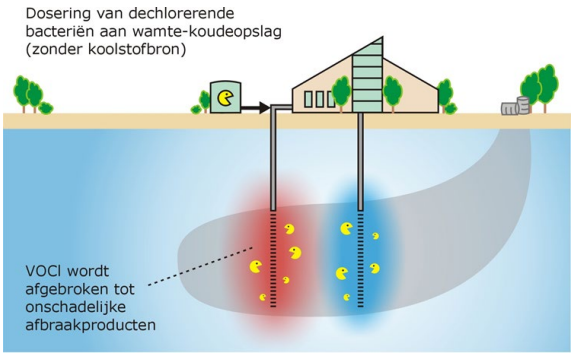
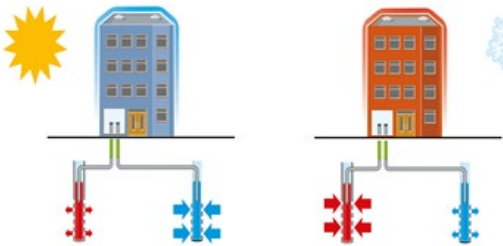
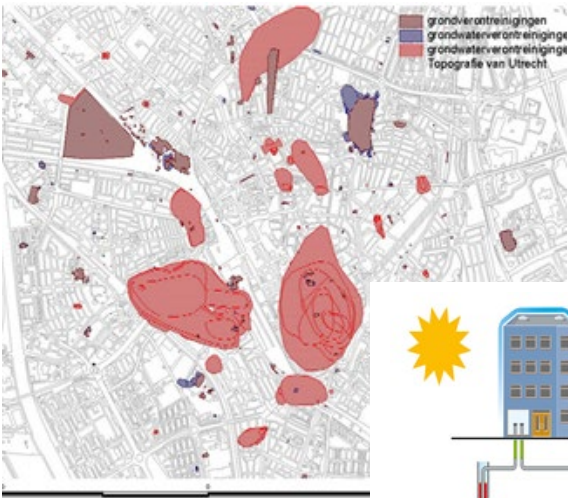


Lessons learned bij WKO+

WKO+, duurzame energie in combinatie met saneren





Samenvattend

In november 2021 is het project “WKO+: duurzame energie in combinatie met saneren” tot een einde gekomen. Vijf jaar lang, na goedkeuring van het project door Kennis en innovatieprogramma Bodem en Ondergrond medio 2016, zijn succesvolle pilots uitgevoerd en kansen voor grootschalige toepassing verkend. Relevante inhoudelijke kennis is ontwikkeld. Maar met name door de – veelal intensieve – gesprekken binnen het consortium en met de ketenpartijen die nodig zijn om WKO+ te implementeren, is inzicht verkregen en de “do’s en don’ts”. Op basis daarvan hebben we onze lessons learned samengevat in deze beknopte brochure.

Na 5 jaar hard werken en met veel inzet en energie van alle betrokken partijen ligt er een interessante techniek op de plank. Een techniek die in deze afgelopen periode helaas (nog) niet grootschalig is toegepast, ondanks onze ambitie daartoe bij aanvang van het project. Dat heeft voor een deel redenen zoals benoemd in deze “lessons learned”. Met de kennis en inzichten van nu gaat deze techniek op enig moment in de toekomst zijn waarde hebben. Zorg voor een gestaag verbeterende grondwaterkwaliteit is ook, naast de vooralsnog meer in het oog springende maatschappelijke opgaven, belangrijk voor onze toekomstige generaties. We hebben de bodem en ondergrond hard nodig, voor onze energietransitie en voor een goede grondwaterkwaliteit.

