



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

De mogelijke risico's van warmte- en koudeopslag voor de grondwaterkwaliteit

Rapport 607050009/2011

P. van Beelen | J. F. Schijven | A.M. de Roda
Husman | N.G.F.M. van der Aa | P.F. Otte



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Een literatuurstudie naar de mogelijke risico's van warmte- en koudeopslag voor de grondwaterkwaliteit

RIVM Rapport 607050009/2011

Colofon

© RIVM 2011

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

P. van Beelen
J.F. Schijven
A.M. de Roda Husman
N.G.F.M. van der Aa
P.F. Otte

Contact:

P. van Beelen
Laboratorium voor Ecologische Risicobeoordeling
patrick.van.beelen@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Infrastructuur & Milieu, directie Leefomgevingskwaliteit, in het kader van Project M/607050/10/KO getiteld "WKO en duurzaam gebruik ondergrond".

Rapport in het kort

De mogelijke risico's voor de drinkwatervoorziening zouden de voortgaande groei van Warmte- en Koude-Opslag (WKO) kunnen beperken.

Het RIVM beveelt aan om kwaliteitscontroles op Warmte- en Koude-Opslag-installaties (WKO) uit te voeren gedurende hun hele levenscyclus. Daarnaast is het van belang het gebruik van giftige en persistente koelvloeistoffen zo veel mogelijk te beperken. Zij kunnen in geval van lekkages het grondwater verontreinigen.

Dit blijkt uit een overzicht van de mogelijke risico's van WKO-installaties voor de kwaliteit van het grondwater dat het RIVM heeft gemaakt op basis van wetenschappelijke literatuur.

WKO is een brandstof- en kostenbesparende technologie om gebouwen te verwarmen en te koelen met behulp van grondwater. Door de sterke groei van het aantal WKO-installaties wordt er een steeds groter beslag gelegd op de ruimte onder de grond en op het grondwater. WKO-installaties kunnen elkaar in de weg zitten, en bij de aanleg ervan moet rekening worden gehouden met de aanwezige drinkwaterwinningen. De bouw van WKO-installaties leidt tot een zeer groot aantal boorgaten en leidingen tot enkele honderden meters diep. Deze zullen vermoedelijk na gebruik tegen het einde van deze eeuw niet worden verwijderd, maar gevuld worden met klei om lekkage van ondoorlatende lagen te voorkomen. De duurzaamheid en de milieurisico's van deze ondergrondse constructies hangen af van de kwaliteit van de gebruikte materialen.

Trefwoorden:

grondwater, drinkwater, vervuiling, temperatuur, klimaat

Abstract

The continuous growth of Thermal Energy Storage (TES) might be limited by the possible risk for the drinking water supply.

The RIVM recommends quality controls on Thermal Energy Storage (TES) systems during their complete lifecycle. It is important to limit the use of toxic and persistent cooling liquids as much as possible because these can contaminate the groundwater upon leakage.

These are the recommendations based on a literature study by the RIVM on the possible risks of TES systems for groundwater quality.

TES is a fuel and cost efficient technology for the heating and cooling of buildings with the use of groundwater. The claim on the underground space and on the groundwater is increasing by the strong growth of the number of TES systems. The available space for a new TES system is limited by the presence of other TES systems and drinking water sources. The construction of TES systems leads to a large number of boreholes and pipes at depths up to several hundred meters. These will probably not be removed after usage near the end of this century, but will be filled with clay to avoid leakage of impermeable layers. The sustainability and environmental risks of these underground constructions will depend on the quality of the used materials.

Keywords:

groundwater, drinking water, pollution, temperature, climate

Inhoud

Samenvatting	6
Aanbevelingen	7
1 Summary	9
2 Inleiding	11
2.1 De temperatuur van het grondwater	11
2.2 Achtergrond	11
2.3 Opzet van het rapport	12
3 Resultaten literatuurstudie	13
3.1 Recente ontwikkelingen	13
3.1.1 Nederland	13
3.1.2 Europa en Noord-Amerika	13
3.1.3 Grenzen aan de groei?	14
3.2 Mogelijkheden en randvoorwaarden vanuit de Europese KRW	14
3.3 Efficiëntie en de energiebalans van WKO-systemen	15
3.4 Het ruimtebeslag van WKO-systemen	16
3.4.1 Waterwingebied	16
3.4.2 Boringsvrije zone	16
3.4.3 Grondwaterbeschermingsgebied	17
3.5 De risico's van warmte- en koudeopslag	17
3.5.1 De risico's van boringen	17
3.5.2 De risico's van lekkage van koelvloeistoffen	18
3.5.3 De risico's van gesloten WKO-systemen	19
3.5.4 De risico's van open WKO-systemen	20
3.5.5 De risico's van open WKO-systemen in vervuild grondwater	20
3.5.6 De risico's van kleine temperatuursveranderingen op de geochemie	21
3.5.7 De risico's van kleine temperatuursveranderingen op de microbiologie	21
3.5.8 De risico's van hoge temperaturen	22
3.5.9 De risico's op het toenemen of verspreiden van ziekteverwekkers	23
3.6 Toezicht bij WKO-systemen: aandachtspunten voor drinkwaterbedrijven	23
Literatuur	26
Bijlage	32
Potential health risks of microorganisms in aquifer thermal energy storage	32
Introduction	32
Pathogenic microorganisms	33
Exposure	33
Conclusions	35
Recommendations	36
References	36

Samenvatting

Warmte- en koude-opslag (WKO) is een brandstof- en kostenbesparende methode voor het verwarmen en koelen van gebouwen. Open WKO-systemen pompen het grondwater heen en weer om het gebouw te koelen of te verwarmen. Gesloten WKO-systemen gebruiken alleen de temperatuur van het grondwater om huizen of kleinere gebouwen te verwarmen of te koelen. In Nederland is er de laatste jaren een sterke en door de overheid gestimuleerde groei van het aantal WKO-systemen. Wettelijke maatregelen worden voorbereid om de eventuele milieurisico's van deze groei te beperken.

Bij het boren in de ondergrond en ook bij het regenereren van open WKO-putten kunnen kleine hoeveelheden chemicaliën in het grondwater achterblijven wanneer er onzorgvuldig wordt gewerkt.

Gesloten WKO-systemen zouden een risico kunnen vormen voor de kwaliteit van het grondwater door het grote aantal perforaties van de ondergrond en door het mogelijke lekken van koelvloeistof.

Bij open WKO-systemen moet worden voorkomen dat grondwater uit verschillende lagen wordt gemengd waardoor ongewenste geochemische en microbiologische processen kunnen optreden.

In principe kan een open WKO-systeem wel op een vervuilde locatie worden toegepast, maar er is specifiek maatwerk nodig om de verspreiding van de vervuiling te beperken. Het vermengen van schoon en verontreinigd grondwater door een WKO-installatie vergroot de hoeveelheid verontreinigd grondwater.

Er is nog nauwelijks ervaring met het verwijderen van buiten gebruik gestelde WKO-systemen.

De bescheiden temperatuursveranderingen in het grondwater die door WKO-systemen veroorzaakt worden, hebben nauwelijks invloed op de geochemische processen. Deze temperatuursveranderingen zouden in principe wel aanleiding kunnen geven tot verandering van de eventueel aanwezige ziektekiemen in het grondwater. Daarom is het belangrijk dat er voldoende afstand tussen een drinkwaterwinning en de omringende WKO-installaties wordt gehouden. Het opslaan van heet grondwater zal lokaal de natuurlijke processen in dat grondwater verstoren. De Europese Kaderrichtlijn Water ziet ook de inbreng van warmte in het grondwater als een mogelijke verontreiniging wanneer daar nadelige gevolgen voor mensen of ecosystemen aan verbonden zijn.

Het toezicht van de provincies op het groeiende aantal WKO-systemen in de praktijk verdient nadere aandacht.

Aanbevelingen

In verband met het mogelijke ontstaan van ziektekiemen is verder onderzoek nodig om vast te stellen welke invloed WKO-installaties hebben op de bacteriën in het grondwater.

De maatschappelijke ontwikkelingen bij gesloten en open WKO-systemen kunnen zorgvuldig worden begeleid en zo nodig bijgestuurd om de mogelijke milieurisico's te verkleinen. Hiervoor kunnen indicatoren worden ontwikkeld om de milieurisico's in de loop der jaren te volgen. De provinciale informatie verkregen bij de toelating van gesloten WKO-systemen moet hiervoor ook landelijk beschikbaar komen.

De koelvloeistoffen kunnen een risico vormen voor de grondwaterkwaliteit bij een eventuele lekkage zowel bij gesloten en mogelijk ook bij open WKO-systemen. Leidingwater als koelvloeistof is een veilige keus, maar koelvloeistoffen met giftige en persistente corrosieremmers vormen een risico dat ingeperkt zou kunnen worden.

Biologisch afbreekbare koelvloeistoffen zullen in natte veengrond meestal niet afbreken door de anaerobe en zure milieucondities. Het is niet duidelijk of een langdurige aanwezigheid van koelvloeistoffen in veengrond een risico vormt. Daarom is het aan te bevelen om vooral in veengrond alleen leidingwater te gebruiken als koelvloeistof.

De energiebalans van een WKO-systeem kan ook over een langere periode worden beoordeeld. Een geringe afkoeling van het grondwater door een WKO-installatie bij een koude-overschot zou de opwarming van het grondwater door de bovenliggende stad kunnen compenseren. Een langdurig warmte-overschot kan als een verontreiniging van het grondwater worden beschouwd.

Het thermisch invloedsgebied met een meetbare verandering van de grondwatertemperatuur vormt een maat voor de ruimtelijke invloed van een WKO-systeem. Een langdurige en grootschalige thermische onbalans zal het thermisch invloedsgebied sterk uitbreiden en zou daarom beter vermeden kunnen worden.

Er is nauwelijks ervaring met het verwijderen van buiten gebruik gestelde bodemenergiesystemen, omdat deze tientallen jaren in gebruik kunnen blijven. Alle constructies in de diepere ondergrond zijn moeilijk te verwijderen. Voor het verbeteren van de duurzaamheid van bodemenergiesystemen is het van groot belang dat de onderdelen in de diepere ondergrond langer meegaan en beter te verwijderen zijn. Er dient een afweging gemaakt te worden tussen de blijvende lokale verstoring van de ondergrond en de vermindering van de mondiale CO₂-problematiek. Hiervoor is nog wel onderzoek nodig.

Een goede kwaliteitsborging bij het boren en het reinigen van WKO-putten is noodzakelijk om grondwaterverontreiniging te voorkomen.

1 Summary

A literature study on the possible risk of thermal energy storage for groundwater quality

Thermal energy storage (TES) is a fuel and cost-efficient method for the heating and cooling of buildings. Aquifer Thermal Energy Storage (ATES) systems pump the groundwater back and forth to cool or heat the building. Borehole Thermal Energy Storage (BTES) utilize the temperature of the groundwater to cool or heat houses or smaller buildings. In recent years there is a strong growth of the number of TES systems in the Netherlands, which was stimulated by the government. Legal measures are prepared to limit the possible environmental risks of this growth.

During drilling and regenerating ATES boreholes small quantities of chemicals can be left in the groundwater when insufficient care is taken.

BTES systems can pose a threat to groundwater quality because of the large number of subsoil perforations and the possible leakage of cooling fluids.

The mixing of groundwater from different layers must be avoided with ATES systems because unwanted geochemical and microbiological processes can occur.

An ATES system can be applied at a polluted site but specific measures are needed to limit the spread of the pollution. The mixing of clean and contaminated groundwater by an ATES system enlarges the amount of contaminated groundwater.

There is hardly any experience with the removal of abandoned TES systems. The limited temperature changes in the groundwater caused by TES systems hardly have any influence on geochemical processes.

These temperature changes might change the amount of pathogens if these are present in groundwater. Therefore it is vital that there is sufficient distance between a drinking water borehole and the surrounding TES installations.

