

CE Delft

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Energie uit water

Een zee van mogelijkheden

Uitgevoerd in opdracht van:

Deltares &

WINN – Waterinnovatie Rijkswaterstaat

Rapport

Delft, maart 2009

Opgesteld door:

J.H.B. (Jos) Benner

B.L. (Benno) Schepers

F. (Frits) Spaans



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

J.H.B. (Jos) Benner, B.L. (Benno) Schepers, F. (Frits) Spaans
Energie uit water
Een zee van mogelijkheden
Delft, CE, 2009

Water / Energietechniek / Duurzame energie / Warmte / Koude / Zeestromingen /
Waterplanten / Getijden / Innovatie / Inventarisatie

Publicatienummer: 09.3791.10

Alle openbare CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl.

Opdrachtgever: Deltares / WINN – Waterinnovatie Rijkswaterstaat
Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider Jos Benner.

© copyright, CE, Delft

CE Delft

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE Delft is te vinden op de website: www.ce.nl.

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding en doel van het onderzoek	5
1.2 Opzet van het onderzoek	5
1.3 Afbakening van het onderzoek en leeswijzer	7
2 Longlist en criteria voor verdere selectie	9
2.1 De totstandkoming van de longlist	9
2.2 De longlist van technische opties	10
2.3 Criteria voor selectie van opties	17
3 Shortlist	19
3.1 Totstandkoming van de shortlist	19
3.2 De shortlist van actuele en betekenisvolle opties	20
3.2.1 Warmte en koude uit zeewater	20
3.2.2 Drijvende woningen	23
3.2.3 Bundeling watergolven	24
3.2.4 Potentiële energie (buffering)	25
3.2.5 Planten en stroom: liesgras	27
4 Kansen voor de watersector	29
5 Conclusies en aanbevelingen	31
Literatuurlijst	33
A Uitwerking longlist	43

Samenvatting

De watersector ziet de (inter)nationale ambities van overheden en marktpartijen op het gebied van energie en milieu en onderzoekt de mogelijkheden om bij te dragen aan de realisatie daarvan. CE Delft is gevraagd inzicht te geven in de belangrijkste energetische technieken en principes die in dit kader van belang kunnen zijn voor de watersector, op korte en langere termijn. Het gaat daarbij om de mogelijkheden om met of uit water benutbare energie te verkrijgen en om mogelijkheden in de bedrijfsvoering van de watersector zelf.

Het rapport omvat een longlist van praktische toepassingen, die elk kernachtig worden gekarakteriseerd en een selectie van de meest beloftevolle opties, waarbij nader wordt ingegaan op hun betekenis voor het gebruik van water (in Nederland). Deze praktische toepassingen vormen een invulling van de fysische principes die al eerder zijn geïnventariseerd in de rapportage Water als bron van duurzame energie – Inspiratieatlas van mogelijkheden (Deltares, 2008), die in het kader van het WINN-programma opgesteld is.

Dit rapport maakt duidelijk dat water een veelheid biedt aan interessante opties voor verduurzaming van de energievoorziening, waarvan een substantieel deel verrassend genoemd kan worden en nog nauwelijks onderkend is in de praktijk.

In het kader van deze verkenning was het niet de opzet om een volledige kosten/baten- of sterkte/zwakte-analyse uit te voeren op deze opties. Wel wil het rapport marktpartijen op gedachten brengen, als basis voor verdere planvorming en nadere analyses. De onderzoekers zijn er daarbij van overtuigd dat er in het rapport opties naar voren komen die een grote toekomst voor zich hebben.

In de rapportage is een longlist opgenomen van 25 opties voor energieconversie uit water. Daaruit zijn negen opties geselecteerd als meest relevant voor toepassing in de rijkswateren. Deze zijn, vanwege onderlinge verbanden, vervolgens geclusterd tot een shortlist van vijf hoofdopties: (1) warmte en koude uit zee-water, (2) drijvende woningen, (3) bundeling van watergolven, (4) potentiële energie (waterbuffering) en (5) planten en stroom.

De warmte/koude-winning uit zee/oppervlaktewater (opties 1 en 2) maakt gebruik van bewezen technieken en is direct toepasbaar. De optie is onder andere interessant voor woningbouwcorporaties, projectontwikkelaars, energiebedrijven en gemeenten in kustgebieden en nabij diepe meren. De watersector kan een rol spelen bij de vergunningverlening, het oplossen van eigendomsverhoudingen e.d. De sector kan de optie ook toepassen in de eigen gebouwen en kan ter stimulering zelf mee investeren in projecten van anderen en desgewenst leverancier van warmte of koude worden.

De winning van warmte en koude uit water wordt in het concept van de Drijvende Nutseenheid (DNE) voor drijvende woningen aangevuld met installaties voor elektriciteit- en drinkwaterproductie en (riool)waterzuivering.

De bundeling van watergolven in rivieren en op zee concentreert de energiedichtheid in het water en verbetert het winrendement. Er zijn haalbaarheidstudies die er beloftevol uitzien, maar er lijkt nu niets concreets te gebeuren. De watersector kan de optie nader verkennen al was het maar om de betekenis en potentiële consequenties beter te leren kennen.

Ook de opslag van energie door buffering van water in valmeren of in oude mijnen is in onderzoek. De realisatie lijkt echter nog ver weg en er zijn maatschappelijke bezwaren. Daarnaast staat de noodzaak van energiebuffering staat nog ter discussie (EnergieTransitie, 2008). De watersector kan hier volstaan met het volgen van de discussie, tenzij de sector zelf actief wil participeren in de ontwikkeling.

Het onttrekken van stroom aan de wortels van waterplanten lijkt in potentie een veelbelovende optie, maar uit nadere onderzoeken zal moeten blijken of dit ook echt een haalbaar en realistisch principe is. Het is aan te bevelen dat de watersector een vinger aan de pols houdt, ook al in verband met de mogelijke consequenties voor de primaire taken die zij uitvoert en de eigen bedrijfsvoering (onder meer in relatie tot de benodigde elektrische infrastructuur).

Uit de longlist komt ook een aantal opties naar voren die van betekenis kan zijn voor de gebouwen of de bedrijfsvoeringprocessen van de watersector. Het is logisch en aansprekend wanneer de watersector het voortouw neemt bij de benutting van deze energieopties en zo het goede voorbeeld geeft.

De benutting van warmte en koude uit zeewater, binnenwater of speciale koelvijvers is hierboven al genoemd. Verder kan de watersector denken aan de implementatie van ijsbanken en airconditioning op basis van waterdamp voor de eigen gebouwen.

Bij de ijsbanken wordt in nachturen koude opgeslagen in de vorm van ijs, voor gebruik (voor koeling) overdag. De inzet van ijsbanken levert een forse reductie van de elektriciteitskosten, door besparing op energiegebruik, het lagere nachttarief en het reduceren van stroomafname-pieken overdag. Het concept is commercieel in de handel.

De 'airconditioning op basis van waterdamp' koelt lucht door water te verdampen en verbruikt 75 tot 90% minder elektriciteit dan gewone airconditioninginstallaties. Het water wordt snel verdampt, waardoor het de lucht afkoelt en direct ook het ventilatieproces aandrijft. Daardoor is het energiegebruik laag.

De grootste kansen voor de eigen bedrijfsvoeringprocessen lijken: energie uit zoet/zout-gradiënten, energie uit getijden (en eventueel golven) en aquatische biomassa.

Buiten het toepassen van deze opties in de eigen gebouwen en in de eigen bedrijfsvoeringprocessen kan de watersector zelf (mee)investeren in de meest beloftevolle opties. De participatie van de watersector zelf geeft extra zekerheid aan subsidieverstrekkers en financiers en zal daardoor naar verwachting leiden



tot gunstigere financieringsvoorwaarden en betere projectresultaten dan zonder deelname van de sector.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel van het onderzoek

Vanaf 1 januari 2008 werkt Deltares¹ als onafhankelijk instituut voor toegepast onderzoek en specialistisch advies op het gebied van water en ondergrond. Het instituut ziet de (inter)nationale ambities van overheden en marktpartijen op het gebied van energie en milieu en zij onderzoekt de mogelijkheden om, vanuit de watersector, bij te dragen aan de realisatie daarvan.

Deltares is uitvoerend en inhoudelijk partner binnen het Rijkswaterstaat WINN-programma. Binnen dit waterinnovatieprogramma is het thema Energie uit Water gedefinieerd en heeft tot doel de innovatie van technieken - om duurzame energie uit water te winnen - te stimuleren en de implementatie ervan te faciliteren. Om dit doel te bereiken worden verschillende acties ondernomen en worden verschillende projecten uitgevoerd, waaronder het laten opstellen van een Technology Scan, dat deze rapportage vormt.

De watersector beschikt over een groot beheersgebied met locaties waar met of uit water bruikbare energie te winnen is. Er zijn daarom diverse projecten gestart waarin duurzame energieopwekking het uitgangspunt vormt. Een voorbeeld hiervan is Water als bron van duurzame energie, Inspiratieatlas van mogelijkheden (Deltares, 2008). Verder heeft de watersector diverse mogelijkheden voor verbetering van de energie-efficiëntie in de eigen bedrijfsvoering, waarmee zij ook een bijdrage kan en wil leveren aan de realisatie van de genoemde ambities.

Deltares heeft CE Delft gevraagd een verkenning uit te voeren die inzicht geeft in de mogelijkheden op deze terreinen. Het doel van de inventarisatie kan worden getypeerd als het verkrijgen van een behoorlijk volledig inzicht in:

- a De chemisch/fysische principes om energie met of uit water te winnen (internationaal beeld; van laboratoriumfase tot bewezen technologie).
- b De markt van technieken om energie uit water te winnen (internationaal beeld van specifieke installaties, van onderzoeksfase tot commercieel exploitabel).
- c De bedrijven en onderzoeksgroepen die met bovenstaande zaken bezig zijn (universiteiten, kennisinstituten, technologiebedrijven, etc.).
- d De directe mogelijkheden voor energie-efficiëntie en inzet van duurzame opties in de eigen bedrijfsvoering van Rijkswaterstaat.

1.2 Opzet van het onderzoek

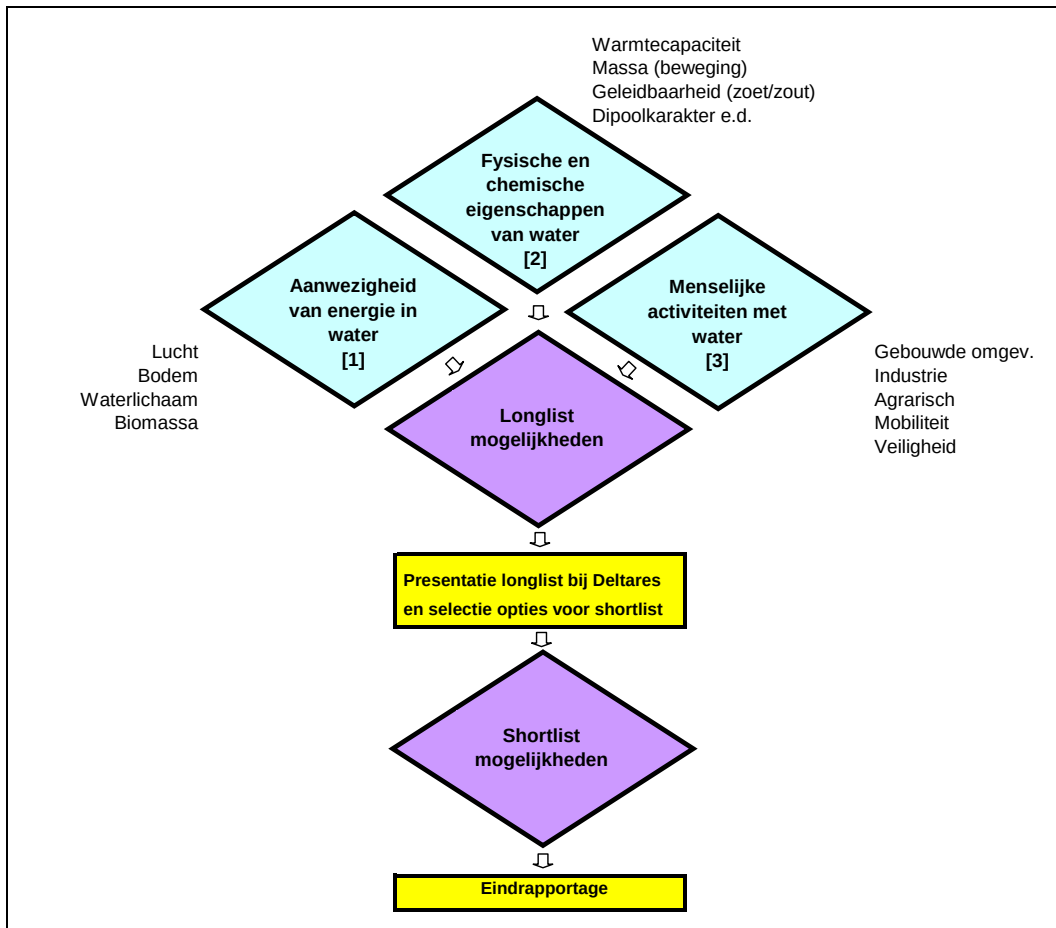
Het onderzoek is uitgevoerd in twee fasen. De eerste fase betreft het opstellen van een longlist, die een overzicht biedt van de opties om met of uit water energie op te wekken en bij te dragen aan verduurzaming van de energie-

¹ Deltares omvat het Waterloopkundig Laboratorium/Delft Hydraulics, GeoDelft, een deel van TNO Bouw en Ondergrond en delen van Rijkswaterstaat/DWW, RIKZ en RIZA. Het instituut ontwikkelt en verspreidt kennis en zorgt voor toepassing van deze kennis bij de duurzame inrichting en het beheer van kwetsbare delta's, kusten en riviergebieden.

voorziening². De tweede fase richtte zich vervolgens op een selectie van de meest veelbelovende opties, rekeninghoudend met de positie van Rijs-waterstaat en de Nederlandse situatie.

De opbouw van het project is schematisch aangegeven in Figuur 1.

Figuur 1 Opbouw van het project



In de eerste fase van het onderzoek is een longlist opgesteld van mogelijkheden om met of uit water energie te winnen. Dit is een zo volledig mogelijke lijst van relevante principes en technieken. Daarbij is gebruik gemaakt van een aanpak met drie invalshoeken. De eerste hiervan ging uit van de natuurlijke aanwezigheid van water in lucht, bodem, oppervlaktewater en biomassa en van de energetische mogelijkheden die hieraan gekoppeld zijn (zie [1] in Figuur 1), zoals koude en warmte opslag. De tweede invalshoek betrof de chemische en fysische eigenschappen van water en de betekenis hiervan voor de energietoepassingen [2], zoals de zoet/zout-gradiënt. De derde invalshoek redeneerde vanuit de energetische aspecten van menselijke activiteiten met water, zoals in de gebouwde omgeving, de industrie en de agrarische sector [3], zoals stuwen of

² Hierbij wordt getracht een zo volledig mogelijk beeld te geven van de mogelijkheden, maar deze volledigheid kan niet worden gegarandeerd.



waterleidingen. Deze invalshoeken zijn tevens gebruikt als structurerend kader bij het opstellen van de longlist.

1.3 Afbakening van het onderzoek en leeswijzer

De inventarisatie betreft uitsluitend duurzame energieopties waarin water zelf een rol speelt, als medium, of als bron van duurzame energie. Hierbij wordt getracht zo veel mogelijke volledig te zijn, maar dat kan niet worden gegarandeerd. Buiten de scope vallen opties waarbij energie wordt gewonnen op water, zoals offshore wind, of offshore winning van olie, gas of mangaanknollen. Er binnen vallen het water in de bodem (incl. geothermie), water als buffermedium en teelt voor biomassaproductie in water. In deze opties speelt water een cruciale rol bij de winning van duurzame energie of bij netto CO₂-reductie.

In hoofdstuk 2 wordt een beknopte weergave van de longlist gepresenteerd. Een uitgebreide versie, met meer toelichting per optie, is opgenomen in de bijlagen. De shortlist komt in hoofdstuk 3 aan de orde. De vijf geselecteerde opties worden in dit hoofdstuk uitgewerkt. Tot besluit worden, in hoofdstuk 5, enkele relevante conclusies voor Rijkswaterstaat getrokken.



2 Longlist en criteria voor verdere selectie

2.1 De totstandkoming van de longlist

Door CE Delft is een lijst opgesteld van technische opties om met of uit water energie te verkrijgen. Dit is met name gebeurd op basis van literatuurstudie (zie p. 31). De lijst betreft technieken die al worden toegepast, maar vooral ook technieken die de komende decennia aan belang zouden kunnen winnen.

Dit hoofdstuk biedt een beknopte weergave van de longlist van opties, met een korte toelichting op het fysische principe dat wordt benut, de werking en de belangrijkste voor- en nadelen. Een meer uitgebreide toelichting per optie is opgenomen in de bijlagen. Daar zijn ook de betreffende referenties en links naar onderzoeksinstellingen, leveranciers of andere relevante sites opgenomen.

In dit hoofdstuk komen ook de criteria aan de orde die zijn gehanteerd voor de selectie van opties, die in hoofdstuk 3 van dit rapport nader worden beschouwd op hun betekenis voor de Nederlandse watersector.

We merken in dat kader op dat bij het opstellen van de longlist bewust beperkt rekening is gehouden met zaken als het potentieel, kosten en de technische status quo om geen, mogelijk op termijn, interessante opties uit te sluiten.

De longlist is verdeeld in vijf clusters naar het energetische principe dat wordt benut. De vijf clusters zijn genaamd thermisch, kinetisch, elektrochemisch, potentieel en overig. Bij thermische energie gaat het om de warmte-inhoud (of koude-inhoud) van het water. Bij kinetische energie om de bewegingsnelheid en massa. Bij elektrochemische energie betreft het de mogelijkheden die voortvloeien uit het dipoolkarakter van water en het verschil in zout-gradiënt tussen zoet en zout water. De potentiële energie van water hangt samen met de hoogte waarop het water zich bevindt of wordt gebracht. Het cluster overig omvat de opvang van regenwater en liesgras.

