



Meer met Bodemenergie

Combinatie met de waterketen

Nieuwe toepassingen van
bodemenergie bij
combinatieconcepten in de
waterketen



Rapport 12 – Combinatie met de waterketen

Nieuwe toepassingen van bodemenergie bij combinatieconcepten in de waterketen

Eindrapport

Colofon

Dit is een gezamenlijk rapport van Bioclear, Deltares, IF Technology en Wageningen Universiteit in het kader van het project Meer met Bodemenergie.

Opdrachtgever

SKB duurzame ontwikkeling ondergrond
Postbus 420
2800 AK GOUDA
T 0182 – 54 06 90
E info@skbodem.nl
Contactpersoon: Arno Peekel

Auteurs

Mike Woning, Deltares
Niels van Oostrom, Deltares
Rob Kleinlugtenbelt, IF Technology

Datum

30 maart 2012

Goedgekeurd door de Technische Commissie Meer met Bodemenergie

Maurice Henssen, Bioclear
Hans Gehrels, Deltares
Guido Bakema, IF Technology
Tim Grotenhuis, Wageningen Universiteit
Huub Rijnaarts, Wageningen Universiteit

Penvoerder

Marc Koenders, IF Technology

Secretariaat

Marion Hetterscheid, IF Technology

Website

www.meermetbodemenergie.nl

Copyright © cover Identim 2012

© MMB 2012

Delen uit dit rapport mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Meer met Bodemenergie (MMB), de titel van de publicatie en jaar van uitgave'.

Participanten

Agentschap NL / Bodem+
Arcadis
Brabant Water - Hydreco
Eneco
Essent
gemeente Almelo
gemeente Amersfoort
gemeente Apeldoorn
gemeente Den Bosch
gemeente Deventer
gemeente Haarlem
gemeente Hengelo
gemeente Tilburg
gemeente Utrecht
gemeente Zwolle
Havenbedrijf Rotterdam
NVOE
Productschap Tuinbouw
provincie Drenthe
provincie Flevoland
provincie Friesland
provincie Gelderland
provincie Groningen
provincie Limburg
provincie Noord-Brabant
provincie Noord-Holland
provincie Overijssel
provincie Utrecht
provincie Zeeland
provincie Zuid-Holland
SKB
Stichting Bodemsanering NS
Vewin
Vitens
Waterschap Groot Salland
Waterschap Regge en Dinkel

Samenvatting

Werkpakket 4 (WP4) is onderdeel van Meer met Bodemenergie (MMB). Het doel van “Meer met Bodemenergie” is inzicht geven in de effecten van bodemenergiesystemen op bodem en grondwater bij het grootschalig toepassen van bodemenergiesystemen. De resultaten van het onderzoek helpen de overheid het huidige grondwater- en bodembeleid waar nodig te herzien en om toepassing en innovaties van bodemenergie te stimuleren. De maatschappij, de kwaliteit van de ondergrond en het klimaat moeten hier uiteindelijk van profiteren.

Doelstelling van WP4 is enerzijds het brede scala aan kansen en mogelijkheden van WKO in combinatie met andere (bodem)functies in beeld te brengen. Anderzijds wordt een drietal kansrijke combinaties op quickscan-niveau uitgewerkt om inzicht te krijgen in de technische, juridische en organisatorische randvoorwaarden, de financiële haalbaarheid en milieutechnische aspecten.

Er zijn binnen dit onderzoek 17 gebieden gevonden waarbinnen combinaties met WKO mogelijk zijn. Deze zijn kort beschreven maar worden in deze samenvatting verder niet benoemd. Uit deze mogelijke combinaties zijn de drie meest kansrijke combinaties verder uitgewerkt. Deze combinaties zijn:

1. Opslag van industriële restwarmte
2. Gietwaterbereiding bij kassen
3. WKO en proceswater

Opslag van industriële restwarmte

Hierbij is gekeken naar opslag van restwarmte van 45°C van industrie in de Botlek. Afnemers waren een woonwijk aan de andere zijde van de Nieuwe Waterweg. Belangrijke aandachtspunten voor dergelijke systemen zijn de schaalgrootte, nabijheid van bron en afgifte en de wijze van tapwaterbereiding. Juridisch is het in beginsel niet toegestaan om middelhoge temperaturen (50°C) op te slaan in de bodem. Bestuurlijk dient afgewogen te worden of en hoe de opslag van hogere temperaturen opweegt tegen de milieutechnische voordelen. Desalniettemin zijn er veel kansen voor deze combinatie vooral ook gezien de hoeveelheid energie, dat voorhanden is op dit temperatuurniveau.

Gietwaterbereiding bij kassen

Hierbij is gekeken naar de mogelijkheid om gietwater te bereiden met behulp van reverse-osmosis. Het zo geproduceerde gietwater wordt gebruikt in de kassen, het bijproduct (brijn) wordt gebruikt voor de opslag van overtollige warmte in de bodem. Voordeel van deze combinatie is dat (bijna) alle benodigde hardware vaak al voorhanden is. Het feit dat er geen energiebalans is en dat de kwaliteit van het (brakke) grondwater afneemt zijn zaken die afgewogen moeten worden tegen de voordelen. Vooral in west Nederland lijkt de potentie voor deze combinatie groot.

WKO en proceswater

Dit concept gaat uit van locaties met een grote koelbehoefte waar drinkwater wordt gebruikt in het proces om te koelen, zoals bij een ziekenhuis met (natte) koeltorens. Hierbij wordt de aanvoer van de warme bron van een WKO systeem deels afgetapt en gebruikt als suppletiewater voor koeltorens. Groot voordeel is dat er geen hoogwaardig drinkwater wordt gebruikt als proceswater. Financieel en milieutechnische is een dergelijke combinatie interessant. Er is echter geen volume- en energiebalans. Gezien de hoeveelheid koeltorens in Nederland lijkt dit ook een combinatie met veel potentieel.

Om de potentie van deze combinaties te benutten moet de meerwaarde boven conventionele systemen worden aangetoond via pilot projecten. Daarnaast zullen er aanpassingen van wet- en regelgeving, met name ten aanzien van temperatuur en energiebalans, moeten plaatsvinden.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	8
1.1 Introductie	8
1.2 Werkpakket 4	9
1.2.1 Doelstelling WP4	9
1.2.2 Plan van aanpak WP4	9
1.3 Leeswijzer	10
2 Inventarisatie van WKO combinaties	11
2.1 Proces	11
2.2 WKO combinaties (long list)	13
2.2.1 Conventionele (open) WKO	13
2.2.2 Ecologische diversiteit	13
2.2.3 Levende bodem	13
2.2.4 Drinkwater	14
2.2.5 Opslag & winning van stoffen	14
2.2.6 Waterberging	15
2.2.7 Bodemarchief	15
2.2.8 Bouwgrond	16
2.2.9 Oppervlaktewater	16
2.2.10 Draagkracht	16
2.2.11 Gewas productie	16
2.2.12 Industrieel water	17
2.2.13 Water reserves	17
2.2.14 Bodemsanering	18
2.2.15 Waterafvoer	18
2.2.16 Recreatie	18
2.2.17 Transport	19
2.3 I&M Workshop Innovaties Bodemenergie	19
2.4 WKO combinaties (short list)	20
3 Combinatieconcept 1: opslag van (industriële) restwarmte	22
3.1 Conceptomschrijving MTO	23
3.2 Case havenbedrijf Rotterdam	24
3.3 Technisch	25
3.3.1 Hoofdcomponenten	26
3.3.2 Referentietechnologiën	27
3.4 Financieel	28
3.4.1 Investeringskosten	29
3.4.2 Exploitatiekosten	30
3.4.3 Eenvoudige terugverdientijd	30
3.5 Milieutechnisch	31
3.6 Juridisch en organisatorisch	32
3.6.1 Relevante wetgeving	32

3.6.2	Organisatorisch	33
3.7	Potentieel in NL	34
3.8	Pilotprojecten	35
4	Combinatieconcept 2: gietwaterbereiding bij kassen	36
4.1	Conceptomschrijving	36
4.2	Case Agriport A7	37
4.3	Technische uitwerking	38
4.3.1	Hoofdcomponenten	38
4.3.2	Verziltting.....	39
4.3.3	Referentietechnologie	40
4.4	Financieel.....	40
4.4.1	Investeringskosten	41
4.4.2	Terugverdientijd.....	41
4.5	Milieutechnisch	42
4.6	Juridisch en organisatorisch	43
4.6.1	Relevante wetgeving	43
4.6.2	Organisatorisch	43
4.6.3	Stakeholders en belangen.....	43
4.7	Potentieel in NL	44
5	Combinatieconcept 3: WKO en proceswater	45
5.1	Conceptomschrijving	45
5.2	Case Catharina Ziekenhuis te Eindhoven	46
5.2.1	Uitgangspunten koeltorens.....	46
5.2.2	Uitgangspunten WKO-systeem	46
5.3	Technische uitwerking	46
5.3.1	Hoofdcomponenten	46
5.3.2	Referentietechnologie	47
5.4	Financieel.....	48
5.4.1	Investeringskosten	48
5.4.2	Exploitatiekosten	48
5.4.3	Terugverdientijd.....	49
5.5	Milieutechnisch	49
5.6	Juridisch en organisatorisch	50
5.6.1	Relevante wetgeving	50
5.6.2	Belanghebbenden	50
5.7	Potentieel in NL	51
5.8	Pilotprojecten	51
6	Conclusies en aanbevelingen	52
	Literatuur	55

1 Inleiding

1.1 Introductie

Er wordt een aanzienlijke groei van het aantal 'open' WKO-systemen verwacht in de komende decennia. Het is van belang dat deze groei op duurzame wijze tot stand komt en dat andere functies en doelstellingen van de ondergrond niet in het geding komen. Door WKO te combineren met andere bodemfuncties en –doelstellingen kunnen twee vliegen in een klap geslagen worden. De ondergrond wordt daarmee optimaal en duurzaam benut, wat goed aansluit bij het denken in de 'ecosysteemdiensten' van de ondergrond. Om tegemoet te komen aan de hieruit voortkomende onderzoeksvragen heeft een consortium bestaande uit Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen Universiteit het initiatief genomen door het opzetten van het grootschalig tweejarig onderzoeksprogramma "Meer met Bodemenergie" (www.meermetbodemenergie.nl). Dit programma wordt uitgevoerd onder de vlag van Stichting Kennisontwikkeling Kennisoverdracht Bodem (SKB). Het programma wordt gefinancierd door overheid en bedrijfsleven. De Wageningen Universiteit laat parallel aan het onderzoeksprogramma vier jaar lang 2 AIO-onderzoekers verdiepend onderzoek doen naar de effecten en kansen van bodemenergie.

Participanten Meer met Bodemenergie

Agentschap NL / Bodem+, Arcadis, Brabant Water, Eneco, Essent, gemeente Almelo, gemeente Amersfoort, gemeente Apeldoorn, gemeente Den Bosch, gemeente Deventer, gemeente Haarlem, gemeente Hengelo, gemeente Tilburg, gemeente Utrecht, gemeente Zwolle, Havenbedrijf Rotterdam, NVOE, Productschap Tuinbouw, provincie Drenthe, provincie Flevoland, provincie Friesland, provincie Gelderland, provincie Groningen, provincie Limburg, provincie Noord-Brabant, provincie Noord-Holland, provincie Overijssel, provincie Utrecht, provincie Zeeland, provincie Zuid-Holland, SKB, Stichting Bodemsanering NS, Vewin, Vitens, Waterschap Groot Salland, Waterschap Regge en Dinkel

Het doel van "Meer met Bodemenergie" is inzicht geven in de effecten van bodemenergiesystemen op bodem en grondwater bij het grootschalig toepassen van bodemenergiesystemen. De resultaten van het onderzoek helpen de overheid het huidige grondwateren bodembeleid waar nodig te herzien en om toepassing en innovaties van bodemenergie te stimuleren. De maatschappij, de kwaliteit van de ondergrond en het klimaat moeten hier uiteindelijk van profiteren.

Het onderzoek richt zich met name op de volgende vraagstukken:

- Wat zijn de effecten van bodemenergie op de kwaliteit van bodem en grondwater? Hierbij wordt zowel gekeken naar temperatuur en waterkwaliteit als de effecten op het gebruik van de ondergrond.
- Welke innovatieve combinatie oplossingen zijn mogelijk voor bodemenergie? Hierbij wordt onder andere gekeken naar de kansen van de combinatie bodemenergie met bodemsanering, of bodemenergie ingezet kan worden bij gebiedsgericht grondwaterbeheer, en hoe het optimaal ingepast kan worden in de totale waterketen.

Het onderzoek is opgedeeld in vier inhoudelijke werkpakketten:

- Werkpakket 1: participatie en opstellen van beleidsrichtlijnen
- Werkpakket 2: effecten van bodemenergie op bodem en grondwater
- Werkpakket 3: combinatie van bodemenergie en sanering
- Werkpakket 4: duurzame concepten van combinaties met bodemenergie

1.2 Werkpakket 4

In werkpakket 4 (WP4) van het onderzoeksprogramma Meer Met Bodemenergie wordt onderzoek gedaan naar vernieuwende toepassingen van WKO installaties. Hierbij ligt de nadruk op WKO combinaties waarbij niet alleen de energiefunctie centraal staat. Denk hierbij aan functies als het verbeteren van waterkwaliteit en -kwantiteit of positieve effecten op de leefomgeving. Voorbeelden hiervan zijn de combinatie van WKO met afvoer/berging van hemelwater in stedelijk gebied of WKO als hulpmiddel voor het reduceren van de thermische belasting van oppervlaktewater.

1.2.1 Doelstelling WP4

Doelstelling van WP4 is enerzijds het brede scala aan kansen en mogelijkheden van WKO in combinatie met andere (bodem)functies in beeld te brengen. Anderzijds wordt een drietal kansrijke combinaties op quickscan-niveau uitgewerkt om inzicht te krijgen in de technische, juridische en organisatorische randvoorwaarden, de financiële haalbaarheid en milieutechnische aspecten. De resultaten van dit onderzoek kunnen door opdrachtgevers en/ of overheden als handvaten gebruikt worden om een gefundeerde beslissing te kunnen nemen ten aanzien van deze innovatieve combinaties waardoor uiteindelijk meer van dergelijke systemen gerealiseerd zullen worden. Idealiter stimuleert dit onderzoek daarmee de totstandkoming van kansrijke pilot projecten.

1.2.2 Plan van aanpak WP4

In het plan van aanpak voor WP4 zijn 2 hoofdfasen opgenomen, te weten:

- Inventarisatiefase: Deze fase heeft als doel zoveel mogelijk innovatieve WKO combinaties te identificeren en dient als startpunt voor de volgende fase. Daarnaast is aan het einde van deze fase een afweging gemaakt welke WKO combinaties als meest kansrijk kunnen worden beschouwd.
- Haalbaarheidsfase: In de haalbaarheidsfase worden de drie meest kansrijke WKO combinaties (milieu)technisch, financieel, juridisch en organisatorisch op quickscan-niveau verder uitgewerkt.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport, waarin de resultaten van zowel de inventarisatiefase als de haalbaarheidsfase zijn opgenomen, heeft de volgende indeling:

1. Introductie van WP4 met kader en doelstelling
2. Inventarisatie van WKO combinaties
3. Uitwerking combinatieconcept 1
4. Uitwerking combinatieconcept 2
5. Uitwerking combinatieconcept 3
6. Conclusies, aanbevelingen en Maatschappelijke relevantie

2 Inventarisatie van WKO combinaties

De verwachte groei van het aantal WKO-systemen in Nederland legt een grote druk op de ondergrondse ruimtelijke ordening. Hierdoor worden, met name in dicht bevolkte gebieden, interferentieproblemen verwacht. Echter het gebruik van WKO biedt ook mogelijkheden om ondergrond en omgeving beter te conditioneren en/ of te beïnvloeden. Deze kansen ontstaan met name daar waar WKO innovatief wordt ingezet en daar waar WKO gecombineerd wordt met andere (bodem)functies. Dit hoofdstuk geeft een beeld van mogelijke combinaties met WKO. Eerst wordt het proces van de inventarisatiefase toegevoegd om vervolgens de 'longlist' met mogelijke WKO combinatieconcepten te bespreken. Als laatste worden de meest kansrijke combinaties bepaald welke in de hierna volgende hoofdstukken verder worden uitgewerkt.

2.1 Proces

Voor de inventarisatie van de combinatiemogelijkheden met WKO zijn de volgende stappen doorlopen:

- Navraag doen bij een klein aantal experts naar bestaande WKO combinaties;
- Desktop studie waarbij de gevonden combinaties verder zijn uitgewerkt en concrete voorbeelden in de literatuur zijn opgezocht en de lijst met combinaties verder is aangevuld;
- WP4 workshop waar de lijst met combinaties door de aanwezigen verder is aangevuld;
- Workshop Innovaties Bodemenergie, georganiseerd door het ministerie van Infrastructuur en Milieu (I&M), waarin verder is gebrainstormd over kansrijke en mogelijke combinaties.

