange termijn.

7.2.2 Ruwwaterprognoses op basis van eenvoudige rekenconcepten

Rekenmethoden om de ruwwatersamenstelling te voorspellen kunnen waardevol zijn om mogelijke kwaliteitsproblemen te signaleren voordat ze zich voordoen, hun oorzaken op te sporen en maatregelen te onderzoeken om zulke problemen te voorkomen. Deze informatie is noodzakelijk voor een goede onderbouwing van de langetermijnkoers van drinkwaterbedrijven en beleidsontwikkeling. Een stroombaanbenadering, zoals in Klimzug is toegepast, biedt een pragmatische oplossing om met complexiteit, o.a. als gevolg van vertragingseffecten, en heterogeniteit van de ondergrond, om te gaan. Deze aanpak kan bijvoorbeeld meerwaarde bieden voor het modelleren van de oxidatie van pyriet onder invloed van nitraat, of het maken van prognoses van bestrijdingsmiddelen in ruwwater. Hoewel daar o.a. in het BTO reeds simulaties voor zijn gedaan, is een uitbreiding naar een meer dynamische benadering van de chemische eigenschappen van de ondergrond een nuttig stap. Dit levert extra inzichten op, zoals de termijn waarop nitraat in pyriet-houdende

lagen alsnog doorslaat naar de pompputten, en met welke kwaliteitsontwikkeling dit gepaard zal gaan.

Daarnaast is binnen Klimzug expliciet aandacht geweest voor het bepalen van onzekerheidsmarges rond gesimuleerde reistijden en intrekgebieden. Een soortgelijke stochastische benadering van reistijdsimulaties wordt thans uitgevoerd in het BTO-project 4D grondwaterbescherming in een veranderende wereld (Themagroep Duurzame Bronnen en Watersystemen). Een verdere ontwikkeling van methodes voor het expliciet maken van onzekerheden is relevant in het licht van de ontwikkeling van een risico-gerichte bronbescherming voor de drinkwatersector.

7.2.3 Meten en modelleren van grondwateraanvulling

De grondwateraanvulling is bepalend voor grondwaterstanden, reistijden en hydrologische connectiviteit (ligging intrekgebieden). Kennis over de grondwateraanvulling raakt daarom direct aan de belangen van de drinkwatersector wat betreft (1) een duurzame inpassing van drinkwaterwinningen in de omgeving, mede gezien vanuit de gevolgen van klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkelingen, en (2) het vormgeven van bronbescherming die voldoende bescherming biedt om ook op de lange termijn voldoende grondwater met een goede kwaliteit te kunnen bieden. De omvang en dynamiek in de grondwateraanvulling is echter niet goed bekend, en deze variabele is met een model te kwantificeren. Binnen het Klimzug-programma zijn daar concepten voor toegepast die mogelijk een nuttige aanvulling vormen voor de in Nederland gangbare methodes. Daarom wordt onderzoek op de volgende thema's aanbevolen:

- De gevolgen van klimaatverandering voor de grondwateraanvulling. Hierbij kan voortgebouwd worden op het lopende lysimeter onderzoek dat in het kader van TKI en BTO bij KWR loopt;
- Concepten voor het bepalen van de grondwateraanvulling als parameter van grondwatermodellen, startend met een inventarisatie en benchmarking van verschillende concepten en rekencodes, waaronder die in Klimzug zijn toegepast;
- Methodes voor het bepalen van onzekerheidsmarges rond berekende verblijftijden op basis van een stochastische benadering. Hierbij kan voortgebouwd worden op de stochastische simulatie van reistijden van grondwater naar de winning Helmond zoals thans wordt uitgevoerd in het kader van het BTO-project "4D grondwaterbescherming in een veranderende wereld".

7.2.4 Toekomstbestendig ontwerp van drinkwaterzuiveringen

Binnen het Klimzug-programma is onderzoek verricht naar het verbeteren van de toekomstbestendigheid van drinkwaterzuiveringen. Hierbij wordt uitgegaan van een onzekere toekomst als gevolg van klimaatverandering en sociaaleconomische ontwikkelingen. Binnen Klimzug wordt geadviseerd om drinkwaterzuiveringen in Duitsland vanuit een modulair principe te ontwerpen. Een modulaire zuivering biedt meer flexibiliteit om onvoorziene ontwikkelingen die zich binnen de afschrijftermijn van de zuivering voor doen het hoofd te bieden. Ook binnen de Nederlandse drinkwatersector bestaat toenemende belangstelling voor strategieën om met onzekerheden in de toekomstige ontwikkeling van de watervraag en ruwwaterkwaliteit om te gaan. In het BTO Verkennend Onderzoek zijn hiervoor acht potentieel bruikbare ontwerpfilosofieën beschreven, waarvan modulair bouwen er één is (Makropoulos e.a., 2016). Geadviseerd wordt om kennisuitwisseling op dit thema te organiseren, zodat ontwerpstrategieën gericht op een onzekere toekomst verder worden ontwikkeld.

