



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

stowa

UNIE VAN
WATERSCHAPPEN

ENERGIE EN WATERBEHEER

➔ **BOUWSTENEN
VOOR DE
ENERGIETRANSITIE**

2018
65



stowa

ENERGIE EN WATERBEHEER

⇒ **BOUWSTENEN
VOOR DE
ENERGIETRANSITIE**



 **UNIE VAN
WATERSCHAPPEN**



Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland



TEN GELEIDE

Nederland staat aan de vooravond van een ingrijpende verandering in het energiesysteem. Om de opwarming van de aarde beperkt te houden, moet de uitstoot van broeikasgassen vergaand omlaag. Als waterbeheerders zijn we ons terdege bewust van de gevolgen die klimaatverandering kan hebben. Denk maar aan de hittestress en droogte van de afgelopen zomer, maar ook aan wateroverlast door steeds vaker optredende plensbuien. Als vanzelfsprekend willen we bijdragen aan de energietransitie om de klimaatverandering te beperken en ervoor te zorgen dat onze gebieden veilig en leefbaar blijven.

Als waterschappen en Rijkswaterstaat willen we zelf in 2025 respectievelijk 2030 energieneutraal zijn. Naast onze eigen ambities willen we ook bijdragen aan de nationale doelstelling om te zorgen dat Nederland in 2050 vrijwel geheel energieneutraal is. We zetten ons al geruime tijd in voor het besparen en het duurzaam opwekken van energie.

Voor de bediening van een deel van onze sluizen en gemalen bijvoorbeeld, benutten we al langer lokaal opgewekte zonne-energie. En al vele jaren produceren we biogas uit rioolwaterzuiveringsinstallaties. Maar dat is nog niet voldoende: we kunnen met onze beheergebieden en assets meer bereiken.

Daarom sloegen we in 2016 de handen ineen om de mogelijkheden verder te onderzoeken en ons nog meer in te zetten voor de energietransitie. De Unie van Waterschappen, het ministerie van Economische Zaken en STOWA legden afspraken daarover vast in een Green Deal Energie. STOWA en de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) stelden 600.000 euro beschikbaar voor een onderzoeksprogramma, waarin kennisvragen werden omgezet in praktijkgericht onderzoek en pilots rondom de thema's zon, wind, water, warmte en biogas.

Rijkswaterstaat en de Unie van Waterschappen sloten een samenwerkingsovereenkomst: de Energiecoalitie. Daarin spraken zij af om gezamenlijk kennisvragen te beantwoorden en pilots te starten.

Eind 2018 loopt deze Green Deal af. De verkenningen en proefprojecten laten zien dat onze terreinen en assets veel energiekansen bieden. Daar hebben we wel andere partijen voor nodig. De energietransitie kan niet lukken zonder de samenwerking tussen veel partijen die elkaar tot nu toe nog nauwelijks kennen. De energie-

transitie vereist een vorm van systeendenken en het ‘stapelen van kansen’. Voorop staat natuurlijk dat we onze kerntaken goed kunnen blijven uitvoeren. Bovendien moeten we zorgvuldig en verantwoord blijven omgaan met de omgeving en het ecosysteem. Ook dat is belangrijk voor een duurzame toekomst!

Met dit boekje willen wij u informeren over de mogelijkheden die we zien in onze beheergebieden en met onze assets. Het laat zien welke technologieën er zijn, in welke ontwikkelingsfase die zich bevinden, welke potenties en belemmeringen er zijn en of er al concrete voorbeelden te vinden zijn.

We laten hiermee zien dat waterbeheerders zich inspanssen om niet alleen hun eigen doelstellingen te halen, maar dat ze ook hun expertise, beheergebieden en assets inzetten voor de energietransitie in Nederland!

We hopen dat dit boekje u inspireert, en dat we samen een wezenlijke stap kunnen zetten op weg naar een duurzame toekomst.



JOOST BUNTSMA

Directeur STOWA



MARCO KAVELAARS

*Teammanager Rijksdienst voor
Ondernemend Nederland*



DIRK SIERT SCHOONMAN

*Bestuurder
Unie van Waterschappen*









PETER STRUIK

*Hoofdingenieur-directeur
Rijkswaterstaat WVL*



INHOUD

	TEN GELEIDE	3
	OP WEG NAAR EEN ENERGIENEUTRAAL NEDERLAND	8
	Ambities	9
	Mogelijkheden	10
	Ontwikkefase	10
	ENERGIE (TERUG)WINNEN	14
	AQUATHERMIE	16
	Thermische Energie uit Oppervlaktewater (TEO)	17
	Thermische Energie uit Afvalwater (TEA)	22
	ENERGIE VAN DE ZON	26
	Drijvende zonnepanelen	27
	Zonne-energie op dijken	30
	ENERGIE VAN DE WIND	34
	Wind op dijken	35
	ENERGIE UIT WATERKRACHT	40
	Energie uit rivieren en watergangen	41
	Energie uit getij	46
	ENERGIE UIT ZOET-ZOUT GRADIËNTEN	50
	Blue Energy	51
	BIOGAS	54
	Biogas van zuiverings-slib	55
	Biogas: slibontsluiting	58
	Biogas: optimalisatie van slibvergisting	61

ENERGIE BESPAREN	64
Energie besparen op transport van afvalwater	66
BUFFEREN EN OPSLAAN VAN ENERGIE	70
Energie bufferen op gemalen	72
Flexibel energiemanagement op de rwzi	75
Opslag: waterstofproductie bij rwzi's	78
Blue Battery	82
DE TOEKOMST TEGEMOET	84
Uitdagingen en dilemma's	86
STOWA in het kort	90
Colofon	93



OP WEG NAAR EEN ENERGIENEUTRAAL NEDERLAND

De transitie naar een energiesysteem dat is gebaseerd op duurzame bronnen, is een van de grootste uitdagingen van de komende decennia. Ook de watersector draagt zijn steentje bij. Waterschappen willen in 2025 volledig energieneutraal zijn, Rijkswaterstaat in 2030.



AMBITIES

In 2015 sloten 195 landen het 'Klimaatakkoord van Parijs'. Het akkoord heeft als belangrijkste doelstelling dat de opwarming van de aarde beperkt blijft tot ruim beneden 2 graden in 2100. Daarbij is het streven dat de temperatuur niet meer dan 1,5 graad oploopt. Dat is de limiet die cruciaal wordt geacht voor de poolgebieden, koraalriffen en bewoners van laagliggende eilanden en kuststreken. Met de ondertekening van het akkoord is er een wereldwijde coalitie van landen gevormd die het risico op klimaatverandering gaat beperken.

Om aan de mondiale klimaatdoelen te voldoen, streeft het kabinet ernaar om de Nederlandse broeikasemissies in 2050 met 80 tot 95 procent te verminderen ten opzichte van 1990. Op kortere termijn, tot 2030, is het de ambitie om de uitstoot van broeikasgassen met minimaal 49 procent terug te dringen. Het energiesysteem moet hiervoor ingrijpend veranderen. Dat is geen eenvoudige opgave en het vereist grote maatschappelijke veranderingen.

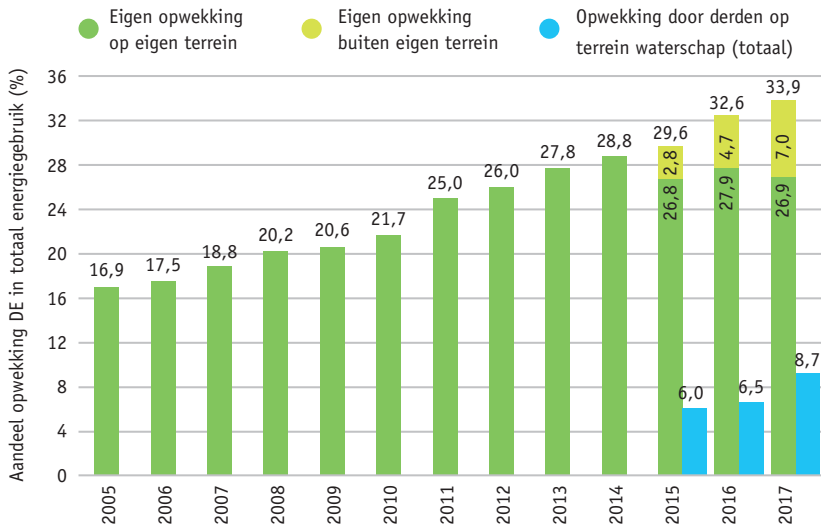
Hoe dit kan worden bereikt, is het onderwerp van het nationale Klimaatakkoord, waaraan bedrijfsleven, maatschappelijke partijen en overheden werken. In juli 2018 werd er een voorstel met hoofdlijnen van het akkoord gepresenteerd. Volgens het voorstel moet de productie van hernieuwbare energie verviervoudigen. Woonwijken moeten verduurzaamd worden door bijvoorbeeld de aanleg van warmtenetten. De planning is dat het akkoord in de tweede helft van 2018 verder wordt uitgewerkt, en dat de uitvoering in 2019 start.

Ook de waterschappen en Rijkswaterstaat dragen hun steentje bij aan de energietransitie. Hun energieambities zijn hoog: ze willen omstreeks 2025 respectievelijk 2030 energieneutraal zijn. Afspraken daarover werden in maart 2016 vastgelegd in een Green Deal tussen de Unie van Waterschappen, STOWA en het ministerie van Economische Zaken en – later dat jaar – in een coalitieovereenkomst tussen Rijkswaterstaat en de Unie van Waterschappen. Zowel de Green Deal als de coalitieovereenkomst lopen eind 2018 ten einde.

In de tussentijd hebben de partijen tal van onderzoeken en pilots uitgevoerd, en is er flink geïnvesteerd in duurzame energie. En met succes: uit de jaarlijkse 'Klimaatmonitor', die de Unie van Waterschappen jaarlijks uitbrengt, blijkt dat het aandeel duurzaam opgewekte energie in het totale energiegebruik van de waterschappen steeds verder toeneemt (*zie figuur 1*).

FIG 1 KLIMAATMONITOR WATERSCHAPPEN

De klimaatmonitor geeft jaarlijks inzicht in de voortgang van de energie-ambities van de waterschappen. Sinds 2015 wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen duurzame energie die binnen en buiten het eigen terrein is opgewekt. Bovendien wordt aangegeven hoeveel energie andere partijen - op het terrein van het waterschap - opwekken [Klimaatmonitor, 2017].



MOGELIJKHEDEN

De terreinen en assets van de waterbeheerders bieden verschillende kansen om energie terug te winnen en op te wekken. Sommige van deze 'energiekansen' hebben een groter potentieel dan andere.

Figuur 2 geeft hiervan een indicatie. Daarbij geldt dat het berekenen van het potentieel ingewikkeld is, en dat er allerlei aannames moeten worden gedaan. Van hoeveel drijvende zonnepanelen ga je bijvoorbeeld uit? Theoretisch is het misschien mogelijk om op al het water drijvende zonnepanelen te leggen, maar uit technisch, economisch en maatschappelijk oogpunt is het dat niet. Verder geldt dat de onderstaande figuur een momentopname is. Veel innovatieve technieken zitten nog in de pilotfase, en daarom is het economisch potentieel nog laag. Dat kan echter snel veranderen en dan ziet het plaatje er ineens heel anders uit.

FIG 2 **INDICATIE VAN HET POTENTIEEL VAN ENERGIEKANSEN OP DE TERREINEN EN ASSETS VAN DE WATERBEHEERDERS**

De figuur is gebaseerd op getallen van het maatschappelijk en economisch winbaar potentieel; deze zijn deels afgeleid uit de literatuur en deels verkregen van experts.



ONTWIKKELFASE

Om een indicatie te geven van de ontwikkelfase start elke energiekans in dit boekje met een ‘thermometer’, in de vorm van een horizontale lijn. Hoe verder de lijn is ingekleurd, hoe verder het ontwikkelstadium. De schaal van links naar rechts is als volgt:

- 1 Idee/onderzoeksfase
- 2 Toegepast in testomgevingen
- 3 Pilots
- 4 Kleinschalig toegepast
- 5 Geïmplementeerd







ENERGIE (TERUG)WINNEN

Er zijn diverse mogelijkheden om energie terug te winnen en op te wekken op het areaal van waterschappen en Rijkswaterstaat. Het water bevat thermische energie dat kan worden benut voor het verwarmen van gebouwen. Met zonnepanelen of windturbines op dijken, daken en in het water kan elektriciteit worden opgewekt. Verder kan de energie van het water uit rivieren, getijdenstromen en waterlopen via turbines en generatoren worden omgezet in elektriciteit. Een slimme combinatie van zoet en zout water levert een elektrische spanning. Afvalwater bevat organisch materiaal, dat kan worden vergist tot biogas. Opgeteld is het een rijk pallet aan mogelijkheden.





AQUATHERMIE

'Aquathermie' is een verzamelnaam voor het winnen van thermische energie uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA) en drinkwater (TED). Zeker 40 procent van de gebouwen in Nederland kan in potentie verwarmd worden met aquathermie. Daarmee is dit een duurzaam alternatief voor aardgas. Dit boekje gaat over TEO en TEA omdat deze technologieën een directe relatie hebben met het water dat in beheer is van waterschappen en Rijkswaterstaat.





THERMISCHE ENERGIE UIT OPPERVLAKTEWATER (TEO)

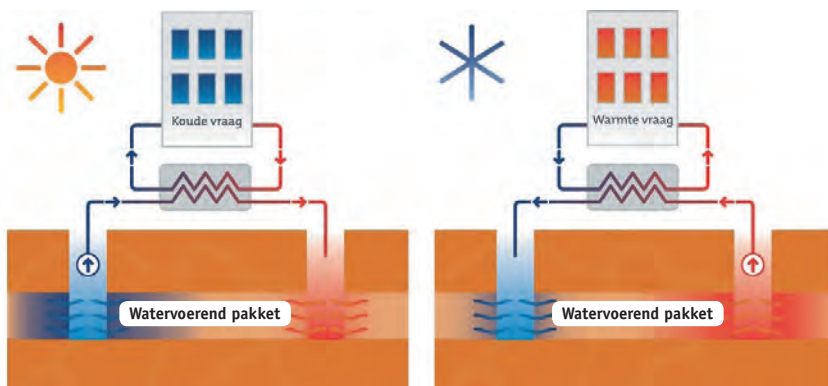
De temperatuur van het oppervlaktewater vormt een kansrijke bron voor het verwarmen en koelen van gebouwen en woningen. Het benutten van die thermische energie kan een prominente rol spelen in de energietransitie.

Het principe van TEO is eenvoudig. In de zomer geeft het oppervlaktewater via een warmtewisselaar warmte af aan water in een leidingensysteem (warmtenet). Omdat de warmte juist in de winter nodig is, wordt deze meestal tijdelijk opgeslagen in een waterhoudende zand- of kiezellaag in de bodem (WKO, of Warmte Koude Opslag). In de winter wordt de warmte via een warmtepomp benut voor het verwarmen van gebouwen (zie figuur 3).

In de winter wordt er juist koude onttrokken aan het oppervlaktewater, en opgeslagen in een andere 'waterbel'. De koude wordt in de zomer gebruikt voor het koelen van gebouwen. Het is ook mogelijk om het koude water uit een grote rivier of diepe plas direct - zonder opslag in een WKO - te benutten voor koeling. In diepe plassen treedt stratificatie van het water op, waarbij het water op grotere diepte

FIG 3 PRINCIPE VAN TEO IN COMBINATIE MET WKO

[Bron: IF Technology]





kouder is dan aan het oppervlak. Het gebruik van de koude uit diepe plassen staat ook wel bekend onder de term 'lake source cooling'.