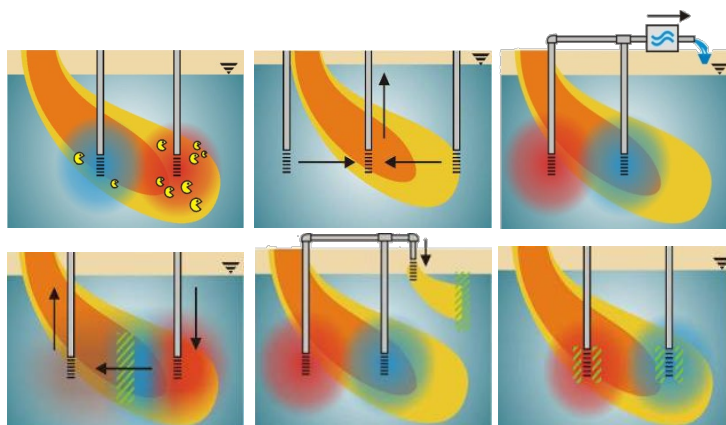
Hoe het begon

Dit project WKO+ heeft zijn oorsprong bijna een decennium geleden: Het Meer met Bodemenergie-project (MMB) (2009-2013). In de periode van dit project was het evident dat het drukker en drukker in de ondergrond zou worden met verschillende toepassingen (waaronder voor bodemenergiesystemen). Parallel ontstond het besef dat de bodem en grondwater een belangrijke rol zal spelen in verschillende maatschappelijke opgaven, zoals we die nu kennen: een energietransitie waarin verschillende vormen van duurzame energie nodig zijn, het belang van klimaat-adaptief ontwerpen of (her)inrichten, ondergronds bouwen. Maar ook het verantwoord beheeren van onze historische verontreinigingen in het grondwater van bebouwde, stedelijke gebieden, is nog steeds een belangrijke opgave. Onder andere vanuit de Kaderrichtlijn Water.



Figuur 1. Project Meer met Bodemenergie

Het was in dit MMB-project dat er eerste vingeroefeningen zijn gedaan omtrent de vraag: “Kunnen we bodemenergiesystemen combineren met sanering van verontreinigd grondwater?”. Schetsen van toen vormden het zaadje voor het idee voor WKO+.



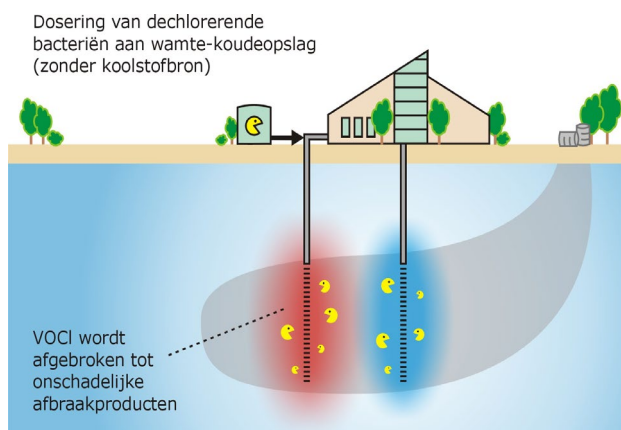
Figuur 2. Concepten combinatie WKO en saneren

Het concept

Praatplaatjes van concepten en discussies uit Meer met Bodemenergie gaven al aan: de traditionele aanpak met conventionele saneringstechnieken, zoals anaerobe biologische sanering waarbij hulpstoffen worden geïnjecteerd in het grondwater, zijn niet haalbaar. Toevoegen van hulpstoffen aan het grondwater om afbraak van verontreiniging te stimuleren leiden tot biologische groei van allerlei soort bacteriën en kunnen aanleiding geven tot verstopping van filters in de ondergrond (zoals voor open warmte koude opslag (WKO) systemen).



“Waarom injecteren we niet ‘gewoon’ een zeer hoge concentratie anaerobe bacteriën die chloorkoolwaterstoffen - één van de meest aangetroffen grondwaterverontreinigingen en probleemstof – kunnen afbreken?”. En “als we daarvoor de infrastructuur van de WKO gebruiken, met filters in de ondergrond, dan kan dit tot een effectief en betaalbare win-win situatie leiden”. Duurzame energie in combinatie met gestage, over langere termijn optredende, verbetering van de grondwaterkwaliteit. Ook de tijdschaal past prima: een WKO zet je ook neer voor minimaal 30 jaar en kwaliteitsverbetering mag best wat jaren in beslag nemen. Het concept WKO+, met de + voor kwaliteitsverbetering van het verontreinigde grondwater, was geboren: kweken van hoge concentratie specifieke bacteriën en injecteren in of rondom (bestaande of nieuwe) open WKO systemen die in verontreinigd gebied staan. Zonder andere toevoegingen....