The storage of hot groundwater will change the natural processes in the groundwater locally. The European water framework directive judges the input of heat in groundwater as a possible pollution when adverse effects on humans or ecosystems occur.

The actual supervision of the Dutch provinces on the growing number of TES systems deserves further attention.

Recommendations:

Further research is needed to determine the influence of TES installations on the groundwater bacteria because of the possible emergence of pathogens.

The market developments of ATES and BTES systems can be guided carefully in order to avoid possible environmental risks. Indicators can be developed to monitor these risks during the following years. The information gathered during the admission process of TES systems by the provinces must become available to the national authorities for this monitoring.

The cooling liquids used by BTES and perhaps also by ATES systems can pose a risk for the groundwater quality upon leakage. Tapwater is a safe cooling liquid but poisonous and persistent corrosion inhibitors form a risk that should be limited.

Biodegradable cooling liquids will not degrade in wet peat soil because of the anaerobic and acid environmental conditions. It is not clear whether the prolonged presence of cooling liquids in peat soil can form a risk. Therefore it is advisable to use only tapwater as cooling liquid in peat soils.

The energy balance of a TES system can also be evaluated over a longer period. The heating of the groundwater by the city above might be compensated by a limited cooling of the groundwater by a TES system. A prolonged and large scale thermal unbalance will enlarge the area under thermal influence and should therefore be avoided.

There is hardly any experience with the removal of outdated TES systems because these systems can be used for decades. All constructions in the deep subsoil are difficult to remove. For the environmental sustainability of TES systems is very important that the parts in the deeper subsoil are durable and easier to remove. The risk of a permanent local disruption of the subsoil must be weighed against the global CO₂ problems. This needs further research.

A good quality control by the drilling and cleaning of TES boreholes is a vital to avoid groundwater pollution.

2 Inleiding

De ondergrond komt steeds meer onder de aandacht bij duurzaamheidsvraagstukken. Zo kan de ondergrond bijdragen aan reductie van CO₂-emissie door ondergrondse opslag van CO₂ of gebruik van aardwarmte in plaats van fossiele brandstoffen. Ook wordt steeds meer naar de ondergrond gekeken als oplossing voor ruimtelijke knelpunten bovengronds. Ondergronds bouwen is volop in ontwikkeling. In Europa wordt ongeveer 40% van de energie verbruikt voor het verwarmen en koelen van gebouwen. De Europese Energy Performance of Buildings Directive stelt dat voor nieuwe gebouwen hoog efficiënte energiesystemen zoals warmtepompen overwogen moeten worden (EC 2010).

Een belangrijke ontwikkeling is de warmte- en koude-opslag (WKO). Daarbij wordt energie opgeslagen en onttrokken aan de bodem met behulp van grondwater (open systemen) en lussen (gesloten systemen). De gesloten systemen maken geen gebruik van het grondwater, maar via een warmtewisselaar van de in de ondergrond aanwezige warmte.

2.1 De temperatuur van het grondwater

De grondwatertemperatuur op 25 m diepte is relatief constant, omdat weersinvloeden zich op deze diepte in de loop der jaren uitmiddelen. Het grondwater op deze diepte neemt op die manier de gemiddelde jaartemperatuur van de bovengrond aan. De grondwatertemperatuur loopt langzaam op met de diepte door de warmte van de diepere aardlagen. In de periode tussen 1976 en 1979 werden op 25 m diepte temperaturen tussen de 9 en 11 °C gemeten. In 2006 waren deze temperaturen ongeveer 0,5 °C gestegen (Kooi 2008). Bomen zorgen voor de verdamping van grondwater en schermen de bodem af voor de zon, zodat de grondwatertemperatuur in bossen bijna 2 °C lager is dan die in landbouwgebieden. Ontbossing kan dan ook tot een opwarming van het grondwater leiden (Kooi 2008).

2.2 Achtergrond

Het gebruik van WKO-systemen neemt in Nederland de laatste jaren sterk toe (CBS 2009). Daarom is het van belang dat wetenschappelijk onderzoek naar de effecten van WKO in de ondergrond gestimuleerd wordt. Een voorbeeld van dergelijk onderzoek is "Meer Met Bodemenergie" het gezamenlijk initiatief van het consortium Deltares, IF Technology Bioclear en Wageningen University & Research center (WUR) (Drijver et al. 2010). Daarbij is het van belang dat er een goed evenwicht bestaat tussen praktijkstimulerend onderzoek en de vragen over de risico's van WKO. Het RIVM doet in samenwerking met Kiwa Water Research (KWR), Vrije Universiteit (VU) en Arcadis ook onderzoek naar de risico's van de WKO-installatie op het RIVM-terrein in Bilthoven (Bonte et al. 2010a).

Het is de bedoeling dat er in 2012 een nieuwe Algemene Maatregel van Bestuur (AMvB) over Bodemenergiesystemen komt. Deze maatregel moet interferentie bij open en gesloten systemen voorkomen om zo tot een doelmatig gebruik van de bodem voor bodemenergie te komen. Daarnaast wil deze maatregel open systemen stimuleren door het invoeren van een verkorte toelatingsprocedure. Via uniforme voorschriften moet aantasting van de bodemkwaliteit door bodemenergiesystemen worden voorkomen. Deze AMvB geldt niet in grondwaterbeschermingsgebieden.

Er is een spanningsveld tussen de drinkwatersector en de belanghebbenden bij WKO (Bonte et al. 2011). Het is te verwachten dat daardoor het onderzoek van KWR en het onderzoeksprogramma "Meer Met Bodemenergie" twee verschillende visies op de risico's van WKO voor de drinkwatervoorziening zullen laten zien. "Meer Met Bodemenergie" propageert een sterke groei van WKO-systemen (Drijver et al. 2010), terwijl de drinkwatersector ook de risico's voor de drinkwatervoorziening zal beschouwen (Bonte et al. 2010a). Het RIVM kan het ministerie van I&M ondersteunen met onafhankelijke informatie en adviezen.

Wij zien het als de taak van het RIVM om de expertise van de overheid op het gebied van WKO te ontwikkelen en ook op lange termijn (meerdere jaren) te behouden. Op deze manier kunnen wij de resultaten van het onderzoek van de betrokken partijen interpreteren en een vertaalslag maken naar de opties voor het beleid.

2.3 Opzet van het rapport

Dit rapport begint met een schets van de maatschappelijke ontwikkelingen van WKO. Het gaat in op de groei van WKO in Nederland en de mogelijke risico's van deze groei. Dit rapport geeft geen afweging van de voor- en nadelen van WKO, maar slechts een analyse van de mogelijke risico's van WKO-installaties. Het rapport geeft aanbevelingen om deze risico's te verkleinen.

3 Resultaten literatuurstudie

3.1 Recente ontwikkelingen

3.1.1 *Nederland*

De toepassing van WKO-systemen heeft sinds eind jaren 90 een enorme vlucht genomen. WKO-systemen worden gebruikt bij bedrijventerreinen, industrie, glastuinbouw en woningbouw. Op basis van de groei van de afgelopen jaren is het de bedoeling van de Taskforce bodemenergie dat er in 2020 18.000 open WKO-systemen in gebruik zijn (Taskforce WKO 2009). Over aantallen gesloten systemen zijn geen gegevens beschikbaar, omdat daarvoor nog geen meldings- of registratieplicht bestaat. Wel blijkt uit de gegevens van het CBS over het aantal boorgaten voor deze systemen dat ook hier sprake is van een sterke groei (CBS 2009). In Nederland zien we dus een grote groei van de ontwikkeling van open en gesloten WKO-installaties (Van Aarsen et al. 2009). Dit zijn niet helemaal autonome ontwikkelingen, omdat de overheid een actieve stimulerende rol speelt (Guijt 2010). De Taskforce WKO was gericht op het stimuleren van deze technieken om de CO₂-emissies en de afhankelijkheid van fossiele brandstoffen te verminderen (Taskforce WKO 2009). Volgens de Rijksgebouwendienst kan het gebruik van WKO een brandstofbesparing van 40-80 % opleveren. De verwachte inzet van deze techniek zal ten opzichte van het totale energieverbruik van de rijkshuisvesting ongeveer 7 % energiebesparing opleveren in 2020 (RGD 2008). Het gebruik van duurzame warmte is nog maar een bescheiden percentage van het totale warmtegebruik in Nederland. In 2008 groeide het gebruik van duurzame warmte van 2,0 naar 2,1% van de benodigde hoeveelheid nuttige warmte. Deze groei kwam onder andere tot stand door de toename van het aantal WKO-installaties (CBS 2009). Wanneer bij alle nieuwbouw in de komende 30 jaar WKO wordt toegepast in Nederland, kan voor deze nieuwbouw een emissiereductie van 36 % worden bereikt op de extra CO₂-emissie van 2207 kiloton/jaar (Wanders en Smit 2009) veroorzaakt door deze nieuwbouw.

3.1.2 *Europa en Noord-Amerika*

WKO is in Europa en Noord-Amerika een sterk groeiende techniek voor het verwarmen of koelen van gebouwen (Lund et al. 2004). Zweden en Oostenrijk zijn koplopers bij het toepassen van gesloten systemen voor de verwarming van huizen (Taskforce WKO 2009). Het was in deze landen ook gebruikelijk om elektrische verwarming te gebruiken, omdat daar geen grote gasinfrastructuur aanwezig is zoals in ons land. Nederland loopt voorop bij het toepassen van open WKO-systemen voor de verwarming en het koelen van grotere gebouwen. Daarnaast is WKO in de glastuinbouw duidelijk in opkomst. Ons land loopt niet voorop bij de gesloten WKO-systemen voor het verwarmen van huizen (Taskforce WKO 2009). Nederland heeft een geschikte fysieke ondergrond voor het toepassen van open WKO-systemen. De gemiddelde Nederlandse luchttemperatuur van 10 °C veroorzaakt ook dat een normaal kantoorgebouw zowel verwarming als koeling nodig heeft. In warme klimaten is alleen koeling nodig waardoor het grondwater opwarmt terwijl in koude klimaten verwarming nodig is maar door het grondwater afkoelt. Hierdoor zijn daar veel extra maatregelen nodig om de energiebalans te waarborgen (Fan et al. 2008). WKO-installaties verwarmen en koelen met behulp van warmtepompen aangedreven door elektriciteit. Mogelijk is de relatief goedkope elektriciteit uit waterkrachtcentrales een verklaring voor het grote aantal gesloten WKO-systemen in Zweden en Oostenrijk. In Nederland wordt meestal aardgas gebruikt voor de verwarming

van huizen in plaats van elektriciteit. De internationale regelgeving op het gebied van WKO is erg divers (Haehnlein et al. 2010). Veel landen geven aan dat WKO-systemen een flink aantal meters van de perceelgrens af gebouwd moeten worden. Denemarken houdt een afstand van 300 m aan tussen een gesloten WKO-systeem en een drinkwaterput, terwijl Zweden 30 m wel genoeg vindt (Haehnlein et al. 2010). Ook de toegelaten maximum- en minimum-temperaturen verschillen tussen de Europese landen. Denemarken heeft het grootste bereik met een maximum van 25 °C en een minimum van 2 °C (Haehnlein et al. 2010). In Zwitserland mag het temperatuurverschil slechts 3 °C beslaan (Haehnlein et al. 2010).

3.1.3 *Grenzen aan de groei?*

Met de groei van het aantal systemen komen ook steeds meer knelpunten aan het licht. Het thermische invloedsgebied van een WKO-installatie kan zich zelfs buiten de perceelgrenzen van het gebouw uitstrekken. Er zijn vaak nog juridische onduidelijkheden ten aanzien van verdeling van 'ruimte' in het grondwater, vergunningen en registratie (Bonte et al. 2010b). Er kan interferentie tussen de systemen ontstaan, waardoor het rendement van de systemen afneemt (Bonte et al. 2011, Oomes et al. 2010). Daarnaast is er nog weinig concrete kennis gepubliceerd over de risico's van WKO. Daarbij valt te denken aan effecten van warmtewisseling op het bodemecosysteem en chemische evenwichten, het doorboren van ondoorlatende lagen in de ondergrond en effecten van langdurende aanwezigheid van bodemvreemd materiaal in de ondergrond zoals de leidingen en buizen (Bonte et al. 2011), maar ook aan de risico's veroorzaakt door onzorgvuldig handelen tijdens de levenscyclus van een WKO-installatie.