Overigens merken we op dat er al een lijst met fysische principes van energie-opwekking is opgesteld in Water als bron van duurzame energie – Inspiratieatlas van mogelijkheden, verder te noemen Inspiratieatlas (Deltares, 2008). Deze lijst omvatte de onderstaande opties, die zeker interessant zijn voor de verduurzaming van de energievoorziening in Nederland en die dus als raamwerk voor de praktische toepassingen voor de longlist moet worden beschouwd.

Tabel 1 Opties die al zijn opgenomen in de Inspiratieatlas

Optie	Voorbeelden (bestaand of in ontwikkeling)
Energie uit zoet/zout-gradiënten	Blue Energy bij de Afsluitdijk
Energie uit golven	Archimedes wave swing/golfrotoren
Energie uit aquatische biomassa	Biodiesel uit algenkweek/oesterteelt
Energie uit getijden	Getijdencentrale met dijk/onderwaterturbines
Energie uit rivieren	Turbines bij stuwen, sluizen en in kribben
Energie uit warmte/- en koude-opslag	Op slag van warmte en/of koude in ondergrondse aquifers
Energie uit aardwarmte	Warmte uit diep gelegen watervoerende lagen
Energie uit temperatuurverschil	Benutting van warmte of koude uit het oppervlaktewater

Voor verdere informatie over deze opties verwijzen wij naar de Inspiratieatlas (Deltares, 2008).

2.2 De longlist van technische opties

De longlist van geïnventariseerde opties is opgesomd in Tabel 2. Elk van de opties wordt beknopt gekarakteriseerd in de daarop volgende kaders. Een meer uitgebreide beschrijving, met referenties en weblinks is opgenomen in de bijlage.

Tabel 2 Longlist van opties voor energie uit water

Optie	Principe	Pag.
Thermisch		
Warmte uit zeewater	Onttrekking warmte aan zeewater	10
Seawater Air Conditioning	Onttrekking koude aan zeewater	10
Drijvende woningen	Onttrekking warmte aan binnenwater	10
Airco op waterdamp	Koelen en ventileren door verdampen water	10
Solar Pond	Onttrekking warmte aan sterk verhit water	11
Koelvijvers	Onttrekking koude aan diepe vijvers	11
Warmte uit rivieren	Onttrekking warmte aan rivierwater	11
Mijnwater Energiecentrale	Onttrekking warmte aan mijnwater/aardwarmte	11
IJsbanken	Opslag van koude-energie in ijsmassa's	12
Kinetisch		
Waterkracht lens	Concentreren kinetische energie in rivierwater	12
Bundeling van watergolven	Concentreren kinetische energie in zeewater	12
Drinkwater productie en transport	Onttrekken kinetische energie uit water(druk)	12
Energie uit regen	Onttrekken kinetische energie uit regenwater	13
Pompturbines in de polder	Onttrekken kinetische energie uit polderwater	13
Elektrochemisch		
Brandstofcel - B, Zn, Mg, Al e.a.	Waterstofproductie met boor en directe benutting	13
Brandstofcel - Water en Lucht	Waterstofproductie met metaalhydriden	13
Biologische brandstofcel	Directe elektr. productie uit organische materialen	14
Biogekatalyseerde electrolyse	Waterstofproductie met en uit afvalwater	14
Microkanaaltjes in glasschijven	Opwekken en aftappen van statische elektriciteit	14
Dialyse met hoogfrequente golven	Waterstofproductie met hoogfrequente golven	14
Potentieel		
Valmeer in de Noordzee	Buffering energie in een watermassa (meer)	15
Haakse Zeedijk	Buffering energie in een watermassa (meer)	15
Witte Steenkool	Buffering energie in een watermassa (mijn)	15
Overig		
Opvang regenwater	Indirect energie-effect door besparingen	15
Liesgras	Onttrekking elektriciteit aan syntheseproces plant	16



Warmte uit zeewater	
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte aan zeewater
Omschrijving De warmte uit zeewater wordt benut als basis om woningen of utiliteitsgebouwen van warmte te voorzien. In elk gebouw wordt de warmte via een individuele warmtepomp op een bruikbaar temperatuurniveau gebracht. Er wordt gebruik gemaakt van laag-temperatuur-verwarmingssystemen.	
Voordelen - Energiebesparing - Combineerbaar met vergelijkbaar systeem voor ruimtekooling	Nadelen - Alleen mogelijk nabij kustlijn - Elektriciteit nodig voor de aandrijving van de warmtepomp
Status toepassing	Proefproject Duindorp, Den Haag

SWAC (SeaWater Air Conditioning)	
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking koude aan zeewater
Omschrijving Seawater Air Conditioning gebruikt de koude uit zeewater als koelmedium voor de air conditioning van gebouwen. Het SWAC-systeem is vooral geschikt wanneer diep oceaanwater beschikbaar is (met een temperatuur tussen 5 en 10°C) en waar de oceaan vloer stijl omhoog loopt. Ook bij diepe meren (dieper dan 20 meter) kan het SWAC-systeem worden toegepast. Wanneer de watertemperatuur hoger is zijn hybride systemen beschikbaar.	
Voordelen - Energiebesparing - Bestaande technologie (componenten)	Nadelen Hoofdzakelijk toepasbaar wanneer diep water beschikbaar is
Status toepassing	Proefproject Curaçao, Nederlandse Antillen

Drijvende woningen	
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte aan binnenwater
Omschrijving Het concept van drijvende woningen is in opkomst. Een optie is om clusters drijvende woningen te voorzien van een drijvende nutseenheid (DNE) die in belangrijke mate zelfvoorzienend is op het gebied van energie, water en afval. De temperatuur van het binnenwater waarop de woningen drijven speelt daarbij een belangrijke rol. Het water wordt gebruikt voor zowel verwarming als voor koeling. Individuele warmtepompen in de woningen krikken de temperatuur van het CV-water op tot het vereiste niveau. Er wordt hier weer laag-temperatuur-verwarming toegepast.	
Voordelen - Energiebesparing - Bestaande technologie (componenten) - Combinatie van verwarmen en koelen	Nadelen - Elektriciteit nodig voor de aandrijving van de warmtepomp - Temperatuurbalans van het onderliggende water moet worden bewaakt
Status toepassing	Voor zover bekend is het integrale concept nog niet in de praktijk toegepast

Airco op waterdamp (StatiqCooler)	
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Koelen en ventileren door verdampen water
Omschrijving De StatiqCooler koelt door water te verdampen en verbruikt daardoor 75 tot 90% minder elektriciteit dan gewone airconditioninginstallaties. Koelen door water te verdampen is een oud principe, maar wordt hier op innovatieve wijze toegepast. Door het water snel te verdampen, koelt de lucht af en direct ook de ventilatie aangedreven. Daardoor is het energiegebruik heel laag.	
Voordelen - Energiebesparing - Nederlandse ontwikkeling	Nadelen Airco koelt tot enkele graden onder omgevingstemperatuur (niet tot elk gewenst niveau)
Status toepassing	Proefproject Hengelo (Ov.)

Solar Pond	
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte aan sterk verhit water
Omschrijving Een Solar Pond is een vijver van enkele meters diep met zout water. Als gevolg van natuurlijke stratificatie ontstaat onderin een 'reservoir' van zeer zout water, met daarboven een isolerende laag van relatief zoetwater. De warmte van de zon wordt in de vijver in de onderste lagen opgeslagen. In de zomer kan de temperatuur oplopen tot boven de 80°C. In de winter zal temperatuur op de bodem ongeveer 30°C hoger zijn dan de temperatuur aan het oppervlak. Uit het temperatuurverschil kan nuttige warmte worden verkregen.	
Voordelen • Energiebesparing • Hoge bruikbare temperatuur	Nadelen • Klimaat in Nederland niet geschikt
Status toepassing	O.a. toegepast in En Boqeq, Israël en op tientallen andere locaties in de wereld

Koelvijvers	
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking koude aan diepe vijvers
Omschrijving Bij deze optie wordt gekoeld met behulp van koude uit circa tien meter diepe koelvijvers. Het water wordt gelaagd in de waterbuffer opgeslagen, gebaseerd op het principe dat warm water op koud water blijft drijven. Het koude water wordt onttrokken onderuit de vijver. Na benutting wordt het water geloosd aan het oppervlak van de vijver. 's Nachts koelt de vijver af door de lagere temperatuur van de buitenlucht.	
Voordelen • Energiebesparing • Redelijk breed toepasbaar	Nadelen • Ruimtebeslag van de koelvijver
Status toepassing	O.a. Universiteit Twente, Enschede O.a. De Nieuwe Meer, Amsterdam

Warmte uit rivieren	
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte aan rivierwater
Omschrijving Door een na-ijleffect (langzamer afkoelen dan de omgeving) bevatten rivieren in de herfst relatief veel opgeslagen warmte. In veel gebouwen is dan al verwarming nodig. De warmte daarvoor kan uit het water worden gewonnen en met een warmtepomp op een bruikbaar niveau worden gebracht. In de lente gebeurt hetzelfde, maar dan omgekeerd. De rivier is dan nog relatief koud en het water wordt dan gebruikt om te koelen.	
Voordelen • Energiebesparing • Afkoeling rivieren	Nadelen • Alleen toepasbaar dicht bij rivieren • Elektriciteit nodig voor de warmtepomp
Status toepassing	Rotterdam (in ontwikkeling) Terneuzen (RWS), Maastricht (Prov. huis)

Mijnwater Energiecentrale	
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte aan mijnwater/aardwarmte
Omschrijving In onbruik geraakte mijngangen staan vol water, dat wordt verwarmd door aardwarmte. Op een diepte van 800 meter is het water ca. 35°C. Hoger in de mijn (ca. 200 meter diep) is het water ca. 15°C. Dat is een geschikt niveau om zomers gebouwen mee te koelen. Na gebruik gaat het water terug de grond in, waar het opnieuw kan opwarmen of afkoelen.	
Voordelen • Energiebesparing	Nadelen • Beperkte mogelijkheden in Nederland • Behoorlijk pompvermogen vereist
Status toepassing	Plannen voor toepassing in Heerlen



IJsbanken	
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Opslag van koude-energie in ijsmassa's
Omschrijving Het principe van de ijsbank is gebaseerd op het 's nachts opslaan van koude voor gebruik overdag wanneer koeling nodig is. 's Nachts wanneer de stroom goedkoper is en de buitenlucht kouder wordt de vloeistof gekoeld of de ijsbank opgebouwd. Overdag wordt de koude hieraan onttrokken, nagenoeg zonder verder energiegebruik.	
Voordelen • Energiebesparing • Bestaande technologie	Nadelen • Verschil in kosten dag- en nachtstroom wordt kleiner, waardoor het financiële plaatje verandert • Door nachtelijke kolenstroom te gebruiken, kan het CO₂-voordeel van de besparing teniet worden gedaan.
Status toepassing	IJsbankinstallaties zijn commercieel verkrijgbare producten

Waterkrachtlens	
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Concentreren kinetische energie in rivierwater
Omschrijving De Waterkrachtlens creëert en concentreert golven in rivieren naar een 'brandpunt' met een hoge golfamplitude en energiedichtheid. In het brandpunt wordt de bewegingsenergie omgezet in elektrische energie.	
Voordelen • Duurzaam energie concept	Nadelen • Enige belemmering doorvaart
Status toepassing	Een haalbaarheidsonderzoek geeft aan dat er een substantieel potentieel is in Nederland en Vlaanderen

Bundeling van watergolven (afbuiging en bundeling op één plaats)	
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Concentreren kinetische energie in zeewater
Omschrijving Met een groep afgezonden cilinders wordt de voortplantingssnelheid van golven in zeewater gestuurd, waardoor golven zich concentreren als een lichtstraal door een lens. In het brandpunt wordt de golfenergie omgezet in electriciteit.	
Voordelen • Duurzaam energie concept	Nadelen • Alleen toepasbaar in relatief kalme zeeën (stromingsrichting/wind)
Status toepassing	Het principe wordt zover bekend nog niet in de praktijk toegepast

Drinkwaterproductie en -transport	
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Onttrekken kinetische energie uit water(druk)
Omschrijving Deze optie maakt gebruik van de druk op het waterleidingnet. Deze druk wordt met een minuscule turbine nabij het afnamepunt benut voor elektriciteitsproductie bij het tappen van water.	
Voordelen • Vrijwel overal toepasbaar	Nadelen • Geringe opbrengst per locatie (t.o.v. kosten)
Status toepassing	Het principe wordt zover bekend nog niet in de praktijk toegepast

Energie uit regen	
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Onttrekken kinetische energie uit regenwater
Omschrijving Wanneer een regendruppel een oppervlakte bereikt, produceert het een klein schokje. Dit schokje wordt omgezet in elektriciteit met behulp van PVDF (polyvinylidene fluoride). Wanneer een druppel het PVDF raakt pikken elektrodes in het PVDF de vibraties op en zetten deze om in elektrische energie.	
Voordelen • Grote potentie	Nadelen • Nog geen zicht op de kosten vs. de baten
Status toepassing	Laboratoriumfase

Pompturbines in de polder	
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Onttrekken kinetische energie uit polderwater
Omschrijving Nederland kent heel veel polders die op een constant waterpeil moeten worden gehouden en waterwegen moeten worden doorgespoeld. Daarvoor staan op vele plaatsen pompen, die slechts incidenteel worden gebruikt. Vaak stroomt het water juist in omgekeerde richting door de pomp. Hierbij ontstaat de mogelijkheid om energie op te wekken door de pompen ook geschikt te maken als turbines die elektriciteit opwekken.	
Voordelen • Extra benutting van bestaande installaties, met beperkte meerinvestering	Nadelen • Meerinvestering nodig
Status toepassing	Haalbaarheidsstudies uitgevoerd en een enkel proefproject

Brandstofcel - B, Zn, Mg, Al	
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Waterstofproductie met boor en dir. benutting
Omschrijving Door water te laten reageren met het element borium (boor) wordt waterstof gevormd dat gebruikt kan worden in een verbrandingsmotor of in een brandstofcel. Voordeel van de directe benutting is dat geen 'gevaarlijke' waterstof hoeft te worden opgeslagen en geen distributiestructuur nodig is. Het bijproduct is boriumoxide dat weer in borium kan worden omgezet met gebruikmaking van energie. Dat moet echter wel gebeuren in speciale fabrieken.	
Voordelen • Directe benutting van geproduceerd waterstof • Aanhangers verwachten de eerste prototypes binnen drie jaar	Nadelen • Nog behoorlijke onzekerheden • Experts zijn sceptisch. Als het al mogelijk is, iets voor de zeer lange termijn
Status toepassing	In testfase in Israel

Brandstofcel - Water en Lucht	
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Waterstofproductie met metaalhydriden
Omschrijving Deze optie benut de chemische reactie van metaalhydriden met water, waarbij waterstof vrijkomt die vervolgens wordt gebruikt om bijvoorbeeld een auto aan te drijven. Dit heeft tot speculatie geleid dat de metaalhydride in het proces wordt verbruikt zodat de energiebron van de auto eigenlijk de hydride is en niet het water.	
Voordelen • Vergelijkbaar met voorgaande optie	Nadelen • Nog onduidelijk is in welke mate de metaalhydriden worden verbruikt in het proces
Status toepassing	Laboratoriumstadium



Biologische brandstofcel	
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Rechtstreekse elektriciteitsproductie uit organische materialen
Omschrijving Biologische brandstofcellen functioneren volgens het zelfde principe als een normale brandstofcel. Organisch materiaal in afvalwater wordt door bacteriën omgezet in ondermeer protonen en elektronen. De protonen diffunderen door een protonselectief membraan. De elektronen worden door een extern circuit geleid zodat elektriciteit wordt opgewekt. Aan de andere zijde van het membraan komen de elektronen en protonen weer bij elkaar en reageren samen met zuurstof tot water.	
Voordelen	Nadelen
• Duurzame energieoptie	• Nog veel onzekerheden
Status toepassing	Laboratoriumstadium

Biogekatalyseerde elektrolyse	
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Waterstofproductie met en uit afvalwater
Omschrijving Het proces van de biogekatalyseerde elektrolyse (Biocatalyzed electrolysis) verloopt via dezelfde bio-elektrochemische principes als bij de biologische brandstofcel, maar hier wordt zuiver waterstofgas geproduceerd in plaats van elektriciteit. Het is met dit proces mogelijk om uit veel meer soorten afvalwater waterstof te maken dan voorheen.	
Voordelen	Nadelen
• Flexibel, breed toepasbaar proces	• Nog veel technologische onzekerheden
Status toepassing	In onderzoek binnen Wetsus. Er wordt ook op veel andere plekken onderzoek gedaan, zoals Penn State University in de VS

Micro kanaaltjes in glasschijven	
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Opwekken en aftappen statische elektriciteit
Omschrijving Water dat door haarfijne microkanaaltjes in een glazen schijf wordt gepompt wekt een elektrische stroom op. Ionen met positieve lading gaan door de microkanaaltjes terwijl de ionen met negatieve lading achterblijven. De kanaaltjes worden dus positief aan de ene kant en negatief aan de andere, zodat een kleine elektrische stroom kan worden opgewekt.	
Voordelen	Nadelen
• Toepasbaar in combinatie met bestaande proces, waar water wordt verpompt.	• Er is nog geen zicht op de energiebalans.
Status toepassing	Laboratoriumstadium.