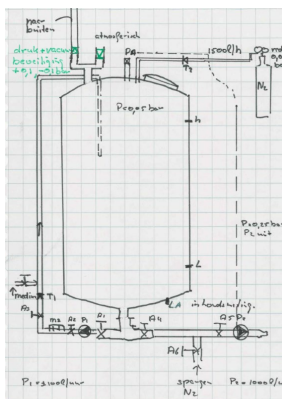
Figuur 3. WKO+ concept

In vogelvlucht door het project

Bioreactor voor bacteriën

In 2016 is per direct gestart met het ontwerp en de bouw van een bioreactor. Een reactor die is staat is om een grote hoeveelheid (10.000 liter) hoge concentratie anaerobe bacteriën (*Dehalococcoides spp*) te genereren. De oorspronkelijke opzet van het concept was om een kleinschalige bioreactor te ontwikkelen die bij een open WKO kan worden geplaatst en die continu een hoeveelheid bacteriën injecteert in de WKO putten. Al snel bleek dat het beheer en onderhoud van een dergelijk biologisch systeem én het inrichten van een plek voor de bioreactor bij een WKO-locatie in praktijk niet praktisch uitvoerbaar is.

Een centrale kweekreactor van waaruit de hoog geconcentreerde bacteriën periodiek worden afgetapt en naar een WKO locatie worden vervoerd om te worden geïnjecteerd, is wel een haalbare aanpak gebleken.



Figuur 4. Schetsontwerp bioreactor



Figuur 5. Gerealiseerde 10.000 liter anaerobe kweekreactor

Pilotprojecten

In de periode 2017-2020 zijn vier pilotprojecten uitgevoerd, om het concept kleinschalig te testen:

- Paleiskwartier in Den Bosch (2017).
- Kanaalzone in Apeldoorn (2018).
- Grebbenberglaan in Utrecht (2019).
- Hammerbakken in Birkerød, Denemarken (2019).

De pilotprojecten hebben laten zien dat de hoge concentratie bacteriën goed te injecteren zijn in de bodem én dat het overgrote deel van de geïnjecteerde bacteriën (99%) hecht aan de bodemmatrix. Daarmee wordt een biologische actieve zone, zoals bedacht in de conceptfase van het project, gerealiseerd rondom het injectiepunt.



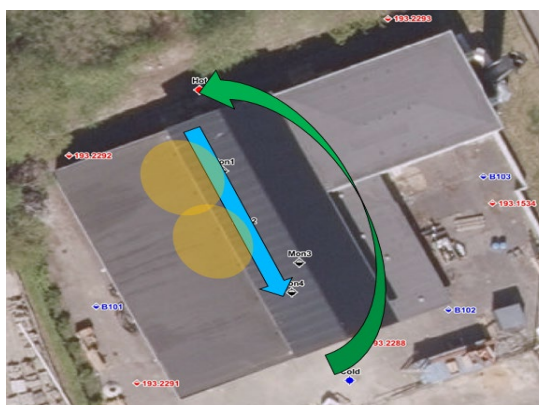
In Den Bosch werd een bescheiden afbraakrendement gemeten, waarschijnlijk omdat hier maar een zeer beperkt volume aan bacteriën (80 liter) is aangebracht, in combinatie met een ijzerreducerende conditie in de ondergrond. In de andere drie pilots werd gebruik gemaakt van 6.000 liter geconcentreerde bacterieculture. Hier werden significante afbraakprocessen en –snelheden gevonden.

De Apeldoorn-pilot liet zien dat hoge concentraties tot 500 microgram VOCl per liter in de bio-actieve zone werd afgebroken tot nagenoeg volledig etheen in 30-40 dagen verblijftijd. Levensvatbaarheid van de bacteriën: circa 3 jaar. Dan is herinjectie nodig.

De pilot in Denemarken, de laatste en grootste pilot, was gecombineerd met een daadwerkelijke WKO, bestaande uit een recirculatiesysteem met een permanent injectie- en onttrekkingsfilter.



Figuur 6. Dosering bacteriën pilot Apeldoorn



Figuur 7. Grootschalige pilot Denemarken met WKO-recirculatiesysteem

Oorspronkelijk is deze locatie aerob/zuurstofrijk, en vandaar dat hier extra koolstofbron is aangebracht in het grondwater om gunstigere condities te krijgen. Met het recirculatie-WKO systeem is verontreinigd grondwater door een bio-actieve zone geleid (bacterie-injecties 5 meter stroomafwaarts van het vaste WKO-injectiepunt). Monitoring en berekeningen geven aan dat in deze pilot circa 500 microgram VOCl per liter in slechts 5 dagen in de actieve zone wordt omgezet tot etheen. Met de 6.000 liter bacteriekweek kan naar verwachting circa 5-7 kg VOCL per jaar worden afgebroken. Herinjectie zal na 2-3 jaar noodzakelijk zijn.