3.2 **Mogelijkheden en randvoorwaarden vanuit de Europese KRW**

De Europese kaderrichtlijn water (EC 2000b) richt zich ook op de bescherming van het grondwater tegen verontreinigingen. Verontreiniging wordt gedefinieerd als: *"de directe of indirecte inbreng door menselijke activiteiten van stoffen of warmte in lucht, water of bodem die de gezondheid van de mens of de kwaliteit van aquatische ecosystemen of van rechtstreeks van aquatische ecosystemen afhankelijke terrestrische ecosystemen kunnen aantasten, schade berokkenen aan materiële goederen, dan wel de belevingswaarde van het milieu of ander rechtmatig milieugebruik aantasten of daaraan in de weg staan"*. De schadelijke effecten van de lozing van warmte in het grondwater vallen dus duidelijk binnen de regelgeving van de kaderrichtlijn water. Een goede toestand van het oppervlaktewater houdt in dat zowel de ecologische als de chemische toestand goed is. Een goede toestand van het grondwater daarentegen houdt in dat de chemische en de kwantitatieve toestand goed zijn. De ecologische toestand van het grondwater is dus niet expliciet beschermd via de kaderrichtlijn water. De grondwaterrichtlijn (EC 2006) vermeldt niets over warmte of temperatuur, maar geeft wel duidelijk aan dat de kwaliteit van het grondwater voor de drinkwatervoorziening beschermd moet worden. In de Europese richtlijn voor drinkwaterbeschermingsgebieden (EC 2007) staat ook niets over introductie van warmte. De microbiologische kwaliteit van het grondwater is wel een belangrijk issue in deze richtlijn. Het feit dat de samenstelling van de bacteriën in het grondwater door een WKO-installatie wordt veranderd, hoeft nog niet direct gezien te worden als een onaanvaardbaar effect. Deze verandering kan echter wel een hypothetisch risico vormen, omdat het gepaard zou kunnen gaan met een toename van het aantal ziekteverwekkers in het grondwater. Dit hypothetische risico is in de praktijk lastig uit te sluiten, omdat het heel moeilijk is om alle

potentiële ziekteverwekkers in het grondwater voldoende nauwkeurig te kwantificeren. Het merkbaar opwarmen van het drinkwater kan worden gezien als een vermindering van de "*belevingswaarde van een rechtmatig milieu-gebruik*" en is daardoor strijdig met de kaderrichtlijn water (EC 2000b).

3.3 Efficiëntie en de energiebalans van WKO-systemen

WKO-systemen hebben een relatief snelle terugverdiertijd van enkele jaren en leveren een aanzienlijke reductie van de uitstoot van broeikasgassen (Vermaas en Van Wee 2009). Het Nederlandse vergunningenbeleid wordt uitgevoerd door de provincies (De Graaf 2009) en vraagt om een langjarige balans tussen de opgeslagen warmte en koude (Van Oostrom et al. 2009). Verder worden er temperatuurgrenzen gesteld waarbij het grondwater dat in de ondergrond wordt teruggebracht niet warmer dan 25 tot 30°C mag zijn (Taskforce WKO 2009). Het is lastig om een evenwicht te vinden tussen de benodigde hoeveelheid warmte en koude in een specifiek gebouw gedurende een jaar (Vermaas en Van Wee 2009). Sommige gebouwen (bijvoorbeeld woonhuizen) hebben meer verwarming nodig, terwijl andere gebouwen juist meer koeling nodig hebben (kantoren, datacentra). In het Nederlandse klimaat kunnen gebouwen in principe zo ingericht worden dat over meerdere jaren gerekend extra verwarming of afkoeling niet nodig is, maar in de praktijk gebeurt dit meestal niet (Broekhuizen en Ros 2007). Een strikte energiebalans per jaar is nadelig voor de efficiëntie van WKO-systemen, omdat er dan in de warme jaren extra gekoeld en in koude jaren extra verwarmd moet worden. De warmtecapaciteit in de ondergrond is meestal voldoende groot om een aantal jaren een koude bel te laten ontstaan die dan in warme jaren weer opgesoupeerd wordt. Het formaat van de warme en koude grondwaterbellen moet echter wel aan grenzen worden gebonden om interferentie met andere bodemenergiesystemen en de drinkwaterwinning te voorkomen. De literatuurstudie "Meer Met Bodemenergie" gebruikt een temperatuurverandering van 0,5 °C om het thermisch invloedsgebied in kaart te brengen (Van Oostrom et al. 2010). Voor het evalueren van metingen is dit een goede keuze, omdat grotere bovengrondse structuren zoals wegen, gebouwen en bossen ook invloed hebben op de temperatuur op 100 m diepte (Kooi 2008). Het is in de praktijk lastig om aan te geven of een bepaalde hogere temperatuur gemeten in het grondwater op 100 m diepte het gevolg is van de WKO-installatie of van de asfaltweg naast de WKO-installatie. Voor modelberekeningen geldt deze beperking niet. Modelberekeningen hebben echter grote problemen met de heterogeniteit van de ondergrond en voorspellen meestal kleine bolronde thermische invloedsgebieden, terwijl deze in de praktijk uitgestrekte grillige vormen hebben, doordat het grondwater zich bij voorkeur via grofzandige en grindlagen verplaatst (de Marsily et al. 2005). Het thermisch invloedsgebied van een WKO-installatie breidt zich langzaam in stroomafwaartse richting uit tot een evenwichtsituatie ontstaat waarbij de aanvoer van warmte uit de WKO-installatie in evenwicht komt met de afvoer van warmte naar de omgeving (Van Oostrom et al. 2010). De Technische Commissie Bodem (TCB) ziet het koelvermogen van het grondwater als een te beschermen eigenschap (TCB 2009). Het niet terugwinnen van de opgeslagen warmte ziet de TCB als ongewenste warmtelozing, terwijl de afkoeling van het grondwater niet expliciet als nadelig wordt beoordeeld. Ook de Europese Kaderrichtlijn Water ziet het lozen van warmte als een verontreiniging (EC 2000b). Het is echter de vraag of het lozen van koude ook gezien moet worden als milieuverontreiniging. In een stad is de gemiddelde temperatuur vaak enkele graden hoger dan op het platteland, terwijl bossen nog koeler zijn (Van Oostrom et al. 2010). De warmte van de stad dringt langzaam door in de ondergrond. In grondwaterputten in Nederland zijn ook nog op 100 m diepte verschillende temperaturen meetbaar (van 10 °C tot 12 °C) ten gevolge van menselijke en natuurlijke activiteiten aan

het oppervlak (Kooi 2008). Op 25 m diepte was in 2006 al een duidelijke stijging van de grondwatertemperatuur te meten ten opzichte van 1976 (Kooi 2008). Een bescheiden temperatuurdaling veroorzaakt door een WKO-installatie zou de plaatselijke en landelijke opwarming kunnen compenseren.

3.4 Het ruimtebeslag van WKO-systemen

Gesloten WKO-systemen kunnen ondiep worden toegepast waarbij er een groot ruimtebeslag is op de eerste meters van de ondergrond waar ook al veel kabels, rioleringen, drainagebuizen, funderingen, leidingen en andere objecten liggen. Dit is een van de redenen waarom men gesloten WKO-systemen meestal verticaal in de ondergrond legt zodat het ruimtebeslag veel minder wordt. Op tientallen meters diepte is veel meer ruimte beschikbaar. Op deze diepte komen wel heipalen voor, maar deze geven geen problemen met WKO. Er zijn zelfs systemen waarbij de WKO in de heipalen wordt toegepast bij de nieuwbouw van woningen. Dit heeft als voordeel dat er dan geen extra doorboring van scheidende lagen voor de gesloten WKO-installatie nodig is.

Open WKO-systemen bevinden zich meestal op vele tientallen tot 120 m diepte. Het ruimtebeslag gaat over het algemeen niet veel verder dan het perceel waarop het gebouw zich bevindt (Dickinson et al. 2009). In grindpakketten zijn de stroomsnelheden hoger en kan het thermisch invloedsgebied zich verder uitbreiden dan in zand (Hähnlein et al. 2010). Er is wel afstemming nodig met andere WKO-installaties om te voorkomen dat warme en koude bellen elkaar raken. Dit mengen vermindert dan de energetische efficiëntie van de WKO-installaties (Oomes et al. 2010).

De fysieke toestand van de Nederlandse ondergrond is op veel plaatsen technisch geschikt voor WKO, maar WKO-installaties kunnen niet in al deze gebieden worden gebouwd, omdat regelmatig andere gebruiksvormen prevaleren. De drinkwatervoorziening kent beschermingsgebieden waarbij de kwaliteit van het grondwater beschermd wordt. Voor de drinkwaterwinning is het ruimtebeslag van WKO-installaties één van de belangrijkste bezwaren (Bonte et al. 2011). Bij grondwaterwinningen worden in Nederland de volgende typen beschermingsgebieden onderscheiden:

3.4.1 *Waterwingebied*

Het waterwingebied omvat het veld met onttrekkingsputten voor drinkwater dat door omgevings- en/of bodemkenmerken, zoals afsluitende kleilagen, is afgebakend. Begrenzings van waterwingebieden zijn door de provincies in samenwerking met waterwinbedrijven vastgesteld. De minimale verblijftijd van het grondwater dat wordt onttrokken bedraagt 60 dagen, met een minimum van 30 m vanaf de individuele onttrekkingsputten. Het waterwingebied is meestal eigendom van het drinkwaterbedrijf. Het waterwingebied kent een algemeen verbod op het uitvoeren van activiteiten, voor zover deze niet direct gerelateerd zijn aan de drinkwaterproductie.

3.4.2 *Boringsvrije zone*

Deze zone wordt ingesteld voor diepe grondwaterwinningen die door een slecht doorlatende laag worden beschermd tegen verontreinigingen als gevolg van activiteiten aan het maaiveld. Binnen een boringsvrije zone geldt een verbod of beperking (per provincie verschillend) op het uitvoeren van boringen. Het is duidelijk dat in een waterwingebied of in een boringsvrije zone geen WKO-

installatie gebouwd kan worden. Voor een grondwaterbeschermingsgebied ligt de zaak genuanceerder.

3.4.3 *Grondwaterbeschermingsgebied*

Het grondwaterbeschermingsgebied ligt om het waterwingebied en de boringsvrije zone heen en wordt meestal begrensd door de 25-jaars- of 100-jaarscontour: dit betekent dat het water dat in dit gebied in de bodem infiltreert, er (minimaal) 25 of 100 jaar over doet voor het de onttrekkingsput bereikt. Daarbij wordt aangenomen dat de 100-jaarscontour grofweg overeenkomt met het intrekgebied van de winning. De keuze voor de omvang van de begrenzing varieert per provincie en wordt veelal ingegeven door de kwetsbaarheid van de winning met betrekking tot de verspreiding van verontreinigingen. Binnen een grondwaterbeschermingsgebied gelden beperkingen, bijvoorbeeld ten aanzien van het vestigingsbeleid van bepaalde soorten activiteiten (bedrijven), en het gebruik van gewasbeschermingsmiddelen. Een KWR-rapport uit 2008 somt de belangrijkste bezwaren tegen WKO-systemen in grondwaterbeschermingsgebieden op (Stuyfzand et al. 2008): door extra monitoring, een verkleining van het beschermingsgebied, een verminderde flexibiliteit van de waterwinning en een toename van de juridische geschillen verwacht KWR een kostenverhoging. Een toename van de anorganische en organische microverontreinigingen door menging van grondwater en het aantrekken van vuilpluimen ziet men als tweede belangrijkste bezwaar. De microbiologische risico's worden door KWR als klein ingeschat door de grote afstand tussen een grondwaterbeschermingsgebied en de drinkwaterputten (Stuyfzand et al. 2008). Wanneer Nederland volgebouwd wordt met WKO-installaties, is er geen ruimte meer voor nieuwe drinkwaterputten. Wanneer dan enkele bestaande putten door vervuiling moeten sluiten, wordt het moeilijk om de levering van drinkwater te garanderen (Stuyfzand et al. 2008).