Dialyse op basis van hoogfrequente golven	
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Waterstofproductie met HF-golven
Omschrijving Hoogfrequente radiogolven maken zuurstof en de waterstof vrij uit zout water waardoor een intensief verbrandingsproces kan worden gevoed (1..500°C).	
Voordelen	Nadelen
• Rechtstreeks vrijmaken van waterstof uit zee-water	• Proces is nog geheim. Er is daarmee ook nog geen zicht op de energiebalans
Status toepassing	Laboratoriumstadium. Volgens de onderzoekers heeft de methode een enorm potentieel

Valmeer in de Noordzee (Lievense en Kema)/Energie eiland	
Categorie	Potentieel
Fysisch principe	Buffering energie in een watermassa (meer)
Omschrijving Het valmeer is een kunstmatig eiland voor de Nederlandse kust of in het IJsselmeer met een diep binnenmeer. Tijdens daluren wordt zeewater uit het binnenmeer gepompt. Bij piekuren stroomt het water via turbines het meer weer in. Op die manier wordt vermogen gedurende 12 uur opgewekt. Het eiland zal kosten besparen door een efficiënter gebruik van geproduceerde elektriciteit. Bij een grote vraag hoeft er in dat geval minder elektriciteit te worden opgewekt. En bij weinig vraag hoeft er geen elektriciteitscentrale te worden uitgeschakeld. Ook wordt het probleem van fluctuaties in elektriciteitsopwekking van windenergie (gedeeltelijk) opgelost. Het valmeer kan gecombineerd worden met bijvoorbeeld zonnecollectoren, algen- en viskweek, havenfaciliteiten, aardgasopslag en golfslagcentrales. Ook Wubbo Ockels heeft een plan voor een valmeer tussen de Afsluitdijk en een nieuw aan te leggen dijk.	
Voordelen Grote buffercapaciteit (flexibiliteit in het elektriciteitsnet)	Nadelen Zeker voor het IJsselmeer bezwaren van milieu organisaties en omwonenden
Status toepassing	Nog ver af van realisatie

Haakse Zeedijk	
Categorie	Potentieel
Fysisch principe	Buffering energie in een watermassa (meer)
Omschrijving De Haakse Zeedijk is een plan voor een 3 km brede zeedijk op 20 km ten westen van de huidige kustlijn. De dijk loopt van Walcheren tot Den Helder, met enkele openingen. Zo ontstaan er drie grote binnenmeren voor de huidige kust. In het zuidelijke en middelste bekken wordt een grote 80 meter diepe put aangelegd met een oppervlak van ca. 100 km ² . Hierbij wordt elektriciteit opgewekt (en benut) volgens het principe als beschreven bij het Valmeer hierboven.	
Voordelen Wellicht te koppelen aan verdere kustverdediging bij zeespiegelstijging	Nadelen Mogelijke impact op ruimtebeslag
Status toepassing	Ver toekomstplan

Witte Steenkool: Waterkrachtcentrale	
Categorie	Potentieel
Fysisch principe	Buffering energie in een watermassa (mijn)
Omschrijving Uit een bovengronds meer loopt water naar een diep onder de grond gelegen waterbassin (in oude kolenmijnen) via turbines waarmee elektriciteit wordt opgewekt. Op dalmomenten in de elektriciteitsvraag wordt het water weer opgepompt.	
Voordelen Zie Valmeer	Nadelen - Beperkt aantal plaatsen toepasbaar - Noodzaak van groot bassin bovengronds
Status toepassing	Er is een plan in Limburg, waar Essent, Nuon en E.ON zich achter hebben geschaard

Opvang regenwater (grindbak, spoelbak, regenton)	
Categorie	Overig
Fysisch principe	Indirect energie-effect door besparingen
Omschrijving Door het regenwater op te vangen in een regenton en het te gebruiken voor de besproeiing van de tuin, kan water uit de kraan worden bespaard. Hiermee wordt een indirecte besparing behaald bij de waterzuivering. Tevens kan de regenton dienen als kleine opslagbuffer en het afvlakken van piekaanbod op de afvoer via het riool.	
Voordelen - Energiebesparing (indirect) - Afvlakken piekaanbod op het riool	Nadelen Beperkte energiebesparing
Status toepassing	Eeuwenoud principe. In onbruik geraakt



Liesgras	
Categorie	Overig
Fysisch principe	Onttrekking elektriciteit aan syntheseproces plant
Omschrijving Waterplanten produceren hierbij elektriciteit zonder dat ze worden geoogst. Deze vorm is efficiënter dan de traditionele benutting van energie uit biomassa. Er wordt gebruik gemaakt van de organische zuren en suikers die planten met behulp van zonlicht produceren. Die worden door bacteriën afgebroken en de elektronen die daarbij vrijkomen worden bij de wortels 'geoogst'.	
Voordelen • Geen concurrentie met landbouwtoepassingen	Nadelen • Nog veel onzekerheden (met name ook over kosten)
Status toepassing	Laboratoriumstadium

2.3 Criteria voor selectie van opties

Hoewel het nadrukkelijk een doel is om uit de longlist de opties te selecteren die op dit moment het meest interessant zijn voor de watersector, is hier bewust eerst de gehele longlist behandeld. Deze lijst zal immers gedurende vele jaren waarde behouden als overzicht van de denkbare opties rond energie en water, waarbij zaken zoals de technische toepasbaarheid en kostprijzen van opties zich in de loop van de tijd zullen ontwikkelen.

Om de opties te kunnen selecteren die op dit moment het meest van betekenis zijn voor de watersector, zijn enkele criteria losgelaten op de technieken uit de longlist. Daarbij is vooral gelet op de concrete toepasbaarheid van de opties in de rijkswateren en door de watersector zelf, op de potentiële impact van de opties en op de haalbaarheid van realisatie op afzienbare termijn. Hieronder gaan we kort in op deze criteria.

Toepasbaarheid

Bij dit criterium is gelet op de mogelijkheid en de wenselijkheid om de optie toe te passen in de rijkswateren en op de mogelijkheden voor de watersector om de toepassing van de optie te stimuleren. Ook is nagegaan of de optie toe te passen is binnen de watersector zelf. Daarbij kan worden gedacht aan de verwarming van gebouwen, de energievoorziening bij afgelegen delen van de bedrijfsvoering en eigen energievoorzieningen bij kunstwerken. Daarnaast kan de watersector ook participeren in de commerciële opwekking van elektriciteit of warmte en aan de opslag van thermische of potentiële energie. Bekeken is voor welke segmenten van de watersector de opties relevant zijn: rijkswateren, rijksgebouwen (bijv. die van Rijkswaterstaat) en waterschappen. De afwegingen op dit criterium zijn gemaakt in direct overleg met de opdrachtgever.

Omvang van de bijdrage

Dit criterium weegt de potentiële impact van de opties in termen van totale mogelijke energieopbrengst en uitstootreductie. Opties die slechts zeer lokaal kunnen worden ingezet of die een relatief lage energieopbrengst hebben scoren laag op dit criterium. Ook het kwaliteitsniveau (hoogwaardig/laagwaardig) van de energie die beschikbaar komt speelt een rol. De opwekking van elektriciteit scoort daarbij hoger dan het verkrijgen van laag-temperatuur-warmte. Bij de bepaling van de potentiële impact is voornamelijk uitgegaan van het Nederlandse schaalniveau.

Praktische haalbaarheid van de toepassing

De toepasbaarheid en potentiële impact van een optie garanderen nog niet dat deze optie ook praktisch haalbaar en uitvoerbaar is. Bij dit derde criterium wordt daarom ingegaan op de technische, economische en maatschappelijke/politieke haalbaarheid van de opties. Bij de technische haalbaarheid spelen de stand van de techniek, de complexiteit en de risico's een rol. De maatschappelijke en politieke haalbaarheid hangt enerzijds samen met de urgentie van de klimaatproblematiek en anderzijds met factoren als de invloed op het landschap, invloed op scheepvaartverkeer e.d. Deze zaken bepalen ook mede de economische haalbaarheid (verwachte kosten/baten). Omdat veel opties nog in ontwikkelings- of zelfs het ideestadium zijn, is het onvermijdelijk om hier soms grove inschattingen te maken.



3 Shortlist

3.1 Totstandkoming van de shortlist

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 is een aantal criteria losgelaten op de opties uit de longlist om de meest actuele en betekenisvolle opties voor de watersector te selecteren. De geselecteerde opties vormen gezamenlijk de shortlist die in dit hoofdstuk wordt behandeld.

Hieronder wordt eerst ingegaan op de score van de opties uit de longlist op de selectiecriteria. Vervolgens worden de opties uit de shortlist in meer detail beschouwd, waarbij wordt ingegaan op de technieken, potentiële locaties, energetisch potentieel, kosten, beperkende factoren en technische status quo en ook op de meest betrokken bedrijven en onderzoeksinstellingen. Tevens komt de inpasbaarheid van de bedoelde opties in bredere energetische en/of maatschappelijke concepten aan de orde (buiten de scope van de watersector alleen).

De opties uit de longlist gewogen op hun concrete toepasbaarheid in rijkswateren en door de watersector zelf en verder op hun potentiële impact en haalbaarheid van realisatie op afzienbare termijn. De essentie van de scores op deze criteria is opgenomen in Tabel 3.

Uit Tabel 3 blijkt dat een negental opties gerelateerd is aan de rijkswateren en dat een aantal daarvan onderlinge samenhang heeft. De betreffende opties zijn daarom geclusterd tot een shortlist van vijf hoofdopties:

- optie 1: Warmte en koude uit zeewater;
- optie 2: Drijvende woningen (warmte en koude uit binnenwater);
- optie 3: Bundeling van watergolven in rivieren en op zee;
- optie 4: Potentiële energie (waterbuffering);
- optie 5: Planten en stroom.

In de volgende paragrafen werken we deze opties verder uit.

Tabel 3 Score van de longlistopties op de selectiecriteria

Energiebron	Rijks- wateren	Gebouwen watersector	Water- schappen	Impact/ haalbaarheid
Thermisch				
Warmte uit zeewater	x			x
Sea Water Air Conditioning	x			x
Drijvende woningen	x			x
Airco op waterdamp		x		x
Solar Pond				
Warmtepomp		x		x
Flatgebouwen				
Koelvijvers			x	x
Energie uit Maas				
Mijnwater Energiecentrale				
IJsbanken		x		x
Boilers		x		x
Kinetisch				
Waterkracht lens	x			?
Bundeling van watergolven	x			?
Drinkwater productie en transport				
Energie uit regen		x		?
Pompen in polders			x	x
Elektrochemisch				
Brandstofcel - B, Zn, Mg, Al e.e.				
Brandstofcel - Water en Lucht				
Biologische brandstofcel			x	?
Biogekatalyseerde elektrolyse			x	?
Microkanaaltjes in glasschijven				
Hoogfrequente golven				
Waterstof				
Potentieel				
Valmeer in de Noordzee	x			?
Oppompen	x			x
Haakse Zeedijk				
Witte Steenkool	x			x
Overig				
Liesgras	x			?
Opvang regenwater		x	x	x

3.2 De shortlist van actuele en betekenisvolle opties

3.2.1 Warmte en koude uit zeewater

De temperatuur van het zeewater heeft een niveau dat in de winter kan worden benut voor warmtedoeleinden en in de zomer voor koeling. In beide gevallen zal een warmte/-c.q. koude-pomp het temperatuurverschil tussen het zeewater en de beoogde verwarming of koeling opkrikken tot het gewenste niveau. Hieronder worden enkele concrete opties uitgewerkt.



Zeewater warmtecentrale

Het benutten van de warmte uit zeewater kan met de combinatie van technologieën die op zich bekend en beproefd zijn. Centraal daarin staat een warmtepomp die door toevoeging van een beperkte hoeveelheid (veelal elektrische) energie in staat is de warmte uit het zeewater op een bruikbaar niveau te krijgen. Het is daarbij uiteraard eenvoudiger om een temperatuurniveau te bereiken van 40 à 50°C dan de 70 à 90°C, die nu in standaard CV-systemen wordt benut. Het niveau van 40 à 50°C volstaat wanneer in de woning, het kantoor of ander gebouw gebruik wordt gemaakt van een laag-temperatuur-verwarmingssysteem, bijv. met vloerverwarming.

Bij de juiste dimensionering blijkt dat het mogelijk is met toevoeging van 1 kWh elektriciteit gemiddeld zo'n 5 kWh aan bruikbare warmte te verkrijgen. Op momenten dat slechts een kleine temperatuurverhoging nodig is kan de 'coëfficiënt of performance (COP)' nog beduidend hoger liggen dan 5 (tot boven de 10).

De eerste zeewater warmtecentrale in Nederland is in januari 2009 geopend in Duindorp (Scheveningen) en zal ruim 800 nieuwbouwwoningen van warm water gaan voorzien. Rijkswaterstaat heeft een vergelijkbaar concept toegepast bij haar gebouw in Terneuzen, dat zijn warmte onttrekt aan het nabijgelegen kanaal van Gent naar Terneuzen.

In essentie werkt het systeem als volgt. Een centraal warmtenet wordt via een warmtewisselaar gevoed met de temperatuur van zeewater. Dit net levert vervolgens de basiswarmte voor kleine warmtepompen in de woningen. In de warmere maanden is de temperatuur van het zeewater direct hoog genoeg om, via de warmtewisselaar, warmte direct over te brengen naar het net. In de winter is de temperatuur van het zeewater lager. Dan wordt ook tussen het zeewater en het warmtenet een bronwarmte-warmtepomp ingezet om de basistemperatuur op te schroeven tot het benodigde niveau.

Figuur 2 De bronwarmte-warmtepomp



Bron: Deerns, 2008.

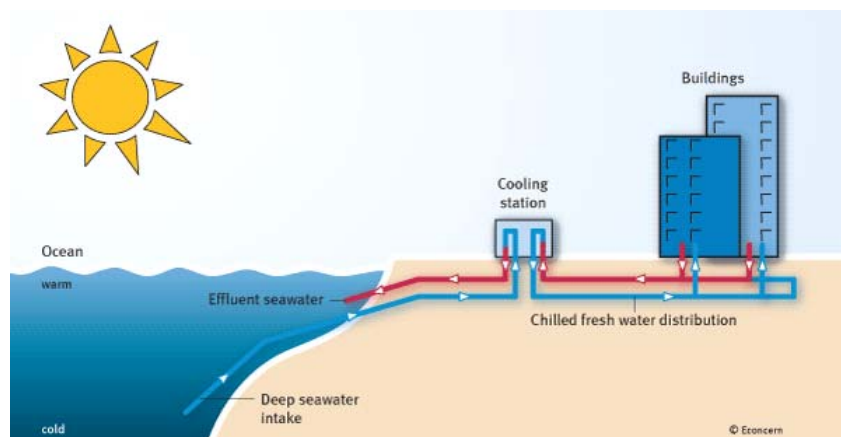
Elke woning heeft een eigen warmtepomp die de temperatuur verder omhoog brengt tot 45°C voor vloerverwarming en 55-65°C voor warm tapwater.

In beginsel kan het hele proces in de zomermaanden ook worden omgekeerd en kan dan de temperatuur van het zeewater worden benut om gebouwen te koelen. Op deze optie wordt hieronder ingegaan.

Bij zowel de benutting van de warmte en de koude zal de afstand tussen het gebouw en de bron (het zeewater) beperkt moeten zijn omdat de investering in de benodigde leidingen aanzienlijk is.

Zeewater airco (SWAC)

Figuur 3 Systematische weergave SWAC



Bron: Evelop, 2008.

Een zeewater airconditioning systeem gebruikt het zeewater als koelvloeistof. Het systeem is geschikt voor gebouwen in de nabije omgeving van de zee, vooral wanneer water beschikbaar is met een temperatuur tussen 5 en 10°C. Dit vereist water van grotere diepte en dus een vrij stijl aflopende zeebodem. Zo'n bodem hebben we in Nederland niet, maar bijvoorbeeld op Curaçao wel.

Bij Curaçao wordt een SWAC-systeem gebouwd door Evelop (Econcern). De verwachte besparing is 90% op het elektriciteitsverbruik in vergelijking met een conventioneel airconditioningsysteem.

Ook bij diepe meren kan gebruik worden gemaakt van koud water. Een voorbeeld is Nuon die het koude water in een diepe zandwininput (De Nieuwe Meer in Amsterdam) gebruikt voor koeling van kantoren aan de Amsterdamse Zuidas. Het water komt van een diepte van 35 tot 40 meter waar de temperatuur 5°C is.

Warmte/koude-winning uit zee/oppervlaktewater maakt gebruik van bewezen technieken en is als zodanig goed toepasbaar. De optie is onder andere interessant voor woningbouwcorporaties, projectontwikkelaars, energiebedrijven en gemeenten in kustgebieden en nabij diepe meren. Eerste ervaringen zijn er inmiddels.

Het is zinvol dat de watersector zich bezint op eventuele consequenties bij bredere toepassing (bijvoorbeeld thermische of chemische verontreiniging van het water) en op de rol die de sector kan spelen bij de vergunningverlening en dergelijke. Hierbij kan worden opgetrokken met het nieuwe Expertisecentrum warmte bij SenterNovem.

De sector kan eventueel zelf (mee)investeren in de projecten (en zo leverancier van warmte of koude worden). Dit kan voor de watersector van belang zijn omdat deze sector als een van de eerste te maken krijgt met de gevolgen van klimaatverandering: zeespiegelstijging, zeer natte en zeer droge periodes, et cetera.

3.2.2 Drijvende woningen

Waterwonen staat volop in de aandacht. Het tekort aan bouwlocaties in met name de Randstad, het gebruik van lage polders als waterberging, het vraagstuk van de waterbeheersing en de ontwikkeling van oude havens verklaren deze toegenomen aandacht.

De nieuwe locaties voor drijvende woningen liggen vaak perifeer en zijn soms zelfs tijdelijk. Het is dan zaak om de kosten van energieaansluitingen te beperken. Er zijn dan ook plannen om clusters van drijvende woningen te voorzien van een eigen - eveneens drijvende - energie-eenheid die grotendeels zelfvoorzienend is op het gebied van energie, water en afval. Zo heeft de Stuurgroep Experimenten Volkshuisvesting (SEV), in samenwerking met Deltasync, een onderzoek gedaan naar het samenvoegen van de energievoorzieningen van drijvende woningen. In dit onderzoek is het concept ontwikkeld van de Drijvende Nutseenheid (DNE).

Figuur 4 Impressie van een Drijvende Nutseenheid



Bron: SEV, 2008a/b.

Op de DNE worden 20-25 drijvende woningen aangesloten. De DNE zorgt voor rioolwaterzuivering, waterzuivering en productie van elektriciteit en drinkwater.