De pilot in Denemarken heeft wel laten zien dat een beperkte (periodieke) koolstofbrondosering de levensduur/actieve fase van de bacteriën kan verlengen. Dit concept is alleen toepasbaar in een recirculatie-WKO.

Kansen voor full scale toepassing

Voor de locatie Paleiskwartier te Den Bosch (2018), voor herontwikkellocatie De Houttuin in de gemeente Woerden (2020-2021) en voor verschillende locaties in de gemeente Utrecht (2021-heden) is de toepassing van WKO+ op grote schaal geïnventariseerd. Voor optimale WKO+ werking is plaatsing van de bronnen in het verontreinigde grondwater essentieel. "Paleiskwartier" bleek daardoor technisch en economisch niet haalbaar, onder andere vanwege de afstand van ruim 150-200 meter tussen de ontwikkellocatie en de verontreinigingspluim, waar de bronnen van de WKO geplaatst moeten worden. Daarnaast speelde een rol dat door een WKO de betreffende verontreinigingspluim in eerste instantie verder verspreid zou worden als gevolg van de diepe en lange filterstellingen van de WKO.

De "Houttuin"-locatie (2020-2021) in Woerden is inhoudelijk gezien het meest vergaand en in detail doorgerekend. Een essentiële randvoorwaarde lijkt te zijn dat WKO+ wordt toegepast in een gebiedsgerichte aanpak (waarin enige initiële verspreiding van verontreiniging acceptabel is). Disbalans in de energievraag tussen warm en koud en de daarmee gepaard gaande significante verschil in onttrekkingsdebieten per seizoen bleken een "showstopper" voor deze locatie te zijn, evenals het gegeven dat – vergelijkbaar met Paleiskwartier – de WKO niet volledig in de verontreinigingspluim kon worden geplaatst.



Onze “Lessons learned”

In het 5-jarige traject dat we hebben doorlopen zijn waardevolle inzichten op zowel technisch als procesmatig vlak ontstaan. Inzichten die we kunnen gebruiken om de WKO+ techniek in de nabije toekomst sneller te kunnen inzetten op een goede manier, maar ook voor de toekomst soortgelijke ontwikkelingen meer optimaal te laten verlopen.

Technische aspecten

- **Niet decentraal, maar centraal:**

Het kweken van bacteriën vergt kennis en specifiek beheer. Dat heeft erin geresulteerd dat we het oorspronkelijke idee van een kweekreactor ter plekke bij grootschalige WKO-systemen hebben verlaten. Eén of meerdere centrale kweeklocaties in Nederland, die worden beheerd door een specialistische partij met ervaring met kweekprocessen, is een technisch en economisch haalbaar bedrijfsmodel. Toevoeging van bacteriën hoeft slechts periodiek om de 2-4 jaar plaats te vinden en past dus bij het concept van centrale kweekinstallaties, van waaruit kweek wordt getransporteerd naar de locaties waar deze worden geïnjecteerd in/bij de betreffende WKO.

- **WKO+ nog niet te integreren**

Dogma's zijn sterk gebleken en hebben we onderschat. Bacteriën zijn “ongenode gasten” en zijn “we” liever kwijt dan rijk. Injectie van bacteriën wordt dan ook als risico gezien en risico-evaluaties en risicomangement-sessies hebben daar geen grote verandering in gebracht. Wel hebben deze sessies bijgedragen aan relativering van risico's, maar blijven ongreepbaar voor ontwikkelaars en gemeenten, wat leidt tot maximale afdekking van potentiële kosten. Dit maakt WKO+ duurder dan noodzakelijk. Injectie van bacteriën in een WKO is (vooralsnog) dan ook volledig uitgesloten. Splitsen van de WKO en de + (toevoeging van bacteriën) zal daarom vooralsnog nodig zijn: niet in de WKO-put maar op ruime afstand van de WKO-putten, waardoor extra kosten nodig zijn voor de infrastructuur.