3.5 **De risico's van warmte- en koudeopslag**

3.5.1 *De risico's van boringen*

Bij een boring wordt er een verbinding gemaakt tussen de oppervlakte en diepere aardlagen. Bij een hoge druk in de diepe aardlagen kan er een opwaartse stroming door de boorput ontstaan, waardoor het oppervlak verontreinigd kan worden door bijvoorbeeld olie uit de diepere lagen. Bij een lage druk in de diepe aardlagen kan er een neerwaartse stroming door de boorput ontstaan, waardoor de diepe aardlagen met het grondwater verontreinigd kunnen worden.

Het doorboren van erg diepe aardlagen brengt risico's voor het verontreinigen van de oppervlakte met zich mee wanneer deze aardlagen onder druk staan. In 2006 ontstond op Oost-Java een moddervulkaan die dertigduizend mensen dakloos maakte en nog steeds 100.000 m³ modder per dag uitstoot. Deze moddervulkaan was ontstaan na een gasboring. De boring van BP in de Golf van Mexico in 2010 veroorzaakte een ramp door het uitstromen van olie onder hoge druk.

Voor het aanleggen van WKO-installaties wordt veel minder diep geboord in aardlagen, waarbij geen overdruk aanwezig is. Het voornaamste risico bij deze boringen is niet de verontreiniging van de oppervlakte, maar juist de verontreiniging van het grondwater. De bodem, de waterbodem of het bovenste grondwater bevatten een actieve microflora die zorgt voor de afbraak van verontreinigingen (Van Beelen et al. 2010). Wanneer verontreinigingen direct in het grondwater worden gebracht zijn de effecten veel groter dan wanneer deze

op de bodem worden gebracht. Er zijn richtlijnen voor ondergrondse energieopslag van de Nederlandse Vereniging voor Ondergrondse Energieopslag-systemen (NVOE 2006). Deze richtlijnen bevelen organische spoelingsadditieven zoals polyanionische cellulose en carboxymethylcellulose aan, omdat deze na gebruik afgebroken zouden kunnen worden in het grondwater. Het is echter nog de vraag of deze stoffen onder de zuurstofloze omstandigheden die in het grondwater van een WKO installatie heersen ook werkelijk worden afgebroken. In de richtlijnen voor een goed geboorde put (Timmer 2006) wordt vermeld dat meestal het polyanionische cellulose genaamd Antisol gebruikt wordt in concentraties beneden de 0,3 g/liter. Het protocol voor mechanisch boren (SIKB 2006) stelt dat de introductie van gebiedsvreemde stoffen in het grondwater tijdens het boren voorkomen moet worden. Bij het aanleggen van de put worden vaak grote hoeveelheden grondwater opgepompt waardoor verontreinigingen kunnen worden verwijderd. Boorvloeistoffen en boormaterialen worden in de ondergrond gebracht en kunnen daar het grondwater verontreinigen wanneer onzorgvuldig wordt gewerkt. Zelfs bij een zorgvuldige boring ontstaan fijne minerale deeltjes die een jarenlange invloed kunnen hebben op de alkaliniteit en de calcium- en magnesiumconcentratie in het grondwater (Kim 2003).

3.5.2 *De risico's van lekkage van koelvloeistoffen*

Zowel in open als gesloten WKO-systemen worden koelvloeistoffen gebruikt voor het transport van warmte of koude in de installatie. Door lekkage zouden deze koelvloeistoffen in het grondwater terecht kunnen komen. In open systemen kan de warmtewisselaar gaan lekken en in gesloten systemen kunnen de buizen in het grondwater lek raken. Bij open systemen wordt meestal alleen leidingwater als koelvloeistof gebruikt in de warmtewisselaar, omdat deze installaties in een gebouw staan waar het risico op bevriezing gering is. Het gebruik van leidingwater als koelvloeistof in het systeem voorkomt de verontreiniging van het grondwater bij lekkage, maar heeft als nadeel dat het leidingwater kan bevriezen. Om deze reden worden soms antivriesmiddelen zoals ethyleenglycol of propyleenglycol gebruikt in het water in de leidingen van de installatie. Ook methanol en organische zuren kunnen gebruikt worden als antivries (Wikipedia 2010). Propyleenglycol is minder giftig dan ethyleenglycol en wordt daarom voor de koeling van voedingsmiddelen gebruikt. Het ad-hoc-Maximaal Toelaatbaar Risiconiveau (MTR) van propyleenglycol in oppervlaktewater is 330 µg/liter (Hansler et al. 2007). Dit betekent dat een liter koelvloeistof met 50% propyleenglycol voldoende is om 1570 kubieke meter grondwater te vervuilen tot MTR-niveau. Propyleenglycol wordt afgebroken in zuurstofrijk grondwater (French et al. 2001). Deze afbraak kan zoveel zuurstof verbruiken dat zuurstofrijk grondwater zuurstofloos wordt en er mangaanionen in oplossing gaan (French et al. 2001). Naast het eigenlijke antivries bevatten commerciële antivriesmiddelen vaak ook een aantal andere chemicaliën zoals kleurstoffen, smeermiddelen, vlamvertragers, surfactanten, buffers, antischuimvormers en corrosieremmers (USEPA 2000, Wikipedia 2010). De corrosieremmers vertragen de aantasting van metalen door de koelvloeistof. Wanneer bij de aanleg van de installatie koper, messing of brons gebruikt wordt, worden corrosieremmers aanbevolen, terwijl dit niet nodig is in een geheel roestvrijstalen installatie. Veel corrosieremmers zijn giftig voor bacteriën en vertragen zodoende de biologische afbraak van propyleenglycol in de koelvloeistof. Bij het ontijzen van vliegtuigen met propyleenglycol bevattende vloeistoffen geeft de corrosieremmer methylbenzotriazool de grootste bijdrage aan de giftigheid ondanks zijn relatief lage concentratie (Cornell et al. 2000). Terwijl propyleenglycol afbreekt in zuurstofrijk grondwater, is de corrosieremmer benzotriazool mobiel en jarenlang persistent in het grondwater (Breedveld et al. 2003). Benzotriazool en het verwante

tolyltriazool worden slecht verwijderd in rioolwaterzuiveringsinstallaties en zijn belangrijke verontreinigende stoffen in het oppervlaktewater (Voutsas et al. 2006, Giger et al. 2006). De afbraak van stoffen in het zuurstofloze grondwater dat in Nederland voor WKO-installaties wordt gebruikt, is meestal veel trager dan de afbraak in aanwezigheid van zuurstof (Van Beelen 1990). In water verzadigde veengrond remmen de lage pH en de afwezigheid van zuurstof de afbraak vrijwel volledig, waardoor zelfs goed afbreekbare stoffen eeuwenlang aanwezig kunnen blijven (Van Beelen 2007). De afwezigheid van afbraakprocessen in veenbodems blijkt ook, doordat er menselijke resten zoals veenlijken en oude Romeinse houten boten eeuwenlang in bewaard kunnen blijven. Het gebruik van antivries en corrosiebeschermers kan in principe vermeden worden, omdat het nooit vriest in de diepere ondergrond. Bij strenge vorst zal de installatie over het algemeen in werking zijn, waardoor bevroering ook in de hoger gelegen pijpleidingen voorkomen zou kunnen worden. Een recent rapport van de drinkwatersector adviseert dan ook om het gebruik van deze stoffen in WKO-systemen te verbieden (Bonte et al. 2009). Ook het literatuuroverzicht van "Meer Met Bodemenergie" geeft aan dat de lekkage van koelvloeistoffen één van de belangrijkste risico's vormt bij het gebruik van gesloten WKO-systemen. Als mogelijke oplossing wordt ook in dit literatuuroverzicht het gebruik van water zonder antivries in gesloten WKO-systemen genoemd (Van Oostrom et al. 2010). De Technische Commissie Bodembescherming (TCB) ziet gesloten systemen niet als duurzaam voor de bodem mede door het risico op lekkage (TCB 2009).

3.5.3 *De risico's van gesloten WKO-systemen*

Gesloten systemen worden op dit moment ook in Nederland steeds vaker toegepast en kunnen een risico vormen voor de grondwaterkwaliteit. Het TCB-advies geeft ook aan dat gesloten WKO-systemen in verband met het groot aantal perforaties van beschermende bodemlagen niet als duurzaam moeten worden gezien voor de bodem (TCB 2009). De risico's zijn relatief groot in vergelijking met de energieopbrengst.

Het aantal boorputten voor gesloten systemen ligt vermoedelijk boven de 30.000 (CBS, 2009). Bij groeiende aantallen systemen wordt de kans op lekkage in incidentele gevallen natuurlijk steeds groter. De ondergrondse buizen van een gesloten WKO-installatie zijn niet (of met zeer veel moeite) verwijderbaar en worden daarom meestal ontworpen voor een zeer lange levensduur van meer dan 50 jaar. Er is nog onduidelijkheid over hoe de bodem kan worden hersteld nadat een systeem buiten gebruik is gesteld (Van Oostrom et al. 2010). In principe wordt de buis uit een boorgat niet verwijderd bij het buiten gebruik stellen, maar wordt er afdichtingsmateriaal in de buis gebracht. De reden hiervoor is dat het verwijderen van de buis tot gevolg kan hebben dat het boorgat instort, waardoor niet gegarandeerd kan worden dat de scheidende lagen in de ondergrond goed afgedicht blijven (SIKB 2006). Ook andere constructies zoals bijvoorbeeld leidingen en heipalen worden niet volledig verwijderd uit de diepe ondergrond wanneer ze niet meer worden gebruikt.

De temperatuursveranderingen in het grondwater zijn bij gesloten systemen vaak groter dan bij open systemen, omdat de warmte zich niet door transport van het grondwater verspreidt, maar meer lokaal aanwezig blijft. Vergeleken met open WKO-systemen is er dus een grotere temperatuursverandering in een kleiner gebied. De risico's van temperatuursveranderingen in het algemeen worden in de volgende paragraaf beschreven. Er zijn ook gesloten WKO-systemen in heipalen mogelijk waarbij er minder extra perforaties van de ondergrond plaatsvinden. Het verdient aanbeveling om de ontwikkeling van

gesloten WKO-systemen in Nederland goed te volgen en eventueel bij te sturen in een meer milieuvriendelijke richting.

3.5.4 *De risico's van open WKO-systemen*

Bij open systemen is het risico van incidentele lekkages van koelvloeistof veel minder groot. Alleen in de warmtewisselaar komt het opgepompte grondwater in de buurt van koelvloeistof. Vaak is deze koelvloeistof gewoon leidingwater zonder toevoegingen. Open systemen lijken daardoor een gering risico te vormen voor de introductie van verontreinigingen. Het aantal boorgaten bij open systemen is veel kleiner dan bij gesloten systemen van dezelfde capaciteit. Het is eenvoudiger om de afdichting van scheidende lagen te behouden bij een beperkt aantal grote boorgaten zoals gebruikt in open WKO-systemen dan bij een veel groter aantal kleine boorgaten zoals gebruikt in gesloten WKO-systemen. Bij het onderhoud of door lekkage kan echter wel een beperkte hoeveelheid zuurstof uit de lucht in het grondwater komen. Het intensieve rondpompen van grondwater in open WKO-systemen kan leiden tot verspreiding van al aanwezige grondwaterverontreinigingen. Het vermengen van grondwaterlagen met een verschillende redoxpotentiaal of pH kan tot ongewenste geochemische en microbiologische processen leiden zoals ijzerner slag en anaerobe corrosie (Brons en Zehnder 1990). Deze neerslag kan ook tot verstopping van de bron leiden (Umemiya en Mutou 1989). Bij het regenereren van verstopte bronnen worden soms agressieve chemicaliën gebruikt zoals chloorbleekloog (NaOCl), waterstofperoxide en sterk zuur (Van Oostrom et al. 2010). In de bronnen en in de referentieputten van een onderzochte WKO in Lelystad werden soms zeer weinig micro-organismen aangetroffen (Gerritse et al. 2010). De diversiteit van de bacteriën (gemeten met DNA-technieken) lijkt het grootste in de referentieputten, hetgeen ook wijst op een negatief effect van de WKO-installaties (Gerritse et al. 2010).