Bouwstenen van de DNE zijn:

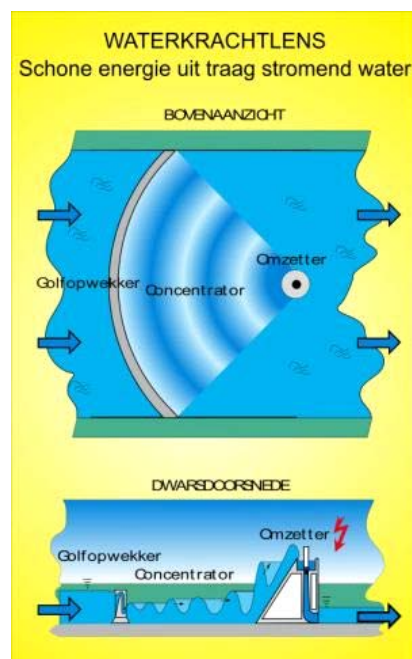
- 1 Drijvende steiger met geïntegreerde leidingen en drinkwaterzuivering met onderwater reservoir; tevens een zwartwaterzuivering opgenomen.
- 2 Zonnepanelen op de steiger én in erfpacht op de daken van de woningen.
- 3 Multifunctionele meerpalen met windturbines.
- 4 Multifunctionele helofyten eilanden met groene beplanting (zuivering van grijs water).
- 5 Individuele warmtepompen bij de woningen om CV-water op te warmen af te koelen.

Bij een DNE zijn riolering en waterleiding niet meer nodig. Aansluiting aan het elektriciteitsnet is nog wel noodzakelijk om overschotten en tekorten van elektriciteit uit te wisselen. Het totale conventionele energieverbruik is beduidend lager dan gemiddeld.

Wonen op water is een trend. Het concept DNE is echter nog onvoldoende uitgewerkt om uitspraken te kunnen doen over de investerings- en onderhoudskosten en over de baten. Het is aan te bevelen dat de watersector een vinger aan de pols houdt en meewerkt aan de wet- en regelgeving met betrekking tot wonen op wateren en de eigendomsverhoudingen. Eind 2008 is door de Amsterdamse woonstichting De Key de geWoonboot in gebruik genomen. Deze woonboot is nagenoeg zelfvoorzienend op het vlak van energie (elektriciteit en warmte) en waterzuivering (De Key, 2009). Er zijn nog geen exacte verbruiksgegevens van deze geWoonboot bekend.

3.2.3 Bundeling watergolven

Figuur 5 Werking waterkrachtlens



Bron: Entry Technology, 2008.



Bij deze optie wordt de natuurlijke golfhoogte in rivieren of op zee kunstmatig vergroot. Hierdoor ontstaat lokaal een grotere energiedichtheid. Er zijn diverse methoden om watergolven te concentreren. We bespreken hier twee methoden; de Waterkrachtlens voor rivieren en een methode om op zee golven te bundelen.

Waterkrachtlens

De waterkrachtlens vergroot de energiedichtheid door het genereren van een radiale convergerende golf. Dit wordt bijvoorbeeld gerealiseerd door een dam die periodiek water doorlaat en zo een golfbeweging creëert. Door de golf radiaal naar binnen te richten wordt de golfenergie verdicht en wordt deze in het 'brandpunt' omgezet in elektrische energie. Dit principe kan worden toegepast op alle plaatsen met een gedurige waterstroom met een laag verval, zoals veel voorkomt in Nederland.

Er is een haalbaarheidsonderzoeksrapport (SenterNovem, 2004) dat aangeeft dat:

- 1 Het principe resulteert in een acceptabel rendement en dat de energiekosten ca. 9 €ct/kWh gaan bedragen.
- 2 Omdat slechts een deel van het rivierwater door de golfomzetter stroomt het risico van vis schade veel kleiner is dan bij een traditionele riviercentrale.
- 3 Het plaatsingspotentieel in Nederland en Vlaanderen in de orde grootte ligt van 1.000 installaties.

Er lijkt nu niets concreets te gebeuren. De watersector kan de optie nader verkennen, bijv. in samenwerking met SenterNovem, al was het maar om de betekenis en potentiële consequenties beter te leren kennen.

Bundeling van golven op zee

Deze optie maakt gebruik van de *Wet van Snellius* uit de optica. Die geeft aan hoe een golf van richting verandert bij de overgang tussen twee materialen met verschillende voortplantingssnelheid. Het bundelen van golven is met name interessant voor golfcentrales in kleinere minder woelige zeeën waar de wind minder kans heeft om de golven op te wekken.

Voor Nederland lijkt deze optie niet voor de hand te liggen vanwege de windinvloeden en consequenties voor de scheepvaart. Wellicht biedt de optie op de langere termijn kansen in combinatie met andere initiatieven (bijv. windparken op zee), maar op dit moment lijkt geen directe aandacht gewenst of vereist.

3.2.4 Potentiële energie (buffering)

Valmeer

Het idee van een valmeer is een kunstmatig eiland voor de Nederlandse kust of in het IJsselmeer met een diep binnenmeer. Tijdens daluren wordt zeewater uit het binnenmeer gepompt. Later, in piekuren, wanneer extra elektriciteit nodig is, stroomt het water vanuit de zee weer het valmeer in, waarbij turbines in de stuw-dijk stroom produceren. Deze optie betreft dus een buffersysteem dat fluctuaties in de elektriciteitsopwekking (bijv. windenergie) en in het verbruik gedeeltelijk oplost. Het valmeer kan eventueel worden gecombineerd met bijvoorbeeld

zonnecollectoren, algen- en viskweek, havenfaciliteiten, aardgasopslag en golfslagcentrales (Robles, 2007).

Er bestaan concrete plannen voor een energie-eiland, van Kema en Bureau Lievense, (zie Figuur 6) en het Valmeer van Wubbo Ockels (Lievense, 2008; Land van Energie, 2008b). Het gaat daarbij om een fors vermogen en een berekende kostprijs die lager ligt dan bij het bouwen van een nieuwe centrale of ander productievermogen (bijv. windenergie). De realisatie is echter nog ver weg. Er zijn ook veel (maatschappelijke) bezwaren en de noodzaak van buffering staat (althans op de relatief korte termijn) ter discussie. Er kan worden volstaan met het volgen van de discussie, tenzij de sector zelf actief wil participeren.

Witte steenkool

De naam witte steenkool komt van het gegeven dat deze optie de mogelijkheden van oude steenkoolmijnen benut. Het principe komt op hoofdlijnen overeen met dat van het valmeer.

Een Ondergrondse Pomp Accumulatie Centrale (OPAC) wekt elektriciteit op door water via een turbine/stroomgenerator te laten stromen in een oude mijn. Hoe groter het hoogteverschil, hoe meer elektriciteit wordt geproduceerd. Het water wordt op 'dalmomenten' weggepompt uit de mijn. Ook deze optie heeft dus een bufferfunctie.

Figuur 6 Mogelijke uitwerking van een valmeer



Bron: Lievense, 2008.



In Zuid-Limburg bevindt zich, in Graetheide bij Born, een harde steenlaag die geschikt is voor het uithakken van de benodigde machinehallen, tunnels en holtes. Bovengronds dient overigens ook een wateropslag te worden gerealiseerd met een oppervlakte van dertig hectare en een inhoud van 2,5 miljoen m³ water.

De optie betreft vooral (zeer substantiële) buffering van energie. Op korte tot middellange termijn lijkt de behoefte hieraan nog beperkt, zodat realisatie van initiatieven als deze naar verwachting nog geruime tijd op zich zullen laten wachten. De watersector kan vooralsnog volstaan met het volgen van de ontwikkeling.

3.2.5 Planten en stroom: liesgras

Bij deze optie produceren (water)planten elektriciteit zonder dat ze worden geoogst. Eén polletje liesgras, gekoppeld aan een microbiële brandstofcel, kan zo al een molentje laten draaien (Strik et al., 2008). Deze vorm is efficiënter dan de traditionele benutting van energie uit biomassa. Er wordt gebruik gemaakt van de organische zuren en suikers die planten met behulp van zonlicht produceren en waarvan ze van nature al een deel via hun wortels uitscheiden. Die worden door bacteriën afgebroken en de elektronen die daarbij vrijkomen worden geoogst.

De planten concurreren niet met landbouwgrond voor voedselgewassen want de planten leven in het water.

Figuur 7 Liesgras



Bron: Wikipedia, 2008c.

Het potentiële vermogen wordt geschat op 21 GJ per hectare per jaar liesgras in Nederland (oplopend naar 500 GJ in zeer gunstige omstandigheden) (WUR, 2009) en onderzoek naar concrete toepassingsmogelijkheden wordt thans gesubsidieerd door Nuon en SenterNovem. In vergelijking, een hectare zonnepanelen levert 1.700 GJ per hectare per jaar in Nederland (MilieuCentraal, 2009).

Het lijkt een veelbelovende optie, maar uit de vervolgonderzoeken zal moeten blijken of dit ook echt een haalbaar en realistisch principe is. Het is aan te bevelen dat de watersector een vinger aan de pols houdt, in verband met de mogelijke consequenties voor de primaire taken die zij uitvoert en de eigen bedrijfsvoering (onder meer in relatie tot de benodigde elektrische infrastructuur).



4 Kansen voor de watersector

In dit hoofdstuk gaan we in op de kansen op energiegebied voor de watersector zelf, zowel in de bedrijfsvoeringprocessen in het veld als in de gebouwen. De focus ligt daarbij op de opties die raken aan de benutting van water. Dat betekent dat hier voorbij wordt gegaan aan andere mogelijkheden voor energiebesparing (zoals isolatiemaatregelen bij de gebouwen) en andere duurzame energieopties (zoals de inzet van windenergie voor de bedrijfsvoeringprocessen).

De opties die hier wel worden beschouwd volgen uit de longlist (zie Tabel 2) en uit de Inspiratieatlas Water als bron van duurzame energie (Deltares, 2008). Samengevat in tabelvorm komt dit neer op de respectabele lijst van de volgende opties.

Tabel 4 Opties voor de watersector

Gebouwen	Bedrijfsvoeringsprocessen
Airco op waterdamp	Energie uit zoet/zout-gradiënten *
Energie uit warmte/- en koude-opslag *	Energie uit aquatische biomassa *
Energie uit aardwarmte *	Energie uit golven en getijden *
Koude uit koelvijvers *	Energie uit rivieren *
Koude uit ijsbanken	Energie uit warmte/- en koude-opslag *
Energie uit biologische brandstofcellen	Energie uit aardwarmte *
Energie uit biogekatalyseerde elektrolyse	Energie uit temperatuurverschillen *
Energie uit regen	Pompturbines

* Deze optie wordt behandeld in hoofdstuk 3 of in de Inspiratieatlas.

Alle opties die zijn voorzien van een ster zijn in hoofdstuk 3 behandeld of staan beschreven in de inspiratieatlas. De overige opties worden in elk geval ook getypeerd in de longlist (zie o.a. bijlage A). Voor de inhoudelijke beschrijving van de opties verwijzen we naar deze stukken. Hieronder gaan we nog wel kort in op de specifieke betekenis en (in onze ogen) grootste kansen van de meest rele-vante opties voor de watersector.

Het is in het kader van deze verkenning onmogelijk om een volledige kosten/baten- of sterkte/zwakte-analyse uit te voeren op deze opties. Het doel van deze rapportage is primair om partijen op gedachten te brengen als basis voor verdere planvorming en nadere analyses.

Het is logisch en aansprekend wanneer de watersector het voortouw neemt bij de benutting van de watergerelateerde energieopties in haar gebouwen en bedrijfsprocessen. Daarbij zal de sector wel met name gebruik willen maken van opties met een redelijke tot goede kosteneffectiviteit. Dit zijn uiteraard ook de opties die in de rest van de markt het eerst door zullen breken en waarbij de voorbeeldfunctie van de watersector dus ook het eerst navolging zal vinden.

Als grote kansen voor benutting in of bij de eigen gebouwen noemen wij:

- koude/- en warmte-opslag in bodemwater, in combinatie met warmtepompen;
- benutting van warmte of koude uit zee- of rivierwater (in combinatie met warmtepompen);
- benutting van koude uit speciaal aan te leggen koelvijvers;
- benutting van koude uit ijsbanken;
- airconditioning op basis van waterdamp.

De eerste drie van deze opties staan op de shortlist en zijn beschreven in hoofdstuk 3. We volstaan hier met een verwijzing naar deze beschrijving. Rond deze opties is er voldoende kennis en kunde en lopen er minimaal pilots.

Bij de ijsbanken wordt in nachturen koude opgeslagen in de vorm van ijs, voor gebruik (voor koeling) overdag. In de nacht is het elektriciteitsstarief lager en vooral ook de buitenlucht koeler. De beschikbare koude wordt zoveel mogelijk benut bij het opbouwen van de ijsbank. Overdag wordt de koude hieraan onttrokken, nagenoeg zonder verder energiegebruik. De inzet van ijsbanken kan een forse reductie opleveren van de elektriciteitskosten, door de concrete besparing op energiegebruik, het lagere nachttarief en het reduceren van stroomafnamepieken overdag. Het ijsbankconcept is commercieel in de handel, maar verdient absoluut meer aandacht.

De 'airconditioning op basis van waterdamp' koelt lucht door water te verdampen en verbruikt 75 tot 90% minder elektriciteit dan gewone airconditioninginstallaties. Het koelen van lucht door water te verdampen is een oud principe, maar wordt hier op innovatieve wijze toegepast. Het water wordt snel verdampt, waardoor het de lucht afkoelt en direct ook het ventilatieproces aandrijft. Daardoor is het energiegebruik heel laag. Een kanttekening is wel dat niet tot ieder gewenst temperatuurniveau kan worden gekoeld (koelbereik is beperkt).

Als grootste kansen voor toepassing in de eigen bedrijfsvoering zien wij:

- energie uit zoet/zout-gradiënten;
- energie uit (golven en) getijden;
- aquatische biomassa (op termijn).

Deze opties zijn beschreven in de inspiratieatlas.

Buiten het toepassen van deze opties in de eigen gebouwen en in de eigen bedrijfsvoeringprocessen kan de watersector zelf ook (mee)investeren in de meest beloftevolle opties voor de verduurzaming van de energievoorziening in Nederland, welke zijn behandeld in de inspiratieatlas Water als bron van duurzame energie en in hoofdstuk 3. De participatie van de watersector zelf geeft extra zekerheid aan subsidieverstrekkers en financiers en zal daardoor naar verwachting leiden tot gunstigere financieringsvoorwaarden en betere projectresultaten dan zonder deelname van de sector.



5 Conclusies en aanbevelingen

Het rapport maakt duidelijk dat water een veelheid biedt aan interessante opties voor verduurzaming van de energievoorziening, waarvan een substantieel deel verrassend genoemd kan worden en nog nauwelijks onderkend is in de praktijk.

In aanvulling op de opties die eerder zijn opgenomen in de inspiratieatlas Water als bron van duurzame energie komt in deze rapportage een negental opties naar voren als relevant voor toepassing in de rijkswateren, dat vanwege onderlinge samenhang is geclusterd tot een shortlist van vijf hoofdopties: (1) warmte en koude uit zeewater, (2) drijvende woningen, (3) bundeling van watergolven, (4) potentiële energie (waterbuffering) en (5) planten en stroom.

De warmte/koude-winning uit zee/oppervlaktewater (opties 1 en 2) maakt gebruik van bewezen technieken en is direct toepasbaar. De optie is onder andere interessant voor woningbouwcorporaties, projectontwikkelaars, energiebedrijven en gemeenten in kustgebieden en nabij diepe meren. Eerste ervaringen zijn er inmiddels.

De watersector kan een rol spelen bij de vergunningverlening, het oplossen van eigendomsverhoudingen en dergelijke. De sector kan de optie ook toepassen in de eigen gebouwen en eventueel zelf (mee)investeren in projecten van anderen en zo leverancier van warmte of koude worden.

De bundeling van watergolven in rivieren en op zee (optie 3) concentreert de energiedichtheid in het water en verbetert het winrendement. Er zijn haalbaarheidstudies die er beloftevol uitzien, maar er lijkt nu niets concreets te gebeuren. De watersector kan de optie nader verkennen, bijvoorbeeld i.s.m. SenterNovem, al was het maar om de betekenis en potentiële consequenties beter te leren kennen.

Ook de opslag van energie door buffering van water in valmeren of in oude mijnen (optie 4) is in onderzoek. De realisatie lijkt echter nog ver weg. Er zijn maatschappelijke bezwaren en de noodzaak van energiebuffering staat (althans voor de relatief korte termijn) nog ter discussie. De watersector kan hier volstaan met het volgen van de discussie, tenzij de sector zelf actief wil participeren in de ontwikkeling.

Het onttrekken van stroom aan de wortels van waterplanten (optie 5) lijkt in potentie een veelbelovende optie, maar uit nadere onderzoeken zal moeten blijken of dit ook echt een haalbaar en realistisch principe is. Het is aan te bevelen dat de watersector een vinger aan de pols houdt, ook al in verband met de mogelijke consequenties voor de waterkwaliteit en de eigen bedrijfsvoering (met name in relatie tot de benodigde elektrische infrastructuur).

Uit de longlist komt ook een aantal opties naar voren dat van betekenis kan zijn voor de gebouwen of de bedrijfsvoeringprocessen van de watersector. Het is logisch en aansprekend wanneer de watersector het voortouw neemt bij de benutting van deze energieopties en zo het goede voorbeeld geeft.

De benutting van warmte en koude uit zeewater, binnenwater of speciale koelvijvers is hierboven al genoemd. Verder kan voor de eigen gebouwen worden gedacht aan de inzet van ijsbanken en airconditioning op basis van waterdamp.

Bij de ijsbanken wordt in nachturen koude opgeslagen in de vorm van ijs, voor gebruik (voor koeling) overdag. De inzet van ijsbanken levert een forse reductie van de elektriciteitskosten, door besparing op energiegebruik, het lagere nachttarief en het reduceren van piekvraag overdag. Het concept is commercieel in de handel.

De 'airconditioning op basis van waterdamp' koelt lucht door water te verdampen en verbruikt 75 tot 90% minder elektriciteit dan gewone airconditioninginstallaties. Het water wordt snel verdampt, waardoor het de lucht afkoelt en direct ook het ventilatieproces aandrijft. Daardoor is het energiegebruik laag.

De grootste kansen voor de eigen bedrijfsvoeringprocessen lijken: energie uit zoet/zout-gradiënten, energie uit getijden (en eventueel golven) en aquatische biomassa (op termijn). Deze opties zijn beschreven in de inspiratieatlas.

Buiten het toepassen van deze opties in de eigen gebouwen en in de eigen bedrijfsvoeringprocessen kan de watersector zelf (mee)investeren in de meest beloftevolle opties. De participatie van de watersector zelf geeft extra zekerheid aan subsidieverstrekkers en financiers en zal daardoor naar verwachting leiden tot gunstigere financieringsvoorwaarden en betere projectresultaten dan zonder deelname van de sector.



Literatuurlijst

BAC, 2008

Ice Chiller Thermal Storage Products. December 2008

<http://www.baltimoreaircoil.com/english/products/ice/tsum/index.html>

Building Innovation, 2008

Warmte uit zee. December 2008

<http://www.buildinginnovation.nl/uploads/nieuws/18%20BIOliemans.pdf>

Carravetta, 2007

A. Carravetta

Pressure reducing control valve for water networks with energy production

Napels, Italië : Presentatie, EnergyMed Congres, 8-10 maart 2007

http://www.energymed.it/energymed2007/newsmedia/atti/tt3_presentazione_Carravetta.pdf

De Key, 2009

geWoonboot. Februari 2009

<http://www.dekey.nl/top/projecten/duurzaamheid/gewoonboot/>

Deerns, 2008

Duindorp Den Haag. December 2008

http://www.deerns.nl/projecten/duindorp_den_haag/?cid=175&project_id=85&cat_id=20

Deerns en Cauberg-Huygen, 2008

Het nieuwe koelen. December 2008

http://www.devernufteling.eu/00/vnf/nl/file/20071105004420/27/_Koude_cirkel_voor_Universiteit_Twente%20.html

Deltares, 2008

Water als bron van duurzame energie, Inspiratieatlas van mogelijkheden

Delft : Deltares, 2008

Deltasync, 2008

Deltasync. December 2008

<http://www.deltasync.nl/>

Didde, 2008

R. Didde

Van koelkast tot tv en internet, alles kan straks op plantenstroom

In : de Volkskrant, 15 maart 2008, pp. 5

<http://www.emtproject.nl/upload/Image/VOK-20080315-05005001.pdf>

Discovery Channel, 2008

It's Raining Energy. Hallelujah! December 2008

<http://dsc.discovery.com/news/2008/02/07/raindrops-energy.html>

DZH, 2007

Duinwaterbedrijf Zuid-Holland

Zuiver duinwater uit de douche

In : ASN Spaarmotief, vol. 3, nr. 3, juli 2007, pp. 8-9

<http://www.asnbank.nl/index.asp?nid=9492>

Ecoboot, 2008

Drijvende Nuts Eenheid. December 2008

http://www.ecoboot.nl/ecoboot_new/?p=275

EnergieTransitie, 2008

EnergieTransitie

Platform Duurzame Elektriciteitsvoorziening

Onderzoek naar toegevoegde waarde van grootschalige elektriciteit opslag in Nederland

Utrecht : SenterNovem, 2008

EngineersOnline, 2008

Koudecirkel: innovatieve en energiebesparende gebouwkoeling. December 2008

<http://www.engineersonline.nl/mbm/engineers.nsf/htmlViewDocuments/5A3261EB35B50708C125745F0040B838>

Entry Technology, 2008

Development of the hydropowerlens. December 2008

http://www.entrytechnology.com/technology_support/hydropower_lens.htm

Evelop, 2008

SWAC Curacao. December 2008

http://www.evelop.com/index.php?option=com_content&task=view&id=25&Itemid=25

Genepax, 2008

Genepax. December 2008

<http://www.genepax.co.jp/en/index.html>

Haakse Zeedijk, 2008

Een integrale oplossing voor de zeeniveaustijging. December 2008

http://www.haaksezeedijk.nl/Rapport_Haakse_zeedijk_1.pdf

Hu en Chan, 2005

X. Hu, C. Chan

Refraction of Water Waves by Periodic Cylinder Arrays

In : Physical Review Letters, vol. 15, nr. 95, 154501, oktober 2005



iNSnet, 2008

CDA wil iedereen aan de regenput. December, 2008
<http://www.insnet.org/nl/printable.rxml?id=17070&photo>

Joosten, 2008

C. Joosten
Slag om witte steenkool
In : Elsevier, 6 september 2008, pp. 28

KEMA, 2008

Energie-eiland is innovatief concept voor grootschalige elektriciteitsopslag. December 2008
<http://www.kema.com/nl/corporate/news/corporate/2007/Q3/energie-eiland.asp>

Kennislink, 2008

Lens voor watergolven bedacht. December 2008
<http://www.kennislink.nl/web/show?id=139350&vensterid=811&cat=60360>

Land van Energie, 2008a

Regen + Nederland = duurzame energie? December 2008
http://www.landvanenergie.nl/index.php?type=news_item&id=96

Land van Energie, 2008b

Het valmeer van Ockels. December 2008
<http://www.landvanenergie.nl/?type=article&id=9>

Lieverse, 2008

Innovatieplatform biedt doorbraak voor Plan Lieverse. December 2008
http://lieverse.magproductions.nl/news/press_release_energy_island.jsp

Limburg Onderneemt, 2008

Limburg is klaar voor witte steenkool. December 2008
<http://www.limburgonderneemt.nl/nieuws/Default.asp?catID=9&newsid=2372>

Mijnwaterproject, 2009

Het Mijnwaterproject. Januari 2009
<http://www.mijnwaterproject.info/>

MilieuCentraal, 2008

MilieuCentraal. December 2008
<http://www.milieucentraal.nl/>

MilieuCentraal, 2009

Advies op maat Zonnepanelen. Februari 2009
<http://www.milieucentraal.nl/pagina?onderwerp=Zonnepanelen#>

Mother Earth News, 2008

Israel's 150-kW Solar Pond. December 2008

<http://www.motherearthnews.com/Renewable-Energy/1980-05-01/Israels-150-KW-Solar-Pond.aspx>

NewScientist, 2008

A fuel tank full of water. December 2008

<http://www.newscientist.com/article/mg19125621.200>

Omega Engineering, 2008

IJsbanken. December 2008

<http://www.omegaengineering.nl/nl/producten/ijsbanken.php>

OTEC, 2008

Curaçao seawater air-conditioning. December 2008

<http://www.otecnews.org/articles/curacao-swac.html>

Physicsworld, 2008

Extracting electricity from water. December 2008

<http://physicsworld.com/cws/article/news/18446>

Poseidon Energy, 2008

Today's projects. December 2008

http://www.poseidonenergy.com/Innovation_2_Today.htm#

PSU, 2008

Pen State University

Microbial Fuel Cell Research. December 2008

http://www.engr.psu.edu/ce/ENVE/mfc-Logan_files/mfc-Logan.htm

Microbial Electrolysis Cell Research. December 2008

<http://www.engr.psu.edu/ce/enve/BEAMR/BEAMR.htm>

Hydrogen Energy Research at Penn State. December 2008

<http://www.research.psu.edu/iro/events/tradeshows/nha/index.html>

RCC K&L, 2008

Koudecirkel zorgt voor energiezuinige koeling Universiteit Twente. December 2008

<http://www.koudeenluchtbehandeling.nl/index.asp?Deel=Artikel&verhaal=ja&kenmerk=11606&producten=nee>

Resource, 2008

Voedsel én stroom oogsten. December, 2008

<http://www.resource-online.nl/achtergrond.php?id=147>

RMIT, 2008

Solar Pond Project. December 2008

<http://www.rmit.edu.au/browse;ID=905wa9169827#heat>



Robles, 2007

M. Robles

Noordzee als energiecentrale

In : Terra, vol. 3, nr. 6, pp. 16-19

http://www.natuurenmilieu.nl/pdf/terra_6_lores2.pdf

Roy et al, 2008

R. Roy, M. Rao, J. Kanzius

Observations of polarised RF radiation catalysis of dissociation of H₂O-NaCl solutions

In : Materials Research Innovations, vol. 12, nr. 1, maart 2008 , pp. 3-6

Royal Haskoning, 2008

Duurzame energieopslag in Zuid-Limburg. December 2008

Persbericht 23 mei 2007

http://www.royalhaskoning.com/Royal_Haskoning/Corporate/nl-NL/News/20070523energieopslagOPAC.htm

SenterNovem, 2008a

Duindorp, warmte uit zeewater: energieneutrale wijkverbetering. December 2008

http://duurzaam bouwen.senternovem.nl/projecten/duindorp_warmte_uit_zeewater_energieeneutrale_wijkverbetering/print/

SenterNovem, 2008b

Superzuinige 'airco' werkt op waterdamp. December 2008

http://www.senternovem.nl/eos/Nieuws/superzuinige_airco_werkt_op_waterdamp.asp

SenterNovem, 2008c

Eerste mijnwaterenergiecentrale ter wereld geopend in Heerlen. December 2008

http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/nieuws/2008/eerste_mijnwaterenergiecentrale_ter_wereld_geopend_in_heerlen.asp

SenterNovem, 2008d

Openbare samenvatting haalbaarheidsonderzoek waterkracht lens. December 2008

http://www.senternovem.nl/mmfiles/147944_OpenbareSamenvattingWaterkrachtLens281004_tcm24-71184.pdf

SenterNovem, 2009

Terneuzen Kantoorgebouw Rijkswaterstaat. Januari 2009

http://www.senternovem.nl/ltv/40_projecten/kantoorgebouw_rijkswaterstaat_te_terneuzen.asp

SEV, 2008a

De drijvende nutseenheid. December 2008

http://www.sev.nl/experimenten/expitem.asp?id_experiment_open=3404

SEV, 2008b

SEV-advies inzake waterwonen

Rotterdam : SEV, 2008

<http://www.sev.nl/uploads/File/oud/SEV-ADVIES%20WATERWONEN%20DEFINITIEF.pdf>

StatiqCooling, 2008

StaticCooling. December 2008

<http://statiqcooling.nl/index2.html>

Strik et al, 2008

D. Strik, H. Hamelers, J. Snel, C. Buisman

Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell

In : International Journal of Energy Research, vol. 32, nr. 9, juli 2008, pp. 870-876

http://www.microbialfuelcell.org/Publications/WUR/Strik_et%20al_2008.pdf

Techniplan, 2008

Energiestroom. December 2008

<http://www.devernufteling.eu/00/vnf/nl/file/20071104225920/4/hier.html>

ThermoAir, 2008

ThermoAir. December 2008

<http://www.thermoair.com/>

Treehugger, 2008

Genepax Water Car: Too Good to be True? Yeah. December 2008

<http://www.treehugger.com/files/2008/06/genepax-water-powered-car-japan-debunking.php>

University of Alberta, 2009

Power on tap. Januari 2009

<http://www.uofaweb.ualberta.ca/newtrail/nav03.cfm?nav03=47269&nav02=47268&nav01=43139>

Vestia, 2009

Eerste zeewaterwarmtecentrale ter wereld. Januari 2009

<http://www.vestia.nl/zwwc/index.htm>

Yang et al, 2003

J. Yang, F. Lu, L. Kostiuk, D. Kwok

Department of Mechanical Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada
Electrokinetic microchannel battery by means of electrokinetic and microfluidic phenomena

In : Journal of Micromechanics and Microengineering, vol. 13, november 2003, pp. 963-970



WaterForum, 2008

Nuon gaat bedrijven koelen met water uit Ouderkerkerplas. December 2008
[http://www.netserver2.net/waterforum/index.asp?url=/template_a1.asp&que=pagin
anr=6105](http://www.netserver2.net/waterforum/index.asp?url=/template_a1.asp&que=paginanr=6105)

Wereldomroep, 2008

Mijnwater houdt Heerlen warm. December 2008
[http://www.wereldomroep.nl/actua/nl/wetenschap/mijnwater_groene_energie081
001](http://www.wereldomroep.nl/actua/nl/wetenschap/mijnwater_groene_energie081001)

Wetsus, 2008

Wetsus. December 2008
<http://www.wetsus.nl/>

Wikipedia, 2008a

Water-fuelled car. December 2008
http://en.wikipedia.org/wiki/Water-fuelled_car

Wikipedia, 2008b

John Kanzius. December 2008
http://en.wikipedia.org/wiki/John_Kanzius

Wikipedia, 2008c

Liesgras. December, 2008
<http://nl.wikipedia.org/wiki/Liesgras>

WUR, 2009

Openbare samenvatting van Vertrouwelijk eindrapport project 'Planten maken Stroom'. Februari 2009
[http://www.wur.nl/NR/rdonlyres/99DC7C0B-55F4-4972-813C-
CA31A520575C/62368/SamenvattingVertrouwelijkeindrapport.pdf](http://www.wur.nl/NR/rdonlyres/99DC7C0B-55F4-4972-813C-CA31A520575C/62368/SamenvattingVertrouwelijkeindrapport.pdf)



CE Delft

**Oplossingen voor
milieu, economie
en technologie**

Oude Delft 180

2611 HH Delft

tel: 015 2 150 150

fax: 015 2 150 151

e-mail: ce@ce.nl

website: www.ce.nl

Besloten Vennootschap

KvK 27251086

Energie uit water

Een zee van mogelijkheden

Bijlagen

Rapport

Delft, maart 2009

Opgesteld door: J.H.B. (Jos) Benner
B.L. (Benno) Schepers
F. (Frits) Spaans





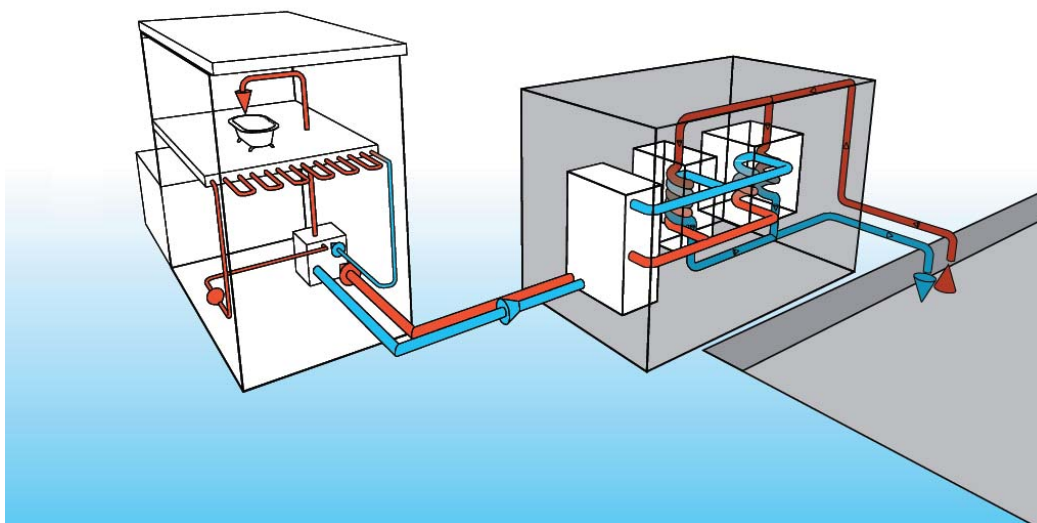
A Uitwerking longlist

A Thermisch

A Warmte uit zeewater

Naam	Warmte uit zeewater
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte uit zeewater
Omschrijving In Duindorp zal een zeewater warmtecentrale ongeveer 750 woningen van warmte gaan voorzien. De warmte voor de woningen in Duindorp wordt onttrokken aan de zee. Is het zeewater warmer dan 11°C, dan geeft het zeewater rechtstreeks zijn warmte af aan het distributienet door middel van warmtewisselaars. Is het zeewater 11°C of lager, wat maar gedurende enkele maanden per jaar het geval is, dan wordt de temperatuur door een grote, centrale warmtepomp eerst op 11°C gebracht en daarna aan het distributienet doorgegeven. Elke woning krijgt daarnaast een individuele warmtepomp die de temperatuur verder omhoog brengt tot 45°C voor vloerverwarming en 55-65°C voor warm tapwater.	
Voordelen • Energiebesparing • Combineerbaar met vergelijkbaar systeem voor ruimtekoeling	Nadelen • Alleen mogelijk nabij kustlijn • Elektriciteit nodig voor de aandrijving van de warmtepomp
Toegepast	Duindorp, Den Haag, Nederland
Bronnen • Warmte uit zee. December 2008 http://www.buildinginnovation.nl/uploads/nieuws/18%20BI%20Oliemans.pdf • Duindorp Den Haag. December 2008 http://www.deerns.nl/projecten/duindorp_den_haag/?cid=175&project_id=85&cat_id=20 • Duindorp, warmte uit zeewater: energieneutrale wijkverbetering. December 2008 http://duurzaam bouwen.senternovem.nl/projecten/duindorp_warmte_uit_zeewater_energieneutrale_wijkverbetering/print/ • Eerste zeewaterwarmtecentrale te wereld. Januari 2009 http://www.vestia.nl/zwwc/index.htm	

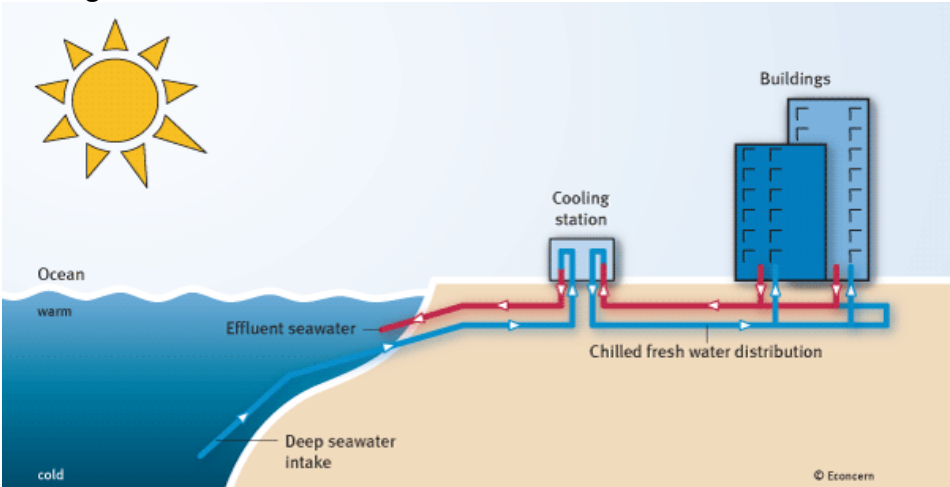
Afbeeldingen



Bron: Vestia, 2009.