- **WKO óp de verontreiniging**

Aanleg van ondergrondse, geïsoleerde leidingen, zeker in stedelijk gebied is complex en duur. Dit resulteert in de conclusie dat een WKO+ feitelijk alleen haalbaar is indien de locatieontwikkeling en de bijbehorende WKO volledig in een verontreinigd gebied of verontreinigde pluim kan worden geplaatst. Leidingwerk tussen verontreinigde locatie en WKO-systeem van meer dan 100 meter is economisch gezien onhaalbaar. De (bovengrondse) ontwikkeling ligt dus direct boven de grondwaterverontreiniging én het bodempakket waarin de verontreiniging zich bevindt is geschikt (qua doorlatendheid en qua warmtecapaciteit) voor WKO.

- **Hoezo open WKO?**

De casussen Woerden en deels ook Paleiskwartier hebben laten zien dat toepassing van een open WKO niet vanzelfsprekend is. Projectontwikkelaars hebben een scala aan opties voor duurzame energieconcepten. Bodemenergie (gesloten en open systemen) vormen daarin een onderdeel, waarbij gesloten bodemwarmtewisselaars favoriet zijn boven open systemen: meer flexibiliteit, minder gedoe met onderhoud en behoefte aan een beheerder van een centraal WKO-systeem. Het stimuleren van open WKO, om daarmee vanuit een gemeentelijk of provinciaal belang ten aanzien van grondwaterkwaliteit te kunnen bedienen via WKO+, vergt dan ook een actieve sturing vanuit de overheid. Dit betekent ook dat het belang van de overheid voor verbetering van het grondwater expliciet moet zijn, en ook als waardevol of noodzakelijk wordt gezien.

- **WKO+ hand in hand met gebiedsgericht**

WKO+ is een techniek waarbij langzaam maar gestaag kwaliteitsverbetering optreedt. Door het continu meerdere jaren rondpompen van verontreinigd grondwater (middels de WKO) via bioactieve zones (via de injectie van bacteriën) vindt per jaarlijkse cyclus verwijdering van een deel van de verontreiniging in het grondwater plaats. WKO+ zorgt – afhankelijk van de exacte locatie van de WKO-bronnen en verontreinigingscontour – mogelijk voor een initiële extra verplaatsing van verontreiniging. Dit is in een gevalsgerichte aanpak vergunningtechnisch niet acceptabel. WKO+ toepassing is daarom (vooralsnog) met name interessant en vanuit vergunningverlening realiseerbaar binnen een context van gebiedsgericht grondwaterbeheer (GGB) en een daartoe formeel vastgesteld GGB-plan. Ook indien in de warmte- en koudevraag een onbalans zit, leidend tot verschillen per seizoen van de onttrokken hoeveelheden water, is een gebiedsgerichte benadering essentieel.



- **WKO+: recirculatiesystemen bieden de meeste kansen**

De slotconclusie is dat op dit moment een open WKO-systeem dat ingericht is als recirculatiesysteem – met een vast infiltratie- en onttrekkingspunt die beiden in het verontreinigde grondwater zijn geplaatst - de beste kansen biedt voor WKO+. Injectie van de bacteriën, voor aanbrengen van een bio-actieve zone, slechts enkele meters achter de WKO-injectiebron zorgt ervoor dat grondwater effectief en gecontroleerd door de actieve zone kan stromen. Onbalans in warmte- en koudevraag leidt niet tot extra verspreiding van verontreiniging én door een goed doordacht ontwerp kan worden voorkomen dat geïnjecteerde bacteriën het WKO-onttrekkingsfilter kunnen bereiken. Bovendien biedt deze configuratie eventueel de gelegenheid om de bio-actieve zone alsnog te voeden met zeer lage hoeveelheden toeslagstoffen om de bacteriën langer actief te houden, zonder dat dit leidt tot risico op putverstopping. Dat scheelt herinjectie van bacteriën en dus kosten.

Procesmatige aspecten

- **Bijdrage aan andere maatschappelijke thema's**

De casus Woerden heeft heel mooi laten zien dat ook voor (project)ontwikkelaars er een meerwaarde te behalen is met WKO+. Zij kunnen bijdragen aan de maatschappelijk opgave om verantwoord om te gaan met en het goed beheren van grondwaterverontreinigingen. Vanzelfsprekend is dit niet hun eigen prioriteit, maar WKO+ geeft de gelegenheid hier als ontwikkelaar wél een bijdrage in te leveren. Ontwikkelaars geven ook aan juist dit als waardevol en meerwaarde te beschouwen, ook voor de profilering van hun eigen bedrijf en project. Dit besef van meerwaarde kunnen bieden vormt de basis voor het gesprek met de belanghebbende overheidsinstantie (gemeente of provincie), die een belang heeft aangaande de grondwaterkwaliteit.

- **Initiatief tot WKO+**

Er moet een aanleiding voor aanpak van het grondwater zijn. Dat klinkt triviaal, maar is desondanks belangrijk om te benoemen. WKO+ is bedoeld om een (noodzakelijke) kwaliteitsverbetering te realiseren. Is die noodzaak er? Of is het een mooie bijkomstigheid? Alleen indien kwaliteitsverbetering relevant is, is er een goede voedingsbodem om WKO+ te onderzoeken. Het vergt namelijk behoorlijk wat energie en tijd om WKO+ te initiëren en er is een drijfveer nodig om een projectontwikkelaar te laten participeren. Het belang van de overheid vertaalt zich dan logischerwijze in budget vanuit diezelfde overheid om die activiteiten van de WKO+ aanpak te financieren die gekoppeld zijn aan de kwaliteitsverbetering.

In gemeentelijke plannen (omgevingsplan onder de Omgevingswet, warmteplannen, masterplannen voor bodemenergie, gebiedsgericht grondwaterbeheerplan) kan gedefinieerd worden in welke gebieden welke bodemenergievormen gewenst en ongewenst zijn. Daarmee kan sturing worden gegeven aan open WKO-systemen.

Drijfveer voor de ontwikkelende partij om te participeren ligt grotendeels in de gebiedsgerichte aanpak: initiatiefnemers die een open WKO willen toepassen in verontreinigd gebied hebben voordeel van de gebiedsgerichte mogelijkheden, zoals het toestaan van enige extra verspreiding, het niet hoeven te nemen van tegenmaatregelen om verspreiding te voorkomen en minder vooronderzoek naar effecten op de verontreiniging. Samen met de gemeente kunnen dan de kansen voor WKO+ worden verkend.

- **Internationale perceptie**

Een interessante constatering kwam voort uit onze pilot in Denemarken. Praten we over WKO+ of ERD+ (Enhanced Reductive Dechlorination +)? Daar waar we in Nederland de energietransitie aangrijpen in de aanpak (en daarmee “energie” als primaire doel zien, met sanering als bijvangst; WKO+), benaderden de Deense partijen deze aanpak als “sanering” (als hoofddoel) met als bijvangst “energie”. Daarom noemen zij het ERD+. Dit werpt een ander licht op discussies als: wie is initiatiefnemer, waar leggen we risico's neer, wie betaalt wat? ERD+ lijkt in dat opzicht makkelijker te realiseren dan WKO+, waar energie leidend is en sanering daarin alleen wordt geaccepteerd als dit tot geen of zeer geringe extra inspanning (in geld, aanpak, risico's) leidt.



Dankwoord

In dit project hebben over de afgelopen 5 jaar veel mensen van verschillende overheden en bedrijven hun bijdrage geleverd. Zonder hun inzet en participatie zouden we de ontwikkeling van WKO+ niet hebben kunnen uitvoeren. Dank daarom aan al deze personen.

Mede-ontwikkelaars en mede financiers

Eric van Griensven en Arjan de Vries van Brabant Water



Andre Tennekes van T&K Service



Maurice Henssen, Erik de Vries, Adri Nipshagen, Dick Specht van Bioclear earth



Alle betrokken gemeenten voor hun pilotlocaties

Harke Tuinhof van de gemeente Den Bosch



Ingrid Riegman van de gemeente Apeldoorn



Hanneke Wiegers, Chris van de Meene en Fred Neef van de gemeente Utrecht



Peter Rood van de gemeente Woerden



John Flyvbjerg van Capital region of Denmark



Kennis instellingen en kennisbedrijven

Tim Grotenhuis van Wageningen University Research



Bas Godschalk en Guido Bakema van IF Technology



Nanne Hoekstra van Deltares / EU Climate Kic



Mette Christophersen en Lars Bennedsen van Ramboll (Denemarken)



Ferry Schuil en Jeroen Gout van BAM Wonen/ BAM Energy



Mede financiering en begeleiding vanuit KIBO

Jos van Wersch en Erik Verhallen van Rijkswaterstaat/Bodem+