3.5.5 *De risico's van open WKO-systemen in vervuild grondwater*

Open WKO-systemen worden meestal toegepast bij grote gebouwen en die bevinden zich over het algemeen in een stedelijke omgeving waarbij ook grondwaterverontreiniging aanwezig kan zijn. Afhankelijk van de door de provincies gewenste grondwaterkwaliteit zijn er verschillende mogelijkheden om WKO-systemen toe te passen in gebieden met gebiedsgericht grondwaterbeheer (De Graaf 2008). De handleiding Bodemenergie en Grondwaterverontreiniging (Verburg et al. 2010) geeft een praktische leidraad voor het gebruik van bodemenergiesystemen in aanwezigheid van vervuild grondwater. De combinatie van open systemen en bodemsanering wordt door betrokken partijen vaak enthousiast aanbevolen. Het is echter niet aannemelijk dat het rondpompen van grondwater en het verwarmen en koelen met over het algemeen in de praktijk slechts een bescheiden temperatuursverandering van 4 °C, een groot positief effect zal hebben op de totale afbraak. Voor de afbraak van biologisch afbreekbare verontreinigingen in het grondwater zijn vooral de milieucondities zoals zuurgraad en redoxpotentiaal bepalend (Van Beelen et al. 2011). Er is een aantal bodemenergiesystemen dat functioneert met verontreinigd grondwater, maar het is niet duidelijk of naast de energiebesparing ook daadwerkelijk een versnelde reiniging van het grondwater optreedt (Verburg et al. 2010). Het heen en weer pompen van het grondwater kan in principe aanleiding geven tot een grotere verspreiding van de verontreinigingen. Wegens het risico voor het verstopten van de WKO-putten door bacteriegroei worden meestal geen toevoegingen gedaan om de afbraak te stimuleren (Verburg et al. 2010). Dit geeft ook duidelijk weer dat dan de

prioriteit ligt bij de WKO en niet bij de bodemsanering. Een WKO-systeem werkt met grote stroomsnelheden en moet voor lange tijd kunnen blijven draaien, terwijl bodemreiniging veel lagere stroomsnelheden vraagt bij een veel kortere bedrijfsduur (Van Oostrom et al. 2010). In principe kan een open WKO-systeem wel op een vervuilde locatie worden toegepast, maar er is specifiek maatwerk nodig met netto onttrekking om de verspreiding van de vervuiling te beperken. Een voorbeeld hiervan is de combinatie van de sanering van een grondwaterverontreiniging door tetrachlooretheen en trichlooretheen in Woerden. De WKO-installaties die gebruikmaken van het verontreinigde grondwater moeten volgens TTE-consultants netto vervuild grondwater onttrekken en na zuivering lozen (Hage 2010).

3.5.6 *De risico's van kleine temperatuursveranderingen op de geochemie*

De temperatuursveranderingen van het grondwater door WKO-systemen kunnen verschuivingen veroorzaken in de chemische evenwichten tussen het ondergrondmateriaal en het grondwater ter plaatse. Sommige mineralen zoals een aantal silicaten gaan beter in oplossing, terwijl andere mineralen zoals calciëet juist neerslaan bij hogere temperaturen (Arning et al. 2006, Griffioen en Appelo 1993). Dit gebeurt over het algemeen pas bij grotere temperatuursveranderingen dan 20 °C (Drijver en Willemsen 2004). Dat betekent dat er pas bij een temperatuur boven de 30 °C, die normaal niet zal voorkomen bij open WKO-systemen, veranderingen in de geochemie zullen ontstaan.

3.5.7 *De risico's van kleine temperatuursveranderingen op de microbiologie*

Chemische processen zijn over het algemeen minder temperatuurgevoelig dan de veel complexere biologische processen. Veranderingen in de biologische processen zullen altijd samengaan met veranderingen in de microbiële levensgemeenschap die deze processen uitvoert. Grondwaterfauna kan in principe gebruikt worden als een praktische indicator voor de grondwaterkwaliteit (Stein et al. 2010) maar dit lukt niet in zuurstofloos grondwater. In zuurstofloos grondwater zijn over het algemeen slechts bacteriën aanwezig (Hirsch en Rades-rohkohl 1982). Hoewel de grondwaterfauna aangepast is aan zuurstofbeperking kan deze toch niet langdurig zonder zuurstof overleven (Hervant en Malard 1999). Sommige schimmels kunnen wel onder zuurstofloze omstandigheden leven, maar meestal niet in een zowel zuurstofloos als voedsel-arm milieu als het grondwater (Van Beelen 1986). Algen en planten zullen in voortdurende duisternis zoals die in het grondwater heerst niet kunnen overleven. Het is mogelijk dat er virussen in het grondwater aanwezig zijn, maar daarover is ons niets bekend. De microbiologie in zuurstofloos grondwater wordt dus hoofdzakelijk bepaald door bacteriën.

In 1992 verscheen een rapport over de effecten van energie-opslag in het grondwater op de daar aanwezige microbiologische processen (Winters 1992). Er werd een artificiële testopstelling bestudeerd in Duitsland, Zwitserland, Minnesota en Alabama waarbij de bacteriële diversiteit werd gemeten met agarplaatmethoden en met een ATP-bepaling. De laatste methode toonde ongeveer 100 keer meer bacteriën aan dan de agarplaatmethoden. Een temperatuursverandering van 25 °C naar 60 °C in het Zwitserse experiment gaf een duidelijke verschuiving te zien van mesofiele bacteriën naar de aan een hogere temperatuur aangepaste thermofiele bacteriën. De agarplaatmethoden gaven variabele resultaten, waardoor de auteurs geen significante effecten konden aantonen op de andere locaties (Winters 1992). Deze resultaten zijn uiteindelijk nooit gepubliceerd in de wetenschappelijke literatuur. Recente laboratoriumstudies van bacteriën uit de ondergrond van de Duitse stad Bremen

(Schippers en Reichling 2006), laten een geringe gevoeligheid voor temperatuursveranderingen zien tussen de 8 en 30 °C. De temperatuur van het grondwater onder invloed van een gesloten WKO-systeem in New Jersey liep op van 14 °C naar 24 °C in de 10 jaar voordat er een koeltoren werd gebouwd (Sowers et al. 2006). Deze temperatuurstijging had invloed op de diversiteit van de micro-organismen gemeten met DNA-methoden (Sowers et al. 2006). Op het RIVM is in samenwerking met het IRAS een experimenteel onderzoek verricht naar de risico's van open WKO-systemen. Dit onderzoek laat zien dat, in ieder geval in het eerste jaar, de effecten zeer klein zijn. Ook Duits onderzoek (Brielmann et al. 2009) geeft aan dat de effecten van WKO niet significant groter zijn dan de natuurlijke verschillen. Het Duitse onderzoek richtte zich op zuurstofrijk grondwater in de buurt van een rivier dat ook door natuurlijke omstandigheden aan temperatuursvariatie is blootgesteld. Dit milieu is heel anders dan het zuurstofloze diepe grondwater dat in Nederland wordt gebruikt voor WKO-installaties.

Mogelijke veranderingen in de samenstelling van de bacteriële levensgemeenschap vormen een risico, doordat bepaalde processen niet meer op natuurlijke wijze verlopen en ook doordat in theorie ziekteverwekkers zouden kunnen ontstaan (Holme 2003). Al bij de mogelijkheid van een risico voor de mens of het milieu kunnen beleidsmakers kiezen voor het voorzorgsbeginsel (EC 2000a). In dat geval worden bepaalde menselijke activiteiten verboden tenzij en totdat bedrijven wetenschappelijk aantonen dat deze veilig zijn. Er zijn in de wetenschappelijke literatuur nog onvoldoende gegevens beschikbaar om een duidelijk inzicht te krijgen in de mogelijke veranderingen van de microflora.

3.5.8 *De risico's van hoge temperaturen*

Wanneer de temperatuur van het te injecteren warme water flink opgehoogd zou kunnen worden tot boven de 50 °C, zou een WKO-systeem in een aantal gevallen zonder warmtepomp kunnen draaien. Op deze manier zou bijvoorbeeld de warmte uit warmte/krachtopwekking, zonnecollectoren of uit asfaltwegen kunnen worden opgeslagen in de ondergrond.

Hieraan kleven drie bezwaren:

1. Bij een temperatuur boven 50 °C treedt sterfte op van de oorspronkelijke bacteriën in het grondwater, waardoor deze vervangen worden door meer temperatuurreistente bacteriën. Veel afbraakprocessen gaan steeds sneller verlopen wanneer de temperatuur van 10 °C naar 40 °C stijgt. Boven deze temperatuur daalt meestal de reactiesnelheid plotseling, omdat de bacteriën die de afbraakprocessen uitvoeren, afsterven en niet op korte termijn vervangen kunnen worden door temperatuurreistente bacteriën. Deze afbraakprocessen zijn noodzakelijk voor een goede grondwaterkwaliteit.
2. Heet water veroorzaakt geochemische veranderingen in de ondergrond en er kan ook kalkneerslag optreden in de warmtewisselaar (Holm et al. 1987). Wanneer dan ontkalking wordt toegepast, ontstaan daardoor nieuwe milieubezwaren (Willemsen 1992). In 1992 heeft op het terrein van de universiteit Utrecht een hoge temperatuur (90 °C) warmte-opslag in het grondwater gestaan (Van der Heide en Van Loon 1992). Deze is door verstopping van de warmwaterbron in 1999 gesloten. De conclusie van het project was dat een warmwaterbron van 90 °C niet geschikt is voor een traditioneel verwarmingssysteem, zelfs niet wanneer deze een retourtemperatuur van 50 °C kan gebruiken (Willemsen en Van Woerkom 2001). Daarom worden tegenwoordig speciale aan een lage aanvoertemperatuur aangepaste verwarmingssystemen gebruikt bij WKO-installaties (Van Oostrom et al. 2010).

3. Heet water is lichter dan koud water en heeft daardoor de neiging te stijgen. Wanneer dit gebeurt, zijn er grote risico's voor de bovenliggende grondwaterlagen die dan vermengen met de onderliggende hete laag en daarbij ook nog opwarmen. Een bovenliggende scheidende waterondoorlaatbare laag van goede kwaliteit is nodig om dit risico te beperken. Zout grondwater zal niet snel opstijgen door een bovenliggende zoetwaterlaag, omdat het zwaarder is dan zoet grondwater (Coppola Jr et al. 2005).

Het verhitten van grondwater tot temperaturen boven de 50 °C zal de lokale natuurlijke processen in dat grondwater verstoren en is dus niet aan te bevelen voor grondwater dat gebruikt wordt voor de drinkwatervoorziening of voor terrestrische of aquatische ecosystemen die van het grondwater afhankelijk zijn. Om deze reden gebruiken de in Nederland gerealiseerde hogetemperatuur-warmteopslagsystemen grondwater uit pakketten dieper dan 100 m (Van Oostrom et al. 2010).