Na onttrekking van de warmte of kou wordt het oppervlaktewater weer teruggevoerd naar de sloten, kanalen en meren waar het oorspronkelijk vandaan kwam.

De toepassing van TEO kan zorgen voor een goede balans in het WKO-systeem. Arné Boswinkel van de RVO vertelt: 'Uit onderzoek is gebleken dat meer dan de helft van de WKO-systemen onder de maat presteert. Rendementen worden niet gehaald, en het elektriciteitsgebruik is hoger dan beloofd. Juist dit soort problemen kunnen met de combinatie WKO en TEO worden voorkomen.'

POTENTIE

Als we de thermische capaciteit van al het oppervlaktewater in Nederland konden gebruiken, dan zouden we het hele land gemakkelijk van duurzame warmte en koude kunnen voorzien. Dat is echter uit economisch oogpunt niet haalbaar. Het vervoer van warmte is erg duur en daarom is het alleen realistisch om het oppervlaktewater te gebruiken op plaatsen waar dat in de buurt ligt van gebouwen. Afhankelijk van de mate waarin kan worden aangesloten op warmtenetten kan thermische energie uit oppervlaktewater grofweg voorzien in 40 procent van de nationale warmtevraag¹ en 54 procent van de koudevraag in Nederland². Daarmee kan het - na wind en zon - de derde bron van duurzame energie worden.

TEO is vooral een optie voor geïsoleerde gebouwen die met lage-temperatuursystemen verwarmd kunnen worden. Voor gemeenten kan TEO een belangrijke rol spelen in de gemeentelijke warmteplannen.

Een groot voordeel van de technologie is dat het nauwelijks impact heeft op de ruimte, in tegenstelling tot bijvoorbeeld zonneparken of windmolens. Er zijn zelfs voordelen voor de omgeving. Het onttrekken van warmte uit water, en dus het afkoelen van het oppervlaktewater in de zomer, zorgt voor doorstroming en extra zuurstof in het water en een betere waterkwaliteit. Dat vermindert de kans op blauwalg, botulisme, stank en dode vis. Bovendien zorgt het koudere water in de stad voor verkoeling.

1 *Deltares, 2018. In rapport: Nationaal potentieel van aquathermie.*

2 *IF Technology, 2016. In Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem.*



Eventuele effecten van het lozen van het koudere water op het watersysteem en de ecologie vormen punt van onderzoek.

Benutten van gemalen

Door gemalen te voorzien van een warmtewisselaar, kunnen deze een interessante plek vormen voor het aftappen van thermische energie. Er zijn pompen aanwezig die alleen op vol vermogen draaien bij extreme waterstanden, en dus vaak capaciteit over hebben om de circulatie van het oppervlaktewater naar de WKO te verzorgen³. Een ander voordeel is dat er twee gescheiden watersystemen zijn, waardoor de temperatuur van het lozingspunt de temperatuur van het innamepunt niet beïnvloedt. Ook stuwen zijn wat dat betreft kansrijke locaties.

ONDERZOEK

STOWA, de Unie van Waterschappen en Rijkswaterstaat verkennen in verschillende projecten de haalbaarheid van TEO. Daarbij is niet zozeer de techniek het belangrijkste thema, want warmtewisselaars, warmtepompen en warmtenetwerken zijn bewezen technieken.

Michelle Talsma, onderzoekscoördinator watersystemen bij STOWA licht toe: ‘We houden ons vooral bezig met vragen op financieel, organisatorisch en bestuurlijk vlak. Voor het grootschalig toepassen van TEO zijn meerdere partijen nodig, zoals waterbeheerders, energiebedrijven, netbeheerders, gemeenten, projectontwikkelaars en eigenaren van gebouwen. Het is de uitdaging om samen te zoeken naar mogelijkheden om het oppervlaktewatersysteem slim te verbinden met het energiesysteem. Ook brengen we kennis bijeen over mogelijke effecten van TEO op de waterkwaliteit en de ecologie. Het gaat dan bijvoorbeeld om het effect van het ‘terugleveren van koude’ op de pH, de zuurstofconcentraties en de flora en fauna van het oppervlaktewater⁴. Die kennis is essentieel om voorwaarden te kunnen stellen aan vergunningen, zodat TEO op een ecologisch verantwoorde wijze wordt toegepast.’

3 *De Ingenieur, okt. 2016. Oppervlaktewater is een prachtige energiebron.*

4 *STOWA, Deltafact ‘Ecologische effecten koudwaterlozingen’.*



Om de verschillende partijen bij dit proces te ondersteunen, bracht STOWA in 2017 de Handreiking Thermische energie uit oppervlaktewater uit. Deze biedt handvaten voor het realiseren van TEO-projecten: van verkenning tot operationeel ontwerp en samenwerkingsovereenkomst.

Verder is er een portfolio gemaakt met uitgewerkte businesscases; met de kennis die hierbij is ontwikkeld werd een instrument ontwikkeld waarmee de financiële haalbaarheid van TEO-projecten snel kan worden beoordeeld.

Het Rijk gaat deze kennis gebruiken in een nog op te stellen Ministeriële Richtlijn.

“WIST U DAT HET VERLAGEN VAN DE TEMPERatuur VAN DE RIJN MET 1 GRAAD CELSIUS IN THEORIE GENOEG IS OM HEEL NEDERLAND VAN WARMTE TE VOORZIEN?”

[Roeland Allewijn, directeur bij Rijkswaterstaat, tijdens een bijeenkomst van het Nationaal Kennis- en innovatieprogramma Water en Klimaat, april 2018]

VOORBEELDEN EN PILOTS

Een greep uit bestaande projecten:

- Het woonzorgcentrum Torckdael in Wageningen wordt duurzaam verwarmd met water uit de stadsgracht. Hiervoor wordt in de zomer warmte uit de - doorgaans zeer warme - stadsgracht onttrokken en opgeslagen in een WKO. Deze warmte wordt in de winter weer onttrokken aan het water van de WKO en met behulp van een warmtepomp opgewaardeerd voor het verwarmen van de appartementen en het tapwater.
- Water uit de Maas koelt een groot deel van de Maastoren op de Kop van Zuid in Rotterdam.
- Nuon heeft twee koudecentrales in bedrijf, die zorgen voor duurzame koeling van gebouwen in Amsterdam Zuidoost en de Zuidas. Nuon pompt daarvoor diepgelegen water uit de Nieuwe Meer en de Ouderkerkerplas.
- In de Amsterdamse nieuwbouwwijk Houthaven wordt gebruik gemaakt van een koudenet. In de zomer worden de woningen rechtstreeks gekoeld met water uit het nabijgelegen IJ. Als het water niet koud genoeg is, wordt gebruik gemaakt van water dat in de winter is opgeslagen in de ondergrondse koudebron. Het vormt één van de methoden die Houthaven tot een 100 procent klimaatneutrale wijk moeten maken.



GEMAAL KATWIJK

In het voorjaar van 2018 ondertekenden de gemeente Katwijk, het Hoogheemraadschap van Rijnland, woningbouwcoöperatie Dunavie en Alliander Duurzame Gebiedsontwikkeling samen een overeenkomst om te onderzoeken of warmtewinning uit oppervlaktewater een betaalbaar alternatief is voor de verwarming van 1000 woningen in de Katwijkse buurt Hoornes. Zij willen daarbij gebruik maken van de thermische energie die kan worden gewonnen bij boezemgemaal Koning Willem-Alexander in Katwijk.

Uit een businesscase blijkt dat het gemaal mogelijkheden biedt om een 'energiefabriek' te worden. Hoogheemraad Sjaak Langeslag zegt hierover het volgende: 'De resultaten van het vooronderzoek bij ons gemaal in Katwijk zijn veelbelovend vanwege drie aspecten: we verpompen hier gedurende het hele jaar veel water waarvan we de warmte kunnen gebruiken, de ondergrond is geschikt voor opslag, en in de directe omgeving liggen woningen en zwembaden die kunnen profiteren van de warmte. Verder onderzoek moet nu uitwijzen of thermische energie een betaalbaar alternatief is voor de verwarming van de gebouwen'.⁵

Alle partijen die de overeenkomst ondertekenden hebben belang bij de energiefabriek. Voor de gemeente draagt het benutten van de warmte bij aan de ambitie om energieneutraal te worden. Voor de woningcoöperatie geeft het een impuls aan de doelstelling om een energielabel van gemiddeld B te halen. En ook Rijnland ziet kansen: 'Thermische energie levert een grote bijdrage aan Rijnlands energie-efficiencyplan én de samenwerking vanuit maatschappelijk verantwoord ondernemen. Het is mooi om met zoveel verschillende partners samen te kunnen werken aan hetzelfde doel, namelijk een energieneutrale leefomgeving', aldus Langeslag.

Naast het winnen van thermische energie zijn er plannen om bij het gemaal - op de grens tussen het zoute water van de Noordzee en het zoete boezemwater - energie te winnen met 'Blue Energy'. Daarmee is de energiefabriek nog completer. Meer hierover is te lezen in een andere paragraaf van dit boekje.



THERMISCHE ENERGIE UIT AFVALWATER (TEA)

Elke dag verdwijnt er warm water in het riool of - na zuivering - in het oppervlaktewater. Dat is zonde, want die warmte is goed bruikbaar voor de verwarming van gebouwen.

Huishoudens en bedrijven gebruiken veel energie voor het opwarmen van water. Na gebruik loopt dit warme water merendeel weg in het riool, waar het een groot deel van zijn warmte verliest. Via de rioolbuizen stroomt het afvalwater naar de rioolwaterzuiveringsinstallaties. Aangekomen in de rwzi warmt het water weer enkele graden op. Dat komt doordat er tijdens het zuiveringsproces bij het omzetten van biologisch afbreekbare materialen warmte vrijkomt. Het schone effluent - dat dus warmte bevat - wordt vervolgens geloosd op het oppervlaktewater.

POTENTIE

TEA heeft vooral potentie op locaties waar het afvalwater relatief warm is en/of een hoog debiet heeft. Verder moeten er gebouwen in de directe omgeving liggen die de warmte kunnen gebruiken, want warmtetransport is erg kostbaar. Dit kan het geval zijn op locaties vlakbij rwzi's, waar relatief grote hoeveelheden water worden afgevoerd naar het oppervlaktewater. Volgens Bert Palsma, onderzoekscoördinator Waterketen bij STOWA is dat laaghangend fruit en moeten we 'morgen beginnen met het onttrekken van warmte'. Dit past uitstekend binnen het concept 'rwzi's als energiefabriek' (zie hoofdstuk *Biogas*).

Maar volgens Palsma zet het vooral zoden aan de dijk als je warmte onttrekt aan het afvalwater op de plekken waar dit het riool instroomt. Hij licht toe: 'Dit wordt ook wel rithermie genoemd. Voordeel is dat de temperatuur van het afvalwater dan nog relatief hoog is, en dat er een grote kans is dat de vraag naar warmte en het aanbod ervan bij elkaar in de buurt komen. Denk aan woonwijken, sporthallen en zwembaden. Juist in die situaties is het benutten van thermische energie kansrijk.'

Inmiddels passen steeds meer gemeenten rithermie toe in nieuwbouwwijken door een collectieve warmtewisselaar in de rioolbuis te plaatsen. Bovendien winnen ook steeds meer particulieren de warmte van hun douchewater terug via een warmtewisselaar op de afvoer.



Een groot voordeel van TEA is dat het een niet-zichtbare techniek is, en daarom mogelijk veel draagvlak zal hebben. Verder is er leveringszekerheid, omdat riolen lang blijven liggen en afvalwater blijven afvoeren in zowel de zomer als de winter. Voor riothermie geldt dat de techniek zich bij vele projecten bewezen heeft, dat het rendement in het algemeen hoog is, en dat de terugverdientijd van de investeringen relatief laag is.

ONDERZOEK

Er zijn in Nederland tal van initiatieven met riothermie: sommige nog in de verkennende fase, andere reeds gerealiseerd. De meeste initiatieven gaan gepaard met onderzoek.

Verder wordt er onderzoek gedaan naar de effecten van riothermie op het functioneren van rwzi's. Immers: door warmte aan het afvalwater te onttrekken koelt het af. Een te lage temperatuur heeft een negatief effect op de biologische activiteit van micro-organismen tijdens het zuiveringsproces; het stikstofverwijderingsproces verloopt zeer traag bij een afvalwatertemperatuur lager dan 10 graden.

Metingen en berekeningen in reeds afgeronde studies laten echter zien dat de effecten van het terugwinnen van warmte op het zuiveringsproces beperkt zijn, als er voldoende afstand is tussen de warmtewisselaar en de rwzi. Vermoedelijk treedt, onder invloed van bodem en grondwater, een opwarmingproces op waardoor er per saldo een beperkt effect overblijft. Om meer inzicht hierin te krijgen, vindt bij diverse projecten monitoring plaats van de temperatuur van het afvalwater en de efficiency van de rwzi.

VOORBEELDEN EN PILOTS

Een greep uit de zwembaden die gebruik maken van TEA

- Het zwembad Tijenraan in Raalte wordt verwarmd met energie uit het - gezuiverde - effluent van de nabijgelegen rwzi.
- Sinds 2016 wordt het zwembad De Bun op Urk gasloos verwarmd. De warmte wordt gewonnen uit een persriool, die op honderd meter van het zwembad ligt. De riothermie wordt gecombineerd met WKO. Omdat het riool veel warmte in de zomer geeft en het zwembad dan juist minder warmte nodig heeft, wordt de warmte opgeslagen in de bodem. Deze warmte is in de winter beschikbaar voor het zwembad.



RIOOTHERMIE IN GOES

Woningcorporatie RWS en de gemeente Goes maken gebruik van riothermie voor de verwarming van zestig nieuwbouwappartementen op het Hollandiaplein te Goes. Hiervoor is een speciale rioolbuis van dertig meter in de grond gebracht met een geïntegreerde warmtewisselaar, die warmte uit het rioolwater onttrekt en afgeeft aan een transportvloeistof. Deze vloeistof stroomt naar een centrale ruimte en verwarmt daar het water dat naar de woningen gaat. Een warmtepomp brengt de temperatuur van dit water op 45 graden. Elke woning krijgt een boiler en een doorstroomtoestel. Daarmee kan de temperatuur van het tapwater nog extra worden verhoogd.

Dit riothermiesysteem zorgt voor 70 tot 80 procent van de warmte. Er zijn ook twee cv-ketels in het pand geïnstalleerd om piekmomenten op te vangen. Gedurende de zomer kan het systeem de appartementen weer koelen.

Aan het project ging twee jaar voorbereidingstijd vooraf. Er moest een geschikt technisch systeem worden gekozen en er waren data nodig over de aanvoer en de temperatuur van het effluent. De woningbouwvereniging wil er immers zeker van zijn dat het systeem voldoende warmte levert. Toen alle seinen op groen stonden, besloten beide partijen de handen ineen te slaan. Zij stelden een overeenkomst op, waarin helder is vastgelegd hoe het zit met de eigendomsverhoudingen en hoe de onderhoudskosten van het riothermiesysteem worden verdeeld. Ook staat in de overeenkomst dat de gemeente voor vijftig jaar voldoende aanvoer van effluent garandeert. Volgens de betrokkenen is zo'n overeenkomst echt een aanrader: het geeft zekerheid en voorkomt ingewikkelde discussies achteraf.

**“RUIM 80 PROCENT VAN AL HET AFVALWATER VAN DE HUISHOUDENS
IN GOES IS WARM EN KOMT IN HET RIOOL TERECHT. ZONDE OM DAAR
NIETS MEE TE DOEN!”**

[Gemeente Goes]

 *Werkzaamheden plaatsenvriolering in Goes.*





ENERGIE VAN DE ZON

De hoeveelheid zonne-energie die in Nederland jaarlijks wordt opgewekt stijgt sterk. In 2017 werd er maar liefst 40 procent meer geproduceerd dan in 2016⁶. In het beheergebied van waterschappen en Rijkswaterstaat zijn er verschillende mogelijkheden voor het plaatsen van zonnepanelen. Dit boekje gaat dieper in op drijvende zonnepanelen en op 'zon op dijken'. Daarnaast plaatsen veel waterbeheerders zonnepanelen op de daken van hun gebouwen, en benutten ze zonne-energie om kleine stuwen en sluizen van elektriciteit te voorzien.



6

energieopwek.nl



DRIJVENDE ZONNEPANELEN

De zon vormt de grootste energiebron voor de aarde en 70 procent van het aardoppervlak bestaat uit water. Daarmee vormen drijvende zonneparken wereldwijd een groot potentieel voor het opwekken van duurzame energie.

Het gebruik van drijvende zonneparken voor het opwekken van zonne-energie neemt een steeds grotere vlucht. Vooral in landen zoals China, Engeland en Japan wordt de techniek al langer toegepast. In Nederland is het fenomeen nog vrij nieuw, maar er zijn steeds meer initiatieven. Om de realisatie van drijvende zonneparken een impuls te geven, werd begin 2017 het Consortium 'Zon op water' opgericht. Hierin werken ruim dertig bedrijven, kennisinstellingen en overheden samen aan de verdere ontwikkeling van zonneparken en de daadwerkelijke realisatie ervan. Hun ambitie: 2000 hectare drijvende zonnecentrales in Nederland in 2023.

POTENTIE

Volgens de RVO zijn zonneparken op water potentieel rendabeler dan parken op land, onder andere vanwege een hogere kilowattuur-opbrengst en de mogelijkheid om grotere parken aan te leggen dan op land.⁷

De hogere opbrengst van drijvende panelen hangt samen met de weerkaatsing van het licht en de verkoelende werking van het water op de panelen. Volgens de ontwikkelaars van de panelen kunnen drijvende tweezijdige zonnepanelen tot 30 procent meer elektrische energie opwekken dan op daken geïnstalleerde panelen.⁸

Dat er grotere parken kunnen worden aangelegd komt doordat Nederland rijk is aan water dat potentieel benut kan worden terwijl de ruimte op land schaars is. Rijkswaterstaat en de 21 Nederlandse waterschappen beschikken gezamenlijk over 7.645 vierkante kilometer binnenwater, waar in theorie flink wat petajoules zouden kunnen worden opgewekt. Maar uit technisch, economisch, maatschappelijk en ecologisch oogpunt is het niet mogelijk om al het water vol te leggen met zonnepanelen.

⁷ www.rvo.nl/subsidies-regelingen/projecten/zon-op-water

⁸ www.sunfloat.com



ONDERZOEK

De aanleg van drijvende zonneparken brengt veel vragen met zich mee. Wat is bijvoorbeeld het effect van de panelen op de waterkwaliteit en de ecologie en hoe kan worden omgegaan met vergunningverlening? Daarnaast spelen er vragen over de techniek, de te behalen opbrengst en de economische haalbaarheid. Om op dit soort vragen een antwoord te krijgen vindt er onderzoek plaats en worden er pilots uitgevoerd.

Studie naar vergunbaarheid

Het consortium 'Zon op water' voerde onderzoek uit naar de vergunbaarheid van drijvende systemen op water. De resultaten zijn vastgelegd in een rapport, dat een overzicht geeft van de benodigde vergunningen en andere juridische verplichtingen, voor het plaatsen van zonnesystemen op water. Verder wordt gewerkt aan stroomschema's die initiatiefnemers langs alle keuzes en afwegingscriteria leiden, zodat zij kunnen bepalen of een drijvend zonnesysteem op een bepaalde locatie vergunbaar en daarmee kansrijk is. Naar verwachting komen de resultaten eind 2018 beschikbaar.

VOORBEELDEN EN PILOTS

PILOT RWZI WEURT

In het najaar van 2018 start het consortium INNOZOWA met het plaatsen van een pilot-installatie met drijvende zonnepanelen op de waterberging bij de rioolwaterzuivering in Weurt, regio Nijmegen. INNOZOWA staat voor INNOvatieve ZOn-pv (zonnepanelen) op WAter. In het consortium werken waterschap Rivierenland, TUDelft en twee bedrijven aan het realiseren van zonneparken op water. Gezamenlijk zoeken zij naar een flexibel ontwerp waarmee tegen een concurrerende prijs optimaal gebruik kan worden gemaakt van het beschikbare waterareaal. Maar ze willen meer: het is hun ambitie om met de innovatie tegelijkertijd kansen te scheppen voor het waterbeheer. Daarom zoeken ze naar manieren om met de drijvende panelen meerwaarde te creëren voor de natuur. Met de uitkomsten van de pilot verwachten de partijen voldoende data en ervaring te hebben om het project verder op te schalen.



DRIJVEND ZONNEPARK LINGEWAARD

Dit is een noemenswaardig park van circa zesduizend drijvende panelen op het gietwaterbassin bij Bemmel. Burgers namen voor dit park het initiatief en zochten - met succes - samenwerking met projectpartners om het te realiseren.

PILOT OP DE SLUFTER

Het consortium 'Zon op water' voert een pilot uit op de Slufter, een depot voor verontreinigd sediment op de Maasvlakte dat in beheer is bij Rijkswaterstaat. De Slufter kent veel zonuren, maar de golven stellen zware constructieve eisen aan de drijvende panelen. In 2017 hebben enkele bedrijven hier verschillende typen drijvende systemen neergelegd. Een aantal verschillen: sommige systemen draaien met de zon mee, andere liggen gericht op het zuiden, sommige panelen absorberen het zonlicht alleen aan de bovenkant, andere hebben 'bifacials'. Dat betekent dat ook de onderkant het weerkaatste zonlicht vanaf het water opvangt en omzet in elektriciteit. De pilot heeft tot doel om te kijken of drijvende zonnepanelen grootschalig kunnen worden toegepast.

**“DE PILOT VAN DRIJVENDE ZONNEPANELEN OP DE SLUFTER LAAT
ZIEN HOE WE ALS RIJK ONS WATER BESCHIKBAAR KUNNEN STELLEN
VOOR EEN ENERGIENEUTRAAL NEDERLAND.”**

*[Roald Laperre, directeur generaal Milieu en internationaal van het
ministerie van Infrastructuur en Waterstaat⁹].*



ZONNE-ENERGIE OP DIJKEN

Dijken in Nederland bieden in theorie veel ruimte voor zonnepanelen. Waterbeheerders krijgen dan ook regelmatig de vraag van initiatiefnemers of er zonnepanelen op de dijk mogen worden geplaatst.

Nederland heeft nogal wat kilometers aan dijken: zo'n 3.000 km aan primaire keringen, 10.000 km aan regionale keringen, en 50.000 km aan polderkaden. Een deel van deze dijken heeft hellingen die op het zuiden zijn georiënteerd. Logisch dat initiatiefnemers naar de dijken kijken voor het plaatsen van zonnepanelen. Maar dat klinkt simpeler dan het is in de praktijk, want je mag niet lukraak zonnepanelen op waterkeringen neerzetten. Vrijwel alle dijken hebben een functie voor waterveiligheid, en die mag onder geen beding in gevaar worden gebracht. Zonnepanelen mogen bijvoorbeeld niet leiden tot extra erosie van de grasbekleding en moeten bestand zijn tegen water dat over de dijk slaat. Vooral voor primaire keringen zijn de veiligheidsnormen streng, want mocht er een dijk falen, dan is de impact enorm. Behalve voor veiligheid vervullen dijken ook een rol voor landschap, biodiversiteit, cultuurhistorie en recreatie. Dat zijn allemaal aspecten waarmee rekening moet worden gehouden.

POTENTIE

Hoewel de theoretische potentie van zonne-energie op dijken relatief groot is, is het de vraag hoeveel hiervan daadwerkelijk kan worden benut. Technisch gezien gaan de ontwikkelingen snel: innovatieve bedrijven werken aan oplossingen, die een dijk mét panelen zelfs sterker maken dan een dijk zonder panelen en ook aan de landschappelijke inpassing van panelen wordt gewerkt.

Toch zijn er zijn nog vele hobbels. Wentholt: 'In feite komen er op de dijk verschillende werelden samen: waterveiligheid, techniek, ruimtelijke inrichting en energie. Dat maakt het complex om initiatieven van de grond te krijgen. Verder is het voor afgelegen dijken vaak lastig om de elektriciteit te transporteren en op te slaan. Dat wordt vaak vergeten. Waar het voor grotere, centraal gelegen zonneparken haalbaar is om ze met kabels en verdeelstations aan te sluiten op het energienetwerk, is dat vaak niet het geval voor decentraal gelegen panelen. Daardoor vallen heel veel locaties af. Het is een zoektocht waarin innovaties belangrijk zijn en waterbeheerders van elkaar leren.'



ONDERZOEK

Er is nog slechts weinig bekend over de mogelijkheden en effecten van zonnepanelen op dijken. Om meer inzicht hierin te krijgen, voert STOWA samen met andere partijen onderzoek uit.

In de eerste fase daarvan worden randvoorwaarden bepaald, waaraan de ontwikkeling van zonne-energie op dijken moet voldoen. Dat gaat om technische randvoorwaarden, maar ook om de landschappelijke inpassing van de panelen. Vervolgens daagt STOWA de markt uit om met oplossingen te komen die aan deze eisen voldoen.

In een volgende fase van het onderzoek worden pilots uitgevoerd om de constructies te testen. Waarschijnlijk wordt de Knardijk één van de proeflocaties. Deze dijk heeft sinds de versterking van de primaire keringen van Flevoland geen status als waterkering meer en daarom nemen de mogelijkheden voor ruimtelijke ontwikkelingen toe. Dat betekent niet dat alles kan, want de Knardijk behoudt wel een instandhoudingsfunctie. Dat wil zetten dat de dijk het water bij een eventuele dijkdoorbraak in één van de polders tegenhoudt, waardoor er tijd is om mensen in de andere polder te evacueren.

Er zijn ook testmogelijkheden op andere locaties waar de gevolgen van een overstroming bij aantasting van de dijk geen grote gevolgen hebben. Denk bijvoorbeeld aan de dijk bij Ouwkerk in Zeeland, waar een voordijk ligt, of aan de dijk bij het Lauwersmeer in Groningen.

VOORBEELDEN EN PILOTS

EEMSHAVEN

Een voorbeeld van een dijk waar een zonnepark wordt gerealiseerd ligt ten zuiden van de Eemshaven in Groningen; deze dijk heeft geen waterkerende functie meer. Naast de windmolens - die inmiddels op de dijk zijn neergezet - worden er zonnepanelen neergelegd, waardoor de dijk verandert in een lange 'zonedijk'. Het lint van in totaal 18.500 panelen is goed voor een productie van 5.415.000 kilowattuur per jaar en levert daarmee stroom voor 1.450 huishoudens.



ZONNEPANELEN OP DE HARDERDIJK

Waterschap Zuiderzeeland gaat zonnepanelen plaatsen op de Harderdijk, een primaire waterkering bij gemaal Lovink in Biddinghuizen. Yasmin Joenje, vanuit waterschap Zuiderzeeland betrokken bij zon op dijken vertelt: 'We hebben hiervoor een omgevingsvergunning gekregen. We willen energie opwekken om het gemaal te laten draaien. We nemen speciale maatregelen die de veiligheid van de kering borgen, zoals het omwaai-bestendig aanleggen van de zonne-installatie. Bovendien worden de collectoren alleen aan de landwaartse zijde van de dijk geplaatst. De veiligheid is daardoor niet in het geding.'

Haar collega Willemijn Rossen vult aan: 'Behalve het opwekken van energie, willen we met dit project ook ervaring opdoen met het plaatsen van zonnepanelen, zowel qua proces als qua techniek. We hebben een uitgebreid proces doorlopen. Omdat het project in de waterkering plaatsvindt, hebben we onder andere een projectplan in het kader van de Waterwet opgesteld. Verder hebben we een omgevingsvergunning aangevraagd bij de gemeente, waarvoor we ook een gesprek met de welstandscommissie hebben gehad in verband met ruimtelijke inpassing. Tenslotte hebben we omwonenden geïnformeerd met een brief en een SDE+ subsidie aangevraagd. Tegen andere waterbeheerders zou ik willen zeggen: begin gewoon, maar wees je ervan bewust dat het proces veel tijd en aandacht vraagt!'

**"HET IS WIKKEN EN WEGEN WELKE FUNCTIES OP EEN DIJK
MOGELIJK EN WENSELIJK ZIJN. DAT IS MAATWERK!"**

[Yasmin Joenje, waterschap Zuiderzeeland]





ENERGIE VAN DE WIND

Nederland is een echt windland omdat het vaak en hard waait. Daarom zijn de potenties voor het opwekken van elektriciteit met windturbines relatief groot. Een groot voordeel van windenergie is dat het uit een bron komt die nooit op raakt. Een nadeel is dat het aanbod van energie sterk fluctueert: soms waait het stevig, en dan ineens is het weer windstil.

Rijk en provincies hebben samen afspraken gemaakt over de verdeling van het aantal windparken. Elke provincie wijst locaties aan waar 'hun' windparken komen. Daarbij kijken ze ook naar de grotere wateren, zoals het IJsselmeer. De keuze voor locaties vraagt om een brede afweging van allerlei aspecten, zoals windcondities, natuur- en milieubelangen en de leefomgeving. Dit boekje zoomt in op windturbines op dijken.





WIND OP DIJKEN

Wind is in Nederland de grootste bron voor het opwekken van duurzame energie. Het aantal windparken groeit gestaag, en in de zoektocht naar ruimte wordt er ook naar de dijken gekeken.

Dijken zijn interessante plekken voor het plaatsen van windturbines: de lengte aan dijken in Nederland is groot, de ligging langs water maakt dat het er bijna altijd waait en er wonen relatief weinig mensen in de buurt van de dijken, wat de kans op overlast beperkt. Waterschappen en Rijkswaterstaat krijgen dan ook regelmatig te maken met initiatieven op dit gebied.

Het plaatsen van turbines op de waterkering moet echter heel zorgvuldig gebeuren: de veiligheid van de kering staat voorop. Voorkomen moet worden dat de grote krachten die in het spel zijn een negatieve invloed hebben op de waterkering. Daarbij gaat het niet alleen om het gewicht van de windturbine zelf, maar ook om krachten die via de turbine op de waterkering werken. Verder is het belangrijk dat de kering niet wordt beschadigd door trillingen tijdens storm of door vallende voorwerpen.

Niet alleen de veiligheid is belangrijk bij het afwegen of er windturbines op de dijk kunnen worden geplaatst. Ook landschappelijke, recreatieve en cultuurhistorische aspecten spelen daarbij een rol.

POTENTIE

In theorie is er in Nederland volop ruimte om het aantal windturbines op dijken uit te breiden. De werkelijke potentie wordt echter bepaald door andere factoren, zoals de invloed op de veiligheid en de ruimtelijke ordening van de provincies. Die stellen de contouren vast van windparken en daarbinnen liggen soms dijken. Ook kunnen de parken locaties omvatten die aan de dijk grenzen, maar waar de turbines wel invloed kunnen uitoefenen op de dijk, bijvoorbeeld als ze omvallen. Het plaatsen van turbines is alleen toegestaan als de initiatiefnemer voldoende kan aantonen dat dit geen negatieve gevolgen heeft voor de waterkerende functie van de dijk conform de veiligheidsnorm die is vastgelegd in de Waterwet.



ONDERZOEK

De ontwikkelingen op het gebied van windturbines gaan snel. Er wordt gewerkt aan ontwerpen die de veiligheid van de kering niet aantasten. Energiebedrijf inno-gy, dat diepgaand onderzoek heeft laten uitvoeren naar de impact van windturbines op (primaire) keringen en de waterveiligheid, gelooft in windturbines op primaire keringen. Op de website meldt het bedrijf: 'Het ontwikkelen van een windturbine op een waterkering vereist een andere voorbereiding dan een windturbine op landbouwgrond. In ons concept gaan we uit van de eigenschappen van het dijklichaam. Deze worden zoveel mogelijk benut in het ontwerp voor de windturbines. In het meest gunstige geval draagt de windturbine zelfs bij aan de waterveiligheid. Dankzij de positieve uitkomsten van het voorbereidende onderzoek zijn wij klaar voor de volgende stap: het daadwerkelijk ontwikkelen van wind op de dijken.'

Handboek risicozonering

Om de risico's te beoordelen, wordt er gewerkt aan een aanpassing van het handboek 'Risicozonering windturbines'. Jan-Willem Nieuwenhuis van waterschap Noorderzijlvest licht toe: 'We doen dat in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. Het huidige handboek is gebaseerd op kenmerken van oudere modellen windturbines en dekt niet de risico's die zijn gerelateerd aan de steeds groter wordende windmolens. Het gaat daarbij ook om turbines die buiten de beschermingszone staan. Binnen de kernzone en beschermingszone (doorgaans 100 meter vanaf de binnen-/buitenteen) mogen we voorwaarden stellen aan bouwwerken, maar daarbuiten formeel niet. De tiphoogte van moderne turbines is echter soms 150 meter of meer. Als zo'n turbine op bijvoorbeeld 101 meter vanaf de teen van de dijk wordt geplaatst en hij valt om, dan raakt hij de dijk.'

Omgaan met vergunningen

Het indammen van dit soort nadelige gevolgen verloopt via het vergunningentraject. Hierin is het aan de initiatiefnemer om aan te tonen dat de turbines geen negatieve gevolgen hebben voor de waterkerende functie van de waterkering, ook onder extreme omstandigheden. De initiatiefnemer moet daarvoor een heel scala aan documenten aanleveren, waaronder tenminste: technische kenmerken van de windturbines, een overzichtstekening, een overzichtstekening van kabels en leidingen, geotechnisch onderzoek, informatie over stabiliteit, een kraanplan, een tekening van de ontsluitingsweg, een monitoringsplan, een veiligheids/calamitei-



tenplan, een risicoanalyse voor waterveiligheid, een werkplan voor realisatie en een overzichtslijst van verleende vergunningen.¹⁰

Om initiatiefnemers en beheerders te ondersteunen bij het vergunningentraject, werkt de Unie van Waterschappen - in samenwerking met het Expertisenetwerk Windturbines bij Waterkeringen - aan een 'Handreiking Vergunningverlening voor de plaatsing van windturbines bij waterkeringen'. Deze helpt bij het beoordelen van de impact op de veiligheid.

VOORBEELDEN EN PILOTS

WINDTURBINES OP DE PRIMAIRE WATERKERING BIJ DE EEMSHAVEN

In juli 2017 sloot het bedrijf innogy Windpower een overeenkomst met waterschap Noorderzijlvest om drie windturbines met elk een capaciteit van drie megawatt te gaan plaatsen op de Oosterpolderdijk bij de Eemshaven. De turbines vormen een zogenaamde 'koppelkans' in het integrale versterkingsplan van de zeedijk. Dat er zulke grote turbines op de primaire waterkering komen, is een primeur in Nederland. Wat ging eraan vooraf?

'Ons waterschap staat open voor vernieuwing', vertelt Jan-Willem Nieuwenhuis, inhoudelijk expert waterveiligheid bij waterschap Noorderzijlvest. 'Dat betekent dat we proberen mee te denken over de condities waaronder nieuwe ideeën en initiatieven mogelijk zijn, ook als deze volgens de Keur niet direct worden toegestaan.

Give it a try, is mijn motto. Dus toen de adviseurs van het bedrijf RWE, nu innogy, enkele jaren terug bij ons langskwamen met plannen voor een testcase met turbines op de dijk, hebben we ons daar samen over gebogen. Vervolgens hebben we hen gevraagd te onderzoeken onder welke voorwaarden de turbines op de Oostpolderdijk konden worden geplaatst, zonder de veiligheid te schaden.

10

Waterschap Noorderzijlvest, 2018, informatie gebaseerd op vergunningverlening turbines Oostpolderdijk.



Uiteindelijk leidde dit proces tot een eerste ontwerp van innogy, met daarin maatregelen om de veiligheid van de kering te garanderen. We legden dit ontwerp voor aan het Expertisenetwerk Waterveiligheid (ENW) met de vraag of het ontwerp technisch haalbaar leek. Het ENW reageerde positief en deelde de mening van ons en innogy dat het mogelijk was om de turbines op een verantwoorde manier op de zeedijk te plaatsen. We gaven innogy vervolgens groen licht om het ontwerp verder uit te werken. We verwachtten dat de turbines in 2019 worden geplaatst, maar de voorbereidingen beginnen al eerder.'

Na plaatsing van de turbines zal innogy de effecten op de kering nauwkeurig monitoren. Dat is enerzijds noodzakelijk om aan de vergunning te voldoen, maar anderzijds bedoeld om van te leren. De Oostpolderdijk vormt voor innogy immers een belangrijke testcase, waarmee ze willen aantonen dat turbines op een waterkering te combineren zijn met veiligheid. Deze kennis en ervaring is ook elders in Nederland bruikbaar.

**"HET PLAATSEN VAN WINDTURBINES OP DE PRIMAIRE WATERKERING IS
EEN PRIMEUR VOOR ZOWEL DE WATER- ALS DE WINDWERELD."**

[Jan-Willem Nieuwenhuis, waterschap Noorderzijlvest]





ENERGIE UIT WATERKRACHT

Waterkracht is energie die is opgewekt uit stromend of vallend water. Een groot voordeel van deze energiebron is dat de output constant en voorspelbaar is, terwijl het aanbod van wind- en zonne-energie sterk fluctueert. Verder hoeven er relatief weinig grondstoffen te worden gewonnen voor de turbines, en hebben ze nauwelijks ruimtelijke effecten op het landschap. Een keerzijde van waterkrachtcentrales is dat de turbines vissen kunnen beschadigen, en dat vismigratieroutes kunnen worden geblokkeerd. Het combineren van duurzame energie met een duurzaam ecosysteem is daarom een lastig dilemma. Meer hierover is te lezen in het laatste hoofdstuk van dit boekje.





ENERGIE UIT RIVIEREN EN WATERGANGEN

Wereldwijd vormt waterkracht een belangrijke energiebron: 70 procent van alle hernieuwbare energie wordt hiermee opgewekt. Ook in Nederland zijn er kansen, ook al is het verval in ons vlakke land klein en stroomt het water niet zo hard.

Het gebruik van waterkracht als energiebron is niet nieuw. Al eeuwenlang maken onze voorouders gebruik van watermolens om graan te malen, olie te persen en water weg te pompen. In Nederland lagen er in de 16e tot 18e eeuw enkele duizenden: het waren de motoren van het pre-industriële tijdperk. De meeste molens verloren hun functie met de opkomst van de stoommachine, de dieselmotor en elektrische motoren. De afgelopen dertig jaar werd het benutten van waterkracht in Nederland ‘herontdekt’ met de aanleg van centrales bij de stuwen in de Lek (Hagestein), Nederrijn (Amerongen) en in de Maas (bij Linne en Lith). Daarnaast zijn er diverse kleinere centrales gebouwd, onder andere in de Overijsselse Vecht (Gramsbergen), in de Roer (Roermond) en in het Apeldoorns Kanaal (Hattem).

POTENTIE

In de rivieren en watergangen zijn er twee manieren om met de kracht van water elektrische energie op te wekken: het benutten van de beweging van het stromende water of het gebruiken van de kracht van vallend water bij stuwen. Het stromende of vallende water wordt door een waterkrachtcentrale geleid en zet daar turbines of een waterrad in beweging. Door deze te koppelen aan een generator wordt elektrische energie opgewekt.

De huidige centrales in Nederland maken allemaal gebruik van de kracht van vallend water door verval. Er zijn in Nederland nog geen voorbeelden van turbines die ‘vrij’ in de stroming van een rivier zijn gebouwd en het stromende rivierwater direct benutten voor het opwekken van energie.

De hoeveelheid energie die bij stuwen kan worden opgewekt hangt af van het hoogteverschil waarover het water naar beneden stroomt of valt (het verval) en de hoeveelheid water die beschikbaar is (het debiet). In Nederland is het verval weliswaar laag, maar omdat Nederland aan de monding van enkele internationale rivieren ligt, is het debiet hoog. Daarom biedt waterkracht ook in Nederland reële mogelijkheden voor het opwekken van energie, al blijft de bijdrage aan de ‘duurzame energiemix’ relatief klein.



ONDERZOEK

Studie naar mogelijkheden in Gelderland

In Gelderland werken meer dan tweehonderd organisaties en instellingen samen in het Gelders Energieakkoord (GEA). Ze hebben de ambitie om in 2050 energie-neutraal te opereren, waarbij waterkracht één van de energiebronnen vormt. Om deze ontwikkelingen te stimuleren, heeft de provincie Gelderland het initiatief genomen om de potenties voor waterkracht in de regio in kaart te brengen. Het eindrapport van deze studie bevat een analyse van toepasbare technologieën en van de economische haalbaarheid. Ook worden enkele concrete business cases beschreven.

Onderzoek naar vergunbaarheid

Het realiseren van nieuwe pilots en projecten gaat niet zonder slag of stoot. Waterbeheerders lopen tegen het dilemma aan dat (nieuwe) waterkrachtcentrales soms lastig te verenigen zijn met hun kerntaak: de zorg voor het watersysteem. Zij moeten daarvoor aan wettelijke doelen voldoen over de visstand en dat botst soms met de ambities voor waterkracht. Er is dan ook een zorgvuldig traject van vergunningverlening nodig, waarbij vissterfte een belangrijk item is.

De provincie Gelderland gaat de aspecten rondom de vergunbaarheid van initiatieven en pilot samen met andere Europese landen oppakken in een INTERREG-onderzoeksproject. Claassen: 'Daarbij besteden we aandacht aan het waterbeheer: zijn er technieken die zowel energie kunnen opwekken als het waterbeheer - of de ecologie - kunnen verbeteren? Want slimme combinaties kunnen extra kansen bieden!'

**“WATERKRACHT IS EEN KLEINE SPELER, MAAR KAN WEL
EEN ZINVOLLE BIJDRAGE LEVEREN AAN DE ENERGIETRANSITIE
IN GELDERLAND”**

[Leon Claassen, provincie Gelderland]



VOORBEELDEN EN PILOTS

ORYON WATERMILL

Dit is een innovatieve waterkrachtcentrale, waarmee energie opgewekt wordt met behulp van stromend water. Door de relatief lage rotatiesnelheden is de centrale volgens de ontwikkelaar ervan 'visvriendelijk'. De technologie zal worden toegepast bij een in ontwikkeling zijnde waterkrachtcentrale onder andere in Doesburg, in de Grevelingendam als getijden centrale en op een aantal locaties in de Berkel achter bestaande stuwen. De Oryon Watermill kan ook geïntegreerd worden in kribben. Dit heeft als voordeel dat er uit de continue stromende rivier op een verantwoorde manier, buiten de vaargeul, energie uit stromend water kan worden gehaald.

WATERKRACHT BIJ WATERSCHAP RIVIERENLAND (EQA-TECHNOLOGIE)

Waterschap Rivierenland maakt sinds 2016 gebruik van een technologie die is ontwikkeld door EQA-projects. Gijsbert Derksen, projectleider bij het waterschap, licht toe: 'We zijn begonnen om de techniek toe te passen bij een stuw bij Ommeren. Deze EQA-stuw heeft als doel om de stuw energieneutraal te laten werken. In de loop van de tijd hebben we het ontwerp - dat vers van de tekentafel kwam - door trial en error verbeterd. We zijn nu zo'n twee jaar verder en zijn erg tevreden. Uit testen blijkt dat we zelfs veel meer elektriciteit kunnen opwekken dan we voor de stuw nodig hebben. We slaan dat op in accu's of leveren het terug aan het net.'

Samen met EQA-projects zijn we ook bezig met het ontwikkelen van een soort plug en play versie van de technologie, een EQA-box. Tevens willen we een test met een drijvende installatie - een EQA-river - gaan uitvoeren. Tegen andere waterbeheerders zou ik zeggen: de technologie werkt en levert energie. Pas het vooral toe!'



De mogelijkheden op een rijtje:

- EQA-stuw. Dit is een prefab inbouwstuw - voornamelijk gemaakt van gerecycled plastic - met daarin een waterrad. Software in het rad berekent voortdurend aan de hand van metingen in welke positie het rad moet staan voor de hoogste energieopbrengst. Al bij een verval van 20 cm kan de stuw zichzelf van voldoende stroom voorzien. De technologie kan worden gebruikt bij het vervangen of renoveren van stuwen.
- EQA-box. Met deze technologie won EQA-projects in 2017 een innovatieprijs van de Unie van Waterschappen. Het systeem kan - binnen één dag - worden gemonteerd aan bestaande stuwen, gemalen of rioolzuiveringen. De EQA-Box is onder andere geplaatst bij de Brabantse stuw Vorstenbosch en voorziet het nabijgelegen gemaal van waterschap Aa en Maas van energie. Het gemaal is hierdoor energieneutraal.
- EQA-river. Dit is een drijvende waterkrachtinstallatie, die is gebaseerd op het oude watermolenprincipe en energie opwekt uit de kracht van het stromende water. In 2018 gaat een pilot van start bij Zaltbommel.

Volgens EQA-projects voldoen de toegepaste installaties aan de toekomstige NEN Norm voor pompen en waterkracht en hebben deze het predicaat 'visvriendelijk'.

 *EQA-stuw bij Ommeren.*





ENERGIE UIT GETIJ

Het getij in de Noordzee vormt een praktisch oneindige energiebron. Via turbines en generatoren kan deze energie worden ‘geogst’ en worden omgezet in elektrische energie.

Getijdenenergie is energie die wordt gewonnen door gebruik te maken van het verschil in waterhoogte tussen eb en vloed. Hierbij kan onderscheid gemaakt worden in kinetische energie (stroming), waarbij de energie wordt opgewekt door vrijestroomturbines in getijdenstromen, en in potentiële energie (hoogteverschil). In het laatste geval wordt het vloedwater met een dam vastgehouden in het getijbekken, en bij eb via turbines in de dam weer terug naar zee geleid. De turbines drijven generatoren aan, waarmee elektrische energie wordt opgewekt.

POTENTIE

Getijdenenergie in Nederland is op dit moment in de ontwikkelingsfase. De beste kansen liggen daar waar het winnen van getijdenenergie kan worden geïntegreerd in bestaande infrastructurele constructies zoals dammen, keringen en bruggen. De voor- en nadelen van getijcentrales zijn vergelijkbaar met die van waterkrachtcentrales in rivieren en watergangen.

VOORBEELDEN EN PILOTS

Er zijn in Nederland verschillende testlocaties waar onderzoek wordt gedaan naar het opwekken van elektrische energie met het getij. Het gaat daarbij zowel om technisch onderzoek als om onderzoek naar omgevingseffecten, waaronder de effecten op vis.

BLUETEC TIDAL PLATFORM IN HET MARSDIEP

In het Marsdiep, vlakbij Texel, werd in 2015 de eerste getijdencentrale in Nederland geplaatst. Het is een drijvend platform, waaronder een turbine hangt die wordt aangedreven door de stromingen van eb en vloed in de Waddenzee. De opgewekte stroom gaat via een stroomkabel naar het land en kan op piekmomenten ongeveer vijftig huishou-



dens op Texel van stroom voorzien. Aan boord van het platform zit alle elektronica en is plaats voor een aantal accu's om energie op te slaan.

Het NIOZ - ook aangesloten op de getijdencentrale - onderzoekt onder ander de effecten van de getijdenenergiecentrale op het stromingspatroon. Ook wordt er gekeken naar het effect van omgevingsfactoren - zoals golven en wind - op de stabiliteit van de centrale en de efficiëntie van de turbine.

OOSTERSCHELDEKERING

In 2015 zijn er vijf turbines geplaatst in een doorlaat van de Oosterscheldekering, met in totaal een vermogen van 1,2 Megawatt. Dit levert duizend huishoudens elektriciteit. De pilot gaat gepaard met onderzoek naar effecten van de centrale op het natuurgebied en op de stabiliteit van de kering. Onderzoekers kijken onder meer naar veranderde stroming, het zandtransport en eventuele effecten op zeehonden en bruinvissen.

BROUWERSDAM

Naar verwachting start Rijkswaterstaat in 2020 met het aanleggen van een 'gat' in de Brouwersdam. De doorlaat is primair bedoeld om de waterkwaliteit van het Grevelingenmeer te verbeteren, maar de aanleg van een energiecentrale maakt ook onderdeel uit van de plannen. Volgens berekeningen kunnen de turbines, die in beweging worden gezet door het getij, een vermogen hebben van 60 Megawatt en groene stroom produceren voor 50.000 huishoudens op Schouwen-Duiveland en Goeree-Overflakkee.

TIDAL TECHNOLOGY CENTER GREVELINGENDAM

Rijkswaterstaat heeft in 2017 de Flakkeese Spuisluis (FSS) in de Grevelingendam gerenoveerd. De sluis is omgebouwd tot een tweezijdig doorlaatmiddel. Oorspronkelijk kon het water via de Flakkeese Spuisluis alleen van het Grevelingenmeer naar de Oosterschelde stromen. Met de renovatie is nu een tweezijdige verbinding ontstaan en kan het water



ook van de Oosterschelde naar het Grevelingenmeer stromen. Door deze verbinding te herstellen, verbetert de waterkwaliteit in het Grevelingenmeer. Tevens wordt het daardoor mogelijk om in 2019 een Tidal Technology Center (TTC) te openen in de Flakkeese spuisluis. Bedrijven kunnen hier hun nieuwe technologieën voor het opwekken van getijdenenergie testen, demonstreren en certificeren. Het centrum streeft ernaar om allianties met andere landen te sluiten en kennis wereldwijd te exporteren. Bij het TTC worden drie testkanalen aangelegd, waarin turbines, watermolens of andere technologieën kunnen worden getest. De opzet biedt kansen om de invloed te bepalen op bijvoorbeeld morfologie, stromingspatronen en organismen zoals vissen. Daarnaast zal het TTC zelf ook vier demonstratieturbines in gebruik nemen, die - zolang er geen 'klanten' zijn - beschikbaar zijn voor onderzoekinstellingen en universiteiten. Volgens projectleider Piet Ackermans kan er theoretisch een vermogen worden opgewekt van circa 5 megawatt. 'De turbines leveren ongeveer net zoveel energie op als twee windmolens die je in het Zeeuwse landschap ziet staan. Met de opbrengst kan je ongeveer 2.000 huishoudens een jaar lang van stroom voorzien.'¹¹

Bij het testcentrum op de Grevelingendam komt ook een informatiecentrum. Als het aan de initiatiefnemers ligt wordt het een toeristische trekpleister, waar zowel de Zeeuwen als toeristen op een informele manier informatie krijgen over het project. Door middel van camera's worden de turbines ook in beeld gebracht. 'Het is een plek waar onderwijs, technologie en wetenschap samenkomen', aldus Ackermans.

11

Omroep Zeeland, april 2018.

 *Waterturbines in de Oosterschelde.*





ENERGIE UIT ZOET-ZOUT GRADIËNTEN

Daar waar zoet en zout water elkaar ontmoeten, kan energie worden gewonnen. Het verschil in het zoutgehalte tussen beide watersoorten zorgt voor een potentiaalverschil. Met behulp van een semipermeabel membraan kan het potentiaalverschil worden omgezet in elektriciteit.





BLUE ENERGY

Energieopwekking uit een zoutgradiënt in water behoort tot de meest veelbelovende duurzame energieconcepten in de wereld. Ook in Nederland is het potentieel van deze 'Blue Energy' groot.

Er zijn meerdere manieren om energie op te wekken uit zoet-zoutgradiënten. De eerste techniek (Pressure Retarded Osmosis' of PRO) berust op het principe van osmose en maakt gebruik van een halfdoorlatend membraan, dat het zoute water van het zoete water scheidt en dat alleen watermoleculen doorlaat maar zoutionen blokkeert. Omdat de natuur naar een homogene zoutconcentratie streeft, worden de watermoleculen naar de zoute kant gestuwd. Met de ontstane druk kan een turbine worden aangedreven en elektriciteit worden opgewekt.

De tweede techniek (Reversed Electro Dialysis of RED) maakt gebruik van het feit dat het zoute zeewater veel meer positief geladen natriumionen (Na^+) en negatief geladen chloride-ionen (Cl^-) bevat dan het zoete rivierwater. De elektrische lading van die ionen is de feitelijke bron van de elektriciteitsproductie. Deze wordt 'gewonnen' via speciale membranen die selectief alleen positieve of alleen negatieve ionen doorlaten. Op die manier kan er een transport van positief of negatief geladen deeltjes worden gecreëerd en ontstaat er een soort batterij (een elektrochemische cel). De RED-techniek kan zowel worden toegepast voor het opwekken van energie bij rivieren die in zee uitmonden, als voor de opslag ervan. Bij beide technieken wordt het zoute water zoeter en het zoete water zouter; beide stromen worden als brak water geloosd.

POTENTIE

In principe kan de technologie overal worden toegepast op plaatsen waar zoete en zoute waterstromen elkaar ontmoeten. Bijvoorbeeld waar een rivier in zee uitmondt of waar gezuiverd rioolwater van een rioolwaterzuiveringsinstallatie in zee stroomt.

Het potentieel elektrische energie hangt af van vele factoren, zoals de hoeveelheden water, het verschil in zoutgehalte tussen de beide watersoorten en de temperatuur van het water. Vanwege technische, economische en maatschappelijke rede-



nen is het echter niet mogelijk om het potentieel in Nederland helemaal te benutten. Het is dan ook lastig om aan te geven hoe groot de mogelijkheden precies zijn. Wat wel duidelijk is dat Blue Energy een ‘zekere’ bron van energie is.

**“BLUE ENERGY IS VAN GROOT BELANG VOOR DE VERDUURZAMING
VAN DE ENERGIEVOORZIENING EN EEN SCHOOLVOORBEELD VAN
NEDERLAND WATERLAND”**

*[Voormalig minister Kamp, bij de benoeming van Blue Energy als
Nationaal Icoon in 2016]*

VOORBEELDEN EN PILOTS

Blue Energy bevindt zich in de fase van pilots. Dit gaat gepaard met onderzoek naar de technologie, de mogelijkheden voor opschaling en de effecten op het watersysteem. Eén van de vragen is bijvoorbeeld welke invloed de gebruikte membranen hebben op de ecologie van het water doordat ze als ‘bijwerking’ organismen uit het water filteren.

BLUE ENERGY BIJ HET UITWATERINGSKANAAL IN KATWIJK

Het Hoogheemraadschap van Rijnland, de provincie Zuid-Holland, de gemeenten Katwijk en Noordwijk en REDstack BV onderzoeken de mogelijkheden voor een Blue Energy demonstratieproject bij het boezemgemaal in Katwijk. Dit is een gunstige plaats voor een pilot, omdat hier het zoete boezemwater de zoute Noordzee wordt ingepompt. Over het te doorlopen proces zegt gedeputeerde Han Weber: ‘Eerst nemen we de haalbaarheid van een mogelijke demo-pilot in Katwijk verder onder de loep. Dat doen we door het uitwerken van een business case waarbij we kijken naar kosten en baten. Daarbij wordt gezocht naar financieringsmogelijkheden. De RED-techniek wordt verder ontwikkeld en tot slot zoeken we de optimale plek.’¹²

12

Hoogheemraadschap van Rijnland, 2017, nieuwsbericht op www.rijnland.net



PILOT AFSLUITDIJK

De eerste pilot in Nederland vindt plaats in de Afsluitdijk, op de grens van het zoete IJsselmeer en de zoute Waddenzee. Hier draait een proefinstallatie met Blue Energy, waarmee kennis wordt opgedaan over deze manier van energieopwekking en levering aan het net. Doel van de pilot: het testen en optimaliseren van de RED- technologie en het - op termijn - uitbreiden van de capaciteit.

Bij de pilot vindt bovendien onderzoek plaats naar de effecten van Blue Energy op het aquatisch milieu van de Waddenzee en het IJsselmeer; de resultaten hiervan worden meegenomen in het verder verbeteren en opschalen van de technologie.



BIOGAS

Om de klimaatdoelen van Parijs te halen moeten in Nederland in 2050 alle 7,6 miljoen huizen zijn afgesloten van fossiele brandstoffen. Toch blijft er ook in de toekomst gas nodig als energiebron, bijvoorbeeld voor de productie van hoge temperatuurwarmte in de industrie en voor verwarming van oude (monumentale) gebouwen. Groen gas, dat onder andere gemaakt kan worden uit zuiveringslib, zou een alternatief kunnen zijn voor 'grijs' (fossiel) aardgas. Waterschappen onderzoeken hoe er meer gas gewonnen kan worden uit zuiveringslib.

- **Aardgas** is een mengsel van lichte koolwaterstoffen (vooral methaan, CH_4) en kleinere hoeveelheden stikstof, zuurstof en kooldioxide;
- **Biogas** is een mengsel van methaan en koolstofdioxide dat ontstaat door anaerobe vergisting (zonder zuurstof) van zuiveringslib op een rwzi;
- **Groen gas** wordt geproduceerd door opwerking van biogas tot aardgaskwaliteit. Biogas wordt na opwaardering ook aangeduid met de term groen gas;
- **Syngas of synthesegas** is een geproduceerd gasmengsel van koolstofmonoxide en waterstofgas. Het wordt verkregen door het vergassen van steenkool (grijs gas) of van biomassa/zuiveringslib (groen gas) en water;
- **Power-to-Gas** (of windgas) is een energieopslagtechniek waarbij elektrische energie omgezet wordt in chemische energie in de vorm van gas. Dat gas kan waterstof zijn of methaan.





BIOGAS VAN ZUIVERINGSSLIB

In principe kost het zuiveren van huishoudelijk afvalwater op een traditionele rioolwaterzuivering veel energie. Het grootste deel van het energieverbruik wordt veroorzaakt door beluchting van het actief slib in de (aerobe) biologische zuivering. Door zuiveringslib te vergisten kan er biogas geproduceerd worden. Daarmee kan er weer energie worden (terug) gewonnen.

Gemiddeld bevat huishoudelijk afvalwater acht keer meer energie dan er nodig is om het water te zuiveren. Met de beschikbare en economisch haalbare technieken van dit moment, kan ongeveer de helft van de geïnvesteerde energie weer worden teruggewonnen. Een geoptimaliseerde rwzi (een 'Energiefabriek') kan naar verwachting 1,5 keer meer energie produceren dan de rwzi zelf nodig heeft voor het eigen zuiveringsproces.¹³

De primaire grondstof voor biogas is de organische stof uit het zuiveringslib. In het primaire proces wordt het zuiveringslib eerst ingedikt en (anaeroob) vergist. In het vergistingsproces worden organische stoffen uit zuiveringslib omgezet in methaan, kooldioxide en water. Het geproduceerde biogas kan vervolgens worden omgezet in groen gas en/of in elektriciteit (groene stroom).

Naast energie kunnen er ook verschillende grondstoffen worden gewonnen uit het zuiveringslib en afvalwater: ALE (Alginate Like Exopolymers), cellulose, fosfaat, biomassa en PHA (grondstof voor bioplastic). Waterschappen kunnen de terugwinning van de verschillende grondstoffen en energie combineren. De lokale omstandigheden bepalen of dit ook gedaan wordt. Het terugwinnen van grondstoffen draagt bij aan de een circulaire economie. De keuze voor ombouw van een rwzi tot Energie- of Grondstoffenfabriek verschilt per waterschap.

Onderzocht wordt of gecombineerde Energie- en Grondstoffenfabrieken haalbaar zijn. In dat geval wordt er bijvoorbeeld eerst cellulose uit het slib teruggewonnen, voordat het slib verder naar de vergisting gaat.



POTENTIE

In een verkennende studie liet de Gasunie het totale vrij beschikbaar biomassapotentieel voor energieopwekking in Nederland in kaart brengen.¹⁴ Daaronder valt ook biogas dat gemaakt wordt van zuiveringsslib. Het gaat om slib uit rioolwaterzuiveringsinstallaties (huishoudelijk afvalwater) en slib van afvalwaterzuiveringsinstallaties (industriële afvalwater).

Toelichting in cijfers

Enkele feiten. Stedelijk afvalwater dat behandeld wordt in rwzi's bevat 16 PJ aan chemische energie. In 2014 is er 6,4 PJ teruggewonnen uit zuiveringsslib in rwzi's en awzi's en nuttig ingezet voor energieopwekking. Het merendeel (84 procent) van de energie is in de rwzi's ingezet voor eigen energiegebruik. Slibgisting wordt in minder dan 30 procent van het aantal rwzi's toegepast. Biogasproductie vindt vooral in de grote rwzi's plaats, waar het met behulp van een warmtekrachtkoppeling (WKK) wordt omgezet in warmte en elektriciteit. Op deze locaties wordt vaak ook slib van kleinere decentrale rwzi's verwerkt. Circa de helft van al het zuiveringsslib wordt vergist.

Prognose voor de toekomst

Uit de verkennende studie van de Gasunie blijkt verder dat de hoeveelheid afvalwater dat wordt geloosd - en de chemische energie-inhoud daarvan - in de periode 2023-2035 niet significant zal wijzigen ten opzichte van nu. Dit betekent dat er ook in de toekomst ongeveer 16 PJ aan chemische energie in het afvalwater zit dat de rwzi's bereikt.

Maar er is meer mogelijk. Er kan meer biogas gewonnen worden door procesoptimalisaties in rwzi's. Bijvoorbeeld door het voorbewerken van slib, het beter benutten en uitbreiden van de vergistingscapaciteit, of het uitbreiden van de centralisatie (dat wil zeggen: het beter benutten van de beschikbare capaciteit). Het extra potentieel voor biogasproductie door procesoptimalisaties, wordt door STOWA geschat op 0,6 PJ. Vergisting van awzi-slib (afvalwater van bedrijven) kan maximaal 1,3 PJ bijdragen aan het opwekken van energie.



Potentie van de Energiefabriek

Om de biogasproductie te verhogen onderzoeken waterschappen nu hoe het productieproces geoptimaliseerd kan worden. Dat gebeurt onder de noemer 'Energiefabriek'. Als een rwzi helemaal zelfvoorzienend is in het energieverbruik, is het een Energiefabriek. Inmiddels zijn 8 van de 313 rioolwaterzuiveringen getransformeerd tot Energiefabriek, en er zijn nog 9 'Energie- en Grondstoffenfabrieken' in voorbereiding. De waterschappen werken samen in de netwerkorganisatie Energie- en Grondstoffenfabriek.

Door alle rwzi's om te bouwen naar Energiefabrieken kunnen de waterschappen in theorie uiteindelijk zo'n 100.000 huishoudens van biogas voorzien, of 200.000 auto's een jaar lang op biogas laten rijden.¹⁵

Een voorbeeld van een Energiefabriek is de rwzi in Apeldoorn van waterschap Vallei en Veluwe. Daar produceren ze 5 à 6 miljoen m³ biogas per jaar. In totaal produceert het waterschap 20 miljoen m³ biogas. In heel Nederland wordt op dit moment jaarlijks al 100 miljoen m³ groen gas geproduceerd. Maar volgens de gassector moet dat in 2050 zijn opgelopen tot 11 miljard m³.

"OP DE RWZI WINNEN WATERSCHAPPEN WAT VAN WAARDE IS EN DRAGEN ZO BIJ AAN EEN CIRCULAIRE ECONOMIE."

[Programmteam Energiefabrieken en Grondstoffabriek op de website www.efgf.nl]

ONDERZOEK

Om meer biogas uit zuiveringsslib te kunnen halen wordt er onderzoek gedaan naar slibontsluiting en slibvergisting- en vergassing. Meer hierover is te lezen in de volgende paragrafen.



BIOGAS: SLIBONTSLUITING

Om de productie van biogas te verhogen onderzoeken waterschappen het proces van slibontsluiting. Dat kan op verschillende manieren: met TDH of met superkritisch vergassen.

Slibontsluiting met thermische drukhydrolyse (TDH)

Dit is een vorm van voorbehandeling vóór vergisting. Actief slib wordt onder hoge temperatuur en druk behandeld. Op deze wijze wordt het slib vergaand 'ontsloten', zodat er meer biogas wordt geproduceerd bij de slibgisting zelf. Dit wordt ook wel thermische slibontsluiting genoemd. Deze manier van innovatieve slibontsluiting vindt plaats op tien Nederlandse rwzi's, waaronder die in Venlo, Apeldoorn, Amersfoort, Tilburg, en Echten.

Onderzoekskoördinator Cora Uijterlinde van STOWA: 'Bij thermische drukhydrolyse gaat het om vergaande omzetting van organisch materiaal. Door voorbehandeling onder hoge druk verbetert het gistingsrendement, omdat de cellen in het zuiveringsslib vóór de vergisting 'gekraakt' worden. Daardoor komt er meer biogas uit de gisting vrij. Maar het verhitten en onder hoge druk behandelen van slib zou ook kunnen leiden tot vorming van inerte fracties, die het zuiveringsproces juist belemmeren. Daarom onderzoeken we samen met de TU Delft of TDH-technieken ook ongewenste bijproducten op de rwzi kunnen veroorzaken. Op die manier willen we meer fundamentele kennis over het TDH-systeem ontwikkelen, waardoor optimalisatie in de praktijk mogelijk is.'

Slibontsluiting met superkritisch vergassen

Dit is een andere manier om meer energie uit slib te halen. Bij superkritisch vergassen wordt het zuiveringsslib bij hoge temperatuur (300 Bar) en druk (600°C) direct - na milde ontwatering en droging - omgezet in brandbare gassen met een hoog energierendement. Het vergassen van zuiveringsslib bij hoge temperatuur en hoge druk heeft de potentie om een hogere energieopbrengst te realiseren tegen lagere kosten, met daarbij goede mogelijkheden voor het terugwinnen van ammonium en fosfaat.



VOORBEELDEN EN PILOTS

TDH OP RWZI VENLO

Op rwzi Venlo van het Waterschapsbedrijf Limburg draait sinds 2012 een continue thermische drukhydrolyse en een slibvergisting. Deze continue slibhydrolyse is de eerste installatie op praktijkschaal. Met deze technologie wordt het volume aan ontwaterd slib gehalveerd én duurzame energie opgewekt. Het slib van de rwzi's Venlo, Venray en Genep (totaal 7.000 ton droge stof per jaar) wordt daartoe gezeefd, mechanisch ingedikt, gehydrolyseerd, vergist en ontwaterd.

Wat gebeurt er met het biogas? Ad de Man van Waterschapsbedrijf Limburg: 'Het geproduceerde biogas wordt door het waterschap zelf gebruikt voor de opwarming van het slib en de elektriciteit voor de zuivering van het afvalwater. Er is dus geen sprake van een energie-overschot. Het biogas wordt voor ongeveer 65 procent in de warmtekrachtkoppeling benut om stroom en warmte van te maken. We hebben 35 procent van het biogas nodig om stoom te produceren voor de TDH zelf. Verder is het gelukt om het slib te ontwateren tot 28,5 procent droogstof, in plaats van de 22 waar we op zaten. De combinatie van afbraak en betere ontwatering zorgde voor leverde een halvering van de hoeveel slib die afgevoerd moet worden.'

SUPERKRITISCH VERGASSEN OP RWZI DINTHER

Op rwzi Dinther van waterschap Aa en Maas werken zes partijen samen in het project Supersludge. Het gaat om een pilotonderzoek naar superkritisch vergassen. Volgens berekeningen kan er door middel van die techniek 95 procent van de energie uit slib worden (terug)gewonnen. Ter vergelijking: bij een traditioneel vergistingsproces wordt 50 procent van de energie uit slib teruggewonnen.

Een consortium onderzoekt nu de haalbaarheid van een demonstratie-installatie voor superkritisch vergassen van slib. Daar gingen proeven op benchschaal (capaciteit ca. 200 ml/h) en op pilotschaal (capaciteit 50 l/h) aan vooraf. Die proeven bevestigden dat zuiveringslib inderdaad met een hoog rendement kan worden omgezet in biogas.

Ook waterschap De Dommel participeert in het project Supersludge. Ruud Peeters: 'Met de huidige vergistingsinstallaties maken de waterschappen in Nederland circa 120 mil-



joen m³ biogas. Deze hoeveelheid zou - op basis van de gegevens die we nu hebben - kunnen verdubbelen door inzet van de nieuwe superkritische vergassingsinstallatie. De installatie om superkritisch te vergassen zal wel meer elektriciteit gebruiken. Hoeveel precies, moet nog worden bepaald.'

Hoe belangrijk is de extra productie van biogas? 'Op dit moment wordt het Nederlandse biogas voor het grootste deel (>80 procent) ingezet voor het opwekken van elektriciteit. Maar naast het elektrificeren van het gas verkennen waterschappen ook het opwerken van biogas tot aardgaskwaliteit. Dat gas kan ingevoegd worden in het gasnet.'

'Als het biogas geleverd wordt aan andere partijen, heeft dat wel consequenties voor de rwzi. Er zal een andere warmtebron gezocht moeten worden om de gistingstanks op 37 graden te houden. Technisch gezien is dit mogelijk. Een andere consequentie is financieel van aard. Waterschappen krijgen te maken met andere subsidiestructuren. Het gaat om complexe materie, een onderzoek op zich. In grote lijnen betekent het bijvoorbeeld minder zekerheid voor de lange termijn, maar wel een kortere terugverdientijd van investeringen.'

Toekomst? 'Gemeenten kunnen absoluut iets met ons biogas. Van (gas)netbeheerders hebben we begrepen dat er voor een aantal toepassingen simpelweg nog geen goed of betaalbaar alternatief is voor aardgas. Denk aan (monumentale) panden in de binnensteden die moeilijk te isoleren zijn. Of aan hoge temperatuurverwarming voor bedrijfsprocessen. Voor die gevallen zou elektrificatie nog ontzettend duur zijn. Het biogas van een nabijgelegen rwzi zou tijdelijk (10-15 jaar) een alternatief kunnen zijn voor grijs aardgas. Het voordeel voor beide partijen is dan de contractzekerheid voor die termijn.'

"WE KRAKEN HET ZUIVERINGSSLIB OP MAAT"

[Cora Uijterlinde, STOWA]



BIOGAS: OPTIMALISATIE VAN SLIBVERGISTING

Naast toepassing van technieken die slib eerst ontsluiten, is er nog een andere manier om meer biogas uit slib te halen, namelijk door het optimaliseren van de slibvergisting.

Vormen van innovatieve slibgistingstechnologieën zijn Ephyra® en Themista®. Dit zijn slibgistingstechnologieën die als voorvergister kunnen worden ingezet bij bestaande slibvergisters.

Ephyra® is een geavanceerde propstroomgisting, Themista® is een thermisch-chemische slibvoorbehandeling. De afgelopen jaren zijn deze twee nieuwe technologieën uitgebreid getest. Eerst op labschaal en daarna ook op pilotschaal. Hieruit blijkt dat Ephyra zorgt voor 25 procent meer afbraak van organische droge stof dan een conventionele, mesofiele gisting (bij lage temperatuur) met een vergelijkbare verblijftijd. Bovendien zorgt het voor meer ontwatering, waardoor er minder slib hoeft te worden afgevoerd. Themista realiseert 15 procent meer afbraak van organische droge stof, en ook daar verbetert de ontwatering van het slib.

Onderzoekcoördinator Cora Uijterlinde van STOWA: ‘De business case van beide technologieën is interessant, en kan een alternatief zijn voor thermische drukhydrolyse, TDH. Met name voor toepassingen < 500.000 i.e (maat voor vervuilingseenheid) lijken de technologieën concurrerend. Overigens start er ook een nieuwe pilot waarbij een combinatie van Ephyra en Themista worden beproefd.’

VOORBEELDEN EN PILOTS

EPHYRA®

Waterschap Zuiderzeeland realiseert de eerste Ephyra® vergister op de afvalwaterzuivering Tollebeek. Naast het eigen slib wordt ook het zuiveringslib afkomstig van de awzi Lelystad verwerkt. Door toepassing van de Ephyra-vergister verwacht het waterschap de productie van biogas met 50 procent te kunnen verhogen. Dit draagt bij aan de energie-doelstelling van het waterschap.



Ben Roelfzema van waterschap Zuiderzeeland: 'De Ephyra-installatie is eind 2017 opgestart. In mei is de vergister getest en na een opstartperiode is de installatie nu echt in gebruik genomen. De komende anderhalf jaar besteden we aan aanvullend onderzoek en aan optimalisaties.

In het verleden werd alleen het slib van de awzi Tollebeek met behulp van een conventionele gistinginstallatie vergist. Door het bijplaatsen van de Ephyra-installatie is er nu ruimte om ook het slib van de awzi Lelystad op de awzi Tollebeek te vergisten. De gasproductie is hierbij van 115 m³/h naar meer dan 200 m³/h gestegen.

Om dit gas te kunnen verwerken is een extra WKK geplaatst. De gemiddelde dagelijkse elektriciteitsproductie van 4.000 kWh is gegroeid naar 10.000 kWh. De zuivering levert nu dagelijks rond de 1.250 kWh terug aan het net.

Wij verwachten dat de Ephyra nog meer slib kan vergisten en daarmee ook meer gas kan produceren. Misschien is het omzetten van biogas naar groen gas (deels of volledig) een betere oplossing dan het omzetten naar stroom en warmte. Of dat zo is gaan we onderzoeken.'

THEMISTA

Het Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard realiseert een Themistavergisting op de rwzi Kralingseveer. Themista is een thermisch-chemische behandeling waardoor de afbraak van biomassa en de biogasopbrengst in de nageschakelde slibgisting, toenemen.

Jeroen Wubben van het Hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard: 'Door de nieuwe slibvergisting zal er 17 procent meer biogas geproduceerd worden: de productie stijgt van 3 naar 3,5 miljoen Nm³ ofwel van 70 TJ naar bijna 82 TJ aan energie. Biogas wordt bij ons via de WKK grotendeels verwerkt tot stroom. Een klein deel gaat in de cv voor verwarming van het kantoorgebouw. In 2017 leverde het biogas 32 TJ aan nuttige warmte en 6.500 MWh aan elektriciteit.

Binnenkort begint de bouw van de Themista en in de volgende periode optimaliseren we de techniek verder. Daarna volgt een studie naar het meest optimale gebruik van het biogas. Daarbij geldt als randvoorwaarde dat we zelf voldoende warmte over houden om de twee bestaande slibgistingstorens op temperatuur te houden zodat het gistingpro-



ces op gang blijft. Op dit moment is het nog te vroeg om te speculeren over de vraag of het extra biogas straks ook door andere partijen kan worden gebruikt. Er zijn nog te veel onzekerheden.'

“HAAL MEER BIOGAS UIT ZUIVERINGSSLIB”

[Ad de Man, Waterschapsbedrijf Limburg]



ENERGIE BESPAREN

Het besparen van energie blijft een aandachtspunt voor waterbeheerders, al is het totale energieverbruik relatief laag. Vooral maatregelen die meerdere doelen tegelijk dienen, bieden kansen. Dat geldt bijvoorbeeld voor het decentraal zuiveren van afvalwater. Hierbij wordt er niet alleen energie bespaard op het transport van afvalwater, maar ontstaan er ook mogelijkheden voor het winnen van energie en grondstoffen uit het afvalwater.



ENERGIE BESPAREN OP TRANSPORT VAN AFVALWATER

Centraal zuiveren van afvalwater op de rwzi kost energie. Om energie te besparen onderzoeken waterschappen of zuivering ook decentraal kan plaatsvinden. Daardoor is er minder transport van afvalwater nodig. Bovendien kan de thermische energie uit afvalwater lokaal worden benut.

Alle waterschappen zoeken naar mogelijkheden om energie te besparen. Andere vormen van inzamelen en transport van afvalwater vormen mogelijk een alternatief voor de centrale behandeling daarvan, net als andere manieren van zuiveren van dik afvalwater. Het gaat om 'nieuwe sanitatie'.

Bij decentrale zuivering wordt geconcentreerd afvalwater niet centraal, maar apart behandeld. Zwart water (uit de toiletten) en grijs water (uit de rest van de woning) worden gescheiden. De organische stof uit het zwarte water kan worden gebruikt om via vergisting energie (biogas) op te wekken. Daarnaast kunnen er grondstoffen worden teruggewonnen, zoals fosfaat.

Uit grijs water - dat gemiddeld een temperatuur heeft van 25 graden - kan warmte worden teruggewonnen, bijvoorbeeld door per huizen- of appartementenblok een warmtewisselaar te koppelen aan een warmte-koude opslag, en de warmte terug naar de huizen te brengen.

Bert Palsma, onderzoek coördinator bij STOWA: 'Bij nieuwe sanitatie of decentraal zuiveren gaat het om fundamenteel anders nadenken over de optimale organisatie van de afvalwaterketen als geheel. Het gaat om een zoektocht naar andere concepten, met het oog op energie en circulariteit. Dat nieuwe nadenken is nodig, ook al beschikken we nu nog over 100.000 km riolering die we niet zomaar morgen afschrijven. Maar als we dat blijven zeggen, hebben over tachtig jaar nog steeds dezelfde situatie.'

Mogelijke voordelen van nieuwe sanitatie: minder energieverbruik, mogelijkheden om extra energie op te wekken, en om warmte en grondstoffen lokaal terug te winnen.

POTENTIE

In Nederland gebruiken we jaarlijks 3200 petajoule aan primaire energie. Daarvan is 2 procent toe te schrijven aan het energieverbruik in de waterketen. Die 'afvalwaterketen' bestaat uit drie verschillende delen. Binnen de afvalwaterketen gaat 1/3 deel van het energieverbruik op aan de drinkwaterproductie; 1/3 deel aan riolering/transport van afvalwater; en 1/3 deel aan afvalwaterzuivering op de rwzi.¹⁶ In potentie kan er van het 1/3 deel riolering en transport 10 tot 20 procent worden bespaard door decentrale zuivering.

VOORBEELDEN EN PILOTS

Het concept van decentrale zuivering wordt inmiddels in verschillende nieuwbouwprojecten verwerkt. Naast het project in Sneek (200 woningen) zijn er op dit moment vergelijkbare projecten in aanbouw voor Amsterdam (600 woningen), Gent (500 woningen), Groningen (200 woningen) en Edmonton in Canada (600 woningen). Verder is onlangs het volledig gerenoveerde Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat met bijna 6000 medewerkers (Den Haag) opgeleverd met een vergelijkbaar systeem zoals dat ook in Sneek wordt toegepast.

CASUS: NOORDERHOEK IN SNEEK

Woningcorporatie Elkien, de gemeente Súdwest-Fryslân, DeSaH BV, de provincie Fryslân, Wetterskip Fryslân en STOWA werken samen aan het project Waterschoon in Sneek. Het gaat om onderzoek aan een duurzaam en innovatief decentraal-sanitatiesysteem in de nieuwbouwwijk Noorderhoek.

Het huishoudelijk afvalwater van 327 inwoners (200 woningen) wordt lokaal ingezameld en behandeld. In het project worden energieproductie (biogas), waterbesparing, het terugwinnen van meststoffen gecombineerd. Dat sluit aan bij de circulaire economie. Daarnaast gaat het om warmteterugwinning uit afvalwater en het meevergisten van organisch keukenafval voor meer biogas.

Wetterskip Fryslân houdt toezicht op de bouw en het beheer en levert een bijdrage aan het onderzoek van het Waterschoon-systeem in de wijk Noorderhoek. Wetterskip

Fryslân wil met de deelname aan dit project innovatie en duurzaamheid bevorderen in de waterketen.

Sybrén Gerbens van Wetterskip Fryslân: 'Dit project heeft ons de mogelijkheid geboden om ervaring op te doen en inzicht te krijgen in de kosten en het milieurendement. De ervaringen in Noorderhoek vormen daarmee een belangrijk afwegingskader voor de verdere toepassing van nieuwe sanitatie in het beheersgebied van Wetterskip Fryslân. Ook voor gemeenten biedt dit onderzoek waardevolle input voor hun energiestrategie voor 2021.'

Uit de duurzaamheids- en energieanalyse is inmiddels gebleken dat het lokale sanitatiesysteem bij een verdere optimalisatie ongeveer 200 procent beter zou kunnen scoren dan de huidige conventionele rioolwaterzuivering. Dat kan dankzij het biogas en de terugwinning van warmte uit het effluent via een warmtepomp. Voorwaarde daarbij is dat het systeem voldoende schaalgrootte heeft: bij voorkeur meer dan 1500 inwoners.

Door de partners binnen het project in Sneek wordt er nu gekeken in hoeverre er nog meer woningen op de installatie kunnen worden aangesloten. Uit de onderzoeken is namelijk gebleken dat het systeem geschikt is om het afvalwater van ruim 1500 personen te kunnen verwerken. Financieel is het decentrale sanitatiesysteem aantrekkelijk voor grote nieuwbouwwijken met meer dan 1250 woningen (>3000 inwoners) en vooral daar waar aansluiting op het bestaande riool niet eenvoudig te realiseren is.

**"DE HUIDIGE MANIER WAAROP WE MET ONS AFVALWATER OMGAAN
IS NIET IN BETON GEGOTEN"**

[Bert Palsma, STOWA]

.....





BUFFEREN EN OPSLAAN VAN ENERGIE

Een van de grootste uitdagingen in de energietransitie is de zorg voor een stabiel elektriciteitsnet en de leveringszekerheid van energie.

Omdat zon en de wind variabele energiebronnen zijn, fluctueert het aanbod van duurzame energie. Tegelijkertijd treden er - in onze elektrificerende maatschappij - steeds vaker pieken op in de elektriciteitsbehoefte. De uitdaging is nu om de energieproductie en de energieconsumptie op elkaar af te stemmen.

Dat vraagt om flexibiliteit in de manier waarop we omgaan met energie en om opslagmogelijkheden. Het onderzoek hiernaar komt steeds meer op gang. Ook in het waterbeheer zijn er mogelijkheden voor het bufferen en opslaan van energie.



ENERGIE BUFFEREN OP GEMALEN

Omdat de gemalen in ons land niet continu draaien, is er ruimte om te schuiven met de bedrijfsuren. Dat biedt kansen om de watersystemen te gebruiken als elektriciteitsbuffer.

Als gevolg van klimaatverandering moeten waterbeheerders steeds slimmer anticiperen op slecht weer en hoogwater. Dat doen ze door middel van real-time aansturing van de gemalen op basis van actuele waterstanden, neerslagvoorspelling én sinds kort ook het energieaanbod. Daarbij wordt ingespeeld op het fluctuerende aanbod van wind- en zonne-energie, wat bijdraagt aan een betere balans in het energienetwerk. Door deze manier van ‘slim malen’ kan het watersysteem als het ware worden gebruikt om energie te ‘bufferen’.

Hoe werkt het slimme bemalen? Actuele waterstanden, verwachte weersvoorspellingen en eventueel getijdevoorspellingen vormen de input voor het modelleringsprogramma ControlNext, dat gekoppeld is aan het neerslagafvoermodel SOBEK en aan de regelsystemen van de gemalen. De volgende stap is om ook data van de energiemarkt aan het regelsysteem te koppelen.

Projectleider Ivo Pothof van Deltares licht toe: ‘De huidige modellen houden nog geen rekening met het energiegebruik en de kosten daarvan. Slim malen is erop gericht alle data zo te combineren dat er minder hoeft te worden gemalen, en als er wel moet worden gemalen, dat dat gebeurt met optimaal gebruik van de prijschommelingen op de energiemarkt.’¹⁷

POTENTIE

Het gebruik van alternatieve energie, zoals windenergie en zonne-energie, is in de afgelopen vijftien jaar verzevenvoudigd. Maar het aanbod van deze energie loopt niet parallel aan de vraag. Energiebedrijven zijn daarom op zoek naar gebruikers of producenten die bereid zijn om hun productie of afname afhankelijk te maken van het energieaanbod. Waterbeheerders blijken daarin een rol te kunnen spelen, door het watersysteem te gebruiken als elektriciteitsbuffer.

Wat levert het bufferen van elektriciteit concreet op? Chris Smit, projectleider bij Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK): ‘De mate van besparing hangt af van de precieze omstandigheden in het beheergebied. Daarnaast gaat het slimme systeem een impuls opleveren voor de transitie naar wind- en zonne-energie in Nederland.’

VOORBEELDEN EN PILOTS

APX-STURING BIJ HHNK

HHNK verbruikt voor al zijn 350 gemalen jaarlijks bijna 30 miljoen kWh aan energie voor het peilbeheer. Dat is evenveel elektriciteit als 8.000 Nederlandse huishoudens. Sinds 2016 werkt HHNK met APX-sturing. Dat betekent sturing op basis van wat er op de dagmarkt voor energie gebeurt. (De APX-markt bepaalt de prijs van de energie die de volgende dag wordt geleverd)

De waterstand in het gebied van HHNK dient als opslagmedium voor elektriciteit. Als het hard waait en er goedkope windstroom beschikbaar is, verpompen de gemalen meer water dan voor de veiligheid noodzakelijk is. Gaat de wind liggen en is de stroom langere tijd duurder, dan loopt de opgebouwde buffer weer vol.

Chris Smit (HHNK): ‘Als we alleen malen als op het nachttarief en de stroom goedkoop is, kunnen we een onbalans op het net veroorzaken. Bijvoorbeeld omdat er dan ook zonne-energie wordt teruggeleverd aan het net. Dat is niet de bedoeling. We leveren ons energieprofiel 24 uur van tevoren aan het energiebedrijf aan, zodat die er rekening mee kan houden. Sterker nog: het energiebedrijf adviseert ons over de tijden die voor ons beide het meest gunstig zijn. Als we weten wanneer we gaan malen en we kunnen daarin een beetje schuiven, dan kan het energiebedrijf er rekening mee houden en hoeft er geen kolencentrale ingeschakeld te worden.’

De afgelopen jaren zijn er drie proefprojecten uitgevoerd. De eerste pilot (2012) was een haalbaarheidsstudie waaruit bleek dat we fors kunnen besparen op onze energierekening. De tweede pilot (2013) was een praktijkproef in de Schermer om te testen of het systeem onder alle omstandigheden functioneert. De derde proef (2014) betreft een studie naar de betrouwbaarheid van de voorspellingen. Daaruit bleek dat in 94 procent van de gevallen er een betrouwbare inzetvoorspelling was afgegeven.

Op dit moment draaien we met 21 van de 350 gemalen volgens APX-sturing. Eigenlijk hadden we al meer gemalen op deze manier willen laten werken, maar in de praktijk blijkt er nog veel fine tuning nodig te zijn. Alle schakels in de keten moeten onderling goed zijn afgestemd. De hele keten moet strak geregeld zijn voor de APX-sturing echt een besparing oplevert. Om de keten te kunnen optimaliseren blijft het voorlopig dus even bij 21 gemalen.'

Inmiddels verkennen ook andere partijen de mogelijkheden van APX-sturing, waaronder waterschappen en Rijkwaterstaat.

**"SLIM BEMALEN HELPT BIJ DE TRANSITIE NAAR WIND- EN
ZONNE-ENERGIE IN NEDERLAND."**

[Michelle Talsma, STOWA]

FLEXIBEL ENERGIEMANAGEMENT OP DE RWZI

Het aerobisch zuiveren van afvalwater op de rwzi kost veel energie. Waterschappers onderzoeken in hoeverre ze energie kunnen besparen, onder andere door flexibel energiemangement op de rwzi. Daarbij maken ze gebruik van fluctuaties in energievraag en -aanbod.

Het principe van flexibel energiemangement lijkt op dat van slim bemalen van het watersysteem. Waterschappen onderzoeken of bepaalde processen op de zuivering afgestemd kunnen worden op de fluctuerende energieprijzen. Als de energieprijzen hoog zijn, zou een influentbuffer uitkomst bieden om die pieken af te kunnen vangen. Ook wordt onderzocht of buffering van afvalwater in het rioolstelsel mogelijk is. Dat gebeurt met computersimulaties. Tenslotte wordt onderzocht of en hoe het geproduceerde biogas slim opgeslagen kan worden. Er wordt bovendien gekeken of en hoe de WKK kan worden afgestemd op de energieprijzen.

ONDERZOEK

Momenteel wordt de mogelijkheid van flexibel energiemangement bij het beluchten van rwzi's onderzocht. De centrale vraag is: hoe kan de beluchting in een rwzi worden bedreven op een manier die energetisch en/of kostentechnisch voordelen heeft, met gelijkblijvende effluentkwaliteit?

Menno Chang, Movares: 'Het betreft een modelmatig onderzoek waarin verschillende zaken zijn bekeken. Allereerst: wat betekent het aanpassen van het beluchtingspatroon voor de directe efficiëntie van een rwzi? Beluchting vraagt immers de meeste energie. Daarnaast: wat is de impact van het bufferen van afvalwater voor wat betreft de uitstoot van CO₂? Hierbij is leidend dat de kwaliteit van het effluent gelijk blijft, en dat het niet regent. De modelstudie is bijna afgerond.

Een van de conclusies is dat, hoewel het flexibel bedienen van de rwzi niet tot directe energiebesparing leidt, dit elders in Nederland wel tot een lagere CO₂-uitstoot kan leiden. Denk hierbij aan situaties dat we meer duurzame energie produceren dan we nodig hebben. Als een rwzi op die momenten juist iets meer energie vraagt (meer beluchting), dan kan de energievraag op momenten dat er met fossiele energie gewerkt wordt, worden beperkt. Deze mogelijkheden verschillen overigens per rwzi, omdat iedere rwzi weer anders is.'

Samengevat: kan flexibel energiemanagement een zinvolle maatregel zijn om het energievraagstuk op te lossen? Het antwoord is: 'Ja, dit kan een zinvolle sturingsknop zijn in een wereld waarin we te maken hebben met een overschot of juist een tekort aan duurzame elektriciteit. Op dit moment is dat nog niet het geval. Het tempo waarin duurzame energie gerealiseerd wordt, is leidend voor de vraag naar buffercapaciteit. En tot 2023 is het best denkbaar dat die vraag naar buffercapaciteit goed kan worden ingevuld door gascentrales, slim bemalen of het slim laden van elektrische voertuigen. Voor de lange termijn is het goed voorstelbaar dat ook de rwzi's hier een bijdrage in gaan leveren.'

**“HOEVEEL BUFFERCAPACITEIT HEEFT NEDERLAND EIGENLIJK NODIG
VOOR DE TRANSITIE NAAR DUURZAME ENERGIEBRONNEN?”**

[Menno Chang, Movares]



OPSLAG: WATERSTOFPRODUCTIE BIJ RWZI'S

Waterbeheerders en netbeheerders verkennen de mogelijkheden rond opwekking, transport en (tijdelijke) opslag van biogas en waterstof. Op die manier kan elektrische energie worden omgezet in gas, beter bekend als Power-to-gas.

Waterstof kan als 'energiedrager' een belangrijke rol vervullen in de duurzame energievoorziening. Dit houdt in dat water met behulp van duurzaam opgewekte elektriciteit (elektrolyse) kan worden omgezet in waterstof en zuurstof. Door waterstof en zuurstof later weer samen te voegen, ontstaat er een chemische reactie die weer stroom kan leveren. Op die manier kan elektriciteit dus worden opgeslagen.

Met waterstof kan bovendien methaan worden geproduceerd, door het te laten reageren met CO₂. Dit synthetische gas kan worden opgewaardeerd tot het dezelfde kwaliteit heeft als aardgas. In theorie kan het een rol spelen in het opvangen van fluctuaties in de energievoorziening op een rwzi.

Hoe werkt het in de praktijk? Cora Uijterlinde van STOWA: 'Het idee is om met duurzame energie waterstof te maken als de energieprijs laag is. Bij de productie van waterstof (door middel van elektrolyse) wordt er ook zuurstof geproduceerd, en dat kan worden ingezet in het waterzuiveringsproces. Als je waterstof samen met CO₂ in een reactor samenvoegt, kun je daar bovendien methaan van maken. Alles kan, want in het biogas van de rwzi's zit CO₂ dat je met waterstofgas dus kunt omzetten tot extra methaangas. Voordeel? Methaangas kun je opslaan. Op die manier kun je dus energie in gunstige tijden bewaren, om er uiteindelijk weer biogas van te maken als het nodig is.'

POTENTIE

Op 23 mei 2018 was er een bijeenkomst over 'Kansen voor biogas en waterstof' voor waterbeheerders en netbeheerders. Workshopleider Irene Eisink: 'Waterbeheerders overwegen wel om de elektriciteit die wordt opgewekt in nieuwe zonneparken en windparken, op te slaan in waterstof. Dat kan met behulp van elektrolyse van water. Deze opslag zou gunstig zijn voor de netbeheerder om piekbelasting van het elektriciteitsnet te voorkomen. Het is mogelijk om 20 à 30 procent waterstof bij te mengen in ons bestaande gasnetwerk. Maar op dit moment produceert

geen van de waterschappen waterstof om het piekaanbod aan elektriciteit te balanceren.’

De discussie hierover is nog niet afgerond. Het is een optimalisatievraagstuk dat afhankelijk is van veel factoren, zoals de locatie van de rwzi, de aanwezige infrastructuur (in de buurt van een lagedrukgasnet of een hogedrukgasnet), subsidies, en de betrouwbaarheid van de techniek.

**“POWER-TO-GAS OP DE RWZI IS EEN OPTIMALISATIEVRAAGSTUK
WAARBIJ VEEL FACTOREN EEN ROL SPELEN”**

[Cora Uijterlinde, STOWA]

VOORBEELDEN EN PILOTS

Waterschappen oriënteren zich ondertussen al wel op de betekenis van deze nieuwe technologie. Ter inspiratie kan er gekeken worden naar een pilotopstelling in Duitsland (Allendorf) en naar het demonstratieproject Rozenburg. Daarbij wordt Power-to-gas toegepast in een woonwijk, waarbij het draait om de productie van synthetisch gas.

POWER-TO-GAS ROZENBURG

Netbeheerder Stedin werkt daar samen met DNV GL, woningstichting Ressorst Wonen en de gemeente Rotterdam in het proefproject Power2Gas (P2G). Duurzame elektriciteit en kraanwater worden gebruikt om waterstof te produceren. Dit gebeurt met behulp van elektrolyse. De waterstof reageert vervolgens met CO₂ tot methaan, het hoofdbestanddeel van aardgas ($2\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{O}_2$).

De installatie in Rozenburg is aangesloten op het reguliere aardgasnet van 40 appartementen. Het geproduceerde gas is van aardgaskwaliteit en wordt toegevoegd aan het bestaande aardgasnet. De huishoudens gebruiken waterstofgas voor de Cv-ketel en kooktoestellen.

Het project is bedoeld om de efficiëntie aan te tonen van het proces waarbij overtollige duurzame elektriciteit via waterstof en CO₂ wordt omgezet in aardgas. Het project loopt van 2014 tot 2020.¹⁸

18

[Stedin.net](https://www.stedin.net)

 *Het water in de energie opslag van de Aqua Battery wordt gecontroleerd (TU Delft).*



BLUE BATTERY

De Blue Battery maakt net als Blue Energy gebruik van het verschil in zoutgehalte tussen zoet en zout water. Maar waar bij Blue Energy elektriciteit opgewekt wordt uit stromen zoet en zout water, waarbij brak water ontstaat, is de Blue Battery gebaseerd op het omgekeerde proces.

Bij de Blue Battery wordt water door een aantal membranen gestuwd. De (elektrisch geladen) zoutionen gaan er doorheen, maar het water niet. Het water wordt daardoor gescheiden in stromen zoet en zout water: de batterij is 'opgeladen'. Zodra er vraag is naar elektriciteit, gaat het Blue Energy principe in werking. Hoe meer membranen de batterij bevat: hoe hoger het vermogen. Hoe groter de opslagreservoirs, hoe groter de opslagcapaciteit.

POTENTIES

De theoretische potenties van de Blue Battery zijn groot, zowel in Nederland als wereldwijd. Belangrijk voordeel is dat er alleen zout water nodig is voor de opslag, een medium dat volop voorradig is en volledig gerecycled kan worden na gebruik. Verder is de technologie eenvoudig in te bouwen in de gebouwde omgeving, is de energiedichtheid groot en kan de schaal eenvoudig worden aangepast aan het doel.

Voorbeeld van een mogelijke toepassing is het plaatsen van een reeks 'blue batteries' in combinatie met een zonneveld of windpark. Dit biedt een relatief eenvoudige manier om decentraal energie op te slaan om deze later te benutten.

VOORBEELDEN EN PILOTS

De aandacht richt zich op verdere ontwikkeling én het commercialiseren van de technologie, met als doel om deze op praktijkschaal toe te passen.

Eenzijds wordt er daarvoor onderzoek gedaan, bijvoorbeeld naar nieuwe typen membranen voor osmose, het verbeteren van de efficiëntie, het verhogen van het vermogen en de economische haalbaarheid.

Anderzijds worden er demonstratieprojecten en pilots ingericht, om in de praktijk ervaring en kennis op te doen.

THE GREEN VILLAGE

De eerste pilot met Blue Battery vindt plaats in The Green Village, de proeftuin van de TU Delft. Hier is een opstelling gebouwd, waar de werking van de batterij in de praktijk wordt getest. Het is de bedoeling dat huizen en kantoren op de batterij zullen worden aangesloten.

PILOT WATERSCHAP RIVIERENLAND

Een andere pilot vindt plaats bij het zonnepark van waterschap Rivierenland. Dit park, dat op het terrein van de rwzi te Gorinchem ligt, werd in januari 2018 officieel geopend. Doel van de Blue Battery: het bufferen van elektriciteit van het zonnepark zodat een kleinere aansluiting op het elektriciteitsnet voldoende is. Het idee is om de overtollige elektriciteit op te slaan in een concentratieverschil tussen zout, zuur en basisch water. De eerste fase van het project richt zich op een Blue Battery op een schaal van 1 kW met opslagcapaciteit van 35 uren. Bij goede resultaten kan dit in een vervolgfase opgeschaald worden naar een grootte van 9 kW met dito uren opslagcapaciteit. Omdat deze pilot uniek is voor de waterschappen investeert STOWA in het onderzoek en de communicatie over de resultaten.

Met het project willen de betrokken partijen kennis en ervaring opdoen over de impact van de Blue Battery op het rendement en de terugverdientijd van het zonnepark. Daarnaast vormt het ontwikkelen en verbeteren van technologie een speerpunt.

**“MET DE BLUE BATTERY HOPEN WIJ SAMEN MET ONZE PARTNERS
EEN MOOIE STAP TE ZETTEN OP WEG NAAR DUURZAME OPSLAG
VAN ENERGIE.”**

[Peter Willems, waterschap Rivierenland]



DE TOEKOMST TEGEMOET

Er blijken allerlei mogelijkheden te zijn om energie op te wekken en om flexibel om te gaan met energie. Dit boekje geeft een overzicht van kansen voor waterbeheerders om samen met medeoverheden, bedrijven en kennisinstututen bij te dragen aan de energietransitie in Nederland.

Maar om die kansen te kunnen benutten, staan waterbeheerders voor een paar fikse uitdagingen. Immers: de taken komen bovenop hun kerntaken en mogen daarmee niet conflicteren. Bovendien vragen het inpassen van de technische maatregelen in het landschap en het behoud van cultuurhistorische en ecologische waarden, ook om aandacht van de waterbeheerder.



UITDAGINGEN EN DILEMMA'S

Klimaatverandering stelt waterbeheerders voor grote uitdagingen bij de uitvoering van hun taken. Naast de zorg voor droge voeten, voldoende water én schoon en gezond water hebben ze te maken met de doelstellingen van de energietransitie. Dat betekent verder kijken dan de eigen horizon, en het aangaan van de samenwerking met andere partijen.

De waterbeheerders hebben zich in het kader van de energietransitie verbonden aan de doelstellingen van de regering en willen daar een voortrekkersrol in vervullen. Hoe zij dat invullen, verschilt per situatie en hangt mede af van de doelen die ze zelf moeten behalen. De rollen kunnen variëren van het faciliteren of participeren in initiatieven tot het zelfstandig realiseren en exploiteren van projecten. Op dit moment faciliteren veel waterbeheerders projecten voor duurzame energie. Dat betekent dat zij kansen in beeld brengen en hierover met andere partijen in gesprek gaan. Op deze manier dragen ze bij aan de energietransitie.

SAMENWERKING

Om kansrijke projecten van de grond te krijgen, is de samenwerking tussen partijen essentieel. Samen kan er gezocht worden naar slimme combinaties en naar het 'stapelen' van doelen. Een concreet voorbeeld is het combineren van duurzame energieopwekking met maatregelen ten behoeve van klimaatadaptatie. Dat kan bijvoorbeeld door bij de aanleg van een warmtenet het straatprofiel zo aan te passen, dat hevige neerslag beter kan worden opgevangen. Dan hoeft de schop maar één keer in de grond.

Dit soort plannen vraagt om veel afstemming met anderen, waaronder gemeenten. Voor sommige projecten is het raadzaam om een businesscase te maken voor meervoudig gebruik, en om goede afspraken te maken met andere partijen over de verdeling van de kosten en de eventuele inkomsten.

OOK DE ROL VAN DE NETBEHEERDER IS ESSENTIEEL

Het is voor waterbeheerders belangrijk om ook het netbeheer goed en tijdig mee te wegen in plannen en besluitvorming. Netbeheerders zijn essentieel voor een succesvolle energietransitie. Daarbij gaat het onder andere om het aanpassen van elektriciteitsnetten: waar deze tot voor kort vooral bedoeld waren voor eenrich-

tingsverkeer (van leverancier naar eindgebruiker), is er nu steeds vaker sprake van tweerichtingsverkeer omdat huishoudens en bedrijven zelf lokaal energie opwekken. Verder staan netbeheerders voor de opgave om pieken in vraag en aanbod op te vangen en te overbruggen. Daarbij blijken waterbeheerders ook een rol te kunnen vervullen door bijvoorbeeld 'slim te malen' en waterstof te produceren. Naast het elektriciteitsnet worden warmte- en koudenetten steeds belangrijker. Die zijn essentieel om de kansen van thermische energie daadwerkelijk te benutten.

SAMENGAAN VAN DUURZAME ENERGIE EN ANDERE BELANGEN

Al wordt de vraag om bij te dragen aan de energietransitie steeds dringender, het is cruciaal dat waterbeheerders hun kerntaken blijven uitvoeren en verantwoord blijven omgaan met andere duurzame belangen, zoals ecologie, natuur en landschap en cultuurhistorie. De zorg voor deze maatschappelijke waarden is niet voor niets een belangrijke overheidstaak. Dat leidt soms tot dilemma's. Een voorbeeld hiervan is het beschermen van vis en het benutten van waterkracht (zie kader).

Lastig bij dit soort dilemma's is dat de ontwikkeling van nieuwe technologieën zo snel gaat, dat er vaak nog weinig kennis is over de potentiële effecten ervan. Juist daarom is het zo belangrijk om demonstratieprojecten uit te voeren en de daarbij opgedane kennis en ervaringen actief te delen. Er valt heel veel te leren over de transitie naar duurzame energie: de leercurve is steil.

DILEMMA: WATERKRACHT EN VIS

De waterwegen zijn belangrijke verkeersaders voor vissen. Sommige soorten trekken tot wel honderden kilometers tussen zee en paaigronden of andersom. De vissen komen daar veel obstakels tegen zoals stuwen, sluizen, dammen, dijken of gemalen. Met veel van deze soorten gaat het nog niet goed. Daarom speelt er bij het benutten van waterkracht een levendige discussie over de effecten die dit heeft op vissterfte en zijn er strenge normen ter bescherming van het aquatisch milieu.

In een pamflet waarschuwen Sportvisserij Nederland, het Wereldnatuurfonds, Natuurmonumenten en ARK voor de nadelige effecten van waterkrachtcentrales op vissen.

Waterkrachtcentrales zouden tegenstrijdig zijn met het doel om rivieren passeerbaar te maken voor beschermde trekvisserij, zoals vastgelegd in diverse richtlijnen en verordeningen. Omdat de centrales volgens hen slechts een zeer geringe energiebijdrage leveren, zouden er geen nieuwe moeten worden gebouwd.

Er zijn echter ook partijen die benadrukken dat er nieuwe technieken zijn om waterkracht te benutten, die geen vissterfte of verwonding veroorzaken. De Oryon Watermill en de EQA-technologieën bijvoorbeeld zijn volgens de ontwikkelaars ervan visvriendelijk. EQA-projecten deed onderzoek naar de visveiligheid en testte de effecten van de ontwikkelde installaties in een 'living lab'. Daar werd de EQA-Box getest met behulp van vele honderden testvissen van verschillende groepen en afmetingen conform de richtlijnen van de NEN-norm. Aanvullend daarop werden testen gedaan voor zalmachtigen, alen en schieralen. Volgens EQA-projecten trad er bij het passeren van de installaties geen enkele sterfte op, ook geen uitgestelde sterfte. Daarmee voldoen de toegepaste installaties aan de (in de toekomst verplichte) NEN Norm voor pompen en waterkracht en hebben deze het predicaat 'visvriendelijk'.

Sportvisserij Nederland zegt hierover: 'Het is te vroeg om de nieuwe typen turbines visvriendelijk te noemen. Een betere term is minder visonvriendelijk. Er is namelijk te weinig onderzoek gedaan naar de effecten van de turbines op verschillende soorten vis onder verschillende omstandigheden. Het voldoet niet om in het laboratorium te testen, je kunt de turbines niet los zien van het hele systeem. Kunnen vissen bijvoorbeeld om de turbines heen zwemmen of worden ze gedwongen erdoorheen te gaan? En als er visgeleidingssystemen zijn, worden deze dan goed onderhouden? Vaak blijken deze verstopt te zitten met (plastic) afval en dan hebben ze geen nut. We zijn niet persé tegen nieuwe waterkrachtcentrales, maar pas nadat er meer en gedegen onderzoek naar is gedaan.'

TOT SLOT

Nederland staat voor de enorme opgave om de uitstoot van broeikasgassen verregaand te reduceren. De terreinen en assets van waterbeheerders kunnen hierbij een rol van belang spelen. Het is niet voor niets dat de Rijksoverheid een aquathermie project in in Katwijk (zie elders in dit boekje) heeft gekozen als één van de 27 'proeftuinen' voor aardgasvrije wijken in Nederland en hieraan financieel bijdraagt.

De energiekansen uit dit boekje kunnen input en inspiratie bieden voor de regionale energiestrategieën, waarvoor provincies, gemeenten, waterschappen, bedrijven, netbeheerders, maatschappelijke organisaties en burgers samen aan de lat staan. In deze strategieën worden landelijke afspraken uit het Klimaatakkoord vertaald in passende maatregelen voor de regio.¹⁹

Het sleutelwoord op de weg naar de toekomst is ‘samenwerking’. De energietransitie is een zaak van ons allemaal en we moeten samen zorgen voor de versnelling. Dat kan alleen door samen aan de slag te gaan.

“IT TAKES A TEAM TO BUILD A DREAM”

[Consortium INNOZOWA, op hun website]

STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert

toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' - de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft - om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.



STOWA

Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

Bezoekadres

Stationsplein 89, vierde etage
3818 LE Amersfoort

t. 033 460 32 00
e. stowa@stowa.nl
i. www.stowa.nl

COLOFON

Amersfoort, November 2018

Uitgave

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

Auteurs

Moniek Löffler, Bureau Landwijzer
Ingrid Zeegers, Bureau Portretten in Woorden

Begeleidingscommissie

Michelle Talsma, STOWA
Marco van Schaik, Unie van Waterschappen
Henk Looijen, Rijkswaterstaat WVL
Arné Boswinkel, RVO

Opdrachtgever

Michelle Talsma, STOWA

Vormgeving Vormgeving Studio B | Nieuwkoop

Fotografie iStock, M.J. Oomen riool- en betontechniek p. 27, Hollandse Hoogte, Raymond Rutting p. 81, Nationale Beeldbank, Peter Venema p. 45, Siebe Wiersma p. 16.

Druk DPP | Houten

STOWA 2018-65

ISBN 978.90.5773.823.4

Copyright

De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

Disclaimer

Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijd kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

stowa

STICHTING
TOEGEPAST ONDERZOEK WATERBEHEER

stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE AMERSFOORT

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