Voor de inventarisatie van de combinatiemogelijkheden met WKO is tijdens de workshop in de volgende richtingen¹:

- Conventionele (open) WKO: dit is het startpunt van alle combinaties en optimalisaties en gaat uit van een standaard open WKO systeem.
- Ecologische diversiteit: de ecologie aan het maaiveld wordt deels bepaald door de lokaal aanwezige ondergrond en de condities in die ondergrond. WKO kan deze condities al dan niet actief beïnvloeden.
- Levende bodem: in de bodem bevinden zich allerlei organismen en schimmels. Welke organismen zich in de ondergrond bevinden is afhankelijk van een aantal zaken zoals chemische samenstelling en temperatuur. WKO beïnvloed de omstandigheden in de ondergrond en daarmee de samenstelling en activiteit van dit leven.

¹ Richtingen zijn gebaseerd op een 'vroegere versie' van de ondergrondskwaliteiten van www.ruimtexmilieu.nl

- Drinkwater: uit de bodem wordt drinkwater gewonnen en in sommige gevallen ook weer opgeslagen. Van deze waterstroom kan energie gewonnen worden middels WKO.
- Opslag en winning van stoffen: de ondergrond biedt een scala aan winbare delfstoffen. Tevens kunnen stoffen weer worden opgeslagen in de ondergrond. Zowel winnen als opslag van stoffen zou mogelijk via WKO-systemen kunnen plaatsvinden.
- Waterberging: het (water)bergend vermogen van de ondergrond is een belangrijke factor in wateroverlast problematiek: zonder waterberging moet al het hemelwater direct afgevoerd worden. WKO-systemen kunnen, met name in stedelijk gebied, helpen om hemelwater (tijdelijk?) in de bodem te brengen.
- Bodemarchief: in de bodem liggen archeologische vondsten en andere informatie opgeslagen die inzicht geven in het verleden. Dit is vanuit een cultuurhistorisch oogpunt belangrijk maar ook wetenschappelijk gezien in sommige situaties interessant. Mogelijk hebben WKO-systemen invloed op deze informatie uit de bodem.
- Bouwgrond: er kan op en in de grond gebouwd worden. Hoe beïnvloed WKO deze potentie?
- Oppervlaktewater: oppervlakte water wordt bij WKO vaak gebruikt voor het in evenwicht brengen van de energie balans.
- Draagkracht: de bodem biedt draagkracht aan alles aan het maaiveld of in de grond zelf. Wordt dit door WKO beïnvloed en zo ja, kan de draagkracht dan positief beïnvloed worden?
- Gewas productie: het verbouwen van gewassen vindt plaats op de bodem. Hierin kan WKO helpen om groei omstandigheden te optimaliseren.
- Industrieel water: (industriële) water wordt onttrokken aan de bodem maar tevens kan proces water mogelijk ingebracht worden in WKO-systemen.
- Water reserves: de ondergrond bevat potentieel winbaar (drink)water. Worden deze reserves positief beïnvloed door WKO of juist niet?
- Bodemsanering: als gevolg van menselijke activiteit aan het maaiveld bevinden zich lokaal vervuilingen in de ondergrond. Deze worden door WKO verplaatst maar kunnen ook behandeld worden.
- Waterafvoer: door de bodem vindt grondwaterstroming plaats.
- Recreatie: recreatie vindt plaats op het maaiveld op in/op het water. Door maaiveld of water te conditioneren kan het recreëren positief beïnvloed worden.
- Transport: transport vindt plaats over water en maaiveld. Hoe kan WKO hier een positieve invloed op uitoefenen?

Deze richtingen zijn gebruikt voor de structuur van deze rapportage. De resultaten van de inventarisatie zijn weergegeven een 'longlist' van mogelijke combinaties welke in de volgende paragraaf kort worden toegelicht.

2.2 WKO combinaties (long list)

2.2.1 Conventionele (open) WKO

In deze paragraaf worden optimalisaties beschreven die betrekking hebben op standaard, open WKO-systemen. De volgende optimalisaties zijn voor Conventionele (open) WKO-systemen benoemd.

- WKO in combinatie met een warmtepomp: WKO wordt vaak gecombineerd met warmtepompen om de verwarming van gebouwen met behulp van laagwaardige warmte mogelijk te maken. Op deze manier kan de laagwaardige opgeslagen warmte uit de ondergrond door de warmtepomp naar een hogere temperatuur worden gebracht. De opgeslagen warmte fungeert dan als bron voor de warmtepomp. Vaak is de combinatie WKO met warmtepomp pas rendabel bij grotere gebouwen, of meerdere woningen.
- WKO in combinatie met het gebruik van hogere (en lagere) temperaturen: door het gebruik van hogere (en lagere) temperaturen in WKO-systemen mogelijk te maken, kan de efficiency van WKO's vergroot worden en zijn warmtepompen in sommige gevallen niet meer nodig.
- WKO gecombineerd met thermische zonne-energie: zonne-energie kan gebruikt worden voor zowel het opwekken van elektriciteit als voor thermische energie. De onvoorspelbaarheid van zonne-energie maakt de techniek echter onbetrouwbaar en daarmee onpraktisch. Dit probleem kan worden opgelost door thermische zonne-energie op te slaan door middel van een WKO installatie en de opgeslagen warmte te gebruiken in periodes van weinig zonneschijn.

2.2.2 Ecologische diversiteit

Hier is gekeken naar hoe WKO de ecologische diversiteit aan het maaiveld kan beïnvloeden. Er zijn geen kansrijke combinatieconcepten voor deze combinatie tussen bodemkwaliteit en WKO geïdentificeerd.

2.2.3 Levende bodem

Bij deze combinatie tussen bodemfunctie en WKO is gekeken naar hoe een WKO-systeem het leven in de bodem positief kan beïnvloeden en visa versa (bodemsanering wordt in een aparte paragraaf bekeken). De volgende combinatie is benoemd voor 'Levende bodem'.

- WKO en vrijkomend methaangas: grondwater kan methaangas bevatten wat vrij komt bij het oppompen van grondwater. Door het afvangen (en gebruiken) van het gas kan een optimalisatie (technisch/ financieel) gevonden worden.

2.2.4 Drinkwater

In deze paragraaf wordt gekeken naar de combinatie tussen drinkwater(processen) en WKO. Hierin vallen zowel winning, opslag als transport van drinkwater. De volgende combinaties zijn voorgesteld.

- WKO en de productie van (ruw) drinkwater: drinkwater wordt in Nederland op een groot aantal plaatsen gewonnen uit de ondergrond. Uit het opgepompte grondwater kan energie of koude gewonnen worden.
- WKO en drinkwaterleidingen: drinkwater wordt, nadat het gezuiverd is via transportleidingen naar de gebruiker getransporteerd. Er kan energie of koude vanuit deze volume stroom worden gewonnen. Hetzelfde principe kan worden toegepast op rioolwater of andere vloeistofstromen. Daarnaast kan door (in de zomer) drinkwater af te koelen, de groei van legionella worden tegengegaan. Watertorens leveren ook interessante mogelijkheden voor pieklevering/opslag van water maar ook van energie.

2.2.5 Opslag & winning van stoffen

Hier is gekeken naar combinaties tussen WKO en opslag/ winning van (delf)stoffen. Hierin zijn de volgende combinaties benoemd:

- WKO en gasopslag: WKO kan mogelijk gecombineerd worden met de opslag van gassen. De infrastructuur voor het rondpompen van het water kan dan misschien ook gebruikt worden om gas te transporteren. Voorbeelden zouden kunnen zijn:
 1. CO₂ opslag in de aquifers. Kan misschien geïnjecteerd worden door middel van bestaande infrastructuur.
 2. Opslag van aardgas, in het kader van Nederland als aardgasrotonde van Europa.
 3. Het opslaan van waterstof. Het overschot aan elektriciteit opgewekt door onregelmatige zonne- en windenergiecentrales kan worden opgeslagen in aquifers door middel van de ondergrondse productie van waterstof. Mogelijke nadelen hiervan zijn verstoppingen van de pijpen door gas en lekkage naar het maaiveld.
- WKO en CAES (Compressed Air Storage): Compressed Air Energy Storage (CAES) is een manier om overtollige energie, veelal elektriciteit, op te slaan. Bij de compressie van lucht wordt warmte geleverd, dit kan worden opgeslagen in een WKO systeem.
- WKO en ondergrondse afvalstortplaatsen: door het combineren van ondergrondse afvalstortplaatsen met WKO kan mogelijk snellere biologische afbraak van het afval plaatsvinden. Dit lijkt vrij veel op de combinatie van WKO met sanering (zie 2.2.14 Bodemsanering). Als alternatief kan warmte in afvalstortplaatsen worden opgeslagen met behulp van WKO en elders nuttig gebruikt worden.
- WKO als hulpmiddel bij CCS (CO₂ afvang en opslag): het afvangen en opslaan van CO₂ wordt gezien als een belangrijke stap in de strijd tegen klimaatverandering. Bij het afvangen van CO₂ is echter veel kostbare warmte nodig. Gebruik van (industriële) restwarmte zou hier een uitkomst kunnen bieden, maar dan moet de aanvoer daarvan wel constant en betrouwbaar zijn. Het opslaan van warmte in de ondergrond kan hierbij een rol spelen, door als buffer te dienen wanneer er tijdelijk geen restwarmte voorhanden is.

- WKO gecombineerd met zoutwinning: voor de opslag van warmte en koude wordt meestal het water uit poreuze grondlagen gebruikt. Theoretisch gezien is het echter ook mogelijk om WKO toe te passen in een ander medium, bijvoorbeeld in het pekelwater in ondergrondse zoutcavernes. De zoutcavernes ontstaan tijdens het winnen van zout en bevinden zich voornamelijk in het noorden en het oosten van het land. Wanneer de zoutwinning stopt, worden de ontstane zoutcavernes gevuld met pekelwater om instorten te voorkomen.
- WKO in combinatie met geothermie: een geothermisch doublet is een grote investering. Om deze kosten zo snel mogelijk terug te verdienen willen eigenaren het liefst het doublet zoveel mogelijk warmte laten produceren. Echter in de zomer is de warmtevraag vaak dusdanig klein dat er een surplus ontstaat. Door dit overschot aan warmte in de ondergrond op te slaan (warmte opslag) kan deze 's winters worden ingezet om een deel van de piekvraag op te vangen. Typische temperaturen bij dit soort systemen liggen in de orde van 50 – 80 graden °C. Bij geringere dieptes dan 500m mag water van een dergelijke temperatuur niet worden opgeslagen, tenzij hiervoor door de overheid een uitzondering op bestaande regelgeving wordt gemaakt.
- WKO in oude mijngangen: in de wijk Heerlerheide, te Heerlen, wordt water uit oude mijngangen gebruikt voor het verwarmen en koelen van woningen en openbare gebouwen. Het systeem functioneert op basis van geothermische principes, waarbij warm water onder uit de mijngangen wordt gebruikt voor verwarming en koud water boven uit de mijngangen wordt gebruikt voor koeling. Daarnaast wordt het afgekoelde verwarmingswater in de koude put geïnjecteerd en het opgewarmde koelwater terug de warme put in gepompt. Het water in de mijngangen functioneert op die manier als WKO systeem.

2.2.6 Waterberging

In deze paragraaf is gekeken naar hoe WKO-systemen toegevoegde waarde kunnen hebben voor waterberging. De hiervoor benoemde combinaties zijn hierna weergegeven.

- WKO en gietwaterbereiding bij kassen: WKO kan worden gebruikt in combinatie met gietwaterbassins in de tuinbouwsector. De koude uit de bassins kan worden gebruikt voor regeneratie van de WKO-systemen. Dit eventueel nog in combinatie met de bereiding van gietwater door middel van Reverse Osmosis (RO) en herinfiltratie van brijn (de geconcentreerde zoutoplossing die ontstaat bij RO).
- WKO en stedelijk wateroverlast: WKO-systemen gebruiken als infiltratiebronnen tijdens piekafvoer in de stedelijke omgeving om water (tijdelijk) te bergen. Hierbij kan energie gewonnen/ toegevoegd worden aan het systeem.

2.2.7 Bodemarchief

Hier zijn geen kansrijke combinatieconcepten geïdentificeerd.

2.2.8 Bouwgrond

Grond levert de potentie om op te bouwen. In deze paragraaf wordt gekeken hoe deze bouwpotentie positief beïnvloed kan worden. De hiermee geassocieerde combinatie is hierna weergegeven.

- Gebruik van tijdelijke bemaling als permanente WKO: tijdelijke bemaling voor een bouwproces kan worden omgezet in WKO. Hierbij moet wel rekening gehouden worden bij het ontwerp van de bemaling (bemalingen worden veelal niet ontworpen voor permanent gebruik).
- WKO en gebiedsontwikkeling: bij gebiedsontwikkeling zou alvast moeten worden nagedacht over het combineren van ruimtelijke functies, zodat warmte/koude productiecentra strategisch liggen t.o.v. warmte/koude consumenten. Op die manier kan WKO efficiënter worden toegepast.

2.2.9 Oppervlaktewater

In deze paragraaf worden de combinaties weergegeven die geassocieerd zijn met 'oppervlakte water'.

- Regeneratie WKO systeem via oppervlaktewater: bij een energie onbalans van een WKO systeem, kan oppervlakte water gebruikt worden voor het herstellen van deze onbalans. Veelal is er een warmte overschot in de bodem en kan er via het oppervlaktewater 'koude geladen' worden.
- Direct gebruik van oppervlakte water: oppervlakte water kan worden gebruikt voor directe koeling. Voorbeelden hiervan zijn Maastoren en Paleiskwartier Den Bosch. Ook worden kantoorpanden op de Zuidas op deze manier van koeling voorzien.
- Direct gebruik zeewater: dit is eigenlijk een variant van de hierboven genoemde optie. Een voorbeeld hiervan is de wijk Duindorp in Den Haag. Door WKO op te nemen in het systeem, kan in de zomer warmte uit het zeewater worden opgeslagen voor gebruik in de winter.

2.2.10 Draagkracht

Er zijn voor deze bodemfunctie geen kansrijke combinatieconcepten geïdentificeerd.

2.2.11 Gewas productie

Gewas productie is een van de functies van de bodem. Met behulp van WKO kunnen groeicondities mogelijk beter beheerst of aangepast worden. In deze paragraaf wordt een tweetal combinaties genoemd tussen WKO en gewasproductie.

- WKO en (semi)gesloten kas: in de glastuinbouw wordt veel aardgas gebruikt voor het verwarmen van de kassen in de winter. Tegelijkertijd worden de kassen in de zomer gekoeld, waarbij elektriciteit wordt verbruikt. Door WKO toe te passen kunnen de kassen in de winter worden verwarmd door de opgeslagen warmte en in de zomer worden gekoeld door warmte te onttrekken (voorbeeld Agriport A7). Bij sommige teelten/ gebruik van WKO ontstaat er over het jaar gezien zelfs een warmte overschot. In Naaldwijk wordt onderzocht of de wijk Hoogeland (een deel van) haar warmtebehoefte vanuit dit surplus kan voorzien.

- WKO en 'open grond' teelt: de bodemtemperatuur kan door middel van WKO geconditioneerd worden door lussen in de open grond te leggen. Hierdoor kan het groeiseizoen verlengd/ aangepast worden en/ of kunnen andere gewassen geteeld worden. Ook moet in dit geval gedacht worden aan de kweek van algen voor Biomassa centrales.

2.2.12 Industrieel water

Onder industrieel water valt ook rioolwater, brandblusvoorzieningen en proceswater. Hierna volgen de hiermee geassocieerde WKO combinaties.

- WKO en opslag (industriële) restwarmte: WKO kan worden toegepast om tijdens warme periodes (industriële) restwarmte op te slaan in de ondergrond (warmtebuffer) en dit geleidelijk af te geven tijdens koudere periodes. De restwarmte wordt nuttig ingezet en hoeft niet meer geloosd te worden op het oppervlaktewater. Dit laatste heeft een positief effect op de kwaliteit, met name zuurstofgehalte, van het oppervlaktewater.
- WKO in combinatie met afval-/ rioolwater: zowel huishoudens als bedrijven voegen warmte toe aan het afvalwater. Vaak spoelt dit afvalwater regelrecht het riool in en gaat de thermische energie daarmee verloren. Door met warmtewisselaars te werken kan deze energie worden teruggewonnen en worden hergebruikt. Door dit systeem te combineren met WKO, kan (overtollige) warmte worden opgeslagen en worden gebruikt wanneer daar vraag naar is.
- WKO en sprinklerinstallaties: bij dit concept worden bronnen met een WKO functie bij calamiteiten toegepast voor de productie van bluswater. Hierdoor hoeven geen speciale 'bluswaterbronnen' aangelegd te worden.
- WKO en proces/ suppletiewater: het is gangbaar dat het water voor kleinere koeltoren geleverd wordt vanuit het drinkwaternet. Dit drinkwater heeft een goede kwaliteit (weinig mineralen), maar heeft eigenlijk een te hoogwaardige zuivering ondergaan (bacteriën) voor het doel koelen. Het gebruik van lokaal (gezuiverd) grondwater kan een goed alternatief zijn voor drinkwater; zeker als dit grondwater een goede chemische samenstelling heeft. Voor WKO's worden al bronnen geplaatst, dus het "aftappen" van water uit de WKO kan relatief eenvoudig plaatsvinden.