3.5.9 *De risico's op het toenemen of verspreiden van ziekteverwekkers*

Er zijn geen ziekteverwekkers gerapporteerd in het grondwater beïnvloed door open of gesloten WKO-systemen, maar dit is nog wel een punt van zorg. Omdat er heel veel verschillende soorten ziekteverwekkers zijn, is het moeilijk om aan te tonen dat een bepaalde hoeveelheid grondwater geen enkele ziekteverwekker bevat. Ziekteverwekkers kunnen bijvoorbeeld virussen, bacteriën, schimmels, protozoa of andere parasieten zijn. Ziekteverwekkers zijn aangepast aan het leven bij 37 °C onder bijzonder voedselrijke omstandigheden zoals die in het menselijk lichaam voorkomen. In grondwater heersen meestal voedselarme omstandigheden waarbij ziekteverwekkers langzaam afsterven en weggefilterd worden door de bodemdeeltjes (zie Bijlage 1). Bij lage temperaturen wordt het rustmetabolisme van ziekteverwekkers vertraagd, waardoor deze langer onder voedselarme omstandigheden kunnen overleven. Het Nederlandse grondwater bevat meestal zeer lage concentraties aan bacteriën en virussen, waardoor het veilig voor de productie van drinkwater kan worden gebruikt. Een strikte scheiding tussen het WKO-water en afvalwater zoals rioolwater is noodzakelijk om directe vervuiling van het grondwater te voorkomen.

Er ligt een spanningsveld tussen de gebruikers van WKO en de drinkwatersector. De zorg bestaat dat er een toename of verspreiding van ziektekiemen ontstaat door de temperatuursverandering, door het introduceren van vervuilingen of door het heen en weer pompen. Wanneer er bijvoorbeeld, door een fout, rioolwater in een WKO-put terecht zou komen, vormt de verspreiding van ziekteverwekkende virussen het grootste risico (zie Bijlage 1). De virussen zijn klein en worden minder makkelijk uitgefilterd dan de grotere bacteriën en protozoa. Dit literatuuronderzoek (zie bijlage) laat zien dat een afstand van 200-400 m (of 1-2 jaar reistijd) vermoedelijk voldoende is voor het verwijderen van ziekteverwekkers zoals virussen in de ondergrond.

3.6 **Toezicht bij WKO-systemen: aandachtspunten voor drinkwaterbedrijven**

Bij een inventariserend onderzoek onder provincies in 2006 werd het toezicht op aanleg, beheer, onderhoud en buitengebruikstelling van WKO-systemen als knelpunt genoemd. De provinciale capaciteit hiervoor werd als te beperkt beoordeeld (Wuijts et al. 2007). Geconstateerd werd dat dit aspect van het provinciale grondwaterbeschermingsbeleid, met name rondom gebieden met drinkwaterwinning alsmede de rol van gemeenten en VROM-Inspectie hierbij, nadere aandacht verdient.

In 2009 heeft het RIVM in het kader van het project Toezicht Drinkwater-bedrijven samen met de VROM-Inspectie een inventariserend onderzoek uitgevoerd naar de ervaringen van drinkwaterbedrijven met het beleid rondom de bescherming van drinkwaterbronnen alsmede toekomstige ontwikkelingen hierin. Ten aanzien van WKO-systemen noemden de drinkwaterbedrijven de volgende aandachtspunten:

- De drinkwaterbedrijven hebben geen inzicht in de mogelijke aanwezigheid van gesloten WKO-systemen in het intrekgebied van grondwaterwinningen. Dit baart hun zorgen vanwege het mogelijke doorboren van kleilagen hierbij, met als gevolg risico op kortsluitstromen en mogelijke verontreinigingen.
- Deregulering en decentralisatie hebben de afgelopen jaren gezorgd voor een steeds diffusere verdeling van de verantwoordelijkheden en beperktere sturingsmogelijkheden ten aanzien van het grondwaterbeschermingsbeleid. Aandachtspunt vormt het meewegen van het drinkwaterbelang bij gemeentelijke (ruimtelijke) afwegingen, waaronder de toepassing van gesloten WKO-systemen.
- Naast onduidelijkheid over de effecten van WKO-systemen is het ook onduidelijk hoe het beheer van WKO-systemen op langere termijn zal uitpakken, bijvoorbeeld als een onderneming failliet gaat, en hoe de WKO-systemen weer worden opgeruimd na beëindiging.
- Sommige drinkwaterbedrijven ervaren een toenemende druk op het toestaan van WKO-systemen binnen het grondwaterbeschermingsgebied, maar in de meeste provincies worden die niet toegestaan.

Dankwoord

De auteurs bedanken drs. B. Drijver (If Technology), drs. M. Bonte (KWR), drs. J.L.M. Oomes (TCB), dr. M. Rutgers (RIVM), drs. T. Schouten (RIVM) en ir. T. Verburg (I&M) voor hun deskundige commentaar op eerdere versies van dit rapport.

Literatuur

- Arning, E., Kölling, M., Panteleit, B., Reichling, J. and Schulz, D. H. D. (2006) 'Einfluss oberflächennaher Wärmegewinnung auf geochemische Prozesse im Grundwasserleiter', *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*, 11(1), 27-39.
- Bonte, M., Stuyfzand, P., Hulsmann, A. and Van Beelen, P. (2011) 'Underground thermal energy storage: environmental risks and policy developments in the Netherlands and EU', *Ecology and Society*, In press.
- Bonte, M., Stuyfzand, P., van Beelen, P. and Visser, P. (2010a) 'Onderzoek naar duurzame toepassing van warmte-koudeopslag', *H₂O*, 3, 34-36.
- Bonte, M., Van den Berg, G. A., Boukes, H., Dammers, P., Jennekens, O., Van der Moot, N., Oosterhof, A., Six, S. and Smits, F. (2009) *Hoe combineren we drinkwater met bodemenergie systemen?*, Rapport no. BTO 2009.030
- Bonte, M., van Wezel, A. P., van Daal, K., De Gier, A. A. J., van Rijswijk, H. F. M. W., Robbe, J. and Schueler, B. J. (2010b) *Ordering van de ondergrond. Een fysiek en juridisch afwegingskader*.
- Breedveld, G. D., Roseth, R., Sparrevik, M., Hartnik, T. and Hem, L. J. (2003) 'Persistence of the de-icing additive benzotriazole at an abandoned airport', *Water Air and Soil Pollution*, 3(3), 91-101.
- Brielmann, H., Griebler, C., Schmidt, S. I., Michel, R. and Lueders, T. (2009) 'Effects of thermal energy discharge on shallow groundwater ecosystems', *FEMS Microbiology Ecology*, 68(3), 273-286.
- Broekhuizen, H. and Ros, M. (2007) 'Luchtbehandelingsinstallatie inzetbaar voor correcties Thermische bodembalans kostenefficiënt realiseren ', *Verwarming ventilatie plus*, 3.
- Brons, H. J. and Zehnder, A. J. B. (1990) 'Biogeochemical aspects of aquifer thermal energy storage', *Proceedings & Information - Committee for Hydrological Research TNO*, 43, 73-80.
- CBS (2009) *Duurzame energie in Nederland 2008*, Den Haag/Heerlen: Centraal Bureau voor de Statistiek.
- Coppola Jr, E. A., McLane, C. F., Poulton, M. M., Szidarovszky, F. and Magelky, R. D. (2005) 'Predicting conductance due to upconing using neural networks', *Ground Water*, 43(6), 827-836.
- Cornell, J. S., Pillard, D. A. and Hernandez, M. T. (2000) 'Comparative measures of the toxicity of component chemicals in aircraft deicing fluid', *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19(6), 1465-1472.
- De Graaf, A. (2008) *Afwegingskader gebiedsgericht grondwaterbeheer Gelderland*, Rapport no: 08_020 R004, Provincie Gelderland.

- De Graaf, A. (2009) *Quik scan vergunningverlening warmte koude opslagsystemen*, Rapport no: 08_030 R004, Bunnik: Quintens advies en management.
- de Marsily, G., Delay, F., Gonçalves, J., Renard, P., Teles, V. and Violette, S. (2005) 'Dealing with spatial heterogeneity', *Hydrogeology Journal*, 13(1), 161-183.
- Dickinson, J. S., Buik, N., Matthews, M. C. and Snijders, A. (2009) 'Aquifer thermal energy storage: Theoretical and operational analysis', *Geotechnique*, 59(3), 249-260.
- Drijver, B., Koenders, M., Van Nieuwkerk, E. and Dinkla, I. (2010) 'Hoe komen we tot een verantwoorde groei? 'Meer Met Bodemenergie' onderzoekt effecten WKO', *Bodem, tijdschrift over duurzaam bodembeheer*, 20(3), 15 - 17.
- Drijver, B. C. and Willemsen, A. (2004) *Temperatuureffecten op grondwaterkwaliteit. Samenvatting bestaande kennis*, Rapport no: 1/53232/GW, NVOE.
- EC (2000a) 'Mededeling van de commissie over het voorzorgsbeginsel', *Commissie van de Europese gemeenschappen*, COM(2000), Brussel.
- EC (2000b) 'Richtlijn 2000/60/EG van het Europees parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid', L 327, Publicatie blad van de Europese gemeenschappen.
- EC (2006) 'Richtlijn 2006/118/EG van het Europees parlement en de raad van 12 december 2006 betreffende de bescherming van het grondwater tegen verontreiniging en achteruitgang van de toestand', Europees Parlement.
- EC (2007) *Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Guidance Document No. 16, Guidance on groundwater in drinking water protected areas*, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- EC (2010) 'Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings', *Official Journal of the European Union*, L 153(2010/31/EU), 13 - 35.
- Fan, R., Jiang, Y., Yao, Y. and Ma, Z. (2008) 'Theoretical study on the performance of an integrated ground-source heat pump system in a whole year', *Energy*, 33(11), 1671-1679.
- French, H. K., Van Der Zee, S. E. A. T. M. and Leijnse, A. (2001) 'Transport and degradation of propyleneglycol and potassium acetate in the unsaturated zone', *Journal of Contaminant Hydrology*, 49(1-2), 23-48.
- Gerritse, J., Hannes, F., Van Oostrom, N., Hoekstra, N. and Stuurman, R. (2010) *Effecten van warmte- en koudeopslag (WKO) op fysisch- chemische*

omstandigheden en micro-organismen in grondwater, Rapport no: 092.81222, Deltares.

- Giger, W., Schaffner, C. and Kohler, H. P. E. (2006) 'Benzotriazole and tolyltriazole as aquatic contaminants. 1. Input and occurrence in rivers and lakes', *Environmental Science and Technology*, 40(23), 7186-7192.
- Griffioen, J. and Appelo, C. A. J. (1993) 'Nature and extent of carbonate precipitation during aquifer thermal energy storage', *Applied Geochemistry*, 8(2), 161-176.
- Guijt, R. C. (2010) 'Het samenwerkingsprogramma WKO gaat van start. Samen aan de slag met WKO.', *Bodem, tijdschrift over duurzaam bodembeheer*, 20(3), 13 - 14.
- Haehnlein, S., Bayer, P. and Blum, P. (2010) 'International legal status of the use of shallow geothermal energy', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2611-2625.
- Hage, K. (2010) 'WKO en sanering gecombineerd in Spoorzone Woerden', [online], available: <http://www.nvoe.nl/Media/download/162609/4%20TTE%20Ko%20Hage.pdf> [accessed 15 april 2011].
- Hähnlein, S., Molina-Giraldo, N., Blum, P., Bayer, P. and Grathwohl, P. (2010) 'Cold plumes in groundwater for ground source heat pump systems', *Ausbreitung von Kältefahnen im Grundwasser bei Erdwärmesonden*, 15(2), 123-133.
- Hansler, R. J., Fleuren, R., Heugens, E. H. W., Janssen, P., Posthumus, R. and Smit, C. E. (2007) 'Indicatieve milieukwaliteitsnormen 2005-2006. Overzicht van in 2005 en 2006 door het RIVM afgeleide indicatieve milieukwaliteitsnormen voor stoffen', *RIVM rapport 601570001*.
- Hervant, F. and Malard, F. (1999) 'Oxygen supply and the adaptations of animals in groundwater', *Freshwater Biology*, 41(1), 1-30.
- Hirsch, P. and Rades-rohkohl, E. (1982) 'Microbial diversity in a groundwater aquifer in Northern Germany', *Dev. Ind. Microbiol.*, 24, 183 - 200.
- Holm, T. R., Eisenreich, S. J., Rosenberg, H. L. and Holm, N. P. (1987) 'Groundwater geochemistry of short-term aquifer thermal energy storage test cycles', *Water Resources Research*, 23(6), 1005-1019.
- Holme, R. (2003) 'Drinking water contamination in Walkerton, Ontario: Positive resolutions from a tragic event', *Water Science and Technology*, 47, 1-6.
- Kim, K. (2003) 'Long-Term Disturbance of Ground Water Chemistry Following Well Installation', *Ground Water*, 41(6), 780-789.
- Kooi, H. (2008) 'Spatial variability in subsurface warming over the last three decades; insight from repeated borehole temperature measurements in The Netherlands', *Earth and Planetary Science Letters*, 270(1-2), 86-94.