B SWAC (Sea Water Air Conditioning)

Naam	Sea Water Air Conditioning
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking koude aan zeewater
Omschrijving Sea Water Air Conditioning gebruikt koud zeewater als koelvloeistof voor air condition systemen voor gebouwen in de nabije omgeving. Het SWAC-systeem is vooral toepasbaar wanneer diep oceaانwater beschikbaar is (met een temperatuur tussen 5 en 10°C) en waar de oceaan vloer stijl omhoog loopt. Ook bij diepe meren (dieper dan 20 meter) kan het SWAC-systeem worden toegepast. Wanneer de watertemperatuur hoger is zijn hybride systemen beschikbaar.	
Voordelen • Energiebesparing • Bestaande technologie (componenten)	Nadelen • Hoofdzakelijk toepasbaar wanneer diep water beschikbaar is
Toegepast	• o.a. Curaçao, Nederlandse Antillen
Bronnen • SWAC Curaçao. December 2008 http://www.evelop.com/index.php?option=com_content&task=view&id=25&Itemid=25 • Curaçao seawater air-conditioning. December 2008 http://www.otecnews.org/articles/curacao-swac.html • Today's projects. December 2008 http://www.poseidonenergy.com/Innovation_2_Today.htm#	
Afbeeldingen  The diagram illustrates the SWAC process. On the left, a sun icon is above the ocean surface. The ocean is divided into 'warm' (surface) and 'cold' (deep) layers. A blue line labeled 'Deep seawater intake' shows cold water being drawn from the bottom. This water flows through a 'Cooling station' (represented by a box with internal coils) and then through a network of pipes labeled 'Chilled fresh water distribution' to 'Buildings' on the right. A red line labeled 'Effluent seawater' shows the water returning to the ocean surface after being used for cooling. The copyright notice '© Econcern' is visible in the bottom right corner of the diagram.	
Bron: Poseidon Energy, 2008.	

C Drijvende woningen

Naam	Drijvende woningen
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte aan binnenwater
Omschrijving Nieuwe locaties voor drijvende woningen liggen vaak perifeer of zijn tijdelijk. Het is dan zaak om de kosten van energieaansluitingen te beperken. Maar ook vanuit het oogpunt van milieu is zelfvoorziening het streefbeeld. Het idee is om een aantal drijvende woningen samen te voorzien van een drijvende nutseenheid (DNE) die meer zelfvoorzienend is op het gebied van energie opwekking, water en afval. De DNE, waaraan 20-25 drijvende woningen worden aangesloten, zorgt voor rioolwaterzuivering, drinkwaterzuivering en productie van elektriciteit en drinkwater en vormt tevens de verbinding tussen de drijvende woningen en de wal. Bouwstenen van de DNE: 6 Drijvende steiger met geïntegreerde leidingen en drinkwaterzuivering met onderwater reservoir; tevens een zwartwaterzuivering opgenomen. 7 Zonnepanelen op de steiger én in leasehold op de daken van de woningen. 8 Multifunctionele meerpalen met windturbines. 9 Multifunctionele helofyten eilanden met groene beplanting (zuivering van grijs water). 10 Individuele warmtepompen bij de woningen om CV-water op te warmen af te koelen. Het water kan gebruikt worden voor zowel verwarming als voor koeling.	
Voordelen • Energiebesparing • Duurzaam energieconcept • Combinatie van verwarmen en koelen • Wonen met water	Nadelen • Elektriciteit nodig voor de aandrijving van de warmtepomp • Temperatuurbalans van het onderliggende water moet bewaakt worden
Toegepast	• Een eerste testwoonboot is in Amsterdam gebouwd: de geWoonboot. Deze is nagenoeg zelfvoorzienend.
Bronnen • Deltasync. December 2008 http://www.deltasync.nl/ • Drijvende Nuts Eenheid, December 2008 http://www.ecoboot.nl/ecoboot_new/?p=275 • De drijvende nutseenheid. December 2008 http://www.sev.nl/experimenten/expitem.asp?id_experiment_open=3404 • geWoonboot. Februari 2009 http://www.dekey.nl/top/projecten/duurzaamheid/gewoonboot/ • SEV-advies inzake waterwonen, Rotterdam : SEV, 2008 http://www.sev.nl/uploads/File/oud/SEV-ADVIES%20WATERWONEN%20DEFINITIEF.pdf	

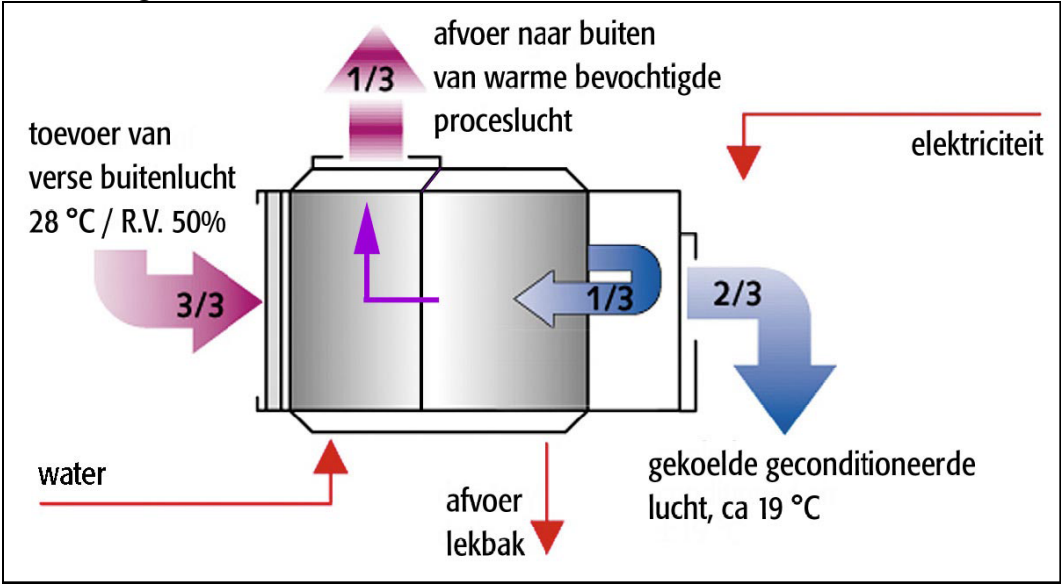


Afbeeldingen



Bron: SEV, 2008a/b.

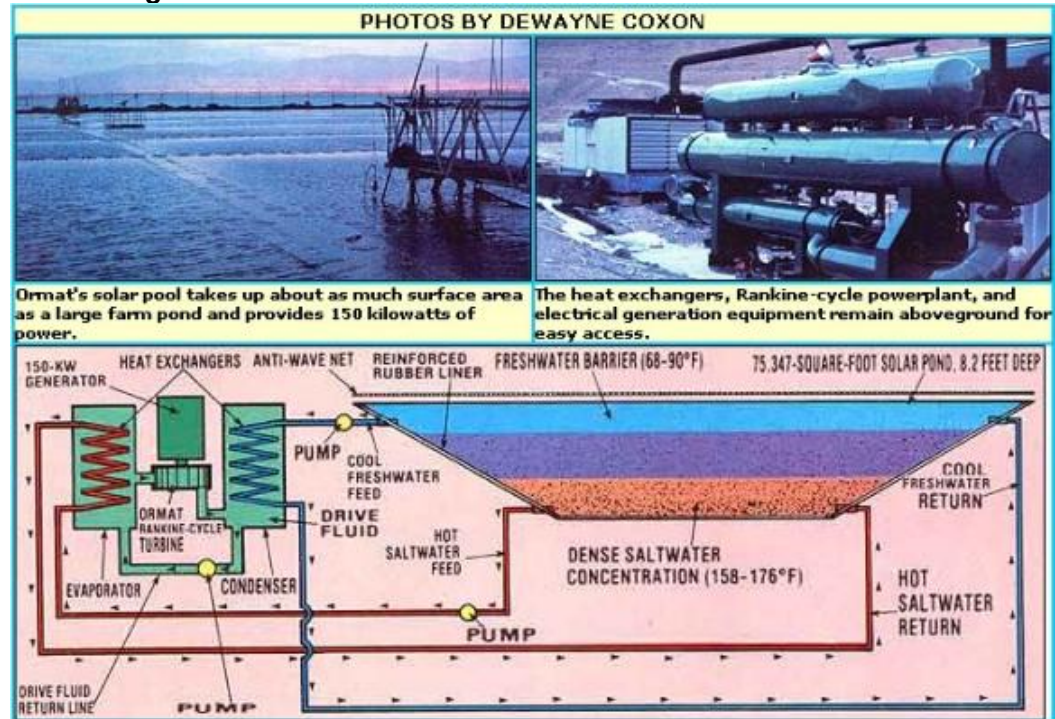
D Airco op waterdamp (StatiqCooler)

Naam	Airco op waterdamp (StatiqCooler)
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Koelen en ventileren door verdampen water
Omschrijving De StatiqCooler koelt door water te verdampen en verbruikt daardoor 75 tot 90% minder elektriciteit dan gewone airco's. Koelen door water te verdampen is een oud principe, maar wordt op innovatieve wijze toegepast. Doordat het water heel snel verdampt, koelt de lucht eromheen af. Dit principe is nu gecombineerd met een ventilatiesysteem waardoor met heel weinig stroom een ruimte gekoeld kan worden. Begin augustus heeft de sociale werkplaats in Hengelo de StatiqCooler in gebruik genomen, waarbij acht fabriekshallen van elk 200 m ² worden gekoeld. De airco is een Nederlandse vinding van StatiqCooling en ThermoAir.	
Voordelen - Energiebesparing - Nederlandse ontwikkeling	Nadelen Airco koelt tot enkele graden onder omgevingstemperatuur (niet tot elk gewenst niveau)
Toegepast	Hengelo (Ov.), Nederland
Bronnen - Superzuinige 'airco' werkt op waterdamp. December 2008 http://www.sinternovem.nl/eos/Nieuws/superzuinige_airco_werkt_op_waterdamp.asp - StaticCooling. December 2008 http://staticcooling.nl/index2.html - ThermoAir. December 2008 http://www.thermoair.com/	
Afbeeldingen  The diagram illustrates the StatiqCooler system. It shows a central unit with two main sections. On the left, a large pink arrow labeled '3/3' indicates the 'toevoer van verse buitenlucht 28 °C / R.V. 50%' (supply of fresh outdoor air at 28 °C and 50% relative humidity). On the right, a large blue arrow labeled '2/3' indicates the 'gekoelde geconditioneerde lucht, ca 19 °C' (cooled conditioned air, approx. 19 °C). Above the unit, a pink arrow labeled '1/3' points upwards, labeled 'afvoer naar buiten van warme bevochtigde proceslucht' (exhaust to outside of warm humidified process air). Below the unit, a red arrow labeled 'water' points into the system, and another red arrow labeled 'afvoer lekbak' (drainage) points away. A red arrow labeled 'elektriciteit' (electricity) points into the system from the right. The unit itself is depicted with internal components and flow paths indicated by smaller arrows.	
Bron: StatiqCooling, 2008.	

E Solar Pond

Naam	Solar Pond
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte aan sterk verhit water
Omschrijving Een Solar Pond is een vijver met zoutwater van enkele meters diep, als gevolg van natuurlijke stratificatie (gelaagdheid waarbij zouter water zakt en zoeter water stijgt) ontstaat onderin de vijver een 'reservoir' van zeer zout water, met daarboven een isolerende laag van relatief zoetwater. Straling van de zon wordt in de vijver als warmte in het onderste, zoute gedeelte van het water opgeslagen. Door het zoutgehalte, dat convectiestromen belemmert, is een Solar Pond en veel efficiënter opslag van zonnewarmte dan een normale vijver met alleen zoetwater. Het zonlicht dringt door tot het onderste deel van de vijver met de geconcentreerde zoutoplossing. De temperatuur stijgt daardoor omdat de warmte, geabsorbeerd uit het zonlicht, niet door convectie naar de oppervlakte kan stijgen. In de zomer kan de temperatuur oplopen tot boven de 80°C, en deze warmte is dag en nacht beschikbaar. In de winter zal temperatuur op de bodem ongeveer 30°C hoger zijn dan de temperatuur aan het oppervlak. Uit dit temperatuur verschil kan nuttige warmte worden verkregen.	
Voordelen • Energiebesparing • Duurzaam energie concept	Nadelen • Niet in Nederland
Toegepast	• En Boqeq, Israel • Tientallen andere locaties in de wereld
Bronnen • Israel's 150-kW Solar Pond. December 2008 http://www.motherearthnews.com/Renewable-Energy/1980-05-01/Israels-150-KW-Solar-Pond.aspx • Solar Pond Project. December 2008 http://www.rmit.edu.au/browse;ID=905wa9169827#heat	

Afbeeldingen



Bron: Mother Earth News, 2008.



Bron: RMIT, 2008.

F Koelvijvers

Naam	Koelvijvers
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking koude uit diepe vijvers
Omschrijving Door de samenstelling van de grond is het niet altijd mogelijk gebruik te maken van warmte/koudeopslag in de bodem. Een alternatief is dan een 'koudecirkel': een innovatieve en energiebesparende manier om gebouwen te koelen. Middel-punt is een tien meter diepe koelvijver. Het water wordt gelaagd in de waterbuffer opgeslagen, gebaseerd op het principe dat warm water op koud water blijft drijven. Het koude water wordt onttrokken onderuit de vijver en via een ring-leiding naar de gebouwen vervoerd. Nadat het water zijn koelende functie heeft verricht stroom het terug naar de oppervlakte van de vijver. Het koude water blijft op die manier koud en het gebruikte water krijgt de tijd om in de vijver af te koelen. 's Nachts koelt de vijver af door de lagere temperatuur van de buiten-lucht. Mocht dit niet voldoende zijn om de vijver op de juiste temperatuur te krijgen, wordt er gebruik gemaakt van koelmachines. Nuon gebruikt het koude water in een diepe zandwininput (De Nieuwe Meer in Amsterdam) voor koeling van kantoren aan de Amsterdamse Zuidas. Een twee-de koelcentrale wordt door Nuon gebouwd bij de Ouderkerkerplas. Daar komt het water van een diepte van 35 tot 40 meter, waar de temperatuur 5 graden Celsius is. Met dit koude water gaat Nuon minstens zeven kantoorgebouwen in Amsterdam Zuid Oost koelen.	
Voordelen • Energiebesparing • Breed toepasbaar	Nadelen • Ruimtebeslag koelvijver
Toegepast	• o.a. Universiteit Twente, Enschede, Nederland • o.a. De Nieuwe Meer, Amsterdam, Nederland
Bronnen • Het nieuwe koelen. December 2008 http://www.devernufteling.eu/00/vnf/nl/file/20071105004420/27/_Koude_cirkel_voor_Universiteit_Twente%20.html • Koudecirkel: innovatieve en energiebesparende gebouwkoeling. December 2008 http://www.engineersonline.nl/mbm/engineers.nsf/htmlViewDocuments/5A3261EB35B50708C125745F0040B838 • Koudecirkel zorgt voor energiezuinige koeling Universiteit Twente. December 2008 http://www.koudeenluchtbehandeling.nl/index.asp?Deel=Artikel&verhaal=ja&kenmerk=11606&producten=nee • Nuon gaat bedrijven koelen met water uit Ouderkerkerplas. December 2008 http://www.netserver2.net/waterforum/index.asp?url=/template_a1.asp&que=paginanr=6105	

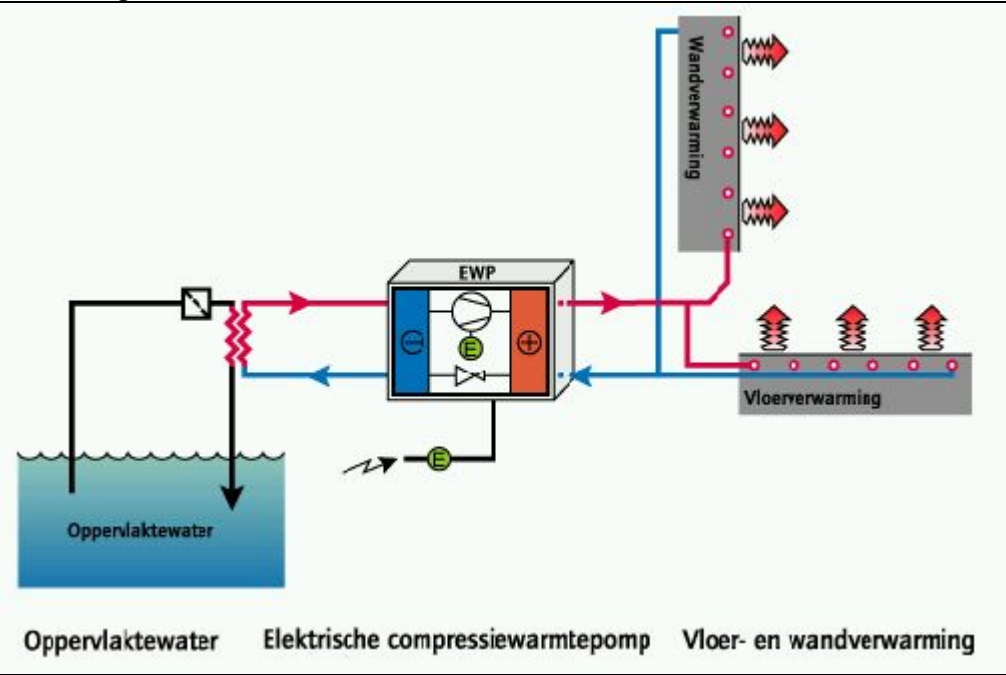
Afbeeldingen



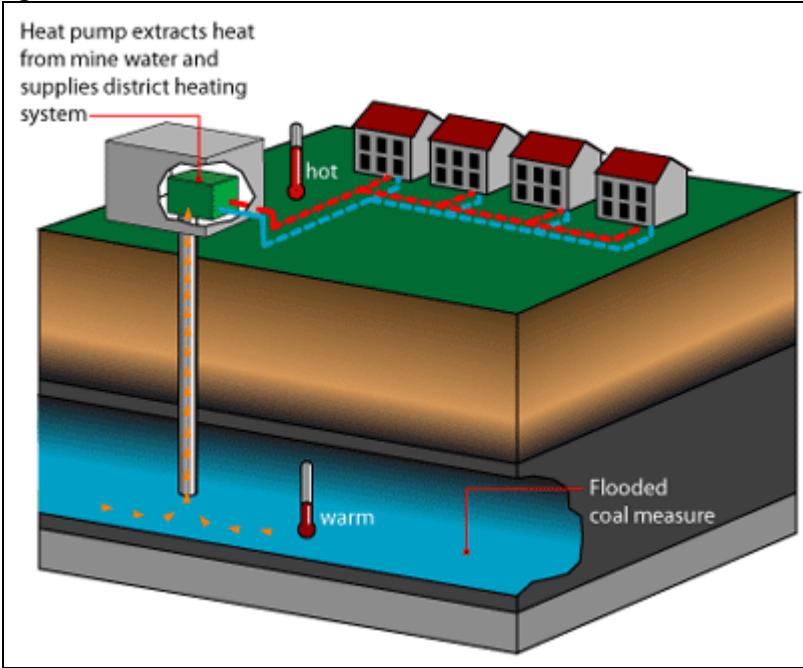
Bron: Koelvijver Universiteit Twente, EngineersOnline, 2008.



G Warmte uit rivieren

Naam	Warmte uit rivieren
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte aan rivierwater
Omschrijving Door een na-ijleffect (langzamer afkoelen dan de omgeving) bevat de Maas in de herfst relatief veel opgeslagen warmte, zowel van de zon als restwarmte van stroomopwaarts gelegen industrie. Omdat de meeste gebouwen dan al verwarming nodig hebben biedt de rivier in dit jaargetijde een goed rendement. In de lente gebeurt hetzelfde, maar dan omgekeerd. De rivier is dan nog relatief koud en het water wordt dan gebruikt om te koelen. Wanneer de thermische energie niet direct te benutten is voor het regelen van de temperatuur in de gebouwen, is deze wel inzetbaar om de bronnen in de bodem op te laden.	
Voordelen • Energiebesparing • Afkoeling rivieren	Nadelen • Alleen toepasbaar in nabijheid van rivieren • Elektriciteit voor warmtepomp nodig
Toegepast	• Rotterdam, Nederland (in ontwikkeling) • Terneuzen, Nederland
Bronnen • Energiestroom. December 2008 http://www.devernufteling.eu/00/vnf/nl/file/20071104225920/4/hier.html • Lage temperatuur verwarming. December 2008 http://www.senternovem.nl/liv/40_projecten/kantoorgebouw_rijkswaterstaat_te_terneuzen.asp	
Afbeeldingen  Oppervlaktewater Elektrische compressiewarmtepomp Vloer- en wandverwarming	
Bron: SenterNovem, 2009.	

H Mijnwater Energiecentrale

Naam	Mijnwater Energiecentrale
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Onttrekking warmte aan mijnwater/aardwarmte
Omschrijving De in onbruik geraakte mijngangen van de Oranje Nassau I en de Oranje Nassau 3-mijnen in Heerlen staan vol water. Hoe dieper de gangen zijn, hoe meer de aardwarmte het water verwarmt. Op een diepte van 800 meter, waar vandaan het water wordt opgepompt, is het ongeveer 35 graden Celsius. Goed voor de verwarming van 350 woningen, kantoren, winkels en een bibliotheek. Iets hoger in de mijn, op ongeveer 200 meter diepte, is het water veel koeler: ongeveer 15 graden. Een geschikte temperatuur om zomers gebouwen mee te koelen. Na gebruik gaat het water terug de grond in, waar het opnieuw kan opwarmen.	
Voordelen Energiebesparing	Nadelen - Beperkte mogelijkheden in NL - Groot pompvermogen vereist
Toegepast	Heerlen, Nederland
Bronnen - Mijnwaterproject. Januari 2009 http://www.mijnwaterproject.info/ - Eerste mijnwaterenergiecentrale ter wereld geopend in Heerlen. December 2008 http://www.senternovem.nl/duurzameenergie/nieuws/2008/eerste_mijnwaterenergiecentrale_ter_wereld_geopend_in_heerlen.asp - Mijnwater houdt Heerlen warm. December 2008 http://www.wereldomroep.nl/actua/nl/wetenschap/mijnwater_groene_energie081001	
Afbeeldingen 	
Bron: Mijnwaterproject, 2009.	

I IJsbanken

Naam	IJsbanken
Categorie	Thermisch
Fysisch principe	Opslag van koude-energie in ijsmassa
Omschrijving Het ijsbanksysteem is een eenvoudige technologie gebaseerd op het 's nachts opslaan van koelcapaciteit. Deze energie kan overdag gebruikt worden wanneer de energie nodig is. 's Nachts wanneer de stroom goedkoper is, wordt de vloeistof gekoeld of ijs opgebouwd. Lagere temperaturen 's nachts zorgen ervoor dat de koelinstallatie efficiënter werkt dan overdag, hierdoor de energieconsumptie lager is. Het gebruik van elektriciteit om koelenergie op te slaan buiten de piekuren om, vermindert de piek-dagconsumptie, waardoor de behoefte aan extra energie installaties vermindert.	
Voordelen Energiebesparing	Nadelen - Verskil in kosten dag- en nachtstroom wordt kleiner, waardoor het financiële plaatje verandert - Door nachtelijke kolenstroom te gebruiken, kan het CO₂-voordeel van de besparing teniet worden gedaan.
Toegepast	Ijsbankinstallaties zijn commercieel verkrijgbare producten
Bronnen - Ice Chiller Thermal Storage Products. December 2008 http://www.baltimoreaircoil.com/english/products/ice/tsum/index.html - IJsbanken. December 2008 http://www.omegaengineering.nl/nl/producten/ijsbanken.php	
Afbeeldingen  Bron: Omega Engineering, 2008.	

B Kinetisch

J Waterkrachtlens

Naam	Waterkrachtlens
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Concentreren kinetische energie in rivierwater
Omschrijving De Waterkrachtlens concentreert de golven met hun energie uit rivieren in een brandpunt. In dit brandpunt kan een waterzuil gecreëerd worden (zie afbeelding). Een kleine turbine zet de energie uit de waterzuil om in elektriciteit. Een van de conclusies uit het haalbaarheidsonderzoek uit 2004 is dat de Waterkrachtlens de grens van economische haalbaarheid van 1-2 meter valhoogte naar ongeveer 0,5 meter valhoogte opschuift. Daarmee neemt ook het plaatsingspotentieel toe (ordegrootte 1.000 stuks in Nederland en Vlaanderen).	
Voordelen • Duurzaam energie concept	Nadelen • Enige belemmering doorvaart
Toegepast	• Haalbaarheidsonderzoek geeft substantieel potentieel in Nederland.
Bronnen • Development of the hydropowerlens. December 2008 http://www.entrytechnology.com/technology_support/hydropower_lens.htm • Openbare samenvatting haalbaarheidsonderzoek waterkrachtlens. December 2008 http://www.senternovem.nl/mmfiles/147944_OpenbareSamenvattingWaterkrachtLens281004_tcm24-71184.pdf	
Afbeeldingen Bron: Entry Technology, 2008.	



K Bundeling van watergolven (afbuiging en bundeling op één plaats)

Naam	Bundeling van watergolven
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Concentreren kinetische energie in zeewater
Omschrijving Xinhua Hu en Che Ting Chan van de Technische Universiteit Hong Kong publiceerden in het vakblad Physics Review Letters een methode om watergolven af te buigen en te bundelen. Met een groep afgezonken cilinders kan de voortplantingssnelheid van golven in water worden aangepast. Watergolven buigen daardoor van hun pad af, net zoals een lichtstraal door een glazen lens wordt gebroken. Hiermee kan een 'lens' worden gemaakt om de golfenergie op één plaats te bundelen. Het rendement van golfenergie neemt daardoor toe.	
Voordelen • Duurzaam energie concept	Nadelen • Alleen toepasbaar in relatief kalme zeeën
Toegepast	• Voor zover bekend niet in praktijk toegepast
Bronnen • X. Hu, C. Chan Refraction of Water Waves by Periodic Cylinder Arrays In : Physical Review Letters, vol. 15, nr. 95, 154501, oktober 2005 • Lens voor watergolven bedacht. December 2008 http://www.kennislink.nl/web/show?id=139350&vensterid=811&cat=60360	

L Drinkwaterproductie en -transport

Naam	Drinkwaterproductie en -transport
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Onttrekken kinetische energie uit water(druk)
Omschrijving Maak slim gebruik van druk- en hoogteverschillen bij drinkwaterproductie en -transport. Door hoogteverschillen in het landschap of in stedelijk gebied in het leidingstelsel ontstaan drukverschillen. Bijvoorbeeld de overdruk die op de begane grond van een flatgebouw ontstaat omdat het water op de bovenste verdieping ook druk moet hebben. Deze drukverschillen zouden omgezet kunnen worden in energie.	
Voordelen • Energiebesparing • Breed toepasbaar	Nadelen • Klein potentieel t.o.v. kosten
Toegepast	• Voor zover bekend niet in praktijk toegepast
Bronnen • Carravetta Pressure reducing control valve for water networks with energy production Napels, Italië : Presentatie, EnergyMed Congres, 8-10 maart 2007 http://www.energymed.it/energymed2007/newsmedia/atti/tt3_presentazione_Carravetta.pdf • Duinwaterbedrijf Zuid-Holland Zuiver duinwater uit de douche In : ASN Spaarmotief, vol. 3, nr. 3, juli 2007, pp. 8-9 http://www.asnbank.nl/index.asp?nid=9492	



M Energie uit regen

Naam	Energie uit regen
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Onttrekken kinetische energie uit regenwater
Omschrijving Franse onderzoekers hebben een manier gevonden om energie uit regen te halen. Onderzoekers van het CEA/Leti-Minatec instituut in Grenoble hebben een systeem ontwikkeld dat energie kan opwekken uit de vibraties veroorzaakt door regendruppels. Wanneer een regendruppel een oppervlakte bereikt, produceert het een klein schokje. Om dit schokje om te zetten in energie, gebruikten de onderzoekers PVDF (polyvinylidene fluoride). Dit materiaal zet mechanische energie om in elektrische energie. Wanneer een druppel het PVDF raakt pikken de elektrodes in het PVDF de vibraties op en zetten het om in energie. De onderzoekers werken nu aan een systeem dat de opgewekte energie opslaat voor gebruik.	
Voordelen Groot potentieel	Nadelen Nog geen zicht op kosten en baten
Toegepast	Laboratoriumfase
Bronnen - It's Raining Energy. Hallelujah! December 2008 http://dsc.discovery.com/news/2008/02/07/raindrops-energy.html - Regen + Nederland = duurzame energie? December 2008 http://www.landvanenergie.nl/index.php?type=news_item&id=96	

N Pompturbine in de polder

Naam	Pompen in polders
Categorie	Kinetisch
Fysisch principe	Onttrekken kinetische energie uit polderwater
Omschrijving Nederland kent heel veel polders die op een constant waterpeil moeten worden gehouden. Hierbij ontstaat de mogelijkheid om energie op te wekken door turbines te plaatsen in pomphuisen. Daarbij bestaat de mogelijkheid om dit op twee manieren te doen: bij het leegpompen maar ook bij het terugpompen in geval van droogte of de noodzaak tot doorspoelen.	
Voordelen Extra benutting bestaande installaties, met beperkte meerinvestering	Nadelen Meerinvestering nodig
Toegepast	Haalbaarheidsonderzoek is uitgevoerd en een enkele testlocatie

C Elektrochemisch

O Brandstofcel - B, Zn, Mg, Al

Naam	Brandstofcel – B, Zn, Mg, Al
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Waterstofproductie met boor en directe benutting
Omschrijving Door water te laten reageren met het element borium (boor) wordt in het systeem waterstof gevormd dat gebruikt kan worden in een verbrandingsmotor of gebruikt in een brandstofcel om elektriciteit te genereren. Voordelen: geen opslag van 'gevaarlijke' waterstof en geen ingewikkelde distributie structuur. Het bijproduct is borium oxide dat weer in borium kan worden omgezet met gebruikmaking van energie. Dat moet echter wel gebeuren in speciale fabrieken. Het ontwikkelde procedé maakt gebruik van zonne-energie en is volledig duurzaam (Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel). Er zijn nog vele andere elementen die waterstof genereren: bijvoorbeeld zink, magnesium en aluminium. Experts zijn sceptisch en, als het al mogelijk is, iets voor de zeer lange termijn. Aanhangers daarentegen verwachten de eerste prototypes binnen drie jaar.	
Voordelen • Directe benutting geproduceerde waterstof • Aanhangers verwachten de eerste prototypes binnen drie jaar	Nadelen • Experts zijn sceptisch. Als het al mogelijk is, iets voor de zeer lange termijn • Behoorlijke onzekerheden
Toegepast	• In testfase in Israel
Bronnen • A fuel tank full of water. December 2008 http://www.newscientist.com/article/mg19125621.200	



P Brandstofcel – Water en Lucht

Naam	Brandstofcel – Water en Lucht
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Waterstofproductie met metaalhydriden
Omschrijving In juni 2008 lanceerde het Japanse bedrijf Genepax een auto die op water en lucht zou lopen. Helaas kon Genepax de details van de uitvinding (nog) niet onthullen, maar het komt erop neer dat het systeem een energie generator ('membrane electrode assembly') aan boord heeft om waterstof te genereren. Hierbij wordt een mechanisme gebruikt dat lijkt op de methode waarbij waterstof wordt gevormd door een chemische reactie van een metaalhydride met water. De waterstof wordt vervolgens gebruikt om de energie te genereren die de auto aandrijft. Dit heeft tot speculatie geleid dat de metaalhydride in het proces wordt verbruikt zodat de energiebron van de auto eigenlijk de hydride is en niet het water.	
Voordelen Vergelijkbaar met voorgaande optie	Nadelen Nog onduidelijk is in welke mate de metaalhydriden worden verbruikt in het proces
Toegepast	Laboratoriumfase
Bronnen - Genepax. December 2008 http://www.genepax.co.jp/en/index.html - Genepax Water Car: Too Good to be True? Yeah. December 2008 http://www.treehugger.com/files/2008/06/genepax-water-powered-car-japan-debunking.php - Water-fuelled car. December 2008 http://en.wikipedia.org/wiki/Water-fuelled_car	
Afbeeldingen  	
Bron: Treehugger, 2008.	

Q Biologische brandstofcel (Microbial Fuel Cell)

Naam	Biologische brandstofcel
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Rechtstreekse elektriciteitsproductie uit organische materialen

Omschrijving

Biologische brandstofcel (Microbial Fuel Cell) genereert elektriciteit. Biologische brandstofcellen (1) functioneren volgens het zelfde principe als een normale brandstofcel. Organisch materiaal in afvalwater wordt door bacteriën omgezet in ondermeer protonen en elektronen. De protonen diffunderen door een proton-selectief membraan. De elektronen worden door een extern circuit geleid zodat elektriciteit wordt opgewekt. Aan de andere zijde van het membraan komen de elektronen en protonen weer bij elkaar en reageren samen met zuurstof tot water (2).

Voordelen

- Duurzame energieoptie

Nadelen

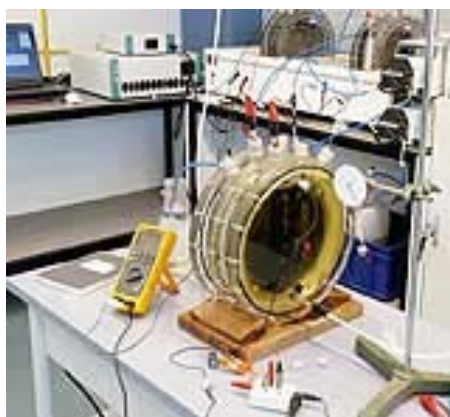
- Nog veel onzekerheden
- Laboratoriumfase

Toegepast

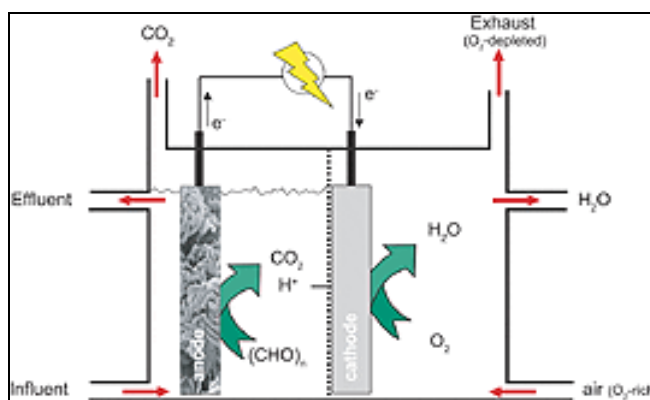
Bronnen

- Wetsus. December 2008
<http://www.wetusus.nl/>

Afbeeldingen



1 Biologische brandstofcel waarin afvalwater wordt omgezet in elektriciteit

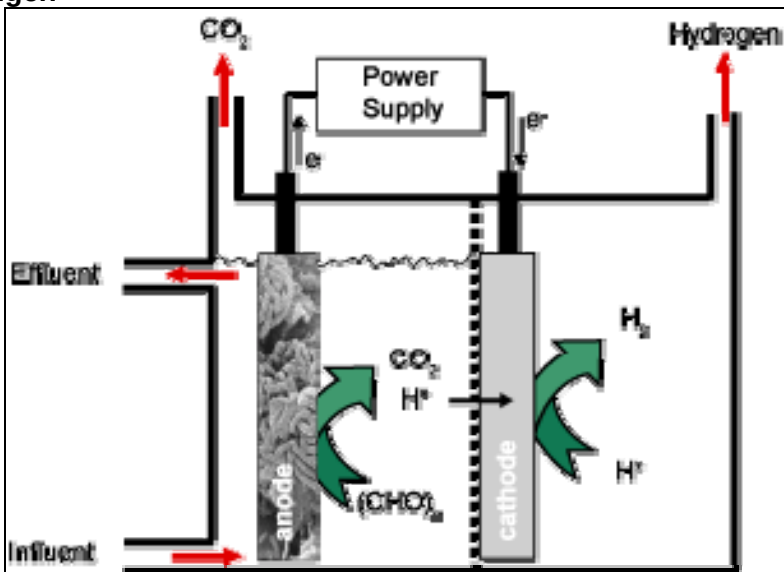


2 Schematische weergave van een biologische brandstofcel

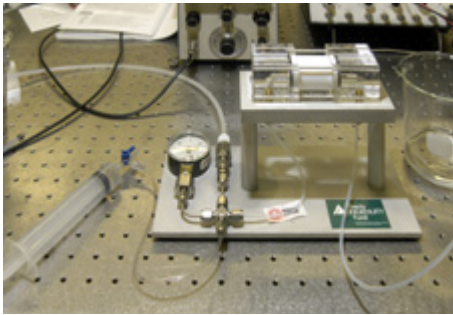
Bron: Wetsus, 2008.



R Biogekatalyseerde elektrolyse (Biocatalyzed electrolysis)

Naam	Biogekatalyseerde elektrolyse
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Waterstofproductie uit afvalwater
Omschrijving Biogekatalyseerde elektrolyse (Biocatalyzed electrolysis) produceert zuiver waterstof uit afvalwater. Binnen Wetsus is vanuit het biologische brandstofcel onderzoek een nieuw proces ontwikkeld, biogekatalyseerde elektrolyse (1). Dit proces is gebaseerd op dezelfde bio-elektrochemische principes als de biologische brandstofcel, maar produceert zuiver waterstof gas in plaats van elektriciteit. Door het innovatieve ontwerp, is het mogelijk om met dit proces uit veel meer soorten afvalwater waterstof te maken dan voorheen mogelijk was. Hierdoor geldt biogekatalyseerde elektrolyse als een revolutionaire doorbraak op het gebied van biologische waterstofproductie vanuit afvalwater. Er wordt op veel plekken onderzoek gedaan naar biologische brandstofcellen. Een voorbeeld is Penn State University in de VS.	
Voordelen • Flexibel, breed toepasbaar proces	Nadelen • Nog veel onzekerheden
Toegepast	• Laboratoriumfase binnen Wetsus, Penn State University e.a.
Bronnen • Microbial Fuel Cell Research. December 2008 http://www.engr.psu.edu/ce/ENVE/mfc-Logan_files/mfc-Logan.htm • Microbial Electrolysis Cell Research. December 2008 http://www.engr.psu.edu/ce/enve/BEAMR/BEAMR.htm • Hydrogen Energy Research at Penn State. December 2008 http://www.research.psu.edu/iro/events/tradeshows/nha/index.html • Wetsus. December 2008 http://www.wetsus.nl/	
Afbeeldingen 	
Bron: Wetsus, 2008.	

S Micro kanaaltjes in glasschijven

Naam	Micro kanaaltjes in glasschijven
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Opwekken en onttrekken statische elektriciteit
Omschrijving In 2003 ontdekten ingenieurs van de universiteit van Alberta in Canada dat water dat door haarfijne micro kanaaltjes in een glazen schijf wordt gepompt, een elektrische stroom opwekt. Wanneer een vloeistof als water in contact komt met een niet geleidende vast stof, wordt het oppervlak van de stof met een dun laagje statisch geladen. De dimensie van de micro kanaaltjes zijn vergelijkbaar met de dikte van de geladen laag. Dit betekent dat wanneer water door de kanaaltjes wordt gepompt, ionen met tegengestelde lading door de micro kanaaltjes gaan terwijl de ionen met identieke lading achter blijven. De kanaaltjes worden dus positief aan de ene kant en negatief aan de andere – zoals een batterij. Worden deze verbonden dan wordt een elektrische stroom opgewekt. Hoewel de stroom van een individueel kanaaltje erg klein is, wordt de stroom groter wanneer water door een groot aantal parallelle kanaaltjes wordt gepompt.	
Voordelen • Toepasbaar in combinatie met bestaande proces, waar water wordt verpompt	Nadelen • Er is nog geen zicht op de energiebalans
Toegepast	Laboratoriumfase
Bronnen • Extracting electricity from water. December 2008 http://physicsworld.com/cws/article/news/18446 • Power on tap. Januari 2009 http://www.uofaweb.ualberta.ca/newtrail/nav03.cfm?nav03=47269&nav02=47268&nav01=43139 • J. Yang, F. Lu, L. Kostiuk, D. Kwok Department of Mechanical Engineering, University of Alberta, Edmonton, Canada; Electrokinetic microchannel battery by means of electrokinetic and microfluidic phenomena In : Journal of Micromechanics and Microengineering, vol. 13, november 2003, pp. 963-970	
Afbeeldingen  Bron: University of Alberta, 2009.	



T Dialyse op basis van hoogfrequente golven

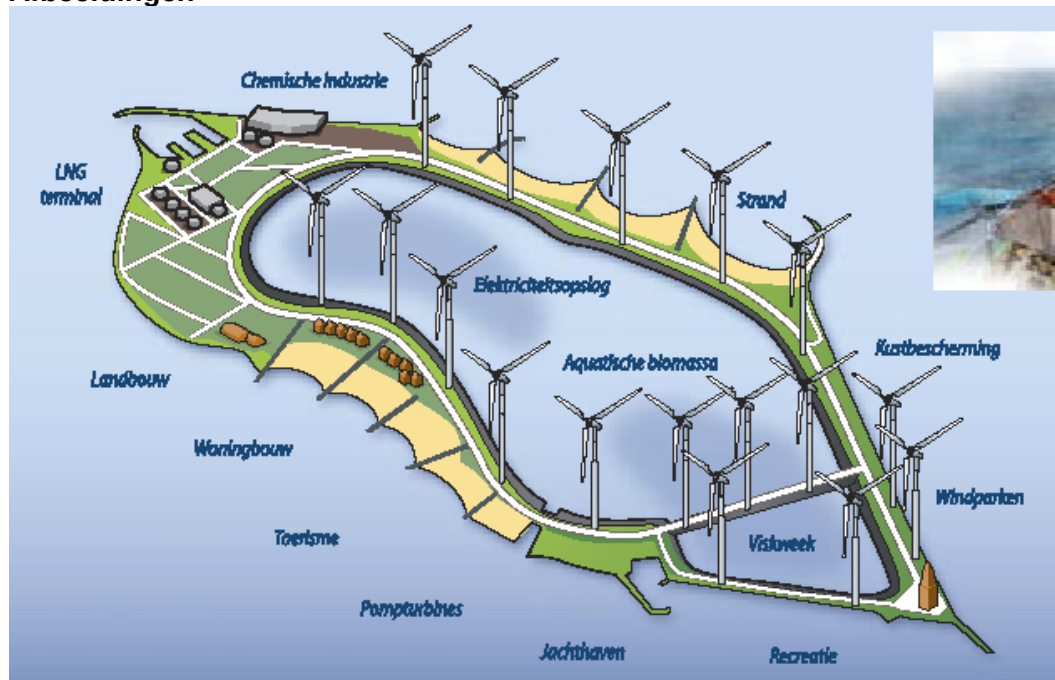
Naam	Dialyse hoogfrequente golven
Categorie	Elektrochemisch
Fysisch principe	Onttrekking energie uit warmtebron
Omschrijving John Kanzius kwam er in 2007 bij toeval achter dat zijn radio golven generator de zuurstof en de waterstof vrijmaakt uit zoutwater waardoor dit kan verbranden. Het resultaat is een uiterst intensieve verbranding (1.500°C). Onderzoekers aan de Penn State University kwamen tot de conclusie dat hoog frequente straling de verbindingen waaruit zout water bestaat verzwakt waardoor er waterstof vrijkomt. Als de vrijgekomen waterstof vervolgens ontbrand wordt dan blijft dit branden zolang het zoute water bloot staat aan de stralingen. Volgens de onderzoekers heeft deze methode van energie uit zoutwater halen enorm potentieel. Het opsplitsen van zoutwater heeft waarschijnlijk geen energiebesparende werking, maar omdat de energiebalans nog niet bepaald is, kan dit niet met zekerheid worden gezegd. Wel is de verwachting dat deze manier van waterstofproductie goedkoper is dan elektrolyse met platina elementen.	
Voordelen • Waarschijnlijk goedkoper dan elektrolyse met platina elementen	Nadelen • Geheim proces • Energiebalans onbekend
Toegepast	• Laboratoriumfase
Bronnen • R. Roy, M. Rao, J. Kanzius Observations of polarised RF radiation catalysis of dissociation of H₂O-NaCl solutions In : Materials Research Innovations, vol. 12, nr. 1, maart 2008 , pp. 3-6 • John Kanzius. December 2008 http://en.wikipedia.org/wiki/John_Kanzius	

D Potentieel**U Valmeer in de Noordzee (Lieveense en Kema) (Energie eiland)**

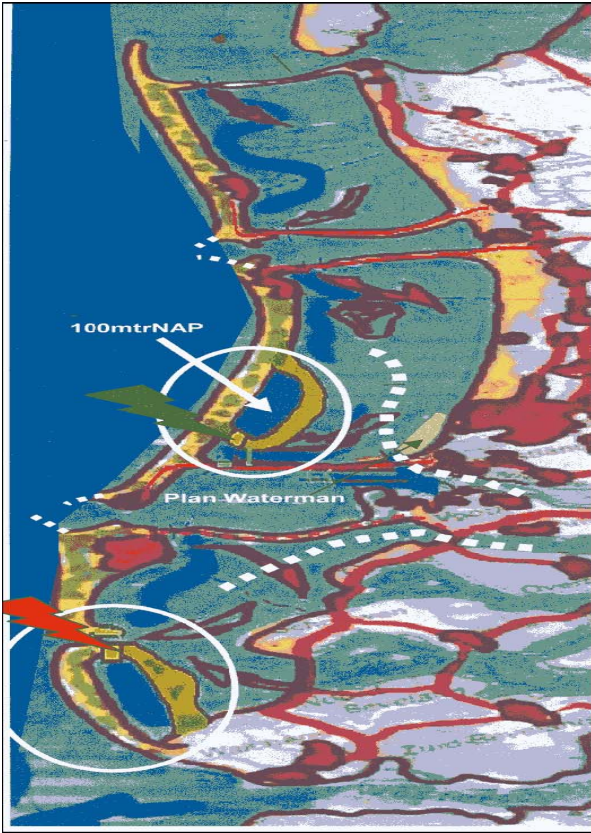
Naam	Valmeer in de Noordzee
Categorie	Potentieel
Fysisch principe	Buffering energie in een watermassa (meer)
Omschrijving Het idee van een valmeer is een kunstmatig eiland voor de Nederlandse kust met een diep binnenmeer. Tijdens daluren wordt zeewater uit het binnenmeer gepompt. Bij piekuren stroomt het water via turbines het meer weer in. Op die manier wordt 1.500 MW aan vermogen gedurende 12 uur opgewekt. Het eiland zal kosten besparen door een efficiënter gebruik van geproduceerde elektriciteit. Bij een grote vraag hoeft er in dat geval minder elektriciteit te worden opgewekt. En bij weinig vraag hoeft er geen elektriciteitscentrale te worden uitgeschakeld. Ook wordt het probleem van fluctuaties in elektriciteitsopwekking van windenergie (gedeeltelijk) opgelost. Het valmeer kan gecombineerd worden met bijvoorbeeld zonnecollectoren, algen- en viskweek, havenfaciliteiten, aardgasopslag en golfslagcentrales. Ook Wubbo Ockels heeft een plan voor een valmeer tussen de Afsluitdijk en een nieuw aan te leggen dijk.	
Voordelen • Grote buffercapaciteit (flexibiliteit in het elektriciteitsnet)	Nadelen • Bij toepassing in IJsselmeer veel bezwaren verwacht van milieu-organisaties en omwonenden
Toegepast	• Ideefase
Bronnen • Energie-eiland is innovatief concept voor grootschalige elektriciteitsopslag. December 2008 http://www.kema.com/nl/corporate/news/corporate/2007/Q3/energie-eiland.asp • Het valmeer van Ockels. December 2008 http://www.landvanenergie.nl/?type=article&id=9 • Innovatieplatform biedt doorbraak voor Plan Lieveense. December 2008 http://lievense.magproductions.nl/news/press_release_energy_island.jsp M. Robles Noordzee als energiecentrale In : Terra, vol. 3, nr. 6, pp. 16-19 http://www.natuurenmilieu.nl/pdf/terra_6_lores2.pdf	



Afbeeldingen



Bron: Robles, 2007.

Naam	Haakse Zeedijk
Categorie	Potentieel
Fysisch principe	Buffering energie in een watermassa (meer)
Omschrijving De Haakse Zeedijk is een 3 km brede zeedijk op 20 km ten westen van de huidige kustlijn. De dijk loopt van Walcheren tot Den Helder. Bij Hoek van Holland en IJmuiden zijn toeleidingskanalen voorzien. Zo ontstaan er drie grote binnenmeren voor de huidige kust. Door middel van inlaat/spuisluizen wordt er in deze drie bekkens een waterpeil gehandhaafd van +/- NAP. In elk van deze bekkens is een woonkern voorzien van ca. 500.000 inwoners. In het zuidelijke en middelste bekken wordt een grote 80 meter diepe aangelegd met een oppervlak van ca. 100 km ² . Zie voor de werking het Valmeer boven.	
Voordelen • Wellicht te koppelen aan verdere kustverdediging bij zeespiegelstijging	Nadelen • Mogelijke zeer grote impact op ruimtebeslag
Toegepast	• Ideefase
Bronnen • Een integrale oplossing voor de zeeniveaustijging. December 2008 http://www.haaksezeedijk.nl/Rapport_Haakse_zeedijk_1.pdf	
Afbeeldingen 	
Bron: Haakse Zeedijk, 2008.	

Naam	Witte Steenkool
Categorie	Potentieel
Fysisch principe	Buffering energie in een watermassa (mijn)
Omschrijving Een bovengronds meer en een 1.400 meter onder de grond gelegen waterbassin zijn via buizen met ondergronds turbines verbonden. Het water uit het meer wordt naar beneden gestort als er een piek is in de stroomvraag of als er een tekort dreigt. 's Nachts wordt het water met goedkope stroom opgepompt en blijft in het meer, klaar voor een nieuwe val. Essent, Nuon en E.ON hebben zich achter het plan geschaard om in Limburg een waterkrachtcentrale te bouwen. Maar de minister vindt investeringen voor energieopslag op korte termijn niet nodig.	
Voordelen Groot bufferpotentieel	Nadelen - Beperkt toepasbaar in Nederland - Noodzaak van grote bassins bovengronds
Toegepast	Planfase: plan voor Limburg van Essent, Nuon en E.ON zich achter het plan hebben geschaard.
Bronnen C. Joosten Slag om witte steenkool In : Elsevier, 6 september 2008, pp. 28 - Limburg is klaar voor witte steenkool. December 2008 http://www.limburgonderneemt.nl/nieuws/Default.asp?catID=9&newsid=2372 - Duurzame energieopslag in Zuid-Limburg. December 2008 Persbericht 23 mei 2007 http://www.royalhaskoning.com/Royal_Haskoning/Corporate/nl-NL/News/20070523energieopslagOPAC.htm	

E Overig

X Opvang regenwater (regenton)

Naam	Opvang regenwater
Categorie	Overig
Fysisch principe	Indirecte besparing door uitsparing kraanwater
Omschrijving Door het regenwater op te vangen in een regenton en het te gebruiken voor de besproeiing van de tuin, kan water uit de kraan worden bespaard. Hiermee wordt een indirecte besparing behaald bij de waterzuivering. Tevens kan de regenton dienen als kleine opslagbuffer en het afvlakken van piekaanbod op de afvoer via het riool.	
Voordelen • Indirecte energiebesparing • Afvlakken piekaanbod op het riool	Nadelen • Beperkte energiebesparing
Toegepast	• De regenton wordt al eeuwen gebruikt, het bewust inpassen in nieuwbouwwoningen is relatief nieuw.
Bronnen • CDA wil iedereen aan de regenput. December, 2008 http://www.insnet.org/nl/printable.rxml?id=17070&photo	

Y Liesgras

Naam	Liesgras
Categorie	Overig
Fysisch principe	Onttrekking elektriciteit aan synthese-proces plant
Omschrijving Waterplanten produceren hierbij elektriciteit zonder dat ze worden geoogst. Deze vorm is efficiënter dan de traditionele benutting van energie uit biomassa. Er wordt gebruik gemaakt van de organische zuren en suikers die planten met behulp van zonlicht produceren. Die worden door bacteriën afgebroken en de elektronen die daarbij vrijkomen worden bij de wortels 'geoogst'.	
Voordelen • Geen concurrentie met landbouw-toepassingen	Nadelen • Nog veel onzekerheden (m.n. ook over kosten)
Toegepast	• Laboratoriumfase
Bronnen • Openbare samenvatting project 'Planten maken Stroom'. Februari 2009 http://www.wur.nl/NR/rdonlyres/99DC7C0B-55F4-4972-813C-CA31A520575C/62368/SamenvattingVertrouwelijkeindrapport.pdf • Liesgras. December, 2008 http://nl.wikipedia.org/wiki/Liesgras	