7.3 Conclusies

Tussen 2008 en 2014 is in Duitsland het onderzoeksprogramma KLIMZUG uitgevoerd. Met dit rapport is voor het eerst, twee jaar na afronding van het Duitse Klimaatprogramma, informatie over dit onderzoeksprogramma opgehaald en in BTO-verband ontsloten. Hieruit blijkt dat het Duitse en Nederlandse klimaatonderzoek zowel qua doelstelling als thematiek op belangrijke onderdelen overlap met elkaar hebben. Zo is in beide onderzoeksprogramma's hoogwaardige kennis ontwikkeld over de gevolgen van klimaatverandering voor de beschikbaarheid van zoetwater, de kwetsbaarheid van grondwater- en oeverinfiltratiewinningen en de biologische stabiliteit van leidingwater. Deze overlap in de onderzoeksprogrammering geeft aan dat de Duitse en Nederlandse watersector voor een aantal vergelijkbare uitdagingen staan en dat beide landen beschikken over actuele kennis en informatie over klimaatverandering en -adaptatie. Daarom adviseren wij om met de Duitse collega's samenwerking te zoeken, met het oog op uitwisseling van kennis en ervaringen. Hiermee kan efficiënt bijdragen worden aan het actueel houden van kennis over drinkwaterproductie, het scouten van innovaties of nieuwe bedreigingen, en het ophalen van ervaringen met adaptatiemaatregelen.

Bijlage I Overzicht geselecteerde gebieden per regionaal programma en per thema

DYNAKLIM		Kwaliteit en kwantiteit oppervlaktewater	Kwaliteit en kwantiteit grondwater	Water in de stad	Natuur en biodiversiteit	Afvalwaterzuivering	Drinkwaterzuivering - en distributie
Code	Naam						
1	Herausforderungen der Klimawandelauswirkungen für die TW-Versorgung	v	v	v		v	
2	Anpassungsoptionen der Trinkwassergewinnung und -aufbereitung an sich ändernde Rahmenbedingungen	v	v				v
3	Modellierung und Prognose der durch den Klimawandel verursachten Änderungen der Wasserquantität und -qualität		v				
5	Sicherung der Trinkwasserqualität bei der Wasserverteilung bei veränderten Bodentemperaturen			v			v
10	Prognose der Auswirkungen des Klimawandels auf das Grundwasser mit Hilfe eines Grundwasserströmungsmodells am Beispiel der RWW-Wassergewinnung Üfter Mark		v		v		
12	Entwicklung eines instationären Prognosewerkzeuges zur Berechnung der Klimawandelbedingten Veränderungen der Grundwasserneubildung		v				

13	Klimabedingte Veränderung des Bodenwasser- und Stoffhaushaltes und der Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet der Emscher		v		v		
14	Bautechnische, verfahrenstechnische und betriebstechnische Anpassung der Abwasserbehandlung in der Emscher-Lippe-Region und angepasste Konzepte zur Nutzung gereinigten kommunalen Abwassers				v	v	
15	Prognose- und Diagnoseanalysen zur Verbesserung des Stadtklimas; Stadtklimatische Untersuchungen in Oberhausen und Simulationen verschiedener Minderungsstrategien zur Reduktion der thermischen Belastung im Hinblick auf den Klimawandel			v			
17	Unterirdische Wärmeinsel in Oberhausen; Untersuchung subterranner Wärme- und Energieflüsse in verschiedenen Klimatopen			v			

INKA		Kwaliteit en kwantiteit oppervlaktewater	Kwaliteit en kwantiteit grondwater	Water in de stad	Natuur en biodiversiteit	Afvalwater-zuivering	Drinkwaterzuivering - en distributie
Code	Naam						
4	Climate-adapted regional planning for Uckermark-Barnim and Lausitz-Spreewald	v	v		v		
20	Instruments and strategies for a sustainable water management in large wetlands	v	v				
23	Technologies for climate-adapted management of water in urban areas in a changing climate			v			

KLIMZUG-NORD		Kwaliteit en kwantiteit oppervlaktewater	Kwaliteit en kwantiteit grondwater	Water in de stad	Natuur en biodiversiteit	Afvalwater-zuivering	Drinkwaterzuivering - en distributie
Code	Naam						
T3.6	Abwassermanagement und –nutzung	v	v		v	v	
T3.7	Anpassungsprozesse des Naturschutzes in der Kulturlandschaft		v		v		
T3.3	Strategien für eine klimaangepasste Landnutzung in Kulturlandschaften der Metropolregion Hamburg am Beispiel der Region Ostheide		v		v		

KLIMZUG-Nordhessen							
Code	Naam						
1	Wasserwirtschaftlichen Teilprojekt	v	v		v		
5	Umsetzungsverbund Klimaanpassung in der räumlichen Planung	v	v		v		

REGKLAM							
Code	Naam						
11	Teilprojekt 3.2.2 Wasserhaushalt Stadt-Umland		v	v			
12	Teilprojekt 3.2.3 Wasserversorgung	v	v				v
16	Teilprojekt 3.3.3 Integrierte Bewertung	v?	v?	v?	v?	v?	