- Lund, J., Sanner, B., Rybach, L. and Curtis, R. (2004) 'Geothermal (Ground Source) Heat Pumps, A World Overview', *Geo-Heat Centre Quarterly Bulletin* 25(3), 1-10.
- NVOE (2006) *NVOE Richtlijnen Ondergrondse Energieopslag*, Rapport no: 2006, Nederlandse Vereniging voor Ondergrondse Energieopslagsystemen.
- Oomes, J. L. M., Alphenaar, A., Smit, M. and Maessen, M. (2010) 'Efficiënter gebruik van bodem(energie) door ordening Ordenen van vraag en aanbod', *Bodem, tijdschrift over duurzaam bodembeheer*, 20(3), 18 - 20.
- RGD (2008) *Op weg naar een duurzame voorraad*, Rijksgebouwendienst.
- Schippers, A. and Reichling, J. (2006) 'Laboruntersuchungen zum Einfluss von Temperaturveränderungen auf die Mikrobiologie des Untergrundes', *Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*, 11(1), 40-45.
- SIKB (2006) *Mechanisch boren protocol 2101*, Rapport no: SIKB-officiële doc._S_10_41933, Gouda: Stichting Infrastructuur Kwaliteitsborging Bodembeheer.
- Sowers, L., York, K. P. and Stiles, L. (2006) *Impact of thermal buildup on groundwater chemistry and aquifer microbes*, New Jersey: Richard Stockton College of New Jersey.
- Stein, H., Kellermann, C., Schmidt, S. I., Brielmann, H., Steube, C., Berkhoff, S. E., Fuchs, A., Hahn, H. J., Thulin, B. and Griebler, C. (2010) 'The potential use of fauna and bacteria as ecological indicators for the assessment of groundwater quality', *Journal of Environmental Monitoring*, 12(1), 242-254.
- Stuyfzand, P. J., Lebbink, J. and Kooiman, J. W. (2008) *Koude-warmte opslag (KWO) in grondwater beschermingsgebieden: (mogelijke) bezwaren*, Rapport no: KWR 08.018.
- Taskforce WKO (2009) *Groen licht voor bodemenergie*, VROM.
- TCB (2009) *Advies duurzaam gebruik van de bodem voor WKO*, Rapport no: TCB S045, Technische commissie bodem.
- Timmer, H. (2006) *Voorkomen en verwijderen van putverstopping door deeltjes op de boorgatwand. Richtlijnen voor ontwerp, realisatie, bedrijfsvoering en regeneratie van pompputten.*, Oasen.
- Umemiya, H. and Mutou, T. (1989) 'Influence of ferric bacteria on aquifer thermal energy storage (field verification of a colloidal dam effect)', *Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, B Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Part B*, 55(520), 3803-3808.
- USEPA (2000) *Preliminary Data Summary Airport Deicing Operations*, Rapport no: EPA 821-R-00-001.
- Van Aarsen, M. M., De Boer, S. E. and Koenders, M. J. B. (2009) 'Groei van bodemenergie vraagt om slimme aanpak', *Bodem*, 2 (April), 8-10.

- Van Beelen, P. (1986) 'Bacteriën in het grondwatervoerend pakket van de bodem. Een literatuuroverzicht gericht op de Nederlandse situatie', *RIVM rapport 718604001*.
- Van Beelen, P. (1990) 'Degradation of organic pollutants in ground-water', *Stygologia*, 5(4), 199-212.
- Van Beelen, P. (2007) 'Ecologische risicobeoordeling van grondwater.', *RIVM briefrapport 711701055*.
- Van Beelen, P., Wouterse, M. J., Masselink, N. J., Spijker, J. and Mesman, M. (2010) 'The self-purifying capacity, measured as the biodegradation of acetate, is an important ecosystem-service in the upper groundwater zone in the Netherlands', *RIVM rapport 711701101*.
- Van Beelen, P., Wouterse, M. J., Masselink, N. J., Spijker, J. and Mesman, M. (2011) 'The application of a simplified method to map the aerobic acetate mineralization rates at the groundwater table of the Netherlands', *Journal of Contaminant Hydrology*, 122(1-4), 86-95.
- Van der Heide, K. and Van Loon, L. J. M. (1992) *High-temperature ATES at the university of Utrecht, the Netherlands*, translated by San Diego, CA, USA: Publ by IEEE, 73-76.
- Van Oostrom, N., Drijver, B., Van Baaren, E., Lieten, S., Van Nieuwkerk, E., De Vries, E., Bakr, M., Hartog, N., Krajenbrink, H., Mathijssen, H., Meindertsma, W., Oude Essink, G., Wennekes, R., Woning, M. and Dinkla, I. (2010) *Literatuurstudie Meer Met Bodemenergie, Overzicht van kennis en onderzoeksvragen rondom warmte- en koudeopslag.*, SKB, Bioclear, IF Technology, Deltares en Wageningen University.
- Van Oostrom, N., Stuurman, R., Griffioen, M. and Van Loon, B. (2009) 'Provincie Flevoland soepeler met aanvraag voor warmte-koudeopslag', *H2O*, 18, 12.
- Verburg, R., Slenders, H., Hoekstra, N., Van Nieuwkerk, E., Guijt, R., Van der Mark, B. and Mimpfen, J. (2010) *Handleiding BOEG bodemenergie en grondwaterverontreiniging hèt ijs gebroken*, Rapport no: 074529688:0.1, Nederlandse vereniging van ondergrondse energieopslagsystemen.
- Vermaas, D. and Van Wee, T. H. (2009) 'Warmte-koudeopslag in de bodem kan efficiënter', *H2O*, 18, 12.
- Voutsas, D., Hartmann, P., Schaffner, C. and Giger, W. (2006) 'Benzotriazoles, alkylphenols and bisphenol A in municipal wastewaters and in the Glatt River, Switzerland', *Environmental Science and Pollution Research*, 13(5), 333-341.
- Wanders, J. and Smit, M. (2009) *KWO potentie van de Randstad*, Deventer: TTE.

Wikipedia (2010) 'Antifreeze', [online], available:

<http://en.wikipedia.org/wiki/Antifreeze> [accessed 15 april 2011].

Willemsen, A. (1992) *PHREEQM-2D: a computer model to calculate geochemical reactions during transport of groundwater; model description and application to the Utrecht University ATES*, translated by San Diego, CA, USA: Publ by IEEE, 115-124.

Willemsen, A. and Van Woerkom, A. A. F. (2001) *Evaluatie warmteopslag universiteit Utrecht*, Rapport no: 1/9703/GW, IF technology.

Winters, A. L. (1992) *Summary of Research on microbiological processes.*, Dept. Biological Sciences. Univ. of Alabama.

Wuijts, S., Schijven, J. F., Van der Aa, N. G. F. M., Dik, H. H. J., Versluijs, C. W. and Van Wijnen, H. J. (2007) 'Bouwstenen Leidraad Grondwaterbescherming', *RIVM rapport 734301029*.

Bijlage

Toelichting: Dit Engelstalige literatuuroverzicht geeft een inzicht in de verspreidingsrisico's van micro-organismen in het grondwater van een WKO-installatie. De veilige afstand tussen een WKO-installatie en een drinkwaterput is ook internationaal van belang en daarom is dit in het Engels geschreven. De samenvatting van dit literatuuroverzicht is opgenomen in het hoofdrapport onder het kopje "De risico's op het toenemen of verspreiden van ziekteverwekkers".

Potential health risks of microorganisms in aquifer thermal energy storage

Jack Schijven, Ana Maria de Roda Husman

Introduction

The question has arisen what microbiological risks to public health are implicated with the application of aquifer thermal energy storage (ATES). Here, the ATES of concern is open-system ATES with discharge/recharge of water in an aquifer.

Apparently, there are considerable differences regarding the permission of applying ATES between provinces in the Netherlands. Most of the provinces do not allow any form of ATES in groundwater protection zones or exercise restraints. In many cases, ATES is also kept outside of bore-free zones (Wuijts et al., 2007). From a precautionary principle, it is desirable to keep ATES outside groundwater production zones, groundwater protection zones and bore-free zones, which totals about 4% of the surface area of the Netherlands (Wuijts et al., 2007).

Some provinces do not allow ATES with maximum temperatures higher than 25°C or 30 °C (Wuijts et al., 2007).

To date, microbiological risks to public health related to the use of low-temperature ATES have not been evaluated.

The current addendum aims to evaluate the microbiological risks to public health due to the use of open-system ATES. Typical for this kind of ATES is a temperature range of 5 – 25 °C, a depth of at least 15 m and anaerobic conditions.

The microbiological risk evaluation encompasses the identification of the hazards, in this case, pathogenic microorganisms and the routes of human exposure to these pathogens, and also an evaluation of the related risks.

In addition, this risk evaluation will also be conducted for the ATES that is in use at RIVM as a test case. The RIVM ATES discharges/recharges groundwater from a sandy aquifer at a depth of 50-80 m under a confining layer and it is located at least five years of groundwater travel time from a groundwater production site. The average groundwater temperature is 11 °C, but in the RIVM ATES it varies between 7 °C and 20 °C.

In the case of ATES, the pathogenic microorganisms of concern may be indigenous microorganisms from the aquifer or non-indigenous microorganisms that were introduced in the ATES in some way. A possible exposure route to these pathogens may be aboveground in the building. The part of ATES in a

building is a closed system; therefore, there should be no exposure to the water. However, during technical installation, maintenance and repair activities, workers may come into contact with the water. Another possible exposure route may be pathogens from the ATES being transported to a groundwater well that is in use for drinking water production. Exposure to these pathogens may then be through consumption of unboiled drinking water or through skin contact or inhalation during bathing or having a shower.

Below, this note elaborates in more detail on the occurrence of pathogenic microorganisms in ATES and exposure to them.

Pathogenic microorganisms

ATES induces water movement and, especially, temperature changes in a sandy aquifer that may affect the indigenous microflora. Therefore, potentially pathogenic indigenous microorganisms may change in numbers and behavior. Typically, ATES water is anaerobic. Therefore, indigenous pathogens are expected to be anaerobic microorganisms. Pathogenic bacteria such as *Clostridia* (Long and Tauscher, 2006), *Bacillus* (Sinclair et al., 2008) and *Legionella* (Wullings et al., 2005), which are ubiquitous in the environment, also in soil, may be part of this flora. Note that *Clostridia* and *Bacillus* are present as spores that, very likely, are unaffected by the temperature changes induced by low temperature ATES. Other microorganisms to be found in anaerobic groundwater may include *Mycobacteria*, *Aeromonas* and amoeba. These microorganisms may reside in biofilms in the piping of the ATES. Temperatures below 25 °C are too low for growth of *Legionella* and *Aeromonas*.

Note that although the abovementioned microorganisms are ubiquitous in the environment, little literature exists on their presence in deep anoxic aquifers.

Waterborne pathogenic viruses, bacteria, protozoa and helminths may be of faecal origin and are of great concern to human health (WHO, 2006). Obviously, ATES should be designed in such a way that such enteric pathogens cannot enter the ATES. Enteric pathogens may enter groundwater via infiltrating surface water (river), from manure on agricultural land and from leaking sewers (Schijven and Hassanizadeh, 2000). Especially, where ATES would be applied in, for example, large poultry or pig farms, the ATES would be situated directly above a huge source of enteric pathogens.