2.2.13 Water reserves

Water is een schaars goed. Het is daarom van belang water reserves te beschermen. In deze paragraaf wordt de hiermee geassocieerde WKO combinatie beschreven.

- WKO en peilbeheer: de bronnen van een WKO systeem kunnen gebruikt worden voor de opslag van zoetwater. Hiermee kan het peilbeheer positief worden beïnvloed. Hiermee is het ook mogelijk WKO te gebruiken voor het beïnvloeden van zoet/brak grenzen en hiermee de zoetwaterreserve van Nederland te beïnvloeden. Vraag is of het mogelijk is zowel het peilbeheer positief te beïnvloeden als ook te voldoen aan de volume- en energie balans eisen die gesteld worden aan WKO's.

2.2.14 Bodemsanering

In de ondergrond bevinden zich op verschillende locaties vervuilingen. Vaak verspreiden en verplaatsen deze vervuilingen zich met de grondwaterstroming. Daarnaast breken sommige stoffen, al dan niet onder invloed van bacteriën af. WKO-systemen kunnen dergelijke vervuilingen op verschillende manieren beïnvloeden. Binnen het project Meer met bodemenergie is aan dit combinatieconcept een apart werkpakket gewijd (werkpakket 3). Daarom zal in dit rapport niet nader op de combinatie WKO met bodemsanering worden ingegaan.

2.2.15 Waterafvoer

Water wordt op verschillende manieren afgevoerd: het infiltreert in de bodem maar wordt ook actief weggepompt uit gebieden waar een teveel aan water is (polders, steden, etc.). In deze paragraaf is gekeken of en hoe WKO hier een bijdrage aan kan leveren.

- Energiewinning in combinatie met gemalen: een gemaal zorgt voor stroming van water. Uit deze volumestroom kan koude of warmte gewonnen worden. Feitelijk is dit een vorm van energie uit oppervlakte water (zie 2.2.9).
- WKO en wateroverlast: WKO zou mogelijk een positief effect kunnen hebben op wateroverlast problematiek in stedelijk gebied door middel van het infiltreren van overtollig water via de bronnen van een WKO systeem.

2.2.16 Recreatie

Recreatie vindt op vele plaatsen en wijzen plaats in onze samenleving. WKO kan op verschillende manieren recreatie positief beïnvloeden en visa versa. Hieronder zijn de associaties met deze functie beschreven.

- WKO en beheersing waterkwaliteit: in de zomer is de vorming van blauwalg een probleem voor Nederlandse recreatiewateren. WKO zou ingezet kunnen worden om deze blauwalgvorming tegen te gaan, door het oppervlaktewater in de zomer af te koelen. Hierdoor wordt de bruikbaarheid van het water vergroot voor recreatiedoeleinden.
- WKO en opslag van vrijkomende warmte van koelmachines: koelcapaciteit is onder andere nodig in bijvoorbeeld koelhuizen, (indoor)ijsbanen en skibanen (Snowworld/Landgraaf, etc.). Bij koelen ontstaat aan de andere kant van de warmtepomp/ koelapparaat warmte. Deze warmte kan met behulp van WKO worden opgeslagen en later worden gebruikt.
- Toepassingen van WKO ten behoeve van verwarming zwembad of sportvelden: met behulp van WKO zou zwembad en/ of sportvelden verwarmd kunnen worden waardoor er door het jaar heen langer/ meer gebruik van deze faciliteiten gemaakt zou kunnen worden.

2.2.17 Transport

Transport vindt plaats middels infrastructuur op of nabij het maaiveld en middels (vaar)wateren. In deze paragraaf is gekeken of en zo ja hoe WKO hier een positieve bijdrage aan kan leveren. Hieronder worden de hiermee geassocieerde combinaties toegelicht.

- WKO en infrastructuur: WKO kan voor de conditionering van wegen, landingsbanen en/ of spoorwissels gebruikt worden. Hierdoor kan energie gewonnen worden en kan tevens bespaard worden op beheer- en onderhoudskosten. Een voorbeeld is het gebruik van het wegdek als zonnecollector (zie ook Hoogvliet Rotterdam – Asphaltwarmte in combinatie met WKO).

2.3 I&M Workshop Innovaties Bodemenergie

Op 24 februari 2011 heeft het ministerie van Infrastructuur en Milieu een workshop georganiseerd over innovaties in bodemenergie. In vier verschillende werkgroepen is gezocht naar innovaties in bodemenergie. De long list is behandeld in werkgroep drie, waarin gezocht is naar combinatiemogelijkheden met WKO. De volgende partijen hebben deelgenomen aan werkgroep drie:

- TTE
- Gemeente Haarlem
- Technische Universiteit Eindhoven
- Waterbedrijf Groningen
- Deltares
- Ministerie van Economische zaken, Landbouw en Innovatie
- IF Technology
- Waternet Amsterdam
- Waterschap Aa en Maas
- Milieudienst NCW
- Ooms Avenhorn
- AMIC

In de workshop zijn geen aanvullende combinaties met WKO naar voren gekomen. De long list geeft een goed en volledig beeld van de mogelijke combinaties. De combinaties zijn niet in detail besproken, maar naar verwachting zijn vele combinaties kansrijk. Een belangrijk aspect bij alle combinaties is dat, vanwege het aantal betrokken partijen, een sectoroverstijgende besluitvorming noodzakelijk is om een combinatie succesvol te ontwikkelen en realiseren.

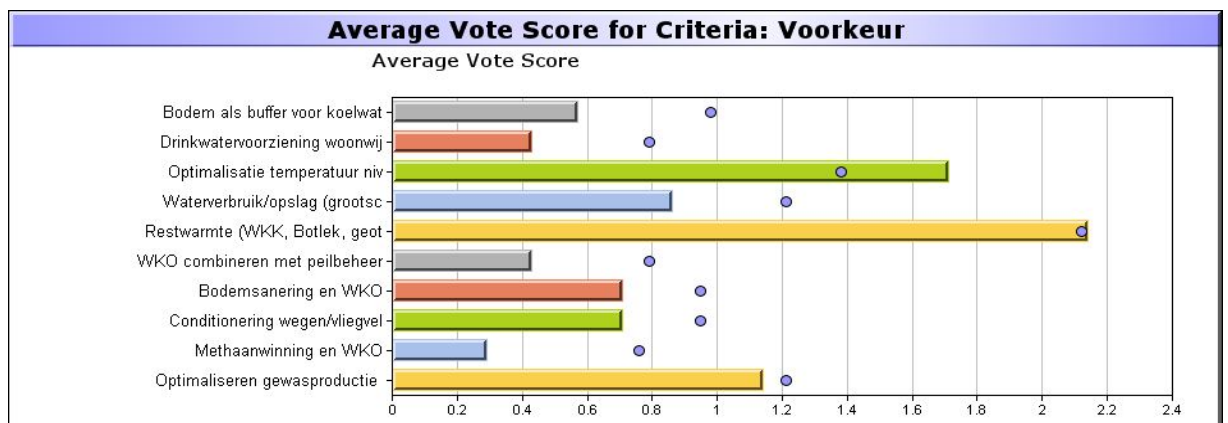
2.4 WKO combinaties (short list)

Bovengenoemde long list (hst 2.2) van WKO combinaties is door middel van twee stemrondes teruggebracht tot een 'top 3'. Dit is gebeurd in maart 2010 in de Electronic Board Room (EBR) bij Deltares. De volgende partijen waren uitgenodigd:

- IF Technology*
- Bioclear*
- WUR
- SBNS*
- Productschap Tuinbouw*
- Brabant Water
- Waternet*
- Havenbedrijf Rotterdam
- Deltares*

* aanwezige partijen

Bij de stemmingen is enerzijds gekeken naar kansrijkheid: in hoeverre is de voorgestelde combinatie haalbaar zonder al breed in Nederland te zijn toegepast. Niet alleen de technische kansrijkheid is hierbij meegewogen. Ook is bij de afweging met betrekking tot kansrijkheid rekening gehouden met eventuele knelpunten in regelgeving en/ of organisatie waar oplossingen voor gevonden moeten worden. Anderzijds is bij de stemming gekeken naar potentie: kan de voorgestelde combinatie in heel Nederland worden toegepast of zijn er zeer specifieke randvoorwaarden nodig waardoor het op weinig plaatsen mogelijk is. Beide stemrondes vonden plaats op basis van 'expert judgement'. Bij de eerste stemronde zijn de 10 meest interessante combinaties geïdentificeerd. Vervolgens is door de aanwezigen gestemd om een prioritering van deze combinaties te maken. Onderstaand is het resultaat van de tweede stemronde (hierbij is de naamgeving zoals gebruikt tijdens de workshop terug te zien, deze is later verbeterd en aangepast).



figuur 2.1 Ruwe output van de stemming voor de 'top 10' combinatie concepten

De top 10 is in de nieuwe terminologie (van deze rapportage) hieronder nogmaals weer-gegeven:

1. WKO en opslag van (industriële) restwarmte
2. Gebruik van hogere temperaturen
3. WKO en gietwaterbereiding bij kassen
4. WKO en (industriële) proceswater
5. Bodemsanering en WKO
6. WKO en infrastructuur
7. Gebruik van WKO als (seizoens)warmtebuffer
8. WKO en peilbeheer
9. WKO en drinkwater- leidingen/ productie
10. WKO en vrijkomend methaangas

Het bleek logisch om combinaties (1) en (2) samen te voegen tot één uit te werken WKO combinatieconcept waarbij industriële restwarmte tot 45°C wordt gebruikt. Uiteindelijk is besloten om de 3 hoogst scorende combinaties verder uit te werken. Dit zijn: 1. WKO en opslag van (industriële) restwarmte (hogere temperatuur) 2. WKO en Ondergrondse Hemelwater Basins (gietwaterbereiding) 3. WKO en proceswater

Zoals aangegeven in 1.3, worden de combinaties uitgewerkt op een viertal punten. In de volgende hoofdstukken wordt per combinatie eerst achtergrondinformatie gegeven. Vervolgens wordt een case beschreven welke als concreet en typerend voorbeeld dient voor deze combinatie. De case wordt op hoofdlijnen uitgewerkt op basis van een vaste indeling waarbij eerst de technische omschrijving met kengetallen van het systeem wordt gegeven. In het daarop volgende paragraaf wordt een inschatting gemaakt van de financiële kant van de case. Naast de technische en financiële haalbaarheid wordt ook gekeken naar de factoren die bijdragen aan de milieu impact van de case als ook welke juridische en organisatorische aandachtspunten voorzien worden.

3 Combinatieconcept 1: opslag van (industriële) restwarmte

De warmtevraag in de woningbouw bestaat uit ruimteverwarming en tapwaterverwarming. Conventioneel wordt deze warmtevraag veelal geleverd met ketels. Bij ruimteverwarming verwarmen ketels water tot een temperatuur van 90°C. De warmte wordt door middel van radiatoren (hoge temperatuurverwarming) afgegeven aan de ruimte.

Een duurzaam alternatief voor ruimteverwarming is de toepassing van warmte- en koudeopslag (WKO) in combinatie met warmtepompen. Hierbij wordt grondwater opgepompt. De temperatuur van het grondwater wordt door middel van warmtepompen opgehoogd naar circa 45°C. De warmte wordt afgegeven door middel van een lage temperatuur verwarmingssysteem zoals vloerverwarming, lage temperatuurradiatoren en luchtbehandelingkasten.

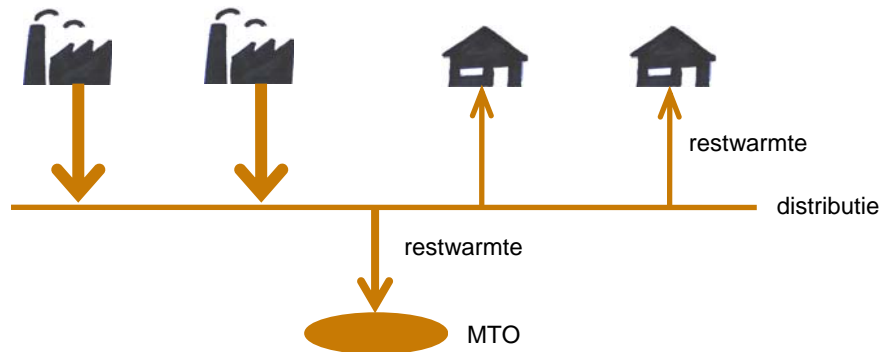
Voor woningbouw geldt vaak dat er geen energiebalans is: er is meer vraag naar warmte dan koude (veel huizen hebben nu bijvoorbeeld geen airco). Bij het realiseren van een WKO-installatie voor woningen moet daarom aanvullend warmte worden geladen om ten behoeve van een energiebalans van de ondergrond.

De toepassing van WKO zou verder verduurzaamd kunnen worden door direct te verwarmen. Bij directe verwarming zijn warmtepompen niet nodig om de grondtemperatuur op te hogen waardoor minder stroom verbruikt wordt bij warmtelevering. Een belangrijke voorwaarde om met WKO direct te kunnen verwarmen is dat restwarmte met een temperatuur van circa 45°C tijdens de zomer wordt opgeslagen in de bodem. In deze situatie spreekt men van midden temperatuur opslag (MTO).

In de industrie is veel restwarmte beschikbaar welke momenteel veelal wordt geloosd in de buitenlucht en in nabijgelegen oppervlaktewater. Het voordeel van industriële restwarmte is dat het op diverse temperatuurniveaus en veelal continu beschikbaar is. Door de combinatie met MTO kan de restwarmte optimaal benut worden om woningen te verwarmen. Naast industrie komen ook andere restwarmtebronnen in aanmerking, zoals gesloten kassen. MTO sluit goed aan bij het werkprogramma "Warmte op stoom" van het Ministerie van Economische Zaken waarin gestreefd wordt naar een verduurzaming van de warmte- en koudevoorziening in de woningbouw.

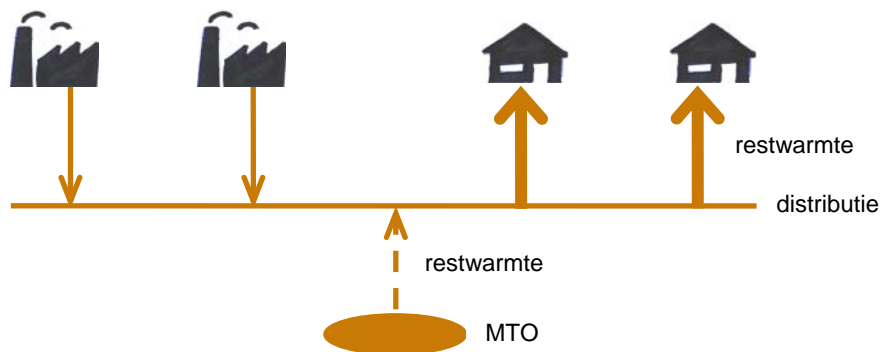
3.1 Conceptomschrijving MTO

Warmtelevering met restwarmte in combinatie met MTO wordt toegelicht aan de hand van industriële restwarmte. Het principe is schematisch weergegeven in figuur 3.1 en figuur 3.2. In de zomer wordt een deel van de industriële restwarmte geleverd aan de woningen om tapwater voor te verwarmen. Een deel van de restwarmte wordt opgeslagen in de bodem.



figuur 3.1 Schematische weergave restwarmte opslag

In de winter is de warmtevraag (ruimteverwarming en tapwaterbereiding) van de woningen groter. De woningen worden verwarmd met industriële restwarmte en met opgeslagen restwarmte. Voor een zo continu mogelijk afname van industriële restwarmte wordt de basislast geleverd door industriële restwarmte. Bij pieklevering wordt aanvullend warmte geleverd vanuit de MTO.



figuur 3.2 Schematische weergave restwarmtelevering

Om tapwater te verwarmen naar een temperatuur van 65°C is een additioneel systeem nodig. Een relatief duurzaam alternatief voor tapwaterbereiding is een warmtepompboiler in combinatie met een hot fill. Water wordt eerst voorverwarmd door de restwarmte. Aanvullend wordt het tapwater naverwarmd door de warmtepomp. De warmtepomp onttrekt warmte aan de restwarmte. Door de constante en relatief hoge temperatuur van de restwarmte kan de warmtepompboiler tapwater bereiden met een hoog rendement (hoge COP).

3.2 Case havenbedrijf Rotterdam

In de Rotterdamse haven is veel industrie gevestigd. In het verleden is onderzoek uitgevoerd naar de beschikbaarheid van restwarmte. Hierin is vooral aandacht besteed aan restwarmte boven de 100°C, waarvan 2.000 MW beschikbaar is in het hele havengebied. Voor midden temperatuuropslag zoals in paragraaf 3.1 beschreven, is met name restwarmte op een temperatuur van circa 45°C interessant. Hoewel restwarmte onder de 100°C niet of nauwelijks in beeld is gebracht, is het wel aannemelijk dat dit in ruime mate aanwezig is. Restwarmtebronnen zijn op veel locaties in Nederland beschikbaar. Indien deze bronnen in de nabijheid liggen van woningen is MTO mogelijk een haalbaar duurzaam concept.

Afnemers

De voorbeeldcase wordt uitgewerkt aan de hand van een geplande nieuwbouwwijk. In Maassluis worden in de nieuwbouwwijk “Het Balkon” de komende vijf jaar circa 1.000 woningen gerealiseerd. Het betreft zowel huur- als koopwoningen in het lage, midden en hogere segment en zowel eengezinswoningen als appartementen. De ligging van het project is weergegeven in figuur 3.3.

Aan de hand van kengetallen is een inschatting gemaakt van de warmtevraag. De kengetallen zijn bepaald aan de hand van een typische woning (referentiewoning Agentschap NL) met een EPC van 0,6. Bij het bepalen van de totale verwarmingsvermogen is gerekend met een gelijktijdigheid van 70% voor ruimteverwarming en een gelijktijdigheid van 100% (alle buffers worden gedurende de nacht opgeladen) voor tapwaterverwarming. Voor het bepalen van de totale warmtevraag is rekening gehouden met 10% energieverliezen in het distributienet. De resultaten staan in tabel 3.1.

tabel 3.1 **Inschatting warmtevraag nieuwbouwwijk “Het Balkon”**

parameter	kengetal		totaal	
vermogen ruimteverwarming	3,2	[kW _t /woning]	2.240	[kW _t]
vermogen tapwaterverwarming	3,2	[kW _t /woning]	3.200	[kW _t]
vraag ruimteverwarming	2,6	[MWh _t /woning]	2.889	[MWh _t]
vraag tapwaterverwarming	3,1	[MWh _t /woning]	3.444	[MWh _t]

Restwarmtebron

Bij onderzoeken naar restwarmtebronnen is vooral gekeken naar restwarmte boven de 100°C. Aangenomen wordt dat binnen een straal van 2 - 3 km van de woonwijk “Het Balkon” een geschikte restwarmtebron aanwezig is (zie figuur 3.3).

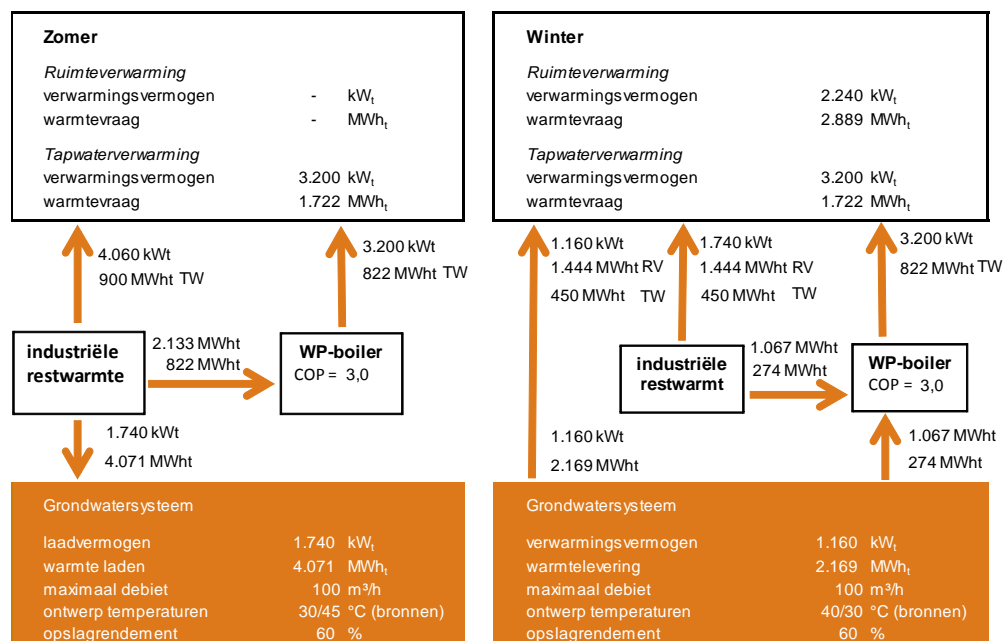


figuur 3.3 Ligging "Het Balkon" en zoekgebied restwarmte

3.3 Technisch

Energetische uitgangspunten en systeemconcept

De energetische uitgangspunten zijn aan de hand de conceptomschrijving (paragraaf 3.1 Conceptomschrijving MTO) en de case-omschrijving (paragraaf 3.2 Case Havenbedrijf Rotterdam) samengevat in een blokschema (zie figuur 3.4).



figuur 3.4 Energetische uitgangspunten en systeemconcept MTO

Zomer

In de zomerperiode is alleen vraag naar warmte voor tapwaterbereiding (TW). Tapwater wordt met behulp van industriële restwarmte eerst voorverwarmd van 10°C naar circa 45°C. Het opgewarmde tapwater wordt opgeslagen in een buffer. Bij een maximaal debiet van 100 m³/h van de aanvoerleiding van restwarmte en een temperatuurtraject van 10/45°C kan met industriële restwarmte maximaal 4.060 kWt aan vermogen geleverd worden. Het opgewarmde water wordt naverwarmd met de warmtepomp boilers (WP-boiler) tot een temperatuur van 65°C. Aan de verdamperzijde van de warmtepompboiler wordt industriële restwarmte toegevoerd.

In de zomer wordt ook restwarmte opgeslagen in de bodem voor gebruik in de winter. Bij een maximaal debiet van 100 m³/h en een temperatuurtraject van 30/45°C kan maximaal 1.740 kWt aan vermogen geleverd worden. Om in de winter voldoende warmte te kunnen leveren vanuit de bodem dient 4.071 MWht aan restwarmte te worden opgeslagen. Hierbij is rekening gehouden met het rendement van de opslag. Het opslagrendement hangt onder andere af van de diepte van de opslag en ligt tussen de 50 en 75%. In deze studie is gerekend met een opslagrendement van 60%.

Winter

Tapwaterverwarming in de winter is in grote lijnen hetzelfde als tapwaterverwarming in de zomer. Het verschil is dat warmte nu zowel industriële restwarmte (50%) als opgeslagen restwarmte (50%) wordt gebruikt.

Er wordt gestreefd naar een zo continu mogelijke afname van industriële restwarmte. De basislast voor verwarming wordt geleverd door industriële restwarmte. Wanneer de warmtevraag groot is, wordt opgeslagen restwarmte gebruikt om te kunnen voorzien in de piekvraag. In deze studie wordt uitgegaan dat 50% van de warmtevraag rechtsreeks wordt geleverd door industriële restwarmte en 50% met de opgeslagen restwarmte.

3.3.1 Hoofdcomponenten

Een korte toelichting van de hoofdcomponenten volgt. De dimensionering van de hoofdcomponenten is opgenomen in Tabel 3.2.

MTO

De MTO bestaat uit een 'lauwe bron' van circa 30°C en een warme bron van circa 45°C. Elke bron is voorzien van een bronpomp. De MTO wordt door een warmtewisselaar gekoppeld aan het distributienet.

Distributienet

Tussen de industriële restwarmtebron en de woonwijk "Het Balkon" loopt het hoofdnet. Het hoofdnet is voorzien van circulatiepompen. In de woonwijk vertakt het hoofdnet zich (wijkdistributie). De aanvoerleidingen zijn geïsoleerd en de retourleidingen zijn ongeïsoleerd.

Restwarmte aansluiting

De industriële restwarmtebron levert de benodigde restwarmte en wordt gekoppeld aan het distributienet door middel van een warmtewisselaar. Niet alle restwarmte zal gebruikt worden voor ruimteverwarming. Het wegkoelen van restwarmte met de conventionele installatie zal noodzakelijk blijven. Maar deze installatie kan wel kleiner vormgegeven of in ieder geval minder belast worden.

Woningaansluitingen

Alle woningen zijn gekoppeld aan het distributienet via een afgifteset. In de afgifteset zit onder andere een warmtewisselaar en een energiemeter.

tabel 3.2 Dimensionering en uitgangspunten hoofdcomponenten MTO

MTO		
aantal doubletten	[-]	1
maximaal debiet	[m ³ /h]	100
COP bronpomp	[-]	50
Distributie		
lengte hoofdleiding	[m]	2.500
lengte wijkdistributie per woning	[m]	15
maximaal debiet	[m ³ /h]	200
COP distributiepomp	[-]	75
Restwarmte aansluiting		
aantal restwarmte aansluitingen	[-]	1
maximaal debiet	[m ³ /h]	100
COP circulatiepomp	[-]	75
Woningaansluiting		
aantal aansluitingen	[-]	1.000
COP circulatiepomp	[-]	75

3.3.2 Referentietechnologiën

De conventionele methode voor verwarming maakt gebruik van gasketels en radiatoren. In de woningbouw worden doorgaans individuele ketels toegepast. De belangrijkste kengetallen hiervan zijn weergegeven in tabel 3.3.

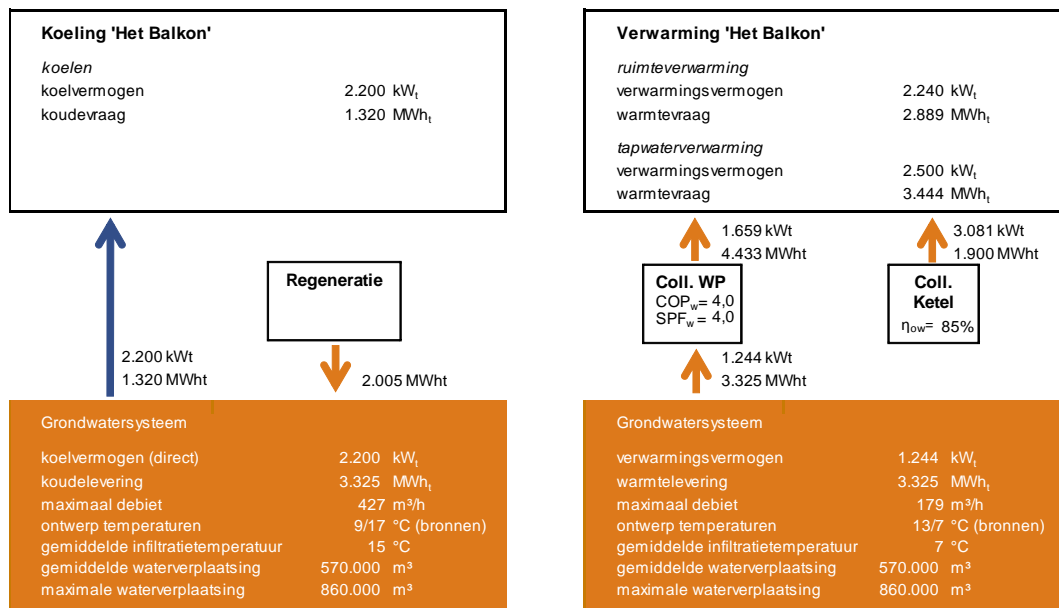
tabel 3.3 Kengetallen referentie

parameter	eenheid	waarde
rendement ketel ruimteverwarming (op bovenwaarde)	[-]	95%
rendement ketel tapwaterbereiding (op bovenwaarde)	[-]	62%

WKO

Midden temperatuuropslag wordt ook vergeleken met warmte- en koudeopslag. Bij WKO worden de woningen verwarmd en gekoeld. Voor warmtelevering wordt gebruik gemaakt van collectieve warmtepompen in combinatie met het grondwatersysteem en collectieve ketels die centraal staan opgesteld in de technische ruimte in de woonwijk. Tapwater wordt niet per woning opgeslagen in een buffervat maar rechtstreeks geleverd vanuit de collectieve installatie.

In deze situatie wordt gerekend met een benodigd vermogen van 25 kWt per woning en een gelijktijdigheid van 10% voor tapwaterverwarming. Woningen worden direct gekoeld met behulp van koud grondwater. Vanuit de technische ruimte wordt warm en koud water verder gedistribueerd naar alle woningen. De energetische uitgangspunten en het systeemconcept zijn samengevat in figuur 3.5. De belangrijkste uitgangspunten en dimensies van de hoofdcomponenten zijn samengevat in tabel 3.4.



figuur 3.5 Energetische uitgangspunten en systeemconcept KWO

tabel 3.4 Dimensionering en uitgangspunten hoofdcomponenten WKO

WKO		
aantal doubletten	[-]	4
maximaal debiet	[m ³ /h]	427
COP bronpomp	[-]	40
Distributie		
lengte wijkdistributie per woning	[m]	15
maximaal debiet	[m ³ /h]	425
COP distributiepomp	[-]	75
Woningaansluiting		
aantal aansluitingen	[-]	1.000
COP circulatiepomp	[-]	75

3.4 Financieel

Om inzicht te krijgen in zowel de investerings- als exploitatiekosten van alle varianten, zijn kostenramingen opgesteld. De in deze studie weergegeven bedragen zijn op haalbaarheidsniveau en exclusief BTW. De belangrijkste kengetallen voor het berekenen van de investeringskosten en exploitatiekosten zijn weergegeven in tabel 3.5 en tabel 3.6.

tabel 3.5 Financiële kengetallen investering

financiële kengetallen investering		
collectieve ketel	100	€/kW
individuele ketel (inclusief gasaansluiting)	3.000	€/woning
collectieve warmtepomp	200	€/kW _{cond}
WP-boiler	3.500	€/woning
distributienet uitpandig appartementen	400	€/app
distributienet uitpandig woningen	4.000	€/woning
distributienet inpandig appartementen (4-pijps)	1.600	€/app
hoofdleiding distributie	750	€/m
afleverset (2-pijps)	1.000	€/set
afleverset (4-pijps)	1.600	€/set

tabel 3.6 Financiële kengetallen exploitatie

financiële kengetallen exploitatie		
gas variabel (individueel)	0,48	€/m ³ gas
gas variabel (collectief)	0,46	€/m ³ gas
elektriciteit variabel (individueel)	0,18	€/kWh _e
elektriciteit variabel (collectief)	0,10	€/kWh _e
onderhoud & beheer ketels	3,5%	v/d aanneemsom
onderhoud & beheer gws, wp, regeneratie, afleversets	2,0%	v/d aanneemsom
onderhoud & beheer distributienet	1,0%	v/d aanneemsom

3.4.1 Investeringskosten

De geraamde investeringskosten van varianten zijn weergegeven in tabel 3.7.

tabel 3.7 Geraamde investeringskosten varianten

kostenpost		conventioneel	WKO	MTO
- gasgestookte collectieve ketels	€	0	308.000	0
- gasgestookte individuele ketels	€	3.000.000	0	0
- collectieve warmtepompen	€	0	332.000	0
- WP boiler	€	0	0	3.500.000
- grondwatersysteem	€	0	1.500.000	380.000
- regeneratievoorziening (opp. water)	€	0	125.000	0
- bouwkundige kosten TR (stelpost)	€	0	50.000	25.000
- hoofdleiding distributie restwarmte	€	0	0	1.875.000
- distributienet inpandig appartementen	€	0	800.000	800.000
- distributienet uitpandig	€	0	2.200.000	2.200.000
- koppeling restwarmte (stelpost)	€	0	0	50.000
- afleversets	€	0	1.600.000	1.000.000
- fiscaal voordeel (EIA: 11,2%) ¹⁾	-/- €	0	219.000	430.000
subtotaal	€	3.000.000	6.696.000	9.400.000
- vergunning Waterwet*	€	0	10.000	10.000
- ontwerp en advieskosten	€	p.m.	p.m.	p.m.
totaal	€	3.000.000	6.706.000	9.410.000

¹⁾ Het energieopslagsysteem inclusief regeneratiesysteem en warmtepompen kunnen in aanmerking komen voor de energie-investeringsaftrek (EIA). De subsidie heeft betrekking op de investeringskosten voor het energieopslagsysteem met bronnen, inclusief de regeling en de warmtewisselaar en eventuele warmtepompen of koeltoren die worden toegepast.

3.4.2 Exploitatiekosten

De geraamde jaarlijkse exploitatiekosten van varianten zijn weergegeven in tabel 3.8.

tabel 3.8 Geraamde jaarlijkse exploitatiekosten varianten

kostenpost	conventioneel	WKO	MTO
gasverbruik			
- gasgestookte collectieve ketels	€ 0	117.000	0
- gasgestookte individuele ketels	€ 362.700	0	0
elektriciteitsverbruik			
- collectieve warmtepompen	€ 0	115.000	0
- WP-boiler	€ 0	0	100.000
- grondwatersysteem	€ 0	17.000	9.000
- regeneratievoorziening (opp. water)	€ 0	2.800	0
- distributienet	€ 0	18.000	27.000
monitoring vergunning Waterwet	€ 0	3.700	10.000
onderhoud en beheer	€ 105.000	112.000	147.000
totaal	€ 467.700	385.500	293.000

3.4.3 Eenvoudige terugverdientijd

De eenvoudige terugverdientijd wordt berekend door het verschil in investeringskosten tussen twee varianten te delen door het verschil in exploitatiekosten. Bij het bepalen van de terugverdientijd wordt geen rekening gehouden met bijvoorbeeld prijsstijgingen en het financiële rendement. De eenvoudige terugverdientijd geeft op haalbaarheidsniveau aan of een variant financieel aantrekkelijk is of niet. Aan de hand van de berekende terugverdientijd kan besloten worden of in een later stadium de variant financieel in meer detail wordt uitgewerkt, bijvoorbeeld aan de hand van een netto contante waardeberekening. De terugverdientijd van MTO is berekend ten opzichte van beide referenties en zijn weergegeven in tabel 3.9.

tabel 3.9 Eenvoudige terugverdientijd MTO

	t.o.v. conventioneel	t.o.v. WKO
eenvoudige terugverdientijd	37 jaar	30 jaar

Uit de berekende terugverdientijden volgt dat bij de gehanteerde kengetallen en uitgangspunten het toepassen van MTO financieel weinig aantrekkelijk is. Dit is met name een gevolg van de hoge investeringskosten voor distributie en warmtepompboilers voor tapwaterbereiding.

Gevoeligheidsanalyses

De volgende gevoeligheidsanalyses zijn uitgevoerd:

- Nabijheid restwarmtebron: de afstand van de restwarmtebron tot de afnemers heeft een grote invloed op de totale investeringskosten. Gekeken is naar het effect op de terugverdientijd wanneer de restwarmtebron zich op een afstand van 1 km bevindt van de afnemers.

- Tapwaterbereiding: tapwater dient naverwarmd te worden tot een temperatuur van 65°C. In de uitgewerkte variant is vanuit het oogpunt van duurzaamheid gekozen om combiboilers toe te passen. Vanuit financieel oogpunt kan tapwater ook naverwarmd worden met gasketels.
- Combinatie: bij de combinatie bevindt de restwarmtebron zich op 1 km van de afnemers en wordt tapwater naverwarmd met behulp van gasketels.

De berekende terugverdiertijden zijn weergegeven in tabel 3.10. Uit de berekeningen volgt dat het van groot belang is dat de restwarmtebron zo dicht mogelijk bij de afnemers ligt. Ook is de wijze waarop tapwater bereid wordt mede bepalend voor de terugverdiertijd.

tabel 3.10 Gevoeligheidsanalyse eenvoudige terugverdiertijd MTO

	t.o.v. conventioneel	t.o.v. WKO
restwarmtebron op 1 km	29	15
gasketels	32	22
combinatie	25	10

3.5 Milieutechnisch

Naast de technische en financiële factoren zijn er ook op het gebied van milieu-impact voor- en nadelen te benoemen. Deze zijn vaak moeilijk in geld uit te drukken maar kunnen voor een opdrachtgever van groot belang zijn. Ten opzichte van de referentietechnologieën worden de volgende milieutechnische voordelen benoemd en daar waar mogelijk gekwantificeerd.

- + De lozing van restwarmte wordt beperkt waardoor er een mogelijke beperking van de warmtebelasting van de oppervlaktewateren plaatsvindt. Dit heeft een positieve invloed op de ecologie. Het is moeilijk te kwantificeren hoe groot deze invloed is. Voor de kwantificering hiervan is de locatie van belang. Voor deze case valt de impact tegen omdat het Rotterdamse havengebied weinig benedenstrooms gebied heeft dat kan profiteren van de koudere temperatuur. Rivieren hebben een natuurlijke koelcapaciteit die groter is naarmate de temperatuur van het water hoger is. Dit betekent dat de thermische belasting niet volledig doorwerkt in de uiteindelijke temperatuur van het water. Vaak is niet de warmte zelf het primaire probleem voor de waterkwaliteit, maar wel de verminderde zuurstofconcentratie in het water als gevolg daarvan.
- + Anderzijds zijn er mogelijk minder voorzieningen (koeltorens) nodig om te koelen. Dit is met name een financieel voordeel indien een deel van de bestaande koelvoorziening verkocht/ hergebruikt kan worden dan wel dat er bespaard kan worden op beheer- en onderhoudskosten. Omdat de opgepompte warmte direct gebruikt kan worden in de woningen is geen warmtepomp nodig om de temperatuur van het water voor ruimteverwarming verder te verhogen. Het vermijden van een warmtepomp levert relatief veel energiebesparing op.
- + Omdat de opgepompte warmte direct gebruikt kan worden in de woningen is geen warmtepomp nodig om de temperatuur van het water voor ruimteverwarming verder te verhogen. Het vermijden van een warmtepomp levert relatief veel energiebesparing op.

- + Door het hogere temperatuurverschil over het grondwater (15°C) wordt minder grondwater verpompt dan bij WKO. Energieopslagsystemen kunnen kleiner worden uitgevoerd en de thermische en hydraulische beïnvloedingsgebieden worden kleiner. 4000 MWh_{th} bij een temperatuurverschil van 15 graden komt overeen met een seizoensdebiet van 230.000 m³. Voor de WKO in de referentiesituatie is er een seizoensdebiet van 570.000 m³. De MTO leidt dan tot een reductie van 60% van de grondwaterverplaatsing t.o.v. de referentie met WKO.
- + MTO zal op grotere diepte aangelegd worden. Deze lagen zullen bij voorkeur fijner van korrelgrootte zijn (om opdrijven van de warme zone te beperken) en de kans dat deze lagen zout zijn is ook groter. Deze lagen zijn daarmee minder geschikt voor ander gebruik (drinkwater, spoelwater) en dus is de gebruikswaarde van dit water lager.
- + Op basis van berekening waarin naar gas- en elektraverbruik is gekeken, levert MTO bijna 65% reductie in CO₂ emissie ten opzichte van een situatie met individuele ketels. Ten opzichte van WKO bedraagt de CO₂-emissiereductie ca 60%. NB Het verschil tussen ketels en WKO is niet zo groot omdat bij WKO de huizen ook worden gekoeld. Bij de referentie met ketels is geen sprake van koeling.

Er worden ook nadelen van de MTO gevonden ten opzichte van de referentie, namelijk:

- Bij het gebruik van MTO is geen koeling van de woningen mogelijk. Dit is in de referentiesituatie met de WKO wel het geval. Koeling kan met name voor de projectontwikkelaar een verkoopargument zijn.
- Mogelijk heeft de verhoogde temperatuur effect op verkalking, bodemleven en aanwezige bodemverontreinigingen. In de andere werkpakketten wordt hiernaar onderzoek verricht. Resultaten van dit onderzoek dienen in een vervolgstadium meegenomen te worden.

3.6 Juridisch en organisatorisch

3.6.1 Relevante wetgeving

Juridische en organisatorische aspecten kunnen een grote impact hebben op de doorgang van een project. Veelal zijn wetten en regels geschreven vanuit de optiek van bestaande technologie. Voor deze nieuwe, innovatieve combinatie vormen de volgende, huidige wetten, regels en vergunningen aandachtspunten:

- Tot een diepte van maximaal 500m onder maaiveld, valt MTO (net als een WKO) onder het vergunningregime volgens de Waterwet (voorheen grondwaterwet). Aangezien alle provincies een energiebalans voor WKO eisen, zal voor MTO een uitzondering gemaakt moeten worden.
- Daarnaast is ook een beleidsregel van de provincies dat de injectietemperatuur onder de 25°C (of 30°C) moet blijven. Hiervoor zal ook een uitzondering gemaakt moeten worden. In het verleden zijn proefvergunningen afgegeven voor hoge temperatuur opslagsystemen (HTO) tot 80°C. Mede hierdoor wordt een vergunning voor MTO (onder voorwaarden) haalbaar geacht. (MTO is vergunningtechnisch hetzelfde als HTO, hoewel inhoudelijk wel verschil zal zijn bij de effecten).

- Een voordeel van MTO is dat de grootte van de hoeveelheid warmte, dat in de vergunning voor het lozen van warmte is opgenomen, kleiner kan worden of dat er minder tegen de randvoorwaarden aangelopen zal worden. Voor het lozen van warmte op oppervlaktewater is namelijk een vergunning volgens de Waterwet nodig (voorheen Wet verontreiniging oppervlaktewateren). In het algemeen geldt dat de lozing binnen een vastgestelde pluim een temperatuurverhoging van 3 graden mag betekenen met een maximum tot 27 graden. De regels hiervoor worden (net als bij WKO) per geval bepaald. Bij de vergunningverlening is dus van belang of er nog meer lozingen in de omgeving zijn die de watertemperatuur kunnen verhogen. Het verminderen van een warmtelozing biedt andere partijen meer ruimte voor lozingen of het betekent een kleinere warmtebelasting op het oppervlaktewater (wat met name in de zomer kwaliteitsverbetering kan betekenen).
- Voor spuiwater is toestemming nodig van de oppervlaktewaterbeheerder (lozing op oppervlaktewater) of RWZI-beheerder (lozing op riool) Het bepalen van de afvoerroute en de mogelijkheid hiervoor toestemming te krijgen, hangt af van de kwaliteit van het grondwater en de praktische mogelijkheden (kan het riool de lozing kwantitatief aan of is er oppervlaktewater aanwezig?)
- Om te voorkomen dat een vergunning volgens de Waterwet nodig is, zou gekozen kunnen worden om de MTO dieper dan 500 meter aan te leggen. Dan valt de MTO onder de Mijnbouwwet (bevoegd gezag: het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie). Dit vereist uiteraard wel meer investering in de bronnen.
- Bij warmtelevering is onder voorwaarden het Niet Meer Dan Anders (NMDA) principe van toepassing. Dit betekent in principe dat gebonden afnemers van warmte als alternatief voor bijvoorbeeld gas niet meer hoeven te betalen voor een eenheid aan warmte. Omdat de verhouding tussen de vaste kosten en de variabele kosten bij een alternatief er anders uit zullen zien, moet er nagedacht worden over een goede verdeling tussen de kosten en baten over de partijen en over de investering- en exploitatieperiode. De energie-exploitant zal op basis hiervan een business-case rond moeten krijgen.
- Indien werken van Rijkswaterstaat gekruist worden door een leiding dan moet hiervoor toestemming gevraagd worden. Indien het om een (primaire) waterkering gaat moeten de hiervoor benodigde werkzaamheden buiten het stormseizoen worden uitgevoerd.

3.6.2 Organisatorisch

Vanuit organisatorisch perspectief zijn er meerdere belanghebbenden met verschillende belangen. Over het algemeen geldt dat bij een toename van het aantal belanghebbenden de complexiteit van een project toeneemt. Voor dit concept zijn de volgende partijen geïdentificeerd:

- Restwarmteleverancier: deze zal mogelijk een vergoeding willen vragen voor de levering van restwarmte en een eis stellen aan de maximale retourtemperatuur. De restwarmteleverancier wil dat de eigen productieprocessen (de core-business) zo min mogelijk belemmerd worden door de levering van dit "bijproduct". In ruil voor aanpassingen of garanties voor leverantie kan deze partij geld gaan vragen voor de levering van het product warmte. Daar waar deze partij normaliter gratis kan lozen of een heffing voor lozing moet betalen, kan dit als een extra inkomstenbron gezien gaan worden.

- Eindgebruikers: deze maken gebruik van de restwarmte en hebben belang bij zo groot mogelijke leveringszekerheid en een lage prijs voor warmte. Restwarmte is vaak een resultante van een bedrijfsproces waarbij de continuïteit van het proces de primaire aandacht heeft van de leverancier. Daar waar de belangen van de leverancier en de eindgebruiker strijdig zijn, zullen door de exploitant afspraken gemaakt moeten worden over leveringsgaranties of back-upsystemen.
- Projectontwikkelaar: is initiator van bouwproject en moet als zodanig ook keuzes maken ten aanzien van energie invulling. Deze partij heeft geen inherent belang bij een systeem dat aanvullende initiële investeringen vereist. De hogere initiële kosten zullen verwerkt moeten worden in de verkoopprijs en daarmee in beginsel negatief beoordeeld worden. Alleen het imago van de wijk en mogelijke lagere energielasten in de toekomst zullen positieve verkoopargumenten kunnen zijn.
- Energie-exploitant: er zal een organisatie noodzakelijk zijn die tussen restwarmteleverancier en eindgebruiker zit. Deze exploitant maakt afspraken met de restwarmteleverancier. Daarnaast is de exploitant bij problemen bij de leverancier aanspreekpunt voor de eindgebruikers. Exploitant en projectontwikkelaar kunnen dezelfde partij zijn (dit laatste is niet echt waarschijnlijk: na oplevering zal de rol van de ontwikkelaar snel verdwenen zijn).
- Provincie: de provincie zal toestemming moeten verlenen om hogere temperaturen op te slaan in de bodem (zie ook Relevante wetgeving) RWS/Waterschappen: zij dienen ontheffing te geven indien leidingen waterstaatswerken (waterkeringen) doorkruisen of op het grondgebied van hen (Nieuwe Waterweg) terecht komen.
- Gasleverancier: indien de eigenaar van het WKO systeem niet dezelfde is als diegene die in het afzetgebied aardgas levert, kan de aardgasleverancier schadevergoeding eisen. Dit zal veelal niet het geval zijn.

3.7 Potentieel in NL

Het potentieel in Nederland voor middentemperatuur restwarmte is afhankelijk van zowel het aanbod als ook de vraag.

Het ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie heeft een Warmtekaart van Nederland ontwikkeld. De Warmtekaart geeft inzicht in de warmtevraag en –aanbod. De Warmtekaart maakt de grootte en de ligging van de vraag en het aanbod inzichtelijk. Het kan zodoende gebruikt worden om van locaties na te gaan of een combinatie mogelijk is tussen vraag en aanbod.

Ten aanzien van het aanbod van midden temperatuur restwarmte is slechts beperkt informatie voorhanden in de literatuur. In de literatuur wordt vooral veel aandacht besteed aan hoge temperatuur restwarmte (>100°C).

Voor hoge temperatuur restwarmte wordt voor de regio Rijnmond alleen al een schatting gemaakt van ruim 1000 MW eenvoudig uit te koppelen restwarmte en ca. 2000MW totaal beschikbare restwarmte. Ook lichte industrie produceert restwarmte; deze is door Nederland veel voor handen. De verwachting is dat het aanbod aan midden temperatuur restwarmte minimaal zo groot, zo niet (veel) groter is dan het aanbod aan hoge temperatuur restwarmte. In Nederland lijkt daarom de potentie voor middentemperatuur restwarmte zeer groot maar dit zou in een vervolgstudie verder moeten worden uitgezocht.

Ten aanzien van de vraag kan gesteld worden dat om deze lagere temperaturen effectief te benutten, nieuwbouw met lage temperatuur verwarmingssysteem noodzakelijk is. Jaarlijks worden ca 70.000 – 80.000 woning opgeleverd. Op basis van www.nieuwbouwnederland.nl lijkt deze woningbouw door geheel Nederland plaats te vinden. Wel lijkt er meer gebouwd te worden in en nabij de Randstad.

Het uiteindelijke financiële rendement zal afhangen diverse factoren zoals schaalgrootte, afstand tussen de bron en afnemer en het systeemconcept. In de financiële analyse is op grote lijnen het effect op de financiële haalbaarheid weergegeven.

3.8 Pilotprojecten

De volgende stap in de ontwikkeling van het combinatieconcept is het uitvoeren van pilotprojecten. In pilotprojecten wordt praktijkervaring opgedaan. Deze ervaring kan gebruikt worden om combinatieconcept marktrijp te maken. Tijdens het participanten overleg van 15 maart 2011 is een mogelijke pilotproject genoemd dat past binnen dit concept, te weten:

- Circa tien telers willen zich gaan vestigen in het nieuw te ontwikkelen glastuinbouwgebied PrimAviera langs de A4 bij Schiphol. Hier wordt gekeken naar (hoge temperatuur) warmte-koude opslag om aan een deel van de energievraag te voldoen. In de directe omgeving van deze tuinbouwlocatie bevindt zich een datacenter met een warmte overschot. WKO zou gebruikt kunnen worden om warmtevraag en –aanbod in de tijd op elkaar af te stemmen.

Geadviseerd wordt om de mogelijkheden voor het genoemde pilotproject in een vervolgstudie verder uit te zoeken.

4 Combinatieconcept 2: gietwaterbereiding bij kassen

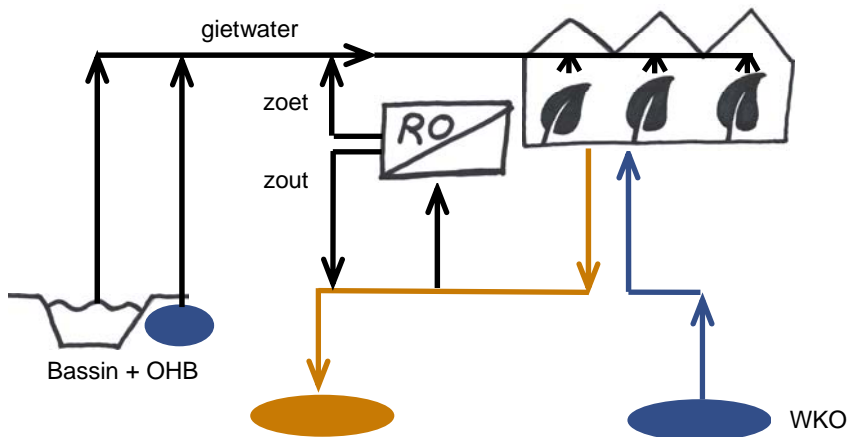
Bij kassen wordt veel gietwater verbruikt wat noodzakelijk is voor het kweken van allerlei gewassen. Voor een belangrijk deel wordt hierbij gebruik gemaakt van hemelwater. Opgevangen hemelwater wordt opgeslagen in hemelwaterbassins. In periodes met wateroverschot wordt hemelwater ook opgeslagen in ondergrondse hemelwaterbassins (OHB).

Hemelwater is ontoereikend om te kunnen voorzien in de totale gietwatervraag. Aanvullend wordt grondwater of leidingwater gebruikt. Bij grondwatergebruik wordt in veel gevallen brak of zout grondwater opgepompt. Het grondwater wordt gezuiverd met behulp van een omgekeerde osmose (RO) installatie waarbij een deel zoet water en een deel zout water ontstaat.

WKO wordt in toenemende mate in kassen toegepast. Door WKO met RO te combineren zijn geen aparte bronnen meer nodig voor RO, wat een financieel voordeel oplevert. De Europese Kaderrichtlijn Water verbiedt een verkleining van de zoete grondwaterlichamen tenzij dit een groot belang dient. Voor de kassen kan dit in veel gevallen betekenen dat leidingwater gebruikt moet worden om de gietwatervraag aan te vullen. Door WKO te combineren met RO kan de hoeveelheid benodigd leidingwater sterk beperkt worden en hoeft geen extra capaciteit voor de aanvoer van leidingwater te worden aangelegd. Hierdoor worden de zoetwaterreserves elders in het land minder aangesproken en treedt verzilting ter plaatse van de drinkwaterwinning minder snel op.

4.1 Conceptomschrijving

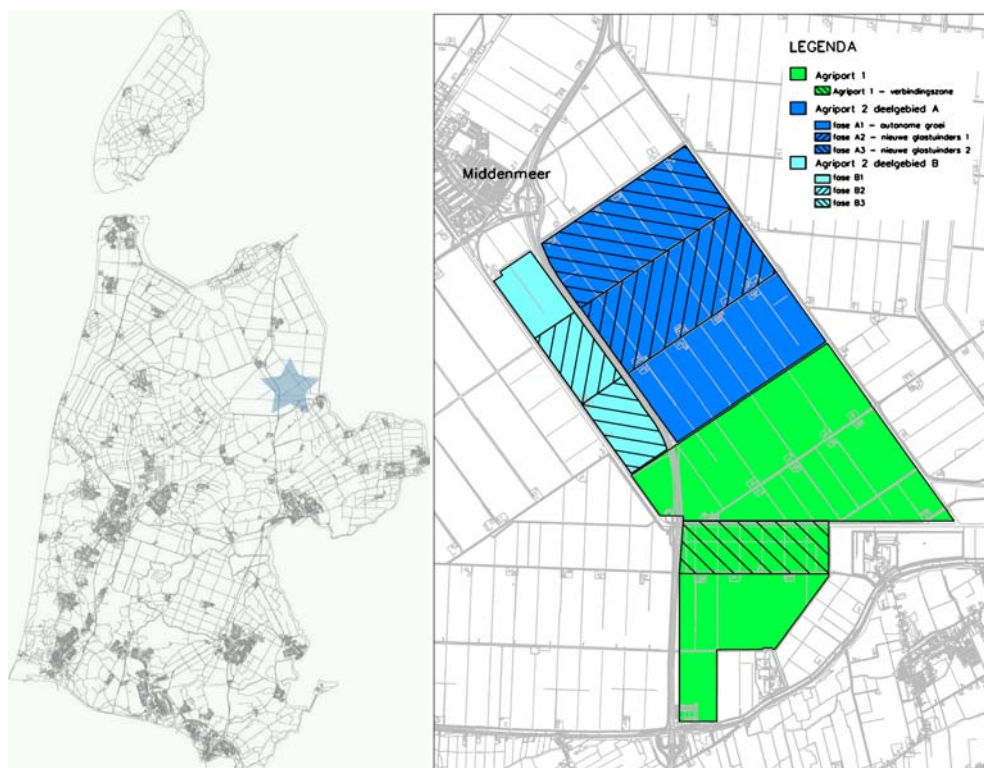
Een combinatie van WKO met gietwaterbereiding door middel van omgekeerde osmose (RO) is schematisch weergegeven in Figuur 4.1. Grondwater wordt gebruikt om koude (of warmte) te leveren. Gietwater wordt voor een deel vanuit de bassins en ondergrondse hemelwaterberging (OHB) geleverd. Wanneer dit ontoereikend is voor begieting wordt een kleine deelstroom van het grondwater afgetapt en via RO omgezet naar een deel zoet water en een deel zout water. Het zoete water wordt gebruikt als gietwater. Het zoute water wordt weer gemengd met de hoofdstroom grondwater waarna het geïnfiltreerd wordt in de bodem.



figuur 4.1 Schematische weergave WKO met gietwaterbereiding

4.2 Case Agriport A7

In de Wieringermeerpolder wordt Agriport A7 ontwikkeld, een projectlocatie voor groot-schalige glastuinbouw en een bedrijventerrein voor agribusiness en logistiek. Het totale gebied heeft een bruto oppervlakte van 1.170 hectare, waarvan 840 hectare netto zal worden bebouwd met kassen. In 2006 is gestart met de realisatie van de eerste fase van het glastuinbouwgebied, Agriport 1. Inmiddels is ruim 200 hectare kas gerealiseerd.



figuur 4.2 Ligging Agriport A7

Voor het glastuinbouwgebied is de energievraag en de gietwatervraag berekend en is bepaald welk deel hiervan vanuit de ondergrond geleverd moet worden. De case wordt uitgewerkt voor een deelgebied van circa 10 hectare. Onderstaande tabellen geven een overzicht van de gehanteerde uitgangspunten.

tabel 4.1 Samenvatting uitgangspunten WKO

parameter	winter	zomer
maximale waterverplaatsing	1,3 miljoen m ³	1,2 miljoen m ³
gemiddelde waterverplaatsing	1,0 miljoen m ³	0,9 miljoen m ³
maximaal debiet	400 m ³ /uur	400 m ³ /uur
maximaal debiet per doublet	300 m ³ /uur	

tabel 4.2 Uitgangspunten RO en OHB

	RO	OHB
onttrekkingscapaciteit hele gebied [m ³ /h]	42*	27,7
maximale totale onttrekking hele gebied [m ³ /jaar]	42.000*	23.184
maximale totale infiltratie hele gebied [m ³ /jaar]	21.000	31.500

* Van de onttrokken hoeveelheid wordt 50% geleverd als gietwater en de overige 50% wordt weer teruggebracht in de bodem.

4.3 Technische uitwerking

4.3.1 Hoofdcomponenten

Een korte toelichting van de hoofdcomponenten volgt. De dimensionering en uitgangspunten van de hoofdcomponenten zijn opgenomen in tabel 4.3.

WKO

De WKO bestaat uit koude bronnen en warme bronnen waarmee de kassen van warmte (in combinatie met warmtepompen) en koude worden voorzien. Elke bron is voorzien van een bronpomp. De WKO wordt door een warmtewisselaar gekoppeld aan het distributienet.

In de zomer levert de WKO, nadat de kassen gekoeld zijn met behulp van het koude grondwater, een deel van het gietwater vanuit de koude bronnen.

Distributienet

Via het distributienet zijn alle kassen gekoppeld aan de WKO. Het distributienet is voorzien van distributiepompen en bestaat uit een tweepijpsnet (aanvoer en retour). Uitgangspunten zijn dat bronwarmte en -koude naar de kassen wordt gedistribueerd en dat elk kassen(complex) is voorzien van eigen warmtepompen. Hierdoor hoeft het distributienet niet geïsoleerd te worden doordat het temperatuurverschil ten opzichte van de natuurlijke grondwatertemperatuur laag is.

Hemelwaterberging

Hemelwater wordt voor een deel in bassins opgeslagen en voor een deel in de ondergrond. Zowel bij de referentie situatie als bij de combinatie met WKO wordt hemelwaterberging toegepast. In de onderlinge vergelijking wordt hemelwaterberging niet meegenomen.

Omgekeerde osmose

Om grondwater geschikt te maken als gietwater wordt een omgekeerde osmose installatie toegepast. Een deel van het onttrokken grondwater wordt, nadat het grondwater is gebruikt om de kassen te koelen, door een filter geperst. Hierbij ontstaat een deelstroom zoet water en een deelstroom zout water. Het zoete water wordt gebruikt als gietwater en het zoute water wordt geïnfiltreerd in de warme bronnen.

tabel 4.3 Dimensionering en uitgangspunten hoofdcomponenten

hoofdcomponent	eenheid	winter	zomer
WKO			
maximaal debiet	[m ³ /h]	400	
aantal doubletten	[-]	2	
totaal vermogen bronpompen	[kW]	90	
gemiddelde onttrekking	[m ³ /a]	1.000.000	900.000
gemiddelde infiltratie	[m ³ /a]	1.000.000	879.000
distributienet			
lengte distributienet	[m]	250	
maximaal debiet	[m ³ /h]	400	
vermogen distributiepomp	[kW]	45	
omgekeerde osmose			
elektriciteitsverbruik	[kW _e /m ³ zoet water]	1,0	
gemiddelde grondwatertoevoer	[m ³ /a]	-	42.000
gemiddelde zoetwaterproductie	[m ³ /a]	-	21.000
gemiddelde zoutwaterproductie	[m ³ /a]	-	21.000
draaiuren	[h]	-	2.000
capaciteit	[m ³ /dag]	-	250

4.3.2 Verzilting

Doordat een deel van het grondwater als gietwater wordt verbruikt, zal het chloridegehalte van het geïnfiltreerde water toenemen. Op de projectlocatie worden op de diepte tussen 100 en 260 meter onder maaiveld chloridegehalten gevonden tussen 3.000 en 11.000 mg/l, waarbij het chloridegehalte toeneemt met de diepte. In tabel 4.4 is het gemiddelde, geïnfiltreerde chloridegehalte bepaald op diverse momenten. Bij de berekeningen is op vereenvoudigde wijze het effect van de grondwaterstroming meegenomen. Na 40 jaar ontstaat een stabiele situatie waarin het chloridegehalte van het geïnfiltreerde grondwater niet verder toeneemt.

tabel 4.4 Effect van verzilting bij infiltratie

jaar	gem. chloridegehalte [mg/l]	toename chloridegehalte t.o.v. natuurlijk chloridegehalte
0	7.000	-
1	7.167	2%
10	7.925	13%
20	8.126	16%
30	8.169	17%
40	8.179	17%

4.3.3 Referentietechnologie

In de referentiesituatie wordt voor de gietwatervoorziening zoveel mogelijk gebruik gemaakt van hemelwater in combinatie met waterbassins en OHB. De RO installaties worden vervangen door een aansluiting op het drinkwaternet. Voor de warmte- en koudelevering wordt gebruik gemaakt van WKO. De belangrijkste uitgangspunten en hoofddimensies van de hoofdcomponenten zijn opgenomen in tabel 4.5.

Merk op dat het WKO systeem in de referentievariant nagenoeg gelijk is aan de WKO in de combinatievariant. Het enige verschil is dat bij de combinatievariant minder water in de zomer wordt geïnfilteerd als gevolg van grondwaterverbruik bij begieting. Energetisch en kostentechnisch scoort de WKO in beide varianten gelijk, waardoor de WKO bij een onderlinge vergelijking buiten beschouwing kan worden gelaten. Bij een onderlinge vergelijking wordt alleen gekeken naar de bron voor de RO.

tabel 4.5 Dimensionering en uitgangspunten hoofdcomponenten referentie

hoofdcomponent	eenheid	winter	zomer
WKO			
maximaal debiet	[m ³ /h]	400	
aantal doubletten	[-]	2	
totaal vermogen bronpompen	[kW]	90	
gemiddelde onttrekking	[m ³ /a]	1.000.000	900.000
gemiddelde infiltratie	[m ³ /a]	1.000.000	900.000
distributienet			
lengte distributienet	[m]	250	
maximaal debiet	[m ³ /h]	400	
vermogen distributiepomp	[kW]	45	
waterleiding			
maximaal debiet	[m ³ /uur]	42	
jaarverbruik	[m ³ /jaar]	21.000	

4.4 Financieel

Om inzicht te krijgen in zowel de investerings- als exploitatiekosten van beide varianten, zijn kostenramingen opgesteld. De belangrijkste kengetallen (excl. BTW) voor het berekenen van de investeringskosten en exploitatiekosten zijn weergegeven in tabel 4.6 en tabel 4.7.

tabel 4.6 Financiële kengetallen investering

financiële kengetallen investering		
RO installatie	450	€/m ³ /dag

tabel 4.7 Financiële kengetallen exploitatie

financiële kengetallen exploitatie		
elektriciteit variabel	0,10	€/kWh _e
onderhoud & beheer RO	3,0%	v/d aannneemsom
vastrecht drinkwater	36,68	€/jaar
capaciteitstarief drinkwater (10 m ³ /h)	1.899	€/jaar
Drinkwatertarief	1,15	€/m ³
BOL (belasting op leidingwater)	0,16	€/m ³
grondwaterbelasting	0,20	€/m ³

4.4.1 Investeringskosten

De geraamde investeringskosten van varianten zijn weergegeven in tabel 4.8. Hierbij is alleen gekeken naar de meerinvesteringen die noodzakelijk zijn voor de bereiding van gietwater.

tabel 4.8 Geraamde meerkosten investering gietwaterbereiding

kostenpost		referentie	WKO
RO installatie	€	0	112.500
Totaal	€	0	112.500

Exploitatiekosten

De geraamde jaarlijkse exploitatiekosten zijn weergegeven in tabel 4.9. Hierbij is alleen gekeken naar de meerkosten die noodzakelijk zijn voor de bereiding van gietwater.

tabel 4.9 Geraamde jaarlijkse meerkosten exploitatie gietwaterbereiding

kostenpost		referentie	WKO
elektriciteit	€	0	2.200
vastrecht drinkwater	€	40	0
capaciteitstarief drinkwater (10 m ³ /h)	€	1.900	0
drinkwater	€	24.000	0
onderhoud en beheer	€	0	3.000
BOL	€	3.300	0
grondwaterbelasting	€	0	4.100
totaal	€	29.240	9.300

4.4.2 Terugverdientijd

De terugverdientijd bedraagt bij de gehanteerde kengetallen circa 6 jaar. Dit valt ruim binnen de technische levensduur van de RO installatie (15 jaar). Financieel gezien is de combinatie van WKO met een RO installatie voor gietwaterbereiding een interessante optie.

4.5 Milieutechnisch

Net als in de voorgaande combinatie is gekeken naar de milieutechnische voor en nadelen Ten opzichte van de referentietechnologie (standaard WKO) worden de volgende milieutechnische voordelen benoemd en daar waar mogelijk gekwantificeerd:

- + Er wordt geen hoogwaardig drinkwater gebruikt voor de begieting van gewassen. In de land- en tuinbouwsector werd in 2008 ca. 47 miljoen m³ drinkwater gebruikt. Het gebruik van WKO in combinatie met reverse osmosis kan daarmee een aanzienlijke besparing in drinkwaterverbruik opleveren.
- + Omdat er minder drinkwater gebruikt wordt, kan ook volstaan worden met een kleinere diameter drinkwaterleiding. Dit is alleen een voordeel indien er speciaal een drinkwaterleiding aangelegd moet worden. Als dit niet het geval is, neemt alleen de stroomsnelheid in de (reeds aangelegde) leiding af. Dit levert een (verwaarloosbare) beperking in pompenergie op.
- + Verder wordt er minder drinkwater verbruikt waardoor er bespaard kan worden op het energieverbruik bij zuivering.
- + Behoud van zoetwatervoorraad (mits zoet grondwater wordt gebruikt voor drinkwater). Drinkwater wordt van strategisch belang in de toekomst.

Ook zijn er negatieve aspecten ten opzichte van de referentietechnologie. Deze zijn op hoofdlijnen:

- Omdat er brijn wordt geïnjecteerd, ontstaat er een verslechtering van de grondwaterkwaliteit. In de casus wordt uitgegaan van een verhoging van de zoutconcentratie van gemiddeld 7000 mg/l naar 8179 mg/l. De beoordeling van deze kwaliteitsverandering zal waarschijnlijk gebaseerd worden op de gebruikswaarde van dit grondwater. Er zijn maar weinig toepassingsmogelijkheden voor dit grondwater, dus vanuit gebruikswaarde is de verwachting dat de impact laag zal zijn.
- Er is geen volume balans en dus een netto onttrekking. Ook is er een energieonbalans. In de vergunning zal dit expliciet bepaald moeten worden en een afweging gemaakt worden of deze onttrekking negatieve effecten met zich mee zal brengen. De onbalans lijkt ten opzichte van het de totale systeemgrootte geringe. Daarnaast zal ook voor het spuien (onderhoud van de bronnen) een ordegrrootte dergelijke hoeveelheid onttrokken (kunnen) worden.
- Normaliter wordt grondwater voor gietwaterbereiding uit het 1e watervoerende pakket gewonnen. Indien brijn injectie wordt toegepast zal, gelet op het huidige ontheffingsbeleid, de injectie in het 2e watervoerende pakket plaats moeten vinden. Omdat bij WKO, injectie en onttrekking in hetzelfde pakket moet plaatsvinden, zal het gehele WKO systeem in het 2e watervoerend pakket aangebracht moeten worden. Dit betekent dat het water dat wordt gewonnen een hoger zoutgehalte heeft dan anders het geval zou zijn. Hiervoor is meer energie voor het reverse osmosis proces nodig.

Het is afhankelijk van de omstandigheden bij de drinkwaterwinning en ter plaatse van de kassen of een onttrekking leidt tot meer of minder verdroging van de natuur. Grondwateronttrekkingen kunnen leiden tot verdroging doordat minder kwel in natuurgebieden terecht komt. Het is niet op de voorhand te stellen of centrale productie of juist lokale onttrekkingen hier positief op scoren.

4.6 Juridisch en organisatorisch

4.6.1 Relevante wetgeving

Juridische en organisatorische aspecten kunnen een grote impact hebben op de doorgang van een project. Veelal zijn wetten en regels geschreven vanuit de optiek van bestaande technologie. Voor deze nieuwe, innovatieve combinatie kunnen de volgende huidige wetten, regels en vergunningen knelpunten opleveren.

- De Kaderrichtlijn Water: Deze Europese richtlijn is sinds december 2000 van kracht. De belangrijkste bepaling voor deze casus is de doelstelling dat zoete grondwaterlichamen niet mogen krimpen. Het niet laten toenemen van de chlorideconcentratie is een onderdeel van de kwantitatieve doelstelling (minder zoet grondwater). De KRW gaat echter over het schaalniveau van een heel grondwaterlichaam, waarbij een incidentele verzilting beoordeeld zal moeten worden op de bijdrage aan de vermindering van de zoetwatervoorraad van dit grondwaterlichaam.
- Een verslechtering van de grondwaterkwaliteit is in principe niet toegestaan (tenzij er echt zwaarwegende belangen spelen of maatregelen onredelijk zijn). Er zijn nu geen gegevens over kwaliteitsverandering door RO op andere parameters beschreven.
- Voor WKO en grondwateronttrekkingen zijn (gecombineerde) vergunningen volgens de Waterwet vereist. Het infiltreren van grondwater zonder het doel dit weer te onttrekken, valt onder het Lozingenbesluit Bodem. Echter bij de grondwateronttrekkingsvergunning zal het infiltreren meegenomen worden in de beoordeling of de onttrekking toegestaan kan worden. Op dit moment zijn de provincies bevoegd gezag ten aanzien van de brijnlozingen. De provincie Zuid-Holland heeft een interimbeleid vastgesteld voor brijnlozingen dat afloopt in 2013. Dit beleid houdt in dat brijnlozingen worden gelegaliseerd door het verlenen van ontheffingen en vergunningen. Na 2013 vindt beoordeling van de aanvaardbaarheid van brijnlozingen aan het landelijk geldende beleid plaats.

4.6.2 Organisatorisch

Vanuit organisatorisch oogpunt heeft een collectief systeem als grote voordeel dat het systeem optimaal gerealiseerd kan worden (men hoeft geen rekening te houden met plaatsen van putten op het eigen terrein, etc.). Hierdoor wordt interferentie ook tot een minimum beperkt. Echter om een en ander vooraf af te stemmen, is vaak ingewikkeld en tijdrovend. Vaak levert een collectief systeem allerlei contractuele hindernissen op met betrekking tot regels en verplichtingen (en straffen) waar gebruikers zich aan moeten houden. In dit specifieke geval zal dit opgelost worden door ontwikkelaar Agriport.

4.6.3 Stakeholders en belangen

Voor dit concept zijn de volgende stakeholders geïdentificeerd.

- Agriport: Agriport is de projectontwikkelaar van dit nieuwe glastuinbouwgebied. Als projectontwikkelaar zal er een druk liggen om zo snel mogelijk afnemers/ eindgebruikers te vinden voor de (aangekochte) grond om hiermee initiële investeringen zo snel mogelijk af te dekken. Hiervoor zal Agriport een zo gunstig mogelijk vestigingsklimaat voor de eindgebruiker proberen te waarborgen. Wat een gunstig vestigingsklimaat inhoudt is afhankelijk van de wensen van de eindgebruiker. Veelal liggen hier financiële prikkels aan ten grondslag (lees: goedkope grond en nutsvoorzieningen).

- Eindgebruikers: in dit geval zijn dit glastuinbouwbedrijven die zich in dit gebied willen vestigen. 'Goedkope utilities' vormen een van de factoren voor een mogelijk gunstig vestigingsklimaat.
- Drinkwaterbedrijf: deze wil haar utilities optimaal benutten.
- Provincie: gezien de grote onttrekkingen, de water- en energieonbalans en het verslechteren van de grondwaterkwaliteit, zal de provincie voor deze zaken toestemming moeten geven in de vorm van een Waterwetvergunning en een ontheffing in het kader van het Lozingenbesluit Bodem. Het verstrekken van deze vergunning en ontheffing zal gebaseerd zijn op het beleidsuitgangspunt van het bieden van een gunstig vestigingsklimaat en het milieubeleid (beide ook doelstellingen van de provincie).

4.7 Potentieel in NL

Het potentieel in Nederland is vermoedelijk groot. Er zijn veel glastuingebieden in Nederland. Brakke/zoute grondwaterlichamen zijn aanwezig in heel west Nederland.

Om iets te zeggen over het potentieel van dit concept is het tuinbouw areaal in Nederland van belang. Volgens tuinbouw.nl is de grootte van het tuinbouw areaal al enige jaren stabiel op ca 10.000ha. Het aantal glastuinbouwbedrijven bedraagt circa 30.000. In principe is deze case vervolgens op elk (tuinbouw)bedrijf toe te passen waar warmte en/of koude en zoetwater nodig is. Dit zal het merendeel van het totale tuinbouw areaal zijn. Er kan daarom gesteld worden dat het potentieel voor deze case erg groot is.

Om een idee te geven hoe groot het potentieel is, hieronder een citaat uit een advies van de Technische Commissie Bodem: *Zuid-Holland is de provincie met het grootste aantal glastuinbouwbedrijven. In 2009 waren er 27521 bedrijven. Na Zuid-Holland volgen de provincies Noord-Brabant en Noord-Holland met respectievelijk 882 en 808 bedrijven. Van de 2752 bedrijven in Zuid-Holland hebben in totaal circa 400 bedrijven brijnlozingen gemeld bij de provincie. In het onderzoek naar alternatieven voor brijn in Zuid-Holland, uitgevoerd door Agrimaco, wordt voor de gebieden Westland, Oostland en Voorne-Putten samen uitgegaan van een hoeveelheid brijn die wordt geloosd van circa 6,9 miljoen m³ per jaar.*

Op basis van bovenstaande mogen we aannemen dat het potentieel voor deze combinatie groot is voor Nederland.

4.8 Pilotprojecten

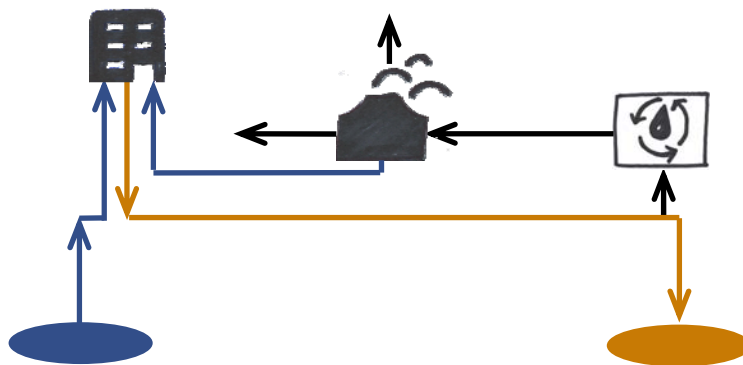
Tijdens het participantenoverleg van 15 maart 2011, zijn geen pilotprojecten in dit kader geïdentificeerd. De potentie van de combinatie is groot. Geadviseerd wordt om in een vervolgstudie te zoeken naar mogelijke pilotprojecten in het westen van Nederland, waar veel tuinbouwgebieden liggen en waar veel brakke/zoute grondwaterlichamen liggen. Glastuinbouwgebieden die onder andere in aanmerking komen zijn Agriport en het Westland.

5 Combinatieconcept 3: WKO en proceswater

Een goed voorbeeld waarbij proceswater verbruikt wordt is bij koeling met koeltorens. In een koeltoren onttrekt verdampend water (suppletiewater) warmte aan een processtroom waardoor de processtroom afkoelt. Dankzij de hoge verdampingswarmte van water hebben koeltorens een hoge koelcapaciteit. Het nadeel is dat voor het koelproces water verbruikt wordt. In veel gevallen wordt drinkwater gebruikt. De kosten voor drinkwater zijn relatief hoog. Daarnaast is het vanuit duurzaamheidsoogpunt niet wenselijk hoogwaardig drinkwater te verbruiken voor koeling. Als alternatief voor drinkwater kan in combinatie met WKO ook grondwater gebruikt worden voor de koeltorens.

5.1 Conceptomschrijving

In combinatie met WKO worden koeltorens gebruikt voor het laden van koude en/of voor het leveren van aanvullende koeling. Grondwater kan in dit concept gebruikt worden als suppletiewater voor de koeltorens. Het concept is schematisch weergegeven in figuur 5.1. Grondwater wordt opgepompt vanuit de onttrekkingsbron en wordt deels gebruikt voor het leveren van directe koeling. Daarnaast wordt een klein deel van het grondwater gezuiverd (indien nodig) en gebruikt als suppletiewater voor de koeltorens. Het suppletiewater verdampt voor een deel. De koeltoren levert hierbij koeling. Het andere deel van het suppletiewater wordt gespuid en wordt (indien mogelijk) geïnfiltreerd in de bodem.



figuur 5.1

Schematische weergave WKO met grondwaterverbruik koeltorens

5.2 Case Catharina Ziekenhuis te Eindhoven

Het ziekenhuis maakt gebruik van koeltorens en gebruikt momenteel leidingwater als suppletiewater. De situatie van het ziekenhuis in Noord Brabant wordt gebruikt als case. Voor de totale warmte- en koudevraag maakt het ziekenhuis gebruik van twee systemen. Beide systemen voorzien in een deel van de totale warmte- en koudevraag.

Het eerste systeem bestaat uit warmtekrachtinstallaties (WKK's), absorptiekoelmachines (AKM's) en koeltorens. De WKK's leveren warmte en elektriciteit aan het ziekenhuis en de absorptiekoelmachines leveren koeling. De koeltorens worden gebruikt om restwarmte weg te koelen.

Het tweede systeem is een WKO-systeem. Warmte wordt geleverd door warmtepompen in combinatie met het WKO-systeem. Koeling wordt direct geleverd met behulp van koud grondwater. Aanvullend wordt koude geladen in de winter met behulp van droge koelers.

5.2.1 Uitgangspunten koeltorens

Voor de koeltorens wordt momenteel leidingwater gebruikt als suppletiewater. De belangrijkste uitgangspunten van de koeltorens zijn opgenomen in tabel 5.1.

tabel 5.1 Belangrijkste uitgangspunten koeltorens

parameter	eenheid	waarde
debiet suppletiewater koeltorens	[m ³ /h]	32
waterverbruik koeltorens	[m ³ /a]	50.000

5.2.2 Uitgangspunten WKO-systeem

Het WKO-systeem bestaat uit twee warme en twee koude bronnen. De ontwerputgangspunten van het WKO-systeem zijn in tabel 5.2 samengevat.

tabel 5.2 Ontwerputgangspunten WKO-systeem

parameter	eenheid	warmtelevering	koudelevering
maximaal debiet	[m ³ /h]	215	215
gemiddelde hoeveelheid verpompt grondwater	[m ³ /a]	410.000	410.000
maximale (vergunde) hoeveelheid verpompt grondwater	[m ³ /a]	615.000	615.000
verplaatste hoeveelheid energie	[MWh/a]	4.000	4.000

5.3 Technische uitwerking

5.3.1 Hoofdcomponenten

Een korte toelichting van de hoofdcomponenten volgt. De dimensionering en uitgangspunten van de hoofdcomponenten zijn opgenomen in tabel 5.3.

WKO en distributie

Het WKO systeem is omschreven in 5.3.2. De belangrijkste uitgangspunten en dimensies zijn opgenomen in tabel 5.4. Vanaf de bronnen wordt grondwater via ondergrondse leidingen gedistribueerd naar de technische ruimte.

Waterbehandeling

Bij gebruik van leidingwater voor koeltorens wordt veelal een vorm van waterbehandeling toegepast, bijvoorbeeld om algenvorming tegen te gaan. Bij gebruik van grondwater spelen met name het ijzergehalte en de hardheid een rol bij de uiteindelijke methode en dimensionering van de waterbehandelingsinstallatie. In deze studie wordt uitgegaan dat geen aanvullende waterbehandeling noodzakelijk is.

Koeltorens

Koeltorens voeren gedurende het hele jaar restwarmte af. Grondwater wordt gebruikt als suppletiewater voor de koeltorens. Een deel van het suppletiewater verdampt en een deel wordt gespuid. Als richtlijn wordt bij koeltorens twee tot drie delen suppletiewater verdampt en wordt één deel suppletiewater gespuid.

tabel 5.3 Dimensionering en uitgangspunten hoofdcomponenten

hoofdcomponent	eenheid	winter	zomer
WKO			
maximaal debiet	[m ³ /h]	215	
aantal doubletten	[-]	2	
COP bronpompen	[-]	40	
verplaatste hoeveelheid energie	[MWh]	4.000	4.000
gemiddelde onttrekking	[m ³ /a]	410.000	410.000
gemiddelde infiltratie	[m ³ /a]	385.000	385.000
koeltorens			
maximaal debiet	[m ³ /h]	32	
waterverbruik	[m ³ /a]	50.000	

5.3.2 Referentietechnologie

De referentiesituatie is de huidige situatie. Warmte en koude wordt geleverd met de aanwezige WKO. Als suppletiewater voor de koeltorens wordt drinkwater gebruikt. De belangrijkste uitgangspunten en hoofddimensies van de hoofdcomponenten zijn weergegeven in tabel 5.4.

Energetisch en kostentechnisch is de WKO in de referentievariant gelijk aan de WKO in de combinatievariant. Ook is aangenomen dat de waterbehandeling in beide varianten gelijk zijn. Bij een onderlinge vergelijking wordt alleen gekeken naar de bron van suppletiewater.

tabel 5.4 Dimensionering en uitgangspunten hoofdcomponenten referentie

hoofdcomponent	eenheid	winter	zomer
WKO			
maximaal debiet	[m ³ /h]	215	
aantal doubletten	[-]	2	
COP bronpompen	[-]	40	
verplaatste hoeveelheid energie	[MWh]	4.000	4.000
gemiddelde onttrekking	[m ³ /a]	410.000	410.000
gemiddelde infiltratie	[m ³ /a]	410.000	410.000
leidingwater t.b.v. koeltoren			

5.4 Financieel

Om inzicht te krijgen in zowel de investerings- als exploitatiekosten van beide varianten, zijn kostenramingen opgesteld. De belangrijkste kengetallen (excl. BTW) voor het berekenen van kosten zijn weergegeven in tabel 5.5.

tabel 5.5 Financiële kengetallen exploitatie

financiële kengetallen exploitatie			
vastrecht drinkwater		66,96	€/jaar
capaciteitstarief drinkwater		398,40	€/m ³ /jaar
drinkwatertarief		0,6394	€/m ³
BOL (belasting op leidingwater)		0,157	€/m ³
grondwaterbelasting		0,1951	€/m ³

5.4.1 Investeringskosten

De geraamde investeringskosten van beide varianten zijn weergegeven in tabel 5.6. Hierbij is alleen gekeken naar de meerinvesteringen die noodzakelijk zijn voor de bereiding van suppletiewater.

tabel 5.6 Geraamde meerkosten investering bereiding suppletiewater

kostenpost		referentie	grondwater
koppeling WKO/koeltoren	€	0	20.000
totaal	€	0	20.000

5.4.2 Exploitatiekosten

De geraamde jaarlijkse exploitatie van beide varianten zijn weergegeven in tabel 5.7. Hierbij is alleen gekeken naar de meerinvesteringen die noodzakelijk zijn voor de bereiding van suppletiewater.

tabel 5.7 Geraamde jaarlijkse meerkosten exploitatie bereiding suppletiewater

kostenpost		referentie	grondwater
vastrecht drinkwater	€	70	0
capaciteitstarief drinkwater (35m ³ /h)	€	14.000	0
drinkwater	€	32.000	0
BOL	€	7.900	0
grondwaterbelasting	€	0	10.000
totaal	€	53.970	10.000

5.4.3 Terugverdiëntijd

De terugverdiëntijd bedraagt bij de gehanteerde kengetallen minder dan 1 jaar. Financieel gezien is de combinatie van WKO met suppletiewatervoorziening voor de koeltorens voor het ziekenhuis een interessante optie.

Gevoeligheidsanalyse

Wanneer aanvullende waterbehandeling noodzakelijk is, bijvoorbeeld als gevolg van te hoge ijzerconcentraties in het grondwater, zullen de investeringskosten en de exploitatiekosten toenemen. Geschat wordt dat voor bovenstaande case voor ontijzering € 80.000, - aan aanvullende investeringskosten noodzakelijk zijn en dat de exploitatiekosten toenemen met € 25.000, - per jaar. De eenvoudige terugverdiëntijd bedraagt in dit geval circa 5 jaar. Ook met aanvullende waterbehandeling is het gebruik van grondwater als suppletiewater financieel een interessante optie.

5.5 Milieutechnisch

Ten opzichte van de referentietechnologie worden het volgende milieutechnische voordelen benoemd.

- + Door het gebruik van opgepompt grondwater als suppletiewater vindt een besparing plaats ten aanzien van het gebruik van hoogwaardig geproduceerd drinkwater. Daarnaast vindt er minder transport van drinkwater plaats. Dit betekent een besparing van (elektrische) pompenergie.
- + De bron van het drinkwater kan bestaan uit grondwater ter plaatse van een pompstation van de drinkwatermaatschappij. Daarbij kan mogelijk sprake zijn van verdrogende effecten in de omgeving van de drinkwaterwinning. Een reductie van het drinkwaterverbruik kan dan een vermindering van de verdroging van de natuur betekenen. Dit positieve effect is echter afhankelijk van de bron van het drinkwater en de omstandigheden bij de onttrekking.
- + Drinkwater is hoogwaardig geproduceerd water waarvoor veelal energie en chemicaliën gebruikt worden. Het bij de nadelen genoemde chemicaliënverbruik ter plaatse van de koeltoren zal afgezet moeten worden tegen dit energie- en chemicaliënverbruik.

Er worden ook nadelen van dit systeem gevonden, namelijk:

- De grondwaterkwaliteit bepaalt in belangrijke mate de benodigde waterbehandeling en benodigde additieven. Het ijzer en kalkgehalte vormen belangrijke aandachtspunten. In het slechtste geval is grondwater (ook na waterbehandeling) niet geschikt om ingezet te worden als suppletiewater.
- Er is geen volume balans en dus een netto onttrekking. In de vergunning zal dit expliciet bepaald moeten worden en een afweging gemaakt worden of deze onttrekking negatieve effecten met zich mee zal brengen (dit kan mogelijk lokaal verdroging betekenen: zie ook de voordelen hierboven).

5.6 Juridisch en organisatorisch

5.6.1 Relevante wetgeving

Juridische en organisatorische aspecten kunnen een grote impact hebben op de doorgang van een project. Veelal zijn wetten en regels geschreven vanuit de optiek van bestaande technologie. Voor deze nieuwe, innovatieve combinatie kunnen de volgende huidige wetten, regels en vergunningen knelpunten opleveren.

- Net zoals voor alle WKO en onttrekkingen is een vergunning in het kader van de Waterwet noodzakelijk. In deze vergunning zal een afweging gemaakt worden tussen enerzijds, de wenselijkheid lokaal grondwater te onttrekken voor het behoud van de water- en energiebalans en anderzijds, lokaal grondwater te onttrekken voor het voorkomen van het gebruik van drinkwater.
- Het lozen van het spuiwater kan op meerdere manieren gebeuren: riool, oppervlaktewater en terug naar het grondwater. Voor de eerste twee afvoerroutes is een lozingsvergunning nodig. Het retourneren richting grondwater zal meegenomen worden in de wko-vergunning. Het zal van de samenstelling van het spuiwater afhangen of dit nog geretourneerd kan worden in het grondwater. De aanwezige stoffen worden namelijk geconcentreerd doordat een groot deel van het grondwater is verdampt. En mogelijk worden er nog stoffen toegevoegd voor de ontijzering. Als het water geen gevaar vormt voor de riolering of de RWZI, kan het geloosd worden op het riool.

5.6.2 Belanghebbenden

De volgende stakeholders zijn voor deze techniek van toepassing:

- Eindgebruiker: de eindgebruiker moet de koeltoren beheren en betalen voor het geleverde drinkwater. Indien zij overschakelen op grondwater zullen zij de beheerskosten voor de bronnen moeten dragen, maar aangezien er bij deze combinatie met de WKO geen extra bronnen bijkomen, zullen deze kosten nihil zijn. De drinkwaterkosten zullen daarentegen wel verminderen. Voor de eindgebruiker zal randvoorwaarde zijn dat de koeltoren met grondwater zeker net zo betrouwbaar is als met oppervlaktewater.
- Provincie: de provincie is vergunningverlener voor de WKO-installatie en mogelijk ook voor de netto-onttrekking van het grondwater voor de koeldoeleinden. De provincie is ook eerste aanspreekpunt voor het verminderen van verdroging van natuurgebieden. Vanuit deze rol zou zij een lokale onttrekking mogelijk positief beoordelen als dat een vermindering van de drinkwaterwinning bij een natuurgebied zou inhouden.
- Waterschap: het waterschap is verantwoordelijk voor het afgeven van een vergunning van het lozen van het restwater op het oppervlaktewater of het riool. Indien zich in het water een hoge concentratie chemicaliën of afvalstoffen bevindt, kan het afgeven van deze vergunning lastiger worden. Hiervoor moet dan een vergelijking gemaakt worden tussen de stoffen in het water bij drinkwatergebruik of bij grondwatergebruik met eventueel aanvullende zuivering.

5.7 Potentieel in NL

Bij dit concept wordt gekeken naar de combinatie van WKO en suppletiewater voor koeltorens. Het aantal koeltorens in Nederland is moeilijk te achterhalen. Uit een onderzoek van VROM is geen informatie beschikbaar gekomen aangaande het totale aantal natte koeltorens in Nederland. Polacel (een koelwatertoren leverancier) wil niet concreet aangeven om hoeveel koeltorens het in Nederland gaat maar men heeft gesuggereerd dat dit er (veel) meer dan 10.000 zijn.

In deze case wordt ingegaan op een ziekenhuis in Noord Brabant. De toepassing van dit combinatieconcept is echter niet alleen voorbehouden aan ziekenhuizen waar koeltorens aanwezig zijn. In principe kan in relatie tot deze combinatie gekeken worden naar alle situaties waar hoogwaardig drinkwater als proceswater voor koeling wordt gebruikt. De potentie van dit concept is daarmee groot.

5.8 Pilotprojecten

Tijdens het participantenoverleg van 15 maart 2011, zijn geen pilotprojecten in dit kader geïdentificeerd. De uitgewerkte case van het ziekenhuis in Noord Brabant geeft aan dat het gebruik van grondwater als suppletiewater financieel aantrekkelijk is, Geadviseerd wordt om de mogelijkheden voor een pilotproject bij het ziekenhuis verder te onderzoeken.

6 Conclusies en aanbevelingen

6.1 Conclusies

Algemeen

- Het is mogelijk gebleken om kansrijke nieuwe toepassingen te selecteren.
- De onderzochte combinatieconcepten zijn technisch haalbaar.
- De drie combinatieconcepten in deze haalbaarheidsstudie hebben een bredere toepasbaarheid dan de behandelde cases.
- Bij combinatieconcepten zijn meerdere partijen vanuit verschillende sectoren betrokken. Voor het succesvol toepassen van combinatieconcepten is sectoroverstijgende besluitvorming noodzakelijk. Dit maakt de combinatieconcepten organisatorisch en juridisch veelal complex.

Combinatieconcept 1: opslag van (industriële) restwarmte

- De CO₂-emissiereductie bedraagt 60% ten opzichte van verwarming met standaard WKO en 65% ten opzichte van verwarming met ketels.
- Restwarmte wordt nuttig ingezet. Door het nuttig gebruik wordt de warmtelozing op het oppervlaktewater beperkt.
- De investeringskosten zijn aanzienlijk, waardoor de terugverdiertijden lang zijn (10 tot 30 jaar). Belangrijke aandachtspunten zijn de schaalgrootte, nabijheid van bron en afgifte en de wijze van tapwaterbereiding.
- Juridisch is het in beginsel niet toegestaan om middelhoge temperaturen (50°C) op te slaan in de bodem. Bestuurlijk dient afgewogen te worden of en hoe de opslag van hogere temperaturen opweegt tegen de milieutechnische voordelen.

Combinatieconcept 2: gietwaterbereiding bij kassen

- Dit concept is zonder grote aanpassingen vaak al in de huidige situatie toepasbaar: veel elementen, zo niet alle, zijn vaak al aanwezig. Hierdoor is er nauwelijks een financiële investering nodig waardoor ook de economische rentabiliteit er goed uit ziet. Terugverdiertijden van circa 6 jaar zijn haalbaar.
- Veelal is er een aanzienlijke besparing van hoogwaardig drinkwater.
- Behoud van zoetwatervoorraad wanneer zoet grondwater wordt gebruikt voor drinkwater.
- Er is geen energie- en waterbalans. Bestuurlijk dient afgewogen te worden of en in welke mate een energie- en wateronbalans acceptabel is en opweegt tegen de besparing van drinkwatergebruik.

- Bij dit concept zal het grondwater (beperkt) verzilten. Vanuit de Kaderrichtlijn water is het verzilten van grondwater geen wenselijke situatie vanuit het perspectief van bescherming van grondwaterreserves. Afgewogen dient te worden in hoeverre de verzilting opweegt tegen de besparing van drinkwatergebruik.

Combinatieconcept 3: WKO en proceswater

- Bij het toepassen van grondwater als suppletiewater van koeltorens wordt geen hoogwaardig drinkwater gebruikt.
- Het combinatieconcept is financieel interessant. Eenvoudige terugverdientijden tussen de 1 en 5 jaar zijn haalbaar. De terugverdientijd zal sterk af hangen van het waterverbruik.
- Er is geen energie- en waterbalans.
- Mogelijk is voorbehandeling van het grondwater noodzakelijk voordat het toegepast kan worden als suppletiewater en daarmee samenhangend de samenstelling van het te lozen suppletiewater.

6.2 Aanbevelingen

De onderzochte combinatieconcepten zijn vanuit technisch en financieel oogpunt haalbaar en leveren substantiële milieutechnische voordelen op. Geadviseerd wordt om pilotprojecten op te starten, in combinatie met het aanpassen van beperkende juridische aspecten:

- **Pilotprojecten:** om de combinatieconcepten verder marktrijp te maken zijn pilotprojecten noodzakelijk. De volgende pilotprojecten zijn geïdentificeerd:
 - o Glastuinbouwgebied PrimAviera langs de A4 bij Schiphol: opslag warmte van een datacenter en levering aan het glastuinbouwgebied (combinatieconcept 1).
 - o Ziekenhuis in Noord Brabant: gebruik grondwater als suppletiewater voor koeltorens (Combinatieconcept 3)In overleg met de betrokken partijen dien nagegaan te worden of de pilotprojecten mogelijk zijn. Voor het combinatieconcept 'gietwaterbereiding bij kassen' zijn nog geen pilotprojecten geïdentificeerd. In glastuinbouwgebieden in het westen van Nederland, zoals Agriport en Delftland, zal gezocht moeten worden naar mogelijke pilotprojecten.
- **Juridische aspecten:** bepaalde huidige wet- en regelgeving vormt een belemmering voor de toepassing van de combinatieconcepten. In overleg met het bevoegd gezag dient gekeken te worden in hoeverre afgeweken kan worden van de huidige wet- en regelgeving en in hoeverre de voordelen hier tegenop wegen. De pilotprojecten zijn een prima proeftuin om deze gewijzigde regelgeving uit te proberen. Aspecten die onderzocht dienen te worden zijn:
 - o de opslag van temperaturen van 40°C of meer in de bodem;
 - o het toestaan van een water- en energiebalans in de bodem;
 - o het toestaan van het beperkt verzilten van grondwater daar waar geen conflicten met andere ondergrondse functies optreden op de korte of de lange termijn.

De eerste twee aspecten (temperatuur en energiebalans) zijn zeer actueel binnen de totstandkoming van de AMvB Bodemenergie, en de bijbehorende BUM's en HUM's². Binnen de AMvB is namelijk de mogelijkheid gecreëerd om gemotiveerd af te wijken van de retourtemperatuur en van de energiebalanseis. Genoemde pilotprojecten, in combinatie met een goede monitoring, kunnen ertoe bijdragen dat het juridische kader versneld kan worden aangepast indien wenselijk, en milieuhygiënisch mogelijk.

De pilotprojecten zijn van belang om de concepten te testen op technisch en juridisch vlak. Daarnaast hebben deze projecten de functie om ook te leren van de organisatorische aspecten. Er zijn dikwijls veel partijen vanuit de markt en de overheid betrokken die allemaal hun eigen – vaak sectorale – belang behartigen. Dit is op dit moment een groot knelpunt voor de ontwikkeling van de genoemde concepten. Binnen de pilotprojecten kunnen er oplossingen worden ontwikkeld om deze organisatorische aandachtspunten het hoofd te bieden.

2

BUM en HUN: deze afkortingen staan respectievelijk voor "Besluitvormings Uitvoeringsmethode" en "Handhavings Uitvoeringsmethode". Het zijn richtlijnen (werkdocumenten), bestemd voor het bevoegd gezag. Het doel is het proces van toetsen en beschikken van bodemenergiesystemen in het kader van de waterwet en de AMvB Bodemenergie, daar waar mogelijk, te uniformeren en kwaliteitscriteria te introduceren voor de besluitvorming. Hiermee wordt een bijdrage geleverd aan de vergroting van de efficiëntie van de uitvoering van de vergunningverlening en handhaving.

Literatuur

De Bosatlas van ondergronds Nederland, 2009.

Hoog, M. de, CO₂-afvang, -transport en opslag in de Rijnmond, 2008.

Bouwprognoses 2008-2013, TNO-rapport 2008-D-R11080A.

Bron: Catharina Ziekenhuis, schatting (systeem recentelijk uitgebreid).

Bron: NEN 5128.

Bron: NUON

Dijxhoorn, J.C. et al, Grondwaterontrekking voor de klimaat- en gietwatervoorziening van Agriport A7 (Wieringermeer), IF-rapport, 2008, referentie 3/56353/CD.

<http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl>

<http://www.tcbody.nl/files/A064%20Lozingen%20van%20brijn.pdf>.

http://vrominspectie.nl/images/Factsheet%20onderzoek%20naat%20koeltorens_tcm293-283255.pff

Kansen voor restwarmtebenutting Regio Rijnmond bij stijgende energie en milieukosten, TNO rapport 2007-A-R0771/B.

Starink, L.J.A., et al. Koude-warmteopslag Catharina Ziekenhuis te Eindhoven, Effectenstudie grondwatersysteem, IF rapport, 2002, referentie 2/51238/LS.

Wit, J.B. de, Kansen voor Restwarmtebenutting Regio Rijnmond bij stijgende energie- en milieukosten, TNO rapport, 2007, referentie 2007-A-R0771/B.

Deelnemende bedrijven en instanties

Agentschap NL / Bodem+

Arcadis

Bioclear

Brabant Water - Hydreco

Deltares

Eneco

Essent

Gemeente Almelo

Gemeente Amersfoort

Gemeente Apeldoorn

Gemeente Den Bosch

Gemeente Deventer

Gemeente Haarlem

Gemeente Hengelo

Gemeente Tilburg

Gemeente Utrecht

Gemeente Zwolle

Havenbedrijf Rotterdam

IF Technology

Ministerie van Infrastructuur & Milieu

NVOE

Productschap Tuinbouw

Provincie Drenthe

Provincie Flevoland

Provincie Friesland

Provincie Gelderland

Provincie Groningen

Provincie Limburg

Provincie Noord-Brabant

Provincie Noord-Holland

Provincie Overijssel

Provincie Utrecht

Provincie Zeeland

Provincie Zuid-Holland

SBNS

SKB

Vewin

Vitens

Wageningen Universiteit

Waterschap Groot Salland

Waterschap Regge en Dinkel