Waste disposal sites, landfills and cemeteries may also constitute a source of pathogenic microorganisms that may contaminate groundwater (Taylor and Allen, 2006).

If enteric pathogens would be present in ATES water, they will be inactivated or die-off quicker at the higher temperatures, but survive longer at the lower temperatures as compared with enteric pathogens in groundwater at average temperature.

There are no faecal sources of contamination in the case of the RIVM ATES. In addition, the RIVM ATES uses groundwater from a deep aquifer under a confining layer. Faecal contamination of a deep confined aquifer is unlikely. Vertical transport of 50 – 100 m is very slow, and a confining layer forms a barrier, provided there are no cracks (Meinardi, 1994).

It needs to be emphasized that faecal contamination of groundwater is unwanted, also when it is used for ATES.

Exposure

Exposure to potentially present pathogenic microorganisms in the ATES might occur during maintenance and repair activities in the building. ATES water

should not be shallowed and contact with aerosols should be avoided. Also, skin contact (wound infections) should be avoided.

Considering transport of pathogens from ATES to a groundwater production well, one should realize that the water of a well-designed ATES should not be in the proximity of a groundwater production well. Obviously, this would imply loss of stored thermal energy. Thermal influence on the surrounding groundwater can however not be excluded (Wuijts al., 2007).

If a fraction of ATES water would leak water towards a groundwater production site, the question arises whether the distance to the groundwater production well is large enough to form an adequate barrier. Below, an evaluation is given to answer this question.

Microorganisms that are transported in the subsurface are subject to a number of processes that remove them from the groundwater. These processes are inactivation or die-off and deposition in the solid phase by (ir)reversible attachment to solid surfaces and by straining on solid surfaces or entrapment in pores (Bradford et al., 2009, Foppen and Schijven, 2006; Schijven and Hassanizadeh, 2000). In the case of indigenous microorganisms, growth in the ATES water due to a rise in temperature might occur as well, but for many of the indigenous microorganisms the effect of temperature change on growth and die-off are largely unknown. Growth of mesophilic bacteria may be enhanced by the temperature rise, whereas that of psychrophilic bacteria may not.

Note that eukaryotic microorganisms (protists) are a very important component of microbial communities inhabiting groundwater aquifers. In pristine, uncontaminated aquifers, protistan numbers are usually low, less than one hundred per gram of dry weight of aquifer material, but may increase several orders of magnitude in aquifers subject to organic pollution (Novarino et al., 1997). These protists consume groundwater bacteria by grazing (Kinner et al., 1998). One may surmise that protists might compensate enhanced growth of groundwater bacteria in ATES groundwater.

Pathogens of fecal origin generally do not grow in the aqueous environment, moreover, at higher temperatures their inactivation or die-off rate will increase. Generally, at lower temperatures, microorganisms survive longer. In this regard, it is of importance to consider to what distance ATES affects the temperature of the surrounding groundwater.

In the case that pathogens of fecal origin are transported from ATES water to a groundwater production site, waterborne pathogenic viruses are of major concern, because of their persistence in the aqueous environment, their infectivity and their ability to be transported with groundwater (Schijven and Hassanizadeh, 2000). Virus removal is mainly determined by inactivation and attachment (Schijven and Hassanizadeh, 2000). Generally, bacteria of fecal origin and *Giardia* cysts die-off quicker, but oocysts of *Cryptosporidium* may be more persistent (Pedley et al., 2006). In addition, in relatively homogeneous sand, bacteria and protozoa are commonly retained more by deposition than viruses (e.g. Schijven et al., 2008). The transport conditions are mainly anoxic and along the route, by far, most of the groundwater temperatures will be near 10 °C. Under those conditions, one may assume poor attachment, because of the lack of favourable sites for attachment, like iron hydroxides (Schijven et al., 2000).

Dutch legislation has implemented as microbiological health base target for drinking water consumption that pathogenic microorganisms in drinking water may not exceed a limit associated with a risk of infection of one per ten thousand persons per year (VROM, 2001; de Roda Husman and Medema, 2005).

For prediction of adequate protection zones of unconfined sandy aquifers, Schijven et al. (2006) has calculated protection zones for shallow unconfined sandy aquifers that would allow protection against virus contamination to the level that the infection risk of one per 10 000 persons per year is not exceeded with a 95% certainty. In those cases, instead of the currently applied 60 days, one to two years of travel time are needed, corresponding to setback distances of about 200-400 m. Schijven et al. (2006) has used a conservative estimate for attachment, expressed as an average sticking efficiency of 10^{-5} , and average inactivation rate coefficient of 0.01 \log_{10} per day to predict protection zones of one to two years of travel time. Literature data (Pedley et al., 2006) indicate that virus inactivation rates change little, if any, over the temperature range of 5-10 °C. In the predictions of Schijven et al. (2006), viruses were assumed to be diluted 10^3 - 10^4 times due to the ratio of leakage from a sewer and the pumping rate of the production well.

Assuming a similar contamination of ATES water with viruses from a leaking sewer, probably, a similar level of required protection applies. At higher temperatures in the ATES water, viruses would be inactivated at a higher rate, but at lower temperatures at a lower rate. On average on a time scale of at least a year, there would be little difference with inactivation under average groundwater temperature. Therefore, probably, ATES can be applied safely at a distance from a groundwater production well as calculated by the approach according Schijven et al. (2006).

The RIVM-ATES is five-years of travel time distant from a groundwater production site. For a five year travel time, virus reduction, by inactivation only, would amount to 18 \log_{10} . Attachment and dilution may add at least a similar level of reduction. Therefore, five years of travel time should provide adequate protection. There are, however, some uncertainties involved. Long-term survival studies indicate that a fraction of a virus population may survive longer (De Roda Husman et al., 2009, Meschke 2001), which may implicate that the approach of Schijven et al. (2006) is not conservative enough. Such new insights have not been implemented into policies. Moreover, virus transport processes still require more research. In addition, the presence of preferential pathways, especially in heterogeneous soils and fractured rock and karst represent vulnerable conditions. Through highly permeable conduits, very fast and distant transport of any microorganism is possible.

Conclusions

Pathogenic microorganisms like *Legionella*, *Aeromonas*, *Clostridia* and *Bacillus* spores may be of major importance in case of exposure to ATES water because of maintenance and repair activities of the ATES system in the building.

For relatively homogeneous sandy aquifers, a horizontal distance of 200 to 400 m (corresponding to one to two years of travel time) between an ATES and a groundwater production site, as calculated using the model of Schijven et al. (2006) forms an adequate protection of the groundwater production site. In that regard, is the five years travel time between the RIVM ATES and a groundwater production location sufficient.

Deeper unconfined aquifers for groundwater production are less vulnerable to contamination than shallow unconfined aquifers (Schijven et al., 2010), and therefore less vulnerable to adverse effects of ATES. Moreover, confining layers provide additional protection of aquifers for groundwater production as well as of ATES water against contamination with enteric pathogens from the surface.

Recommendations

It is recommended to avoid contact with ATES water aboveground, especially during maintenance and repair activities, which implies to avoid swallowing the water, inhaling aerosols and skin contact.

It is recommended to apply ATES only in areas where sources of fecal contamination, like the influence of surface water, agricultural activities and leaking sewers, are absent.

It is recommended using confined deep aquifers.

It is recommended to conduct a quantitative microbiological risk assessment (QMRA) in those cases of ATES that would be/are less than one to two years of travel time from a groundwater well used for drinking water production.

Identification of indigenous potentially pathogenic microorganisms in anaerobic ATES water is recommended as well as determining their behaviour (growth and die-off).

References

- De Roda Husman AM, Lodder WJ, Rutjes SA, Schijven JF, Teunis PF. Long-term inactivation study of three enteroviruses in artificial surface and groundwaters, using PCR and cell culture. *Appl Environ Microbiol*, 2009, 75(4), 1050-1057.
- De Roda Husman AM, Medema, GJ. Inspectorate Guideline - Assessment of the microbial safety of drinking water, Inspectorate of the Ministry of Housing, Physical Planning and the Environment, 2005, Art. 5318, The Hague.
- Foppen JWA, Schijven JF. Evaluation of data from the literature on the transport and survival of *Escherichia coli* and thermotolerant coliforms in aquifers under saturated conditions. *Wat Res*, 2006, 40, 401-426.
- Kinner NE, Harvey RW, Blakeslee K, Novarino G, Meeker LD. Size-selective predation on groundwater bacteria by nanoflagellates in an organic-contaminated aquifer. *Appl Env Microbiol*, 1998, 64(2), 618-625.
- Long SC, Tauscher T. Watershed issues associated with *Clostridium botulinum*: a literature review. *J Water Health*. 2006, 4(3):277-88.
- Meinardi, C. R. 1994 Groundwater recharge and travel times in the sandy regions of the Netherlands. RIVM Report 715501004.
- Meschke JS. Comparative adsorption, persistence and mobility of Norwalk virus, Poliovirus type I, and F+RNA coliphages in soil and groundwater. Ph.D. thesis, School of Public Health, University of North Carolina, Chapel Hill, North Carolina, 2001.
- Novarino G, Warren A, Butler H, Lambourne G, Boxshall A, Bateman J, Kinner NE, Harvey RW, Mosse RA, Teltsch B. Protistan communities in aquifers: a review. *FEMS Microbiol Rev* 1997, 20, 261-275.
- Pedley S, Yates MV, Schijven JF, West J, Howard G, Barrett M. Pathogens: Health relevance, transport and attenuation, in *Protecting groundwater for health*, Groundwater Monograph, Edited by Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J. and Chorus, I. World Health Organization, London, 2006, Chapter 3, 49-80.
- Schijven JF, Medema GJ, Vogelaar AJ, Hassanizadeh SM. Removal of bacteriophages MS2 and PRD1, spores of *Clostridium bifermentans* and *E. coli* by deep well injection, *J Contam Hydrol*, 2000, 44, 301-327.
- Schijven JF, Colin M, Dullemont Y, Hijnen WAM, Magic-Knezev A, Oorthuizen W, Rutjes SA, Roda Husman AM de. Removal of microorganisms by slow sand filtration, 2008, RIVM report 330204001.
- Schijven JF, Hassanizadeh SM, de Roda Husman AM, Vulnerability of unconfined groundwater to virus contamination, *Wat Res*, 2010, 44, 1170-1181.

Schijven JF, Hassanizadeh SM. Removal of viruses by soil passage: overview of modeling, processes and parameters, *Crit Rev Environ Sci Tech*, 2000, 31: 49-125.

Schijven JF, Mülschlegel JHC, Hassanizadeh SM, Teunis PFM, de Roda Husman AM, Determination of protection zones for Dutch groundwater wells against virus contamination – Uncertainty and sensitivity analysis, *J Water Health*, 2006, 04.3, 297-312.

Sinclair R, Boone SA, Greenberg D, Keim P, Gerba CP. Persistence of category A agents in the environment. *Appl Environ Microbiol*, 2008, 74(3), 555-563.

Taylor R, Allen A. Waste disposal and landfills: Potential hazards and information needs, in *Protecting groundwater for health, Groundwater Monograph*, 2006, Edited by Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J. and Chorus, I. World Health Organization, London, Chapter 12, 339-362.

VROM, 2001 Besluit van 9 januari 2001 tot wijziging van het waterleidingbesluit in verband met de richtlijn betreffende de kwaliteit van voor menselijke consumptie bestemd water. *Staatsblad van het Koninkrijk der Nederlanden*, 31:1-53., in Dutch.

World Health Organization. *Guidelines for drinking-water quality. Vol.1, Recommendations-3rd ed.* 2006. ISBN 978 92 4 154761 1

Wuijts S, Schijven JF, Aa NGFM van der, Dik HHJ, Versluijs CW, Wijnen HJ van. Components for a guidance document on groundwaterprotection. RIVM report 734301029, 2007.

Wullings B, Wubbels G, Kooij D van der. Niet-kweekbare, nog niet beschreven Legionellabacteriën algemeen aanwezig in drinkwater. *H2O*, 2005, 25/26, 43-46.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl