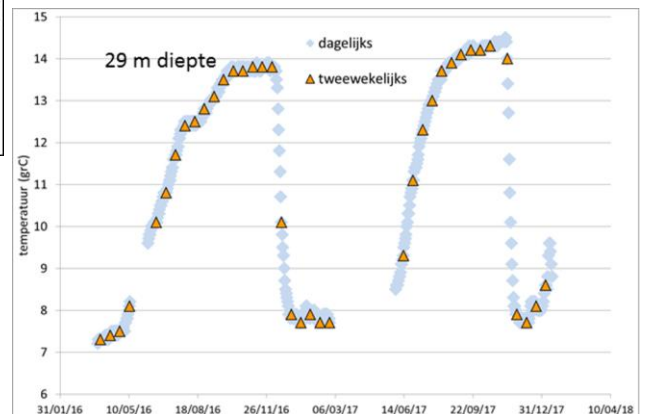
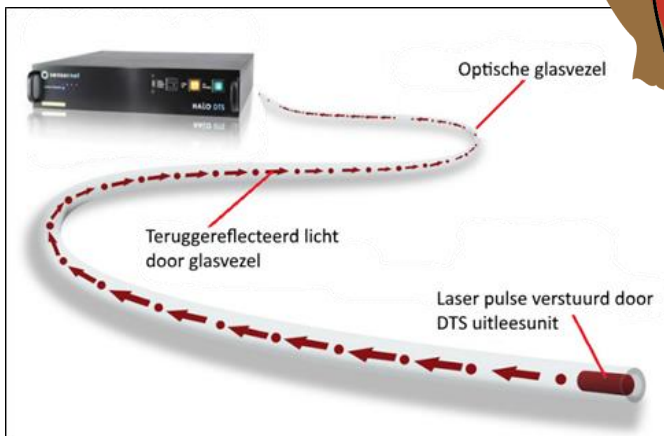


Toepassing van glasvezelmeettechniek bij verdichting van WKO-systemen op gebiedsschaal (CRYSTAL)

20 november 2020
Eindrapportage
Status: Publiek
Referentie TKI Urban Energy: TEUE117038



Colofon

Titel:

Toepassing van glasvezelmeettechniek bij verdichting van WKO-systemen op gebiedsschaal (CRYSTAL)

Datum: November 2020

Rapportnummer: USI 2020.007

Referentie TKI Urban Energy: TEUE117038

Projectmanager: Arno Peekel (Utrecht Sustainability Institute)

Auteurs:

Coen Dijkhoorn, Niels Schuurman (Buro Bron), Victor Hopman (Deltares), Rob Willeman (Inventec), Dorien Derks, Maartje van Meeteren (Royal HaskoningDHV), Eelke Bontekoe (Universiteit Utrecht), Arno Peekel (Utrecht Sustainability Institute; penvoerder)

Meelezers vanuit de samenwerkingspartners:

Marinus Stulp (gemeente Den Haag), Harry Boerma (gemeente Utrecht), Marian van Asten (Provincie Utrecht), Suzanne Stengs, John Tsoutsanis (Rijksvastgoedbedrijf) Marlous van der Meer (RUD Utrecht)

Dit project is mede mogelijk gemaakt door Topsector Energiesubsidie van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat en financiële bijdragen van gemeente Den Haag, gemeente Utrecht, provincie Utrecht en Rijksvastgoedbedrijf.



buro bron

inventec b.v.



Universiteit Utrecht



Deltares



Den Haag



PROVINCIE :: UTRECHT

Managementsamenvatting

In de periode 2018-2020 is een innovatieproject uitgevoerd gericht op het onderzoeken in hoeverre glasvezelmeettechniek kan worden ingezet om het aantal WKO-systemen op gebiedsniveau te vergroten (verdichten). Tevens is onderzocht of glasvezelmeettechniek een positieve bijdrage kan leveren aan het oprichten van WKO-allianties in relatief drukke WKO-gebieden. Hiervoor is onderzocht of het mogelijk is om glasvezelmeettechniek, dat bedoeld is voor de monitoring van de temperatuurontwikkeling in de ondergrond bij één individuele WKO, door te ontwikkelen naar een systeem dat op gebiedsschaal inzicht geeft in de temperatuurontwikkeling en omvang van warme- en koude bellen in de ondergrond. Het zogenaamde CRYSTAL-monitoringssysteem.

Het innovatieproject is mede mogelijk gemaakt door Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. Het onderzoek is uitgevoerd door een consortium bestaande uit Rijksvastgoedbedrijf, Provincie Utrecht, RUD Utrecht, gemeente Utrecht, gemeente Den Haag, Royal HaskoningDHV, Deltares, Inventec, Buro Bron, Universiteit Utrecht en Utrecht Sustainability Institute (penvoerder).

Met het oog op de energietransitie zoeken gebouweigenaren/-beheerders naar mogelijkheden om de inzet van fossiele energievormen af te bouwen door meer duurzame en hernieuwbare energiebronnen in te zetten. Met name het verwarmen en koelen van gebouwen kost veel energie, warmte- en koudeopslag in de bodem kan voorzien in een aanzienlijk deel van deze energievraag. Steeds meer gebouweigenaren raken hier ook van overtuigd en bij nieuwbouw en gebouwverduurzaming wordt dan ook veelvuldig ingezet op warmte- en koudeopslag in de bodem. Gevolg is dat het aantal WKO-systemen in de ondergrond aanzienlijk aan het groeien is en dat, zeker in gebieden met een grote dichtheid aan utiliteits- en woningbouw, er verdichtings- en interferentievraagstukken ontstaan.

In het CRYSTAL-project zijn voor de testlocaties Beurskwartier, Utrecht en Centrum, Den Haag ontwerpen gemaakt voor het CRYSTAL monitoringssysteem, die aansluiten bij de onderzoeksdoelstellingen. In voorjaar 2019 zijn de voorbereidingen getroffen voor de aanleg van de glasvezelkabels, beginnend in Den Haag. Bij het boren van één van de meetpunten is een transportleiding van een WKO-installatie gemaakt, waardoor de verdere aanleg is gestaakt. Tegelijkertijd is ook pas op de plaats gemaakt met de geplande aanleg in Utrecht, en is tijd genomen om de risico's te heroverwegen en herwaarderen. Uiteindelijk is in voorjaar 2020 door alle projectpartners het besluit genomen om het project vroegtijdig te beëindigen en om de resultaten van het project te verwoorden en evalueren in een eindrapportage.

Ondanks het niet kunnen realiseren van metingen met het CRYSTAL monitoringssysteem heeft het project voldoende inzichten en geleerde lessen opgeleverd. Voorliggende eindrapportage beschrijft de behaalde resultaten en geleerde lessen, met als doel om toekomstige initiatiefnemers van WKO-systemen een handvat mee te geven voor de inzet van glasvezelmeettechniek. Het CRYSTAL-consortium hecht waarde aan een goede eindrapportage, omdat glasvezelmeettechniek in potentie bijdraagt aan de mogelijkheden om een duurzamere benutting van de ondergrond te realiseren en het aantal WKO-systemen in een gebied te vergroten.

Technische haalbaarheid

- DTS (Distributed Temperature Sensing) en FBG (Fiber Bragg Grating) zijn beschikbare glasvezelmeettechnieken, die allebei ingezet kunnen worden voor het betrouwbaar monitoren van de temperatuurveranderingen in het grondwater, zoals die zich manifesteren bij WKO-systemen (temperatuurrange 6-25 °C).
- Een programma van eisen is opgesteld waarmee een keuze is gemaakt in de voor dit project geschikte glasvezelmeettechniek. De aspecten uit het programma van eisen zijn bruikbaar voor toekomstige projecten, en dienen locatiespecifiek beoordeeld te worden.

Ontwerp CRYSTAL monitoringssysteem

Eén van de aspecten van dit innovatietraject was het testen van dit CRYSTAL-monitoringssysteem op een aantal pilotlocaties. Dit biedt niet alleen de gelegenheid om de technische mogelijkheden te onderzoeken, maar ook om af te tasten hoe een dergelijk instrument beleidsondersteunend kan worden ingezet. De locaties waar een testsysteem zou worden aangelegd zijn gekozen op basis van hun zogenaamde archetype. Voor dit traject zijn de volgende archetypen beschreven:

1. Druk, geen interferentie: Druk binnenstedelijk gebied (zowel boven- als ondergrond) met groot aantal WKO-systemen waarbij nu nog geen sprake is van interferentie. Daarnaast bestaan in het gebied wensen voor uitbreiding van het aantal WKO-systemen.
2. Druk, lokale interferentie: Druk binnenstedelijk gebied (zowel boven- als ondergrond) met een groot aantal WKO-systemen waarbij op lokale schaal sprake is van interferentie. Daarnaast bestaan in het gebied wensen voor uitbreiding van het aantal WKO-systemen.
3. Binnenstedelijk gebied waarin nog geen WKO-systemen zijn gerealiseerd, maar wel wensen aanwezig zijn voor de realisatie van een groot aantal WKO-systemen.

De archetypen vormen de basis om met gebiedsinformatie een onderzoeksdoel te definiëren, teneinde sturingsinformatie te kunnen afleiden uit de monitoringsgegevens. Met behulp van een kaart en/of GIS-systeem kan bepaald worden hoeveel meetpunten er minimaal nodig zijn om deze sturingsinformatie te verkrijgen. In een iteratief proces wordt een meetstrategie uitgewerkt tot een meetplan.

Bij het positioneren van meetpunten dient steeds afgevraagd te worden wat men denkt te meten op die locatie en dient een inschatting gemaakt te worden wat de beste positie is voor het glasvezel meetpunt, rekening houdend met de afstand tot de WKO-bron en fysieke objecten/beperkingen in de bovengrond. Op basis van een definitief ontwerp kan een inschatting worden gemaakt van mogelijke risico's en benodigde vergunningen.

Vorbereiding aanleg CRYSTAL monitoringssysteem

Er is een beschrijving opgesteld van het werkproces dat doorlopen wordt om tot de juiste afweging en keuzes te komen voor de inzet van het CRYSTAL monitoringssysteem.

- In het werkproces zijn geleerde lessen verwerkt, die gericht zijn op het verkleinen van risico's die gepaard kunnen gaan met de aanleg van glasvezelkabels.
- Leg een Geografisch Informatie Systeem (GIS) aan waarin alle gebiedsinformatie wordt ontsloten. Dit verbetert de interpretatie van die informatie en verkleint het risico op missen van informatie.
- Met een KLIC-melding wordt alleen de ligging van kabels en leidingen in de openbare ruimte ontsloten. Leidingen die op privaat terrein liggen kunnen alleen inzichtelijk gemaakt worden door informatie te betrekken van de desbetreffende grondeigenaar.
- WKO-leidingen van de bronnen naar het gebouw zijn niet goed ontsloten via het Kadaster en derhalve is het noodzakelijk om die informatie op te vragen bij de desbetreffende WKO-beheerder.
- Een technisch overleg over de aanleg van glasvezelkabels en een risicosessie, verschaft helderheid in de (on)mogelijkheden van het aanlegproces en wat voorafgaand geregeld moet worden in afspraken, contracten, vergunningen e.d.

Exploitatie- en financieringsmodellen

Een van de onderzoeksvragen binnen het CRYSTAL-project is welke exploitatie- en financieringsmodellen denkbaar zijn voor de inrichting en exploitatie van een CRYSTAL-monitoringssysteem. De vraag zou worden beantwoord op basis van de ervaringen die zouden worden opgedaan bij de financiering van de pilots. Doordat de pilots niet zijn uitgevoerd, is geen inzicht verkregen in de kosten van de aanleg, monitoring en onderhoud. Wel is ter voorbereiding op het opstellen van exploitatie- en financieringsmodellen onderbouwd welk instrumentarium (business-case of MKBA) nodig is om een financieringsmodel te beschrijven.

Aan de hand van een illustratief rekenvoorbeeld (met fictieve getallen) is getoond wat de kosten en baten zijn voor de situatie waar door toepassing van glasvezelmonitoring het aantal WKO-bronnen kan worden verdicht met als gevolg dat een nieuw WKO-systeem kan worden ingepast zodat een extra gebouw gebruik kan maken van bodemenergie, waar dit zonder inzet van glasvezelmonitoring niet mogelijk was geweest. Het rekenvoorbeeld laat zien dat samenwerking tussen publiek en private stakeholders essentieel is om maatschappelijke baten (positieve MKBA) te verbinden met private kosten (negatieve businesscase).

Handelingsperspectieven en meerwaarde voor stakeholders

Om te kunnen sturen op het gebruik van de ondergrond voor warmte- en koudeopslag is het nuttig om inzicht te hebben in welke actoren betrokken zijn bij warmte- en koudeopslag, wie wellicht baat zou hebben bij aanvullend inzicht en wat dan de handelingsperspectieven zijn om dit inzicht te verkrijgen dan wel te benutten.

In het CRYSTAL-project zijn hiertoe individuele interviews afgenomen om het proces dat doorlopen wordt van initiatief, vergunningverlening, toezicht en handhaving en monitoring van WKO-systemen in kaart te brengen. Hiermee is inzicht verkregen in de momenten waarop kennis kan doorwerken naar het beleid en de uitvoering en is onderzocht op welke aspecten het CRYSTAL monitoringssysteem meerwaarde kan bieden.

Handelingsperspectieven verschillen per actor en per fase. Per actor is in de rapportage aangegeven in welke fase van een WKO-initiatief een CRYSTAL-monitoringssysteem ingezet kan worden en wat de meerwaarde daarvan is. Dit overzicht biedt actoren een uitgangspunt om de inzet van een CRYSTAL-monitoringssysteem te overwegen.

Meerwaarde van de inzet van een CRYSTAL-monitoringssysteem wordt in elke fase gevonden (beleidsontwikkeling, gebiedsalliantie, initiatieffase, aanlegfase en beheerfase) en concentreert zich op:

- inzicht kan leiden tot doelmatiger gebruik van de ondergrond en daarmee bijdragen aan energie- en klimaatdoelstellingen
- inzetten in gebiedsprocessen/collectieve vergunningen als middel om het mogelijk te maken om WKO-systemen dicht op elkaar te plaatsen
- Onderzoeken of en waar er sprake is van interferentie
- Sturen op positionering van bronnen en warme en koude bellen (interferentiebeleid)
- Als instrument om gesprek tussen verschillende actoren in een gebied opgang te krijgen in aanloop naar een gebiedsalliantie
- optimalisatie van een WKO-systeem
- aantonen dat een WKO-systeem geen hinder oplevert voor buursystemen
- aantonen of voorkomen dat je last gaat krijgen of hebt van een buursysteem (onderbouwing bezwaarschrift)



Inhoudsopgave

Managementsamenvatting.....	3
Inhoudsopgave	6
Lijst van figuren en tabellen.....	7
1. Inleiding	8
2. Warmte-koude-opslag	10
3. Technische haalbaarheid CRYSTAL-monitoringsysteem	13
3.1. Technische eisen CRYSTAL-monitoringsysteem	13
3.2. Ontwerp en aanleg CRYSTAL-monitoringsysteem	21
3.3. Monitoringsaanpak en uitwerking resultaten	28
3.4. Pilots CRYSTAL-monitoringsysteem	29
4. Exploitatie- en financieringsmodellen CRYSTAL-monitoringsysteem.....	40
4.1. Business case en MKBA	40
4.2. Relatie business case en MKBA.....	41
4.3. Rekenvoorbeeld	41
4.4. Verdeling kosten bij gebiedsoplossingen.....	41
5. Het CRYSTAL-monitoringsysteem als beleidsinstrument	43
5.1. Handelingsperspectieven stakeholders	43
6. Conclusie en aanbevelingen	49
6.1. Conclusies	49
6.2. Aanbevelingen	51

Bijlage

1. Spel 'Bodemenergie: the final frontier!'

Lijst van figuren en tabellen

Figuur 1. Omvang warme en koude bellen in respectievelijk de zomer- en wintersituatie (bron: Expertisecentrum warmte, www.expertisecentrumwarmte.nl).....	10
Figuur 2. Voorbeeld DTS-technologie	14
Figuur 3. Werkingsprincipe FBG.....	15
Figuur 4. Temperatuurverloop volgens dagelijkse, tweewekelijkse en vierwekelijkse meetfrequenties, op basis van een meetreeks uit het FOME-BES-project (meetlocatie 5, Beurskwartier Utrecht).....	16
Figuur 5. Bodemtemperatuur in Beurskwartier Utrecht meetkabel 5, gemeten met intervallen van 0,25 m en 2 m. Links: Na eerste injectie koude. Rechts: Einde koudelaadseizoen.....	17
Figuur 6. Toekomstige prijstelling DTS en FBG-systemen versus de meetdiepte	20
Figuur 7. Stroomschema ontwerp- en aanlegprocedure	22
Figuur 8. Cyclus risicosessie	25
Figuur 9. Voorbeeld risicomatrix.....	25
Figuur 10. Voorbeeld risicodossier	26
Figuur 11. Demarcatie erkenningsregelingen (aangepast op bronfiguur uit SKB-cahier "Bodemenergie warm aanbevolen" – mei 2013)	27
Figuur 12. Situatie nabij De Knoop, Beurskwartier Utrecht. De blauwe en oranje stippen geven de bestaande bronnen aan, het blauwe en rode kruisje de mogelijke nieuwe bronnen van De Knoop	30
Figuur 13. Resultaat modelberekening thermische invloedsgebieden. Het Knoopgebouw is met groen weergegeven. Ook zijn de glasvezelmeetkabels 1, 2 en 3 weergegeven.	31
Figuur 14. Ligging koude- en warmtebronnen in het Den Haag Centrum en hun invloedsgebieden.	32
Figuur 15. Ligging Het Moreelse, Utrecht (kaart rechtsboven op basis van Openstreetmap. Onderste figuren afkomstig uit Notitie Energieconcepten Moreelsepark van Merosch (2017)).....	33
Figuur 16. Ontwerp meetnetwerk Beurskwartier, Utrecht	34
Figuur 17. Ontwerp meetnetwerk Centrum, Den Haag	34
Figuur 18. Gebouwen in Het Moreelse, Utrecht met bedrijfsvloeroppervlaktes (BVO) (figuur op basis van notitie van Merosch, 2017).....	37
Figuur 19. Aantal mogelijke WKO-systemen bij conservatieve en verdichte scenario's.....	38
Figuur 20. Belangrijkste stakeholders bij de (beleids-)voorbereiding, aanleg, in werking hebben en houden en ontmanteling van WKO-systemen	45
Tabel 1. Inventarisatie diverse DTS-systemen.....	18
Tabel 2. Specificaties diverse FBG-systemen.....	19
Tabel 3. Verwachte energievraag gebouwen en vertaald naar de bodem voor Het Moreelse	38
Tabel 4. Verschillen Business case en MKBA	40
Tabel 5. Resultaten rekenvoorbeeld	41
Tabel 6. Handelingsperspectieven per stakeholder voor de inzet van het CRYSTAL-monitoringssysteem.	46

1. Inleiding

Kan temperatuurmonitoring met glasvezelkabels worden ingezet om efficiënter warmte- en koude op te slaan in de bodem zodat binnen één gebied meer gebouwen gekoeld en verwarmd kunnen worden via open bodemenergie-systemen (open WKO-systeem)? Door deze vraag centraal te zetten in dit innovatietraject leveren we een bijdrage aan de energietransitie en duurzame steden.

Vanuit duurzaamheids- en klimaatdoelstellingen wordt steeds vaker overgestapt van energie uit fossiele brandstoffen naar een energievorm die minder impact op het klimaat en milieu heeft en liefst hernieuwbaar is. Bodemenergie, waarbij gebruik wordt gemaakt van warmte en koude die is opgeslagen in de bodem, is een vorm van hernieuwbare, duurzame energie voor het verwarmen en koelen van gebouwen. Met een open bodemenergiesysteem (warmte-koude-opslag (WKO)) wordt in de zomer warmte uit gebouwen in het grondwater geïnfiltreerd. Dit relatief warme grondwater (circa 18 °C), dat zich in een warme bel bevindt, kan in de winter weer worden opgepompt om met een warmtewisselaar de warmte uit het water te onttrekken en te benutten voor de verwarming van het gebouw. Het afgekoelde grondwater (circa 10 °C) wordt vervolgens in een koude bel in de bodem opgeslagen en in de zomer opgepompt om het gebouw te kunnen koelen.

Verwachting is dat het aantal open WKO-systemen de komende jaren verder zal toenemen, met als gevolg dat ook het gebruik van het grondwater verder zal toenemen. Het grondwater dient als transportmiddel om warmte en koude in de bodem op te slaan. De warmte en koude wordt vastgehouden door de zandkorrels in de vorm van een warme en koude bel. Deze bellen nemen dus ruimte in de ondergrond in beslag. Het gebruik van het grondwater in de ondergrond voor de opslag van warmte en koude in een warme en koude bel betekent dat dit grondwater niet ingezet kan worden voor andere WKO-bronnen of andere gebruiksvormen. Om het grondwater en de ruimte onder het maaiveld zo efficiënt mogelijk te kunnen inzetten is het van belang dat de ruimte die elke gebruiksvorm nodig heeft inzichtelijk te hebben. Zeker wanneer de wens is om de dichtheid van het aantal WKO-bronnen, en daarmee het aantal warme en koude bellen, binnen een beperkt gebied te vergroten, is inzicht in de omvang van de bestaande bellen bijna onmisbaar.

Doel innovatietraject

Dit innovatietraject bouwt voort op de resultaten van het TKI EnerGO-project Fibre-Optic Monitoring Energiebalans en prestaties van BodemEnergieSystemen (FOME-BES) uit 2015-2017¹. In het FOME-BES traject is aangetoond dat de inzet van DTS-glasvezelmeettechniek ('distributed temperature sensing') voor monitoring van warmte en koude in de ondergrond een betrouwbaar beeld oplevert van de ontwikkeling van warme- en koude bronnen bij WKO. Hierdoor levert temperatuurmonitoring met glasvezel (verder aangeduid als glasvezelmonitoring) een bijdrage aan het inzicht in de benutting van het bodemenergiepotentieel ter plaatse. Dit geeft exploitanten van individuele WKO-systemen de informatie die nodig is om hun systeem te optimaliseren. Volgende stap is het opschalen van het monitoringssysteem zodat dit inzicht op gebiedsniveau kan genereren.

Dit traject heeft tot doel te onderzoeken in hoeverre glasvezelmonitoring kan worden ingezet om het aantal WKO-bronnen op gebiedsniveau te vergroten (verdichten) en of glasvezelmonitoring een positieve bijdrage kan leveren aan het oprichten van WKO-allianties in relatief drukke WKO-gebieden. Hiervoor is het nodig om het glasvezelmonitoringssysteem, dat bedoeld is voor de monitoring van de temperatuurontwikkeling in de ondergrond bij één individuele WKO, door te ontwikkelen naar een systeem dat op gebiedsschaal inzicht geeft in de temperatuurontwikkeling en omvang van warme en koude bellen in de ondergrond. Het zogenaamde CRYSTAL-monitoringssysteem.

¹ <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/fibre-optic-monitoring-energiebalans-en-prestaties-van-bodemenergiesystemen-00018788>

Het innovatieve van het CRYSTAL-monitoringsysteem bestaat uit:

- i) Het technische aspect: Het CRYSTAL-monitoringsysteem levert informatie over de warmte- en koudeopslag in de ondergrond op gebiedsschaal. Hiervoor is het nodig de bestaande glasvezelmonitoringsystemen verder door te ontwikkelen. Doel is om in dit traject een prototype te ontwikkelen dat op gebiedsniveau inzicht geeft in de energieopslag onder het maaiveld. Vraag die centraal staat is: Kunnen we een technisch haalbaar en betaalbaar prototype glasvezelmonitoringsysteem ontwikkelen waarmee we op gebiedsniveau inzicht krijgen in het temperatuurverloop in de ondergrond als gevolg van warmte en koudeopslag?
- ii) Het economische aspect: Het innovatieve van CRYSTAL op economisch vlak is dat het met CRYSTAL mogelijk wordt de financiële voordelen van warmte- en koudeopslag op gebiedsniveau eerlijk te verdelen over alle gebruikers van bodemenergie in het gebied. Een business case en maatschappelijke kosten-baten analyse geven inzicht in de investeringskosten versus de opbrengsten c.q. vermeden kosten. Onderzoeksvraag bij dit aspect is: Welk exploitatie- en financieringsmodellen zijn mogelijk voor de financiering van de aanleg en exploitatie van glasvezelmonitoring op gebiedsniveau? En welke is per archetype (gebiedsprofiel) het meest kansrijk?
- iii) Een beleidsmatig aspect: Het CRYSTAL-monitoringsysteem levert inzicht en aanknopingspunten op waarmee beleid voor intensivering van WKO-bronnen binnen een gebied kan worden onderbouwd en vergunningsvoorschriften kunnen worden aangepast. Met andere woorden: Is het mogelijk glasvezelmonitoring in te zetten als beleidsinstrument en zo ja hoe kunnen we op gebiedsniveau afspraken maken over de positionering van nieuwe WKO-systemen en verdichting van het bestaande WKO-net? Kan glasvezelmonitoring worden ingezet om overdimensionering van warme en koude bellen in WKO-vergunningen te voorkomen dan wel terug te draaien?

Dit innovatietraject is doorlopen met een consortium bestaande uit de kennisinstellingen Utrecht Sustainability Institute, Deltares, Universiteit Utrecht, kennisleverancier Buro Bron, ingenieursbureau Royal HaskoningDHV, glasvezelmonitoringsspecialist Inventec, het Rijksvastgoedbedrijf, de gemeenten Utrecht en Den Haag, de provincie Utrecht en de RUD Utrecht.

Kader 1. Waarom de naam 'CRYSTAL'

CRYSTAL: Create Your Sustainable Thermal energy storage at Area Level with fiber-optic monitoring

De naam 'CRYSTAL' is een verbastering van 'crystalclear' en is gekozen omdat met temperatuurmetingen via glasvezel inzichtelijk kan worden gemaakt hoe de thermische energieopslag zich ondergronds ontwikkelt. Het wordt dus 'helder' wat de dimensies van de warme en koude bellen van WKO-systemen nu echt zijn onder het maaiveld.

Leeswijzer

Deze rapportage vormt een samenvatting van het innovatietraject dat is doorlopen om temperatuurmeting in de ondergrond met glasvezelkabel op gebiedsschaal toe te passen. Hiervoor gaan we in op de achtergrond van de problematiek van WKO-systemen op gebiedsniveau, de technische stand van zaken van glasvezelmonitoring, het businessmodel achter glasvezelmonitoring, de (on)mogelijkheden van glasvezelmonitoring en enkele voorgenomen pilots. We sluiten af met opgedane ervaringen en de kanttekeningen die we moeten plaatsen bij onze ervaringen.

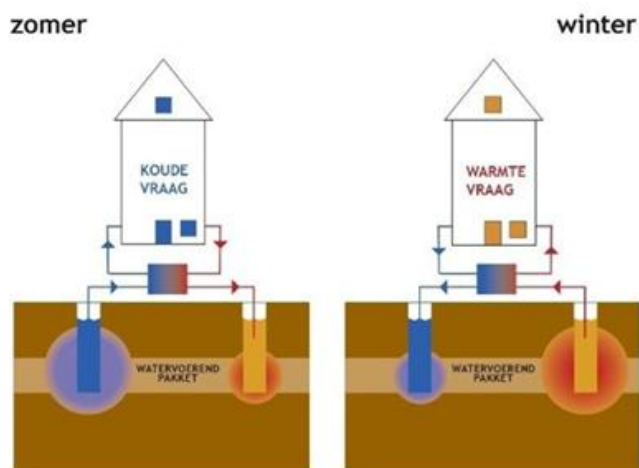
2. Warmte-koude-opslag

Met het oog op de energietransitie zoeken gebouweigenaren/-beheerders naar mogelijkheden om de inzet van fossiele energievormen af te bouwen door meer duurzame en hernieuwbare energiebronnen in te zetten. Met name het verwarmen en koelen van gebouwen kost veel energie, warmte- en koudeopslag in de bodem kan voorzien in een deel van deze energievraag. Steeds meer gebouweigenaren raken hier ook van overtuigd en bij nieuwbouw en gebouwverduurzaming wordt dan ook veelvuldig ingezet op warmte- en koudeopslag in de bodem. Gevolg is wel dat het aantal WKO-systemen in de ondergrond aanzienlijk aan het groeien is en dat, zeker in gebieden met een grote dichtheid aan utiliteits- en woningbouw, er verdichtings- en interferentievraagstukken² ontstaan.

Ruimteclaim en concurrentie in de ondergrond

Met grondwater als transportmiddel kan warmte en koude in de bodem worden opgeslagen. De warmte en koude wordt vastgehouden door de zandkorrels in de vorm van een warme en koude bel. In de zomer wordt relatief koud water uit de koude bel onttrokken en warm water in de warme bel geïnfiltrerd. 's Winters draait de situatie om en wordt het warme water onttrokken en het koude water geïnfiltrerd (Figuur 1). Dit grondwater is daardoor niet beschikbaar voor ander gebruik, zoals andere WKO-bronnen of grondwaterwinning voor drinkwater of voor industrieel gebruik.

Doordat de bellen van WKO-systemen zich over het algemeen dieper in de ondergrond bevinden (>20 m) dan de laag waarin de meeste andere gebruiksvormen van de ondergrond zitten (bijvoorbeeld kabels, leidingen, wortelstructuren, parkeergarages, afvalcontainers; <2 m) leidt dit niet snel tot conflicten met deze vormen van gebruik van de ondergrond. Wel kunnen leidingen tussen gebouw en WKO-bronnen zich in deze drukke laag bevinden. Dit kan zeker op lokale schaal tot conflicten in de ondergrond leiden. Daar waar deze kabels en leidingen lopen moet bijvoorbeeld worden opgepast met bomen met sterke wortels, aangezien ze het risico op schade aan de kabels en leidingen van en naar WKO-bronnen verhogen.



Figuur 1. Omvang warme en koude bellen in respectievelijk de zomer- en wintersituatie (bron: Expertisecentrum warmte, www.expertisecentrumwarmte.nl).

² Interferentie is de (thermische) beïnvloeding tussen warme en koude bellen in de ondergrond op dezelfde tijd en plaats. In de AMvB Bodemenergie van 25 maart 2013 is opgenomen dat een vergunning voor een open WKO-systeem kan worden geweigerd indien dit systeem leidt tot zodanige interferentie met een eerder geïnstalleerd bodemenergiesysteem dat het doelmatig functioneren van een van de desbetreffende systemen kan worden geschaad.

Naast concurrentie met andere gebruiksvormen van het grondwater kan ook concurrentie ontstaan tussen twee (of meer) bij elkaar gelegen WKO-bronnen. Theoretisch kunnen naast elkaar gelegen warme en koude bellen (van verschillende systemen) elkaar beïnvloeden waardoor menging van relatief warm en koud water optreedt met als gevolg dat de WKO minder efficiënt is (interferentie). Ook kan het theoretisch voorkomen dat een buur-WKO-systeem de warmte of koude die door een ander is ingebracht oppompt, hierdoor 'pikt' het ene systeem de warmte of koude van het andere systeem. Om deze beïnvloeding van elkaar te voorkomen wordt bij de vergunningverlening van WKO-systemen rekening gehouden met een bepaalde invloedsfeer (ruimteclaim in de ondergrond). Echter is deze vergunde invloedsfeer vaak groter dan de daadwerkelijke ruimte die de warme en koude bellen innemen, waardoor 'loze' ruimte wordt geclaimd die niet voor andere WKO-systemen (of andere gebruiksvormen van de ondergrond) kan worden ingezet. Deze 'loze' ruimteclaims houden onder andere de aanleg van nieuwe systemen in de nabijheid van bestaande systemen tegen. Vanuit het oogpunt van efficiënt en optimaal gebruik van de potenties van de ondergrond is dit niet wenselijk.

Verdichting van aantallen WKO-systemen

De wens om in gebieden met een grote warmte- en koudevraag warmte-en koudeopslag toe te passen zorgt voor potentiële verdichtingsproblemen in de ondergrond. Dit geldt voor zowel 'maagdelijke' gebieden als voor gebieden waarin al WKO-bronnen in de ondergrond aanwezig zijn. De aanwezigheid van WKO-bronnen maakt verdichten wel extra complex. Nieuwe bronnen moeten in deze gebieden tussen bestaande warme en koude bellen worden 'ingepropt'. Eigenaren van reeds operationele systemen zien dit vaak niet zitten uit angst voor verlies aan rendement van het huidige systeem, beperking van de mogelijkheden om te groeien in capaciteit of verlies van ruimte in de ondergrond om pieken op te vangen. Om toch te kunnen verdichten in deze gebieden ligt afstemming tussen WKO-eigenaren voor de hand. Echter komen dergelijke afstemmingen en samenwerkingen slecht van de grond omdat eigenaren/gebruikers van bestaande WKO-systemen vaak geen (financieel) belang hebben bij de komst van nieuwe WKO-systemen.

Vanuit maatschappelijk oogpunt zijn echter wel redenen om de afstemming tussen eigenaren/gebruikers te organiseren en zogenaamde WKO-allianties op te richten. Idee is dat met deze WKO-allianties op gebiedsniveau het potentieel van de ondergrond om energie op te slaan optimaal kan worden benut en verdichting van het aantal WKO-bronnen kan worden bewerkstelligd.

Het aantal WKO-systemen neemt toe, toch stagneert de verdichting op sommige locaties als gevolg van:

- Angst bij eigenaren/beheerders van bestaande WKO-bronnen voor verlies van rendement van hun WKO-systeem als gevolg van verdichting in de omgeving. De baten van verdichting liggen vooral bij de nieuwkomer, terwijl bij eigenaren van bestaande systeem vooral de angst voor verlies aan efficiëntie (en daarmee hogere energiekosten) regeert.
- Het niet mogen aanleggen van nieuwe bronnen in de nabijheid van bestaande WKO-bronnen doordat in de huidige WKO-vergunningen rekening wordt gehouden met een ruime buffer rondom deze bronnen waarbinnen geen andere WKO-bronnen mogen worden aangelegd.
- Ontbrekend inzicht in de daadwerkelijk omvang van warme en koude bellen in de ondergrond. De omvang wordt modelmatig bepaald. Manieren om temperatuur te meten in de ondergrond waren tot voor kort onbereikbaar of te kostbaar.
- een (te) grote onderlinge afstand tussen WKO-bronnen die wordt vanuit de ontwerprichtlijn wordt voorgeschreven.

Reguleren en stimuleren van WKO-systemen

Provincies en gemeenten streven naar doelmatig grondwatergebruik en naar optimaal gebruik van het energiepotentieel in de gebieden waarvoor zij verantwoordelijk zijn. Hiervoor kunnen gemeenten en provincies via verschillende instrumenten het gebruik van bodemenergie reguleren en stimuleren. Voorbeelden van deze instrumenten zijn:

- De vergunning vanuit de Waterwet,
- De interferentieverordening en WKO-masterplannen,
- WKO-kansenkaarten,
- Het energiebeleid voor de bebouwde omgeving,
- Bodemenergieplannen.

Een wat meer actieve manier om het aantal WKO-systemen in een specifiek gebied te vergroten is het stimuleren van aanleg en verdichting van WKO-systemen via WKO-allianties. In deze WKO-allianties maken eigenaren en exploitanten van bestaande en toekomstige WKO-systemen gezamenlijk afspraken over hoe zij met het potentieel van de ondergrond om energie op te slaan om zullen gaan. Ook kunnen in deze allianties op gebiedsniveau afspraken worden gemaakt over hoe eventueel gezamenlijk opgewekte energie wordt verdeeld over de partners en hoe partners die hinder of schade ondervinden van nieuwe systemen hiervoor gecompenseerd kunnen worden.

Rol temperatuurmonitoring met glasvezel

Uit het FOME-BES-traject is gebleken dat glasvezelmonitoring een betrouwbaar beeld geeft van de ontwikkeling van warme en koude bronnen door de seizoenen heen in de ondergrond, en daarmee van de mate waarin het bodemenergiepotentieel ter plaatse wordt benut. Dit geeft exploitanten de mogelijkheid het functioneren van hun individuele WKO te monitoren en te verbeteren. Ook geeft dit beeld de bevoegde overheden en initiatiefnemers van nieuwe WKO-systemen inzicht in de daadwerkelijke omvang van de warme en koude bellen in de ondergrond en daarmee de ruimte die nog beschikbaar is voor additionele systemen.

3. Technische haalbaarheid CRYSTAL-monitoringsysteem

Onderzoeksvraag

Kunnen we een technisch haalbaar en betaalbaar prototype glasvezelmonitoringsysteem ontwikkelen waarmee we op gebiedsniveau inzicht krijgen in de temperatuurontwikkeling in de ondergrond door warmte- en koudeopslag en daarmee de resterende ruimte?

In het FOME-BES-project is aangetoond dat het temperatuurverloop in de diepte te meten is via glasvezelmeettechniek. Hierdoor is het voor het eerst mogelijk te verifiëren of de modelmatige berekeningen van de warme en koude bellen overeenkomen met de daadwerkelijke situatie in de ondergrond. De eigenaar/exploitant krijgt hiermee een extra instrument in handen waarmee hij/zij kan sturen op de effectiviteit en efficiëntie van het systeem.

Ook op gebiedsniveau verwachten we dat glasvezelmeettechniek een meerwaarde kan bieden als het gaat om een efficiënter gebruik van de ondergrond voor opslag van energie. Door op gebiedsniveau inzichtelijk te maken wat daadwerkelijk het ruimtebeslag is van de warme en koude bellen wordt duidelijk waar nog ruimte is om te verdichten, of waar wellicht met kleine aanpassingen van bestaande systemen negatieve interferentie tussen eigen bellen met die van andere WKO-systemen kan worden voorkomen, waardoor bestaande WKO-systemen wellicht in capaciteit kunnen groeien.

Werkwijze beantwoorden onderzoeksvraag:

- Stap 1: afleiden programma van eisen CRYSTAL-monitoringsysteem.
- Stap 2: onderscheiden verschillende gebiedstypen. Per gebied is de situatie in de ondergrond anders vandaar dat voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag een aantal gebiedstypen (archetypen) zijn onderscheiden.
- Stap 3: selectie gebieden waar de haalbaarheid van het CRYSTAL-monitoringsysteem zal worden getest en verzamelen van actuele gegevens van de ondergrond en het gebruik van de geselecteerde gebieden.
- Stap 4: aanleg pilotsystemen.
- Stap 5: monitoring.
- Stap 6: uitwerking monitoringsresultaten.

3.1. Technische eisen CRYSTAL-monitoringsysteem

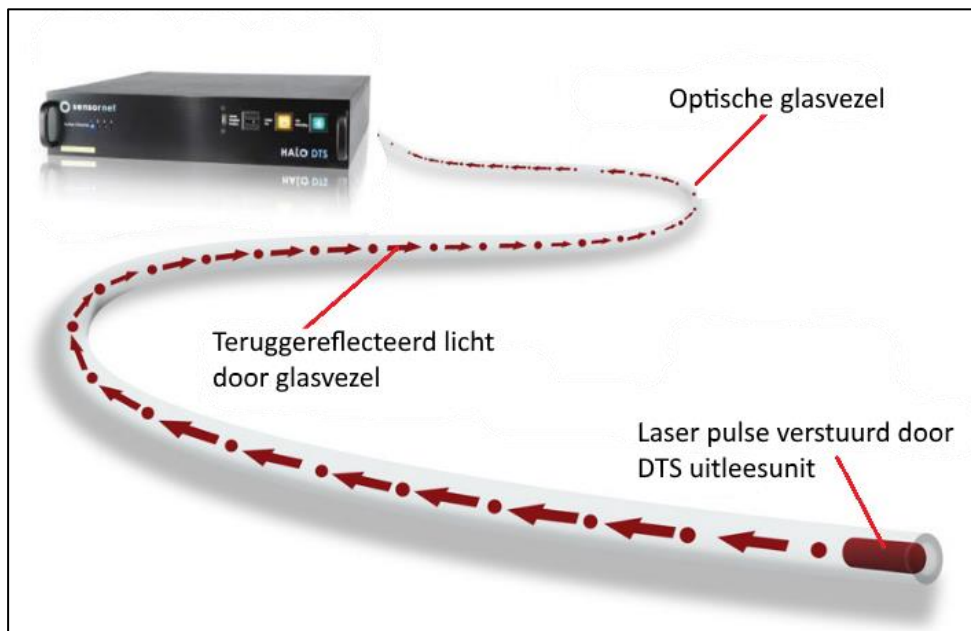
Temperatuurmeting in de bodem kan met verschillende gasvezelmeettechnieken, waarbij elk meetsysteem bestaat uit een hardware- en softwarecomponent. Om antwoord te kunnen geven op de vraag welke glasvezelmeettechniek het meest geschikt is voor het CRYSTAL-monitoringsysteem is allereerst inzicht in de beschikbare technieken, de mogelijkheden van deze technieken, de kanttekeningen bij de techniek en de kosten nodig. Vervolgens kan bepaald worden welke techniek het beste past bij de doelstelling van inzicht in de temperatuurontwikkeling op gebiedsniveau. Deze analyse biedt de basis voor een programma van eisen waarmee het CRYSTAL-monitoringsysteem kan worden ingericht op een technisch en financieel zo aantrekkelijk mogelijke wijze.

3.1.1. Glasvezelmeettechnieken (hardware)

Grofweg worden twee glasvezelmeettechnieken onderscheiden, die geschikt worden geacht voor het CRYSTAL-monitoringsysteem. Dit zijn DTS-techniek (Distributed Temperature Sensing) en FBG-techniek (Fiber Bragg Gratings).

DTS-techniek

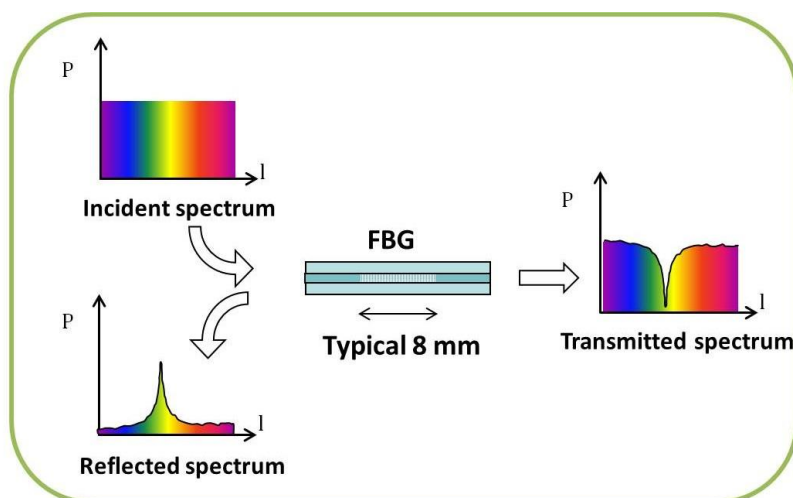
In het voorgaande FOME-BES-project is gebruik gemaakt van DTS-techniek (*Distributed Temperature Sensing*). Bij deze techniek stuurt een laser hoogfrequente lichtpulsen van één specifieke golflengte de kabel in en wordt het in de kabel weerkaatste lasersignaal gemeten. Het overgrote deel van het licht verlaat de glasvezel aan het uiteinde. Een klein deel wordt echter terug verstrooid naar de uitleesunit. Dit gebeurt op elk punt langs de glasvezel. Het tijdstip van deze reflectie en de mate waarin het signaal is vervormd, zijn een maat voor respectievelijk de locatie en de temperatuur op die locatie. Op deze manier is een temperatuurbeeld over de lengte van de kabel en het verloop ervan in de tijd te bepalen.



Figuur 2. Voorbeeld DTS-technologie

FBG-techniek

Een FBG (*Fiber Bragg Grating*) bestaat uit een locatie op de glasvezel waar het materiaal over een korte lengte (3 -10 millimeter) door laserstraling bewerkt is. Een dergelijke locatie is daarmee een sensor geworden. Door de laserbewerking is de brekingsindex van het materiaal plaatselijk dusdanig gemodificeerd dat daar slechts één bepaalde golflengte van het door de glasvezel gestuurde licht wordt teruggekaatst. Als er zich nu ter plaatse van de FBG een temperatuurwijziging voordoet, verschuift de golflengte van het daar teruggekaatste licht. Deze verschuiving wordt door een uitleesunit gemeten en vertaald naar de temperatuurverandering van de glasvezel ter plaatse van de FBG.



Figuur 3. Werkingsprincipe FBG

3.1.2. Programma van eisen CRYSTAL-monitoringssysteem

Om voor de testlocaties het specifieke programma van eisen aan het monitoringssysteem te bepalen zijn meetresultaten uit het FOME-BES project gebruikt. Daarbij is geanalyseerd wat het maximale diepte- en tijdsinterval kan zijn waarbij wijzigingen in temperatuur als gevolg van injectie van warmte en koude nog worden gedetecteerd. Dit heeft geleid tot specificatie van eisen voor meetfrequentie, meettijd, temperatuurreolutie en sampling resolutie.

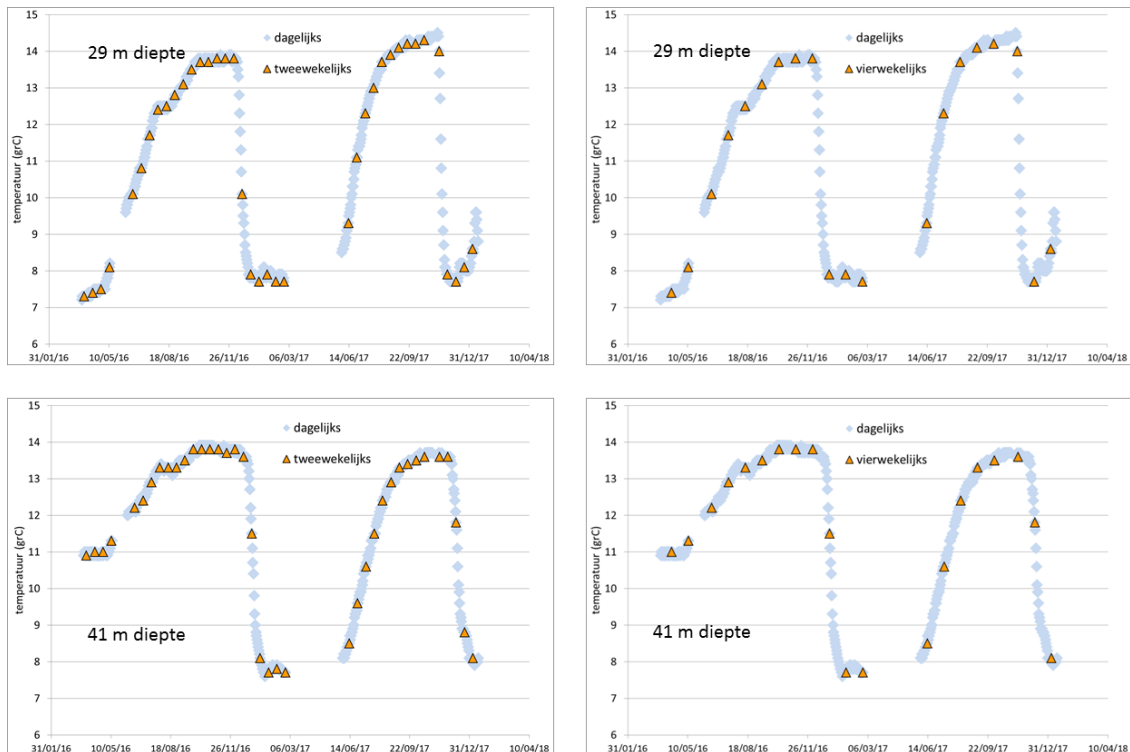
Meetfrequentie

In het FOME-BES-project is ervaren dat in drukke binnenstedelijke gebieden glasvezelkabels kapot kunnen gaan tijdens graafwerkzaamheden. Dit is met name het geval voor de horizontale kabels die de verticale meetkabels met elkaar verbinden. De keuze is gemaakt om alleen verticale meetpunten te installeren in de bodem en die handmatig uit te meten. Dit betekent wel dat iemand periodiek met een uitleesunit naar de locatie moet gaan om metingen te verrichten. Aangezien bij WKO-systemen de temperatuurveranderingen in de bodem geleidelijk verlopen, hoeft dit geen consequenties te hebben voor de kwaliteit van de meetdata in het licht van het onderzoeksdoel. Het is hierbij wel van belang om vaak genoeg te meten, zodat er geen passages van temperatuurfronten (als gevolg van infiltratie warmte en koude) worden gemist.

Om die reden is op basis van meetdata uit het FOME-BES-project (uit het gebied Beurskwartier, Utrecht) bepaald wat de minimale meetfrequentie moet zijn om het temperatuurverloop in de tijd goed te kunnen vangen. Dit bleek nog te kunnen met tussenpozen van 2 weken. Dit is gedaan door een meetreeks met dagelijkse metingen in de periode 26 november 2016 – 15 januari 2017 (Figuur 4) nader te bekijken. In deze periode begint de injectie van koude en daalt de temperatuur van het grondwater in 3 weken van 13,8 naar 7,8 graden. Het niveau van 10,8 graden wordt beschouwd als het (midden van het) temperatuurfront. Deze temperatuur is gemeten op 17 december; op deze dag is dus de passage van het temperatuurfront. Deze passage mag niet gemist worden door het verlagen van de meetfrequentie. Er is een selectie gemaakt van dagelijkse meetpunten die overeen zouden komen met twee- of vierwekelijkse metingen. Voor bijvoorbeeld tweewekelijkse metingen betekent dit dat de meetpunten van dag 1, dag 15, dag 29, enzovoorts worden geselecteerd. Maar dit kunnen ook de meetpunten betreffen van dag 2, dag 16, dag 30, enzovoorts. Er zijn in totaal 14 meetreeksen mogelijk wanneer tweewekelijks wordt geselecteerd uit een dagelijkse reeks). Twee- en vierwekelijkse meetfrequenties leiden zo tot afwijkende bepalingen van de datum van passage van het temperatuurfront. Bij een tweewekelijkse meetfrequentie kan deze meetfout oplopen tot 2 dagen, afhankelijk van op welke dagen gemeten zou zijn. Bij een vierwekelijkse meetfrequentie kan deze meetfout oplopen tot 7 dagen.

De afwijking bij vierwekelijkse metingen is te groot en derhalve is gekozen voor tweewekelijkse metingen, waarbij in het geval van koude-/warmte-injecties sneller een grote temperatuursverandering wordt gedetecteerd.

Een belangrijke opmerking hierbij is dat deze meetfrequentie locatiespecifiek is. Het wordt aanbevolen om bij een locatie waar nog geen metingen beschikbaar zijn met glasvezelmeettechniek, te beginnen met een hogere meetfrequentie van dagelijkse metingen, specifiek op momenten waarop warmte en koude wordt geïnjecteerd. Vervolgens kunnen de metingen geïnterpreteerd worden en kan bepaald worden of een lagere meetfrequentie mogelijk is.



Figuur 4. Temperatuurverloop volgens dagelijkse, tweewekelijkse en vierwekelijkse meetfrequenties, op basis van een meetreeks uit het FOME-BES-project (meetlocatie 5, Beurskwartier Utrecht)

Temperatuurreolutie

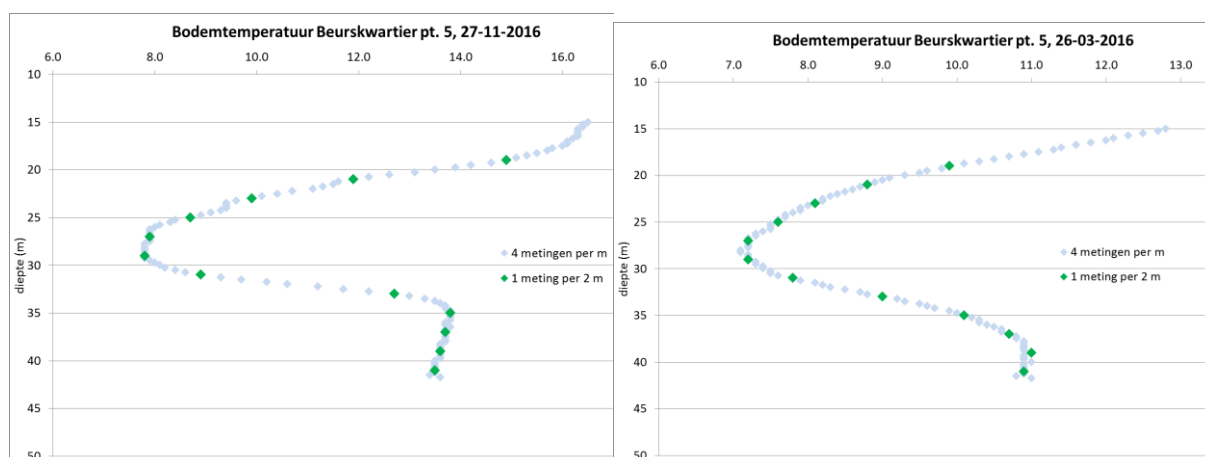
De meetresolutie van de temperatuur is van invloed op de bepaling van het moment van passage van het temperatuurfront. Zoals in de vorige paragraaf toegelicht wordt bij een meetfrequentie van eenmaal per 2 weken de onzekerheid rond deze bepaling nog als acceptabel beschouwd, maar dat vereist wel een hoge temperatuurreolutie (afwijking maximaal $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$). Derhalve is een vereiste temperatuurreolutie van $0,1^{\circ}\text{C}$ gehanteerd. De temperatuurreolutie beïnvloedt de meettijd; hoe hoger de gewenste resolutie, hoe langer de meettijd.

Sampling resolutie / meetdiepte-interval

Het meetdiepte-interval is de afstand tussen twee opeenvolgende temperatuurmetingen langs een verticale glasvezelkabel. Het is van belang te weten welk meetdiepte-interval minimaal nodig is om betrouwbare informatie van de temperatuurverdeling in de bodem te verwerven. Dit kan mede bepalend zijn voor de geschiktheid van de monitoringsystemen, en daarmee voor de aanlegkosten. Het minimaal vereiste meetdiepte-interval wordt bepaald door de heterogeniteit van het watervoerende pakket ter plaatse van de infiltratiefilters in de warme en koude bronnen, en de mate waarin dat leidt tot ongelijkmatige verdeling van geïnjecteerde warmte en koude over de diepte.

Op basis van data uit het FOME-BES project is onderzocht welke onder/overschatting optreedt indien grotere diepte-intervallen dan de daar gehanteerde 0,25 m worden gehanteerd. In Figuur 5 zijn de resultaten van deze analyse weergegeven. Vergelijkbaar aan de werkwijze als bij meetfrequentie zijn meetpunten geselecteerd die overeenkomen met een meetinterval van 2 en 4 m. Bij een meetinterval van 2 m wordt in het dieptebereik van 25 tot 30 m de laagste temperatuur met maximaal 0,1 graden onderschat. Bij een meetinterval van 4 m is dit 0,3 graden. Deze onderschattingen treden op bij de minst gunstige selectie van metingen (er zijn 8 meetreeksen mogelijk wanneer metingen met een interval van 2 meter worden geselecteerd uit een reeks met een interval van 0,25 m). Een onderschatting van 0,1 graden wordt als acceptabel beschouwd omdat het valt binnen de temperatuurreolutie. Een onderschatting van 0,3 graden is groter dan de temperatuurreolutie. Derhalve is ingeschat dat met een meetdiepte-interval van 2 meter de effecten van heterogeniteit in de bodem voldoende in beeld gebracht kunnen worden.

Ook hier wordt opgemerkt dat dit locatie specifiek is en dus per te onderzoeken locatie moet worden afgewogen. De te verwachten heterogeniteit kan, indien er geen metingen met glasvezelmeettechniek beschikbaar zijn, zo goed mogelijk worden afgeleid uit andere gegevens (bodempopbouw, boorprofielen, etc).



Figuur 5. Bodemtemperatuur in Beurskwartier Utrecht meetkabel 5, gemeten met intervallen van 0,25 m en 2 m. Links: Na eerste injectie koude. Rechts: Einde koudelaadseizoen

Voor de testlocaties is bepaald dat de hardware van het CRYSTAL-monitoringsysteem moet voldoen aan de volgende eisen:

- Minimale meetfrequentie : 1x per 2 weken
- Minimale temperatuurreolutie : 0,1°C
- Minimale sampling resolutie : 2 m
- Maximaal bereik : >1 km
- Meettijd : maximaal 15 minuten per meetpunt
- Commerciële prijsstelling : Zo gunstig mogelijk t.b.v. de businesscase
- Ontsluiten meetdata : Naar beheersysteem (SCADA) of online platform

(SCADA is een acroniem for *supervisory control and data acquisition*, een computersysteem voor het verzamelen en analyseren van real-time data)




3.1.3. CRYSTAL-monitoringsysteem: DTS of FBG?

Met het programma van eisen is een marktonderzoek gedaan onder leveranciers van glasvezelmeettechnieken. Daarbij zijn de specificaties van uitleesunits en informatie over de prijsstelling verzameld.

Informatie DTS-systemen

Er zijn verschillende DTS-systemen op de markt. In Tabel 1 zijn de technische specificaties van de vier meest gebruikte DTS-systemen weergegeven. Deze vier systemen zijn onderling vergeleken in relatie tot het programma van eisen voor het CRYSTAL-monitoringsysteem. Op basis van dit vergelijk is, anno 2019, het systeem geselecteerd met de meest gunstige prijs-kwaliteit verhouding, dit is de Halo DTS-uitleesunit van Sensornet.

Tabel 1. Inventarisatie diverse DTS-systemen





Fabrikant	Sensornet	Silixa	Bandwever	Lios
Uitleesunit				
Model	Halo	Ultima	TL-01-8-4CH	OTS3-40
Bereik	4 km	10 km	8 km	4 km
Relatieve kosten tussen units	€€	€€€	€€	€€€
Spatiele resolutie	1,0 m	0,65 m	1,0 m	1,0 m
Sampling resolutie	2,0 m	0,25 m	1,0 m	1,0 m
Temperatuur resolutie bij meettijd van 15 minuten	< 0,1°C	< 0,1°C	< 0,5°C	< 0,1°C
Aantal optische kanalen	2 of 4	4 of 8	4 of 8	1
Uitbreiding via switch?	Ja	NB	Nee	Ja
Minimale meetfrequentie om met uitleesunit betrouwbare metingen te verrichten	per 10 sec.	per 5 sec.	per 15 sec.	per 5 sec.

Informatie FBG-systemen

Net als bij de DTS-systemen zijn er ook verschillende FBG-systemen op de markt. In Tabel 2 zijn de specificaties van de vier meest gebruikte FBG-systemen weergegeven. Deze vier systemen zijn onderling vergeleken met het programma van eisen voor het CRYSTAL-monitoringsysteem. Op basis van de specificaties en prijsstelling wordt geconstateerd dat de FBG-uitleesunit van Technobis, anno 2019, de meest gunstige prijs-kwaliteit verhouding heeft in relatie tot hetgeen noodzakelijk is voor het uitvoeren van discontinue temperatuurmetingen nabij WKO-systemen met een mobiele uitleesunit. Daarbij wordt wel opgemerkt dat het aantal FBG's dat op een enkele glasvezel kan worden gezet bij dit systeem beperkt is tot 8. Dit wordt echter gecompenseerd door het aantal kanalen waarop glasvezels kunnen worden aangesloten. Wel leidt dit ertoe dat bij installatie in een meetpunt meerdere glasvezelkabels moeten worden geïnstalleerd.

N.B. In tegenstelling tot de DTS-uitleesunit is de sampling resolutie bij een FBG-uitleesunit geen criterium, omdat deze afstand wordt bepaald door de afstand tussen de individuele FBG's in de glasvezel.

Tabel 2. Specificaties diverse FBG-systemen

Fabrikant	Micron Optics	HBM	Technobis	NBG-systems
Uitleesunit				
Model	SM-125-500	FS22	SwitchedGator	FBGuard 1550
Bereik	>10 km	>10 km	>10 km	>10 km
Relatieve kosten tussen units	€€	€€	€	€€
Spatiele resolutie	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Sampling resolutie	Vanaf 1 cm	Vanaf 1 cm	Vanaf 1 cm	Vanaf 1 cm
Aantal FBG's per glasvezel	40	50	8	40
Temperatuur resolutie	0,07°C	0,07°C	0,1°C	0,07°C
Aantal optische kanalen	4	4	8	1
Uitbreiding via switch?	Ja	Ja	Ja	Ja
Meetfrequentie	2 Hz	1 Hz	19,5 kHz	4 kHz

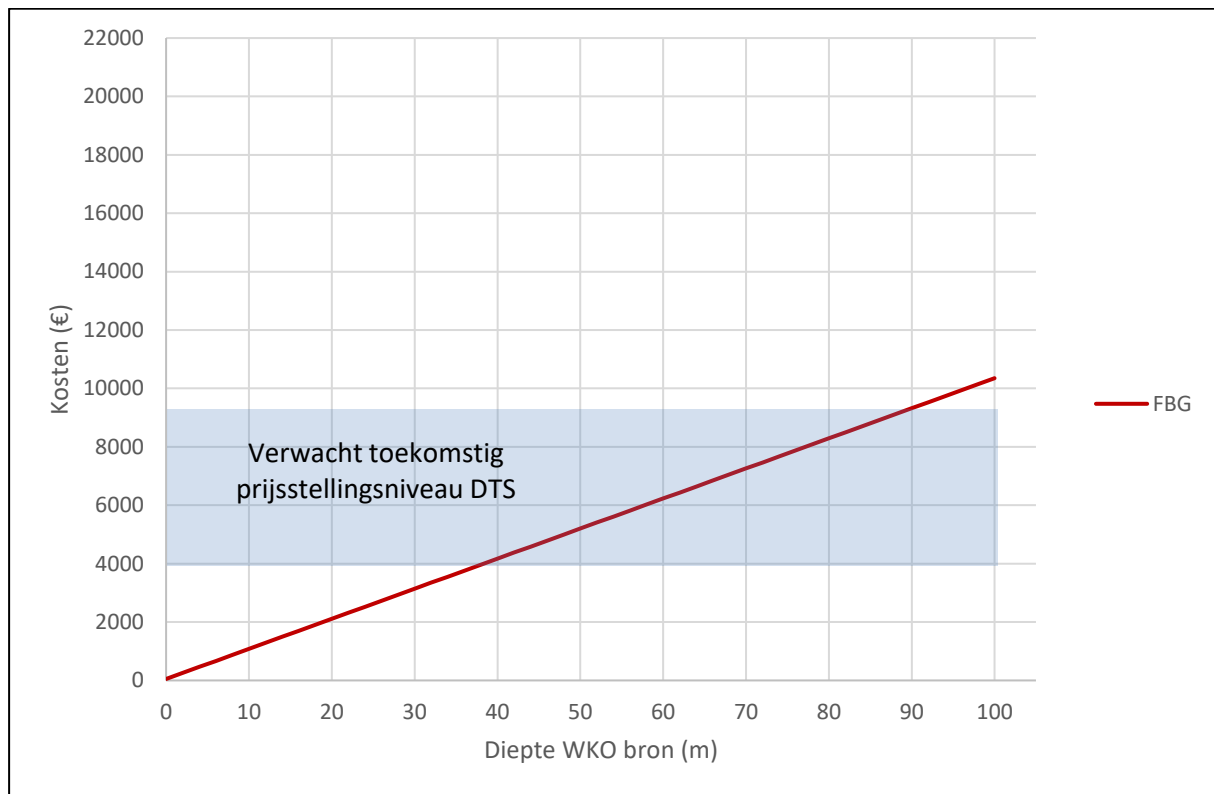
DTS of FBG?

Voor het CRYSTAL-monitoringssysteem is gekozen voor een Halo DTS-uitleesunit van Sensornet. Deze keuze is in hoge mate bepaald door de operationele keuze om tijdens het CRYSTAL-project het temperatuurverloop in de gebieden eens per twee weken op een beperkt aantal meetpunten door handmatige, discontinue metingen met een mobiele uitleesunit op te nemen. Mocht in de toekomst, om operationele redenen de voorkeur uitgaan naar meer meetpunten in een gebied, dan gaat de voorkeur uit naar een FBG gebaseerd monitoringssysteem. Dit is een afweging tussen personele kosten voor het verrichten van handmatige metingen versus kosten voor meerdere FBG-units (zie ook paragraaf 3.1.4).

3.1.4. Toekomstige ontwikkelingen

Prijstrends DTS en FBG

Verwachting is dat de prijs voor zowel de DTS-monitoringsystemen als de FBG-systemen op termijn zullen dalen. In gesprekken met leveranciers van de systemen komt naar voren dat verwacht wordt dat de DTS-systemen binnen een termijn van 15-20 jaar in prijs zullen dalen tot een orde van grootte van € 5.000,- tot € 10.000,- (procentuele afname van circa 40-80%). Systemen met een hogere meetnauwkeurigheid en resolutie zullen over het algemeen duurder blijven dan minder nauwkeurige systemen. Voor FBG-systemen geldt dat de ontwikkeling van laser-op-chipsystemen, ter aanvulling op de laser-sweep-systemen, zullen bijdragen aan een significante prijsdaling. Daarnaast zal een toenemend verkoopvolume bijdragen aan dalende productiekosten, waardoor ook deze systemen op termijn in prijs zullen dalen. Men verwacht zelfs dat op termijn gewerkt gaat worden met 'disposables' waarbij de kosten voor een FBG-uitleesunit zijn teruggebracht tot enkele tientallen euro's. Ook in de toekomst zal blijven gelden dat daar waar de kosten van een FBG-systeem met de meetdiepte toenemen, de prijs van een DTS-systeem nagenoeg constant is (zie ook Figuur 6).



Figuur 6. Toekomstige prijsstelling DTS en FBG-systemen versus de meetdiepte

Toekomstperspectief voor toepassing glasvezelmonitoring bij WKO

In druk stedelijk gebied dreigt krapte in de ondergrond als gevolg van toenemend gebruik van de ondergrond voor onder andere energieopslag. Oplossingen voor het omgaan met deze drukte zijn terug te vinden in meer collectieve WKO-systemen, maar ook in WKO-allianties waarin afspraken worden gemaakt tussen exploitanten en gebruikers van individuele WKO-systemen. Voor beide situaties biedt glasvezelmonitoring mogelijkheden om conflicten te voorkomen. Glasvezelmonitoring kan een belangrijk hulpmiddel zijn om langdurig temperaturen (in de buurt) van WKO-bronnen te meten en het gebouwstelsel hierop af te stellen, zodat de beschikbare energie eerlijk verdeeld kan worden tussen de gebruikers. Daarnaast kan deze monitoring een hulpmiddel zijn om (mogelijke) interferentie tussen warme en koude bronnen vroegtijdig te signaleren, waardoor WKO-exploitanten de pompdebieten hierop kunnen aanpassen en energieverlies door interferentie kan worden voorkomen.

3.2. Ontwerp en aanleg CRYSTAL-monitoringssysteem

Om het concept van monitoring op gebiedsniveau te testen zijn drie gebieden geselecteerd waar een CRYSTAL-monitoringssysteem in de bodem zal worden gebracht: Beurskwartier Utrecht, Den Haag Centrum en Moreelsepark Utrecht. Voordat het systeem daadwerkelijk in de bodem kan worden geïnstalleerd en operationeel is, dienen per gebied een aantal voorbereidende stappen te worden doorlopen:

- Stap 1: opstellen ontwerp- en aanlegprocedure
- Stap 2: ontwerp van een CRYSTAL-monitoringssysteem passend op de te monitoren locatie.
- Stap 3: overleg met betrokken partijen over risico's, benodigde vergunning, rol- en taakverdeling en verantwoordelijkheden.
- Stap 4: aanleg CRYSTAL-monitoringssysteem.

3.2.1. Ontwerp- en aanlegprocedure

Om het ontwerp en de aanleg van een monitoringssysteem te stroomlijnen is een ontwerp- en aanlegprocedure omschreven (Figuur 7). In het stroomschema staan de stappen die doorlopen worden voordat een werkend CRYSTAL-monitoringssysteem kan worden aangelegd.

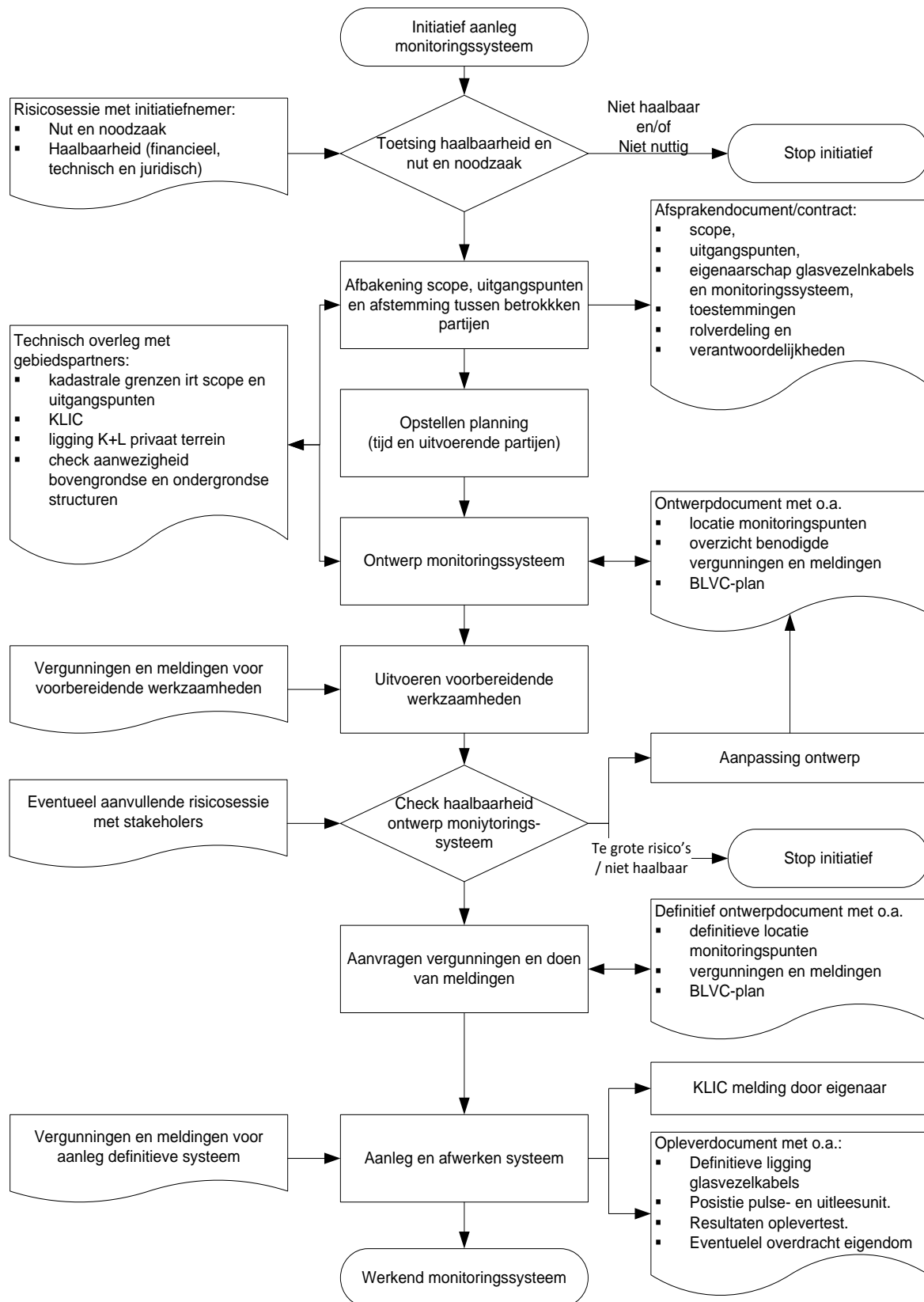
In het stroomschema zijn twee belangrijke beslismomenten opgenomen. Direct bij de start van het initiatief om een CRYSTAL-monitoringssysteem in te zetten is er een afwegingsmoment of het systeem überhaupt nuttig of noodzakelijk is en wordt globaal naar de haalbaarheid (financieel, technisch, juridisch) van het systeem gekeken. Later in het proces, nadat het ontwerp grotendeels gereed is, moeten er afspraken zijn gemaakt tussen stakeholders en wellicht de eerste voorbereidende werkzaamheden zijn uitgevoerd. Tevens wordt de haalbaarheid (technisch, financieel en juridisch) nauwkeuriger beschouwd, dit is het tweede afwegingsmoment. Belangrijke input voor beide afwegingen is een risicosessie met de initiatiefnemer (degene die een nieuwe WKO wil aanleggen of glasvezelmeettechniek wil installeren) en daarnaast de stakeholders in het project en uit het onderzoeksgebied.

Voor het plaatsen van de glasvezelmeetkabels, dienen sondeer- en/of boorwerkzaamheden verricht te worden tot een diepte waarop WKO-systemen in het gebied warmte en koude infiltreren en onttrekken. Kruisingen van horizontale verbindingkabels met drukke wegen zullen uit overwegingen van kosten en complexe logistiek zoveel mogelijk vermeden worden.

De voorkeur bij het plaatsen van de verticale glasvezels gaat uit naar sonderen. Met name in stedelijk gebied kan boren meer overlast geven (werkwater grond afvoeren) en neemt het boren meer ruimte in beslag. Echter, sonderingen hebben een beperkte indringingsdiepte: tot maximaal ca 40 à 50 meter afhankelijk van de ondergrond waarin gesondeerd wordt.

Bij het plaatsen van een sondering moet rekening gehouden worden met de verticaliteit van de sondering (mate van rechte lijn naar beneden). In tegenstelling tot een boring, die nauwelijks afwijkt van de verticaal, kan een sondering sterk afwijken (5-10%) van de verticaal. Om calamiteiten te voorkomen dient een sondering op voldoende afstand van een obstakel in de ondergrond (bv WKO-bron) te blijven. De sondering kan niet of onvoldoende gestuurd worden, de helling kan wel gemeten worden, waardoor ook de werkelijke positie van de te plaatsen glasvezel bepaald kan worden.

Een aspect dat vaak onderbelicht is, is het eigendom van de kabel. Alle in de grond geplaatste kabels dienen aangemeld te worden bij het Kadaster (Wion). In een onderzoeksproject is niet altijd duidelijk wie de eigenaar is, wat ook na afloop van het CRYSTAL project actueel blijft. Wettelijk geldt dat als er geen eigenaar is vastgelegd, de eigenaar van de grond de eigenaar van de glasvezelkabel is.



Figuur 7. Stroomschema ontwerp- en aanlegprocedure
(BLVC= Bereikbaarheid, Leefbaarheid, Veiligheid en Communicatie)

3.2.2. Ontwerp CRYSTAL-monitoringssysteem

Een CRYSTAL-monitoringssysteem bij WKO-systemen bestaat uit meerdere meetpunten. Op ieder meetpunt wordt een glasvezelkabel in de bodem aangebracht over het dieptetraject waarover gemonitord dient te worden. Bij het ontwerpen van een CRYSTAL monitoringssysteem dient men eerst te bepalen wat uit de monitoringsgegevens moet kunnen worden afgeleid. In paragraaf 3.4.1 worden enkele archetypen toegelicht, zoals die in het CRYSTAL-project zijn betrokken. Dit kan als een leidraad gehanteerd worden bij het ontwerpen van het CRYSTAL monitoringssysteem. Vanzelfsprekend dient het ontwerp aan te sluiten bij locatiespecifieke factoren.

Op basis van gebiedsinformatie, waarbij meerdere WKO-systemen in de ondergrond veelal de aanleiding is om te gaan monitoren, wordt een onderzoeksdoel gedefinieerd. Het onderzoeksdoel dient zodanig geformuleerd te zijn dat het aansluit bij de vraagstelling: 'welke sturingsinformatie moet afgeleid kunnen worden uit de monitoringsgegevens?'. Vervolgens kan bepaald worden hoeveel meetpunten er minimaal nodig zijn om deze informatie te verkrijgen.

Een kaart van het gebied met daarop gebouwen en de warm en koude bellen is ondersteunend aan het ontwerpen van het CRYSTAL-monitoringssysteem. Het eerste ontwerp kan gebaseerd worden op de WKO-toezichtsgegevens (jaarrapportages), die opvraagbaar zijn bij de desbetreffende provincie.

Bij het positioneren van meetpunten dient steeds afgevraagd te worden wat men denkt te meten op die locatie. Zo kan men inzicht willen hebben in de snelheid waarmee geïnfiltreerd water zich verplaatst in de bodem, maar kan het ook gaan over het detecteren van interferentie tussen twee warme en koude bellen. Er dient een inschatting gemaakt te worden wat de beste positie is voor het glasvezel meetpunt, rekening houdend met de afstand tot de WKO-bron en fysieke objecten/beperkingen in de bovengrond. Deze stap levert een eerste ontwerp op van het CRYSTAL monitoringssysteem, dat vervolgens in de volgende stappen verfijnd wordt tot een definitief ontwerp. In die verfijningsstappen wordt steeds meer gebiedsinformatie benut en kan een inschatting worden gemaakt van mogelijke risico's en benodigde vergunningen.

3.2.3. Overlegmomenten

Op een aantal momenten in het ontwerp- en aanlegproces is overleg nodig tussen verschillende stakeholders in het traject. De overleggen hebben tot doel het ontwerp- en aanlegproces zo soepel mogelijk te laten verlopen en eventuele verrassingen en vertragende factoren te voorkomen. Essentiële overleggen zijn een technisch overleg met gebiedspartners en een risico-overleg met stakeholders.

Technisch overleg met gebiedspartners

Technisch overleg tussen de verschillende gebiedspartners is essentieel voordat een CRYSTAL-monitoringssysteem kan worden ontworpen en aangelegd. Met gebiedspartners wordt hier bedoeld op gebouweigenaren/beheerders met een WKO-installatie, gemeente, provincie, partij die CRYSTAL monitoringssysteem wil aanleggen, plus de onderaannemers zoals de boorfirma. Dit technisch overleg heeft tot doel de aandachtspunten voor het ontwerp en aanleg inzichtelijk te maken en om risico's en praktische knelpunten te bespreken en beheersbaar te maken. Inzicht in het ontwerp en aanleg wordt verkregen door gezamenlijk de ontwerpvoorwaarden/-eisen en het proces voor de aanleg van de glasvezelkabels te bespreken. Risico's worden benoemd vanuit ervaringen van de gebiedspartners, de ontwerpers en de installateur. Het technisch overleg richt zich voornamelijk op de technische (on)mogelijkheden en zal derhalve geen uitputtende lijst van risico's opleveren. Omdat niet alle risico's in het technisch overleg aan de orde komen, zullen de opgehaalde risico's en beheersmaatregelen meegenomen worden in een aanvullende risicosessie. In die risicosessie worden ook andere type risico's meegenomen.

Daarnaast kan in het technisch overleg aanvullende informatie voor het ontwerp worden opgehaald. De bureaustudie die aan de start van het ontwerpproces wordt uitgevoerd geeft een eerste inzicht in

de mogelijkheden en beperkingen in een gebied, maar overleg met gebiedspartners is onontbeerlijk om een zo compleet mogelijk beeld te verkrijgen van de ondergrond.

Vorbereiding:

Vorbereiding is essentieel voor een efficiënt en effectief overleg. Door voorafgaand aan het overleg het doel van het overleg en de agenda vast te leggen is voor alle deelnemers helder wat in het overleg aan de orde zal komen. Daarnaast vergt een overleg inhoudelijke voorbereiding. In het geval van een technisch overleg in de ontwerpfase is het noodzakelijk dat de deelnemers voorafgaand aan het overleg alle beschikbare informatie, die nodig is om tot een goed ontwerp te komen, ontvangen en informatie delen waarover zij beschikken. Gedacht kan dan worden aan de gebiedsinformatie van de boven- en ondergrond, eigendomssituaties en toekomstige ruimtelijke ontwikkelingen. Voor het technisch overleg voorafgaand aan de aanleg komen daar zaken bij als inzicht in benodigde vergunningen en meldingen, werkprocedures inclusief taakverdelingen en een veiligheidsplan.

Bij de voorbereidingsfase hoort ook dat contact wordt gelegd met alle gebiedspartners die zullen aansluiten in het overleg. Door deze partners individueel voorafgaand aan het overleg te spreken komt vaak additionele informatie naar boven die waardevol is voor het ontwerp of de aanleg. Denk bijvoorbeeld aan niet gedocumenteerde kabels en leidingen of andere objecten in de ondergrond, wensen ten aanzien van de monitoring of specifieke kenmerken van het gebouw en/of het energieverbruik. Vraag deelnemers ook alvast na te denken over risico's die zij zien of vragen ten aanzien van het ontwerp of de aanleg die zij hebben.

Overleg:

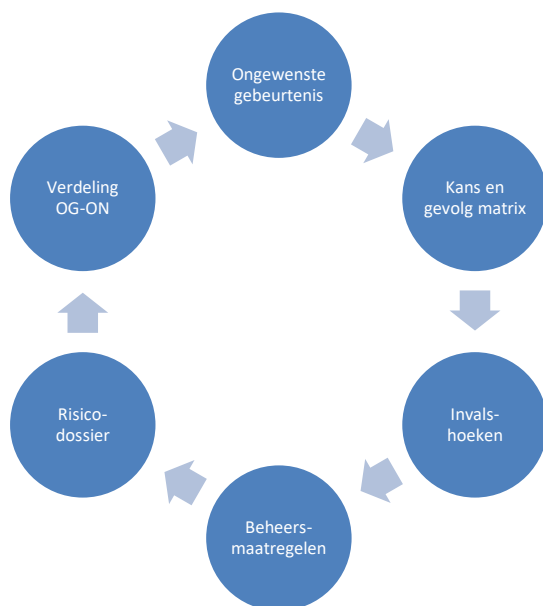
Voorafgaand aan het overleg weten de deelnemers wat van hen wordt verwacht, beschikken ze over de inhoudelijke kennis die nodig is om beslissingen te nemen en hebben ze als het goed is ook het mandaat om deze beslissingen te nemen. Hierdoor kunnen tijdens het overleg de laatste puntjes op de i worden gezet. In de ontwerpfase betekent dit dat deelnemers in staat zijn gedegen keuzes te maken over de voorkeurstechnologie voor de monitoring (DTS of FBG), aantallen te plaatsen kabels, positionering van de kabels (waar kan dit wel, waar kan dit absoluut niet) en de meetfrequentie. In de aanlegfase kunnen deelnemers met de informatie die ze hebben, afspraken maken over bijvoorbeeld de boortechnologie, hoe om te gaan met eventuele overlast en calamiteiten. Ook kunnen deelnemers tijdens het overleg op basis van de bekende informatie en de keuzes die in de overleggen worden gemaakt risico's en eventuele beheersmaatregelen benoemen.

Afronding:

De afronding van een overleg bestaat uit de verslaglegging en het vastleggen van keuzes en vervolgstappen/-afspraken en de bijbehorende verantwoordelijkheden voor de deelnemers. De benoemde risico's en beheersmaatregelen vormen de input voor het technische onderdeel van de risicosessie.

Risicosessie

Elk project brengt risico's met zich mee, ook het ontwerp en de aanleg van een glasvezelmonitoringssysteem. Een manier om risico's te analyseren en bespreekbaar te maken, is het houden van een risicosessie (Figuur 8). In een risicosessie wordt van ongewenste gebeurtenissen bepaald wat de oorzaak is, wat de kans van optreden is en wat de gevolgen zijn voor het project. Risico's kunnen worden bepaald per projectfase, type risico en risico-eigenaar. Bij type risico's (invalshoeken) moet worden gedacht aan organisatorische, politiek/bestuurlijke, financieel/economische, maatschappelijke, juridisch/wettelijke, geografisch/ruimtelijke en technische risico's. Risico's die benoemd worden in de risico-sessie worden gerankt op basis van de kans dat een ongewenste gebeurtenis plaatsvindt en het gevolg van deze gebeurtenis op een schaal van 1 tot 5. Deze manier van ranken leidt tot een matrix waarbij rechtsboven de risico's staan die een hoge kans op voorkomen kennen en een groot gevolg hebben (Figuur 9). Met dit inzicht kan een risicodossier worden opgesteld waarbij de beheersing van de potentiële risico's geprioriteerd kan worden.



Figuur 8. Cyclus risicosessie

laag				Geen accurate meting	Budget is op	Niet goed verzekerd/gedekt bij volgende schade
			Onduidelijkheid over eigenaarschap aangelegde glasvezelkabel		- Onvoldoende kennis bij partner voor werkzaamheden - Geen duidelijke opdrachtgever in samenwerkingsverband	Einddoel (mogelijkheden hoge dichtheid aantonen) wordt uit het oog verloren
Kans			- Verwachtingen van project lopen in project uiteen - Glasvezel komt niet op diepte met sonderen		- Raken van ondergrondse infrastructuur - Verminderde parkeercapaciteit of niet bereikbaar meetpunt - Imagoschade glasvezelmetingen	
		Niet kunnen installeren van glasvezelkabels	Meetpunt gaat kapot, foutieve metingen		Niet-relevante data doordat WKO-systeem (langdurig) uitstaat	
laag	Data kwijt of gemanipuleerd (gehacked)					Meetpunt moet verplaatst worden
	laag			Gevolg		hoog

Figuur 9. Voorbeeld risicomatrix

Op basis van de risicomatrix wordt bepaald welke (beheers)maatregelen het optreden van een risico kunnen voorkomen. Gezamenlijk vormt dit het risicodossier (Figuur 10). Insteek is dat

(beheers)maatregelen die direct genomen kunnen worden, ook direct worden uitgevoerd, waardoor dat risico verdwijnt. De lijst van risico's die overblijft vormt de basis voor een overleg waarbij opdrachtgever en opdrachtnemer de risico's verdelen, waarbij de vuistregel is dat de partij die het risico het beste kan beïnvloeden het desbetreffende risico draagt.

ID	Ongewenste gebeurtenis	oorzaken	gevolgen	K	G	KxG	type	Doel / KSF	Eis	Al genomen beheersmaatregelen	Nog te nemen beheersmaatregelen	Risico-eigenaar
22	Kosten vanwege schade	Sonderen leidt tot schade of verzakking	Herstelwerkzaamheden nodig, mogelijk pas later zichtbaar	5	5	25	J/F					
21	Niet goed verzekerd/gedekt bij volgende schade	Onvoldoende afspraken in samenwerkingsovereenkomst en bouwcontracten	CRYSTAL of een deelnemer gaan financieel het schip in	5	5	25	J				Juridisch/contractueel dichttimmeren	
18	Einddoel (mogelijkheden hoge dichtheid aantonen) wordt uit het oog verloren	Testbudget raakt op, teveel tijd en geld naar niet directe bijdragen aan het einddoel	Einddoel wordt niet behaald, project mislukt	4	5	20	P				Focusherorientatie	
20	Te weinig meetlocaties	geen extra budget	onvoldoende data voor onderzoeksresultaat	4	4	16	T					

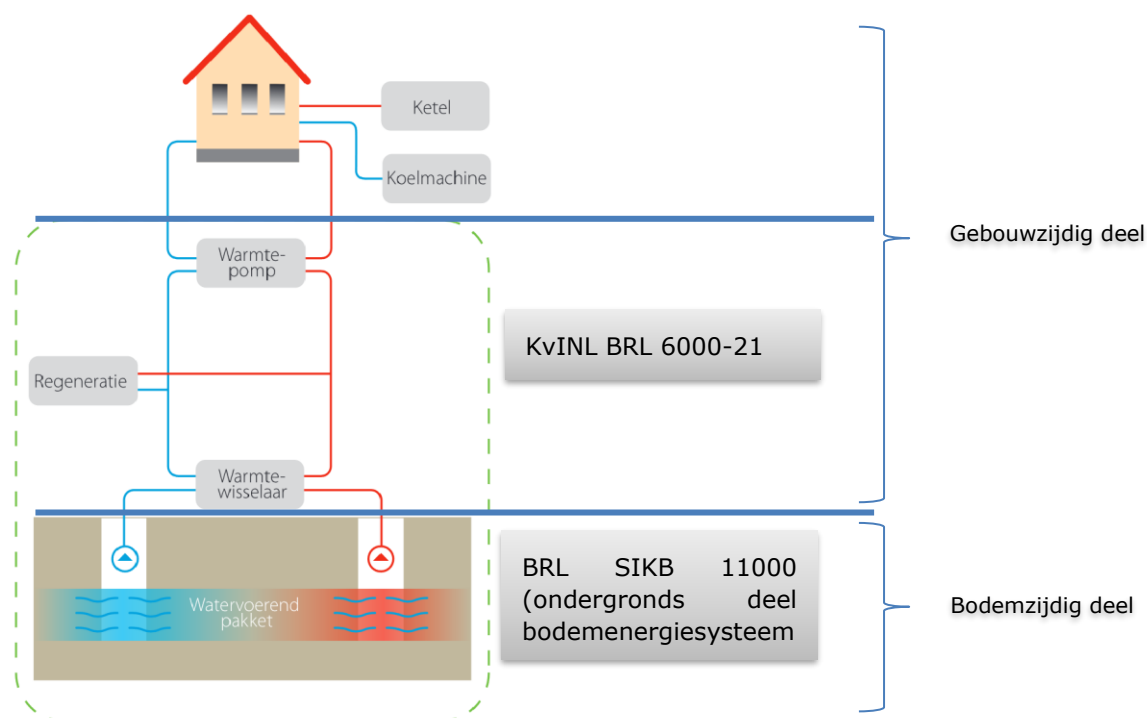
Figuur 10. Voorbeeld risicodossier

3.2.4. Verantwoordelijkheden opdrachtgever en opdrachtnemer

Zoals bij elke opdracht is het ook bij het aanleggen en in werking houden van een CRYSTAL-monitoringssysteem noodzakelijk om goede afspraken te maken tussen wat de taken en verantwoordelijkheden zijn van de opdrachtgever en welke van de opdrachtnemer. Kern van elke afspraak is de vraag: "wie doet wat en wanneer" en "wie is verantwoordelijk wanneer het niet uitgevoerd wordt of wanneer er schade ontstaat?".

Indien het monitoringssysteem onder het ontwerp, de aanleg en het beheer van een bodemenergiesysteem valt is de uitvoerder van werkzaamheden in de bodem volgens de KWALIBO-regeling³ erkenningsplichtig. Sinds 1 oktober 2014 mogen ontwerp, detailengineering, realisatie en beheer en onderhoud van bodemenergiesystemen alleen worden uitgevoerd door bedrijven die een erkenning hebben van de Minister van Infrastructuur en Waterstaat. Het bedrijf dat werkzaamheden voor het gebouwszijdige deel van het systeem uitvoert moet beschikken over een erkenning op grond van KvINL BRL 6000-21 'Ontwerpen, installeren en beheren van energiecentrales van bodemenergiesystemen'. Het bedrijf dat werkzaamheden voor het bodemzijdige deel van het systeem uitvoert moet beschikken over een erkenning op grond van SIKB BRL 11000 'Ontwerp, realisatie en beheer en onderhoud ondergronds deel bodemenergiesystemen'. En het boorbedrijf dat de boring(en) plaatst, of de bronnen of bodemlussen buiten gebruik stelt, dient erkend te zijn op grond van BRL 2100 'Mechanisch boren'. In elk van deze richtlijnen zijn bepalingen over de verantwoordelijkheden van de uitvoerende partij en over de rolverdeling tussen opdrachtgever en opdrachtnemer opgenomen. Bij uitvoeren van werkzaamheden onder de drie richtlijnen worden risico's voor de opdrachtgever geminimaliseerd.

³ De KWALIBO-regeling (KWALIBO staat voor Kwaliteitsborging bij bodemintermediairs) is een wettelijke regeling die beoogt de betrouwbaarheid van het werk van intermediairs te vergroten door kwaliteitseisen te stellen aan werkzaamheden in het bodembeheer en integriteitseisen aan de uitvoerders. Zie <https://www.bodemplus.nl/onderwerpen/bodem-ondergrond/kwalibo/> voor meer informatie



Figuur 11. Demarcatie erkenningsregelingen (aangepast op bronfiguur uit SKB-cahier "Bodemenergie warm aanbevolen" – mei 2013)

Maar wat als een monitoringsysteem niet in het ontwerp van een WKO is opgenomen, maar als zelfstandig systeem wordt aangelegd? Dan is er geen sprake van ontwerp, aanleg en/of beheer van een bodemsysteem zoals bedoeld in de KWALIBO-regeling. Uiteraard blijft de erkenningsplicht voor het uitvoeren van de mechanische boring wel van toepassing, want er is sprake van inbrengen van een bodemelektrode, maar de plicht voor het ontwerp, de aanleg en het beheer is niet van toepassing. Opdrachtgever en opdrachtnemer zullen dan samen goede afspraken moeten maken over wie welke informatie verzamelt (met name de informatie over welke kabels en leidingen en andere structuren al in de ondergrond aanwezig zijn, zodat die niet per ongeluk doorboord worden of juist het boren/sonderen belemmeren), wie verantwoordelijk is voor de ruimtelijke inpassing van het monitoringssysteem, wie verantwoordelijk is voor de aanvraag van eventuele vergunningen, wie verantwoordelijk is voor het onderhoud/beheer van het systeem en wie de gegevens uitleest en eventueel bewerkt. Dit zijn private afspraken en zullen geregeld moeten worden in een contract tussen opdrachtgever en opdrachtnemer.

Bij ieder project waar men glasvezelmeettechniek wil installeren dient rekening gehouden te worden met de volgende aandachtspunten:

- Voorafgaand aan het aanleggen van glasvezelmonitoring afspraken maken over eigenaarschap
- Contractueel vastleggen wie verantwoordelijk is voor het ontmantelen van het CRYSTAL monitoringssysteem, als het systeem niet meer in gebruik is en/of achter gelaten is.
- Bij geïntegreerde contracten waarin beheer en onderhoud aan marktpartijen is uitbesteed is opdrachtgever/ eigenaarschap uit elkaar gehaald. En is het lastig op voorhand vast te stellen wie in een bestaand (draaiend) systeem waarvoor risico draagt als er een monitoringssysteem wordt toegevoegd.

3.3. Monitoringsaanpak en uitwerking resultaten

Het monitoren van de temperatuur van de WKO-systemen kan op twee wijzen geschieden, namelijk handmatig en geautomatiseerd. De keuze voor één van beide methoden wordt, afgezien van project specifieke eisen, overwegend ingegeven door het vereiste niveau waarop inzicht moet worden verkregen in het functioneren van de WKO alsmede de kosten.

In geval van handmatige metingen beperken de benodigdheden om temperatuurmetingen te kunnen verrichten zich tot de geïnstalleerde glasvezelkabel en een mobiele uitleesunit, die in staat is om de temperatuur van de glasvezelkabel te bepalen. Door het aansluiten van uitleesunit op de glasvezel wordt direct inzicht verkregen in de temperatuur. Door de metingen in de tijd te herhalen wordt inzicht verkregen in de temperatuurfluctuaties in ruimte en tijd, alsmede eventuele afwijkingen van verwachte gedrag van warmte en koude bij WKO-systemen. De frequentie waarmee de metingen worden herhaald, bepaalt in sterke mate het inzicht dat wordt verkregen in de werking van de WKO alsmede eventuele afwijkingen en/of tekortkomingen.

Een belangrijk aandachtspunt bij de handmatige metingen zijn de connectoren die aan de glasvezelkabel zijn gemonteerd. Op de momenten dat geen metingen worden verricht, dienen deze dermate te zijn weggelegd dat deze niet door weer- en lokale omstandigheden worden aangetast. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan stof en/of vocht welke zich na verloop van tijd aan de connector hecht waardoor optische verliezen ontstaan die het nemen van de temperatuurmetingen bemoeilijken. De connectoren worden bij voorkeur in een geconditioneerde ruimte bewaard. Dit zal echter niet altijd mogelijk zijn, waardoor lokaal maatregelen moeten worden genomen voor beheer van de connector. De connectoren zouden bijvoorbeeld bewaard kunnen worden in kleine installatiekastjes welke zijn voorzien van droogmiddel.

Als alternatief voor de handmatige metingen kan worden overwogen om de metingen geautomatiseerd te laten plaatsvinden. Hierbij wordt de DTS uitleesunit geplaatst in een installatiekast en de glasvezelkabel permanent op de uitleesunit aangesloten. Vervolgens wordt het geheel zodanig geconfigureerd dat met een vooraf ingesteld meetinterval de metingen automatisch plaatsvinden. Veelal wordt hierbij tevens gekozen om de metingen door de sturen naar een SCADA-systeem waar de metingen worden geïntegreerd met de overige aanwezige telemetrie. Het voordeel van een dergelijke opzet is dat 24/7 met een relatief hoge frequentie (b.v. 1x/uur) inzicht wordt verkregen in de temperatuursveranderingen die zich voordoen. Door de grote dataset die na verloop van tijd wordt verkregen, wordt veel informatie vergaard welke kan worden ingezet om de WKO bij te sturen en de efficiëntie van de WKO te optimaliseren. Hierbij valt bijvoorbeeld te denken aan het functioneren van de WKO door de seizoenen heen. Daarnaast kunnen verbanden worden gelegd met de overige meetdata die wordt verzameld in het SCADA-systeem. Voorbeelden hiervan zijn het inzichtelijk maken van temperatuursveranderingen voor, tijdens en na pompexercities door het verpompte debiet uit te zetten in de tijd tegen de temperatuur.

De kosten van de handmatige metingen vallen in absolute zin lager uit dan de kosten voor een geautomatiseerde opzet. Bij een geautomatiseerd systeem zijn één of meerdere kostbare DTS uitleesunits vereist, of moeten meerdere glasvezelkabels over langere afstand naar één centraal punt worden geleid. Daar tegenover staat, dat wanneer de absolute kosten worden uitgezet tegen het aantal verrichte metingen, de relatieve kosten voor een geautomatiseerd systeem vele malen goedkoper uitvallen.

De keuze tussen handmatig of geautomatiseerd meten hangt dus vooral af van de gewenste meetfrequentie en de wijze waarop de meetdata gebruikt wordt in optimalisatie van het WKO systeem in een gebiedsaanpak. Daarbij wordt wel verwacht dat de prijs van afzonderlijke DTS units in de toekomst zal gaan dalen. Ook zijn de kosten voor plaatsing van langere glasvezelkabels naar een centraal punt afhankelijk van het type project. Zo zal dit bij nieuwbouw een stuk lager zijn dan bij bestaande bouw, bijvoorbeeld omdat bestrating niet apart verwijderd hoeft te worden.

3.4. Pilots CRYSTAL-monitoringssysteem

3.4.1. Archetypen

Eén van de aspecten van dit innovatietraject was het testen van dit CRYSTAL-monitoringssysteem op een aantal pilotlocaties. Dit biedt niet alleen de gelegenheid om de technische mogelijkheden te onderzoeken, maar ook om af te tasten hoe een dergelijk instrument beleidsondersteunend kan worden ingezet. De locaties waar een testsysteem wordt aangelegd zijn gekozen op basis van hun zogenaamde archetype. Voor dit traject zijn de volgende archetypen beschreven:

1. Druk, geen interferentie: Druk binnenstedelijk gebied (zowel boven- als ondergrond) met groot aantal WKO-systemen waarbij nu nog geen sprake is van interferentie. Daarnaast bestaan in het gebied wensen voor uitbreiding/verdichting van het aantal WKO-systemen.
2. Druk, lokale interferentie: Druk binnenstedelijk gebied (zowel boven- als ondergrond) met een groot aantal WKO-systemen waarbij op lokale schaal sprake is van interferentie. Daarnaast bestaan in het gebied wensen voor uitbreiding/verdichting van het aantal WKO-systemen.
3. Binnenstedelijk gebied waarin nog geen WKO-systemen zijn gerealiseerd, maar wel wensen aanwezig zijn voor de realisatie van een groot aantal WKO-systemen.

3.4.2. Testlocaties

Op basis van de beschreven archetypen, beschikbare gegevens bij projectpartners (gemeenten, RUD Utrecht en provincie) en de wensen van het Rijksvastgoedbedrijf met betrekking tot verduurzaming van haar eigendom, zijn de volgende drie locaties geselecteerd om de meerwaarde van dit systeem te testen:

1. Beurskwartier, Utrecht (archetype 1).
2. Den Haag centrum (archetype 2).
3. Het Moreelse, Utrecht (archetype 3).

Als input voor het ontwerp van het CRYSTAL-monitoringssysteem is per testlocatie de actuele situatie onder en boven het maaiveld in beeld gebracht. Hiervoor is per locatie de volgende informatie verzameld:

- De bestaande gebouwen inclusief hun energievraag.
- Ligging, dimensionering en gebruik van bestaande WKO-systemen.
- Toekomstige ontwikkelingen qua energievraag en energievoorziening.

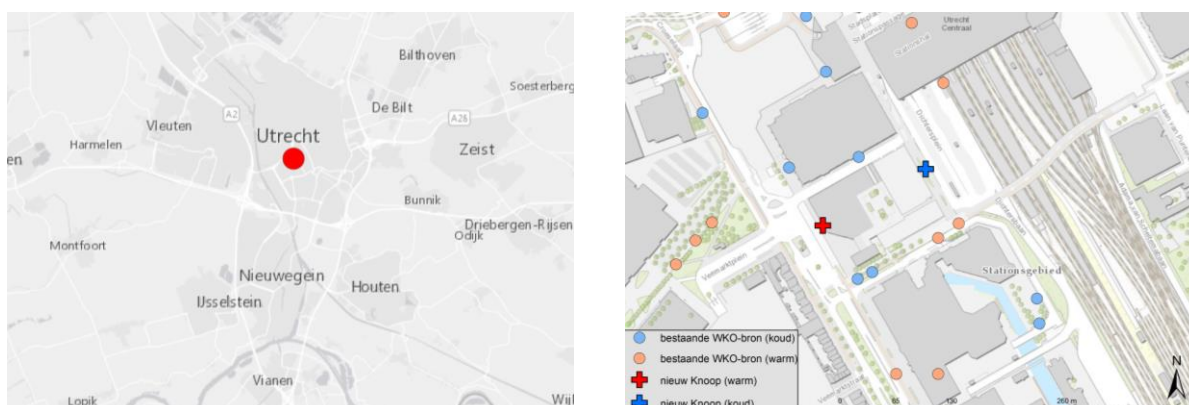
Van de bestaande WKO-systemen in het Beurskwartier, Utrecht en Den Haag, Centrum zijn bij de provincie de jaarlijkse WKO-rapportages behorende bij de vergunningen opgevraagd. In deze rapportages is informatie over de verpompte volumes grondwater, het debiet in de pompen en de hoeveelheid uitgewisselde energie opgenomen. De informatie geeft een indruk over het functioneren van deze WKO-systemen. Daarnaast biedt de informatie de input die nodig is om met modelberekeningen een actuele en realistische inschatting te maken van de hydrothermische invloedsgebieden van de aanwezige WKO-systemen op de twee testlocaties. In het Moreelse, Utrecht zijn nog geen actieve WKO-systemen aanwezig.

Beurskwartier, Utrecht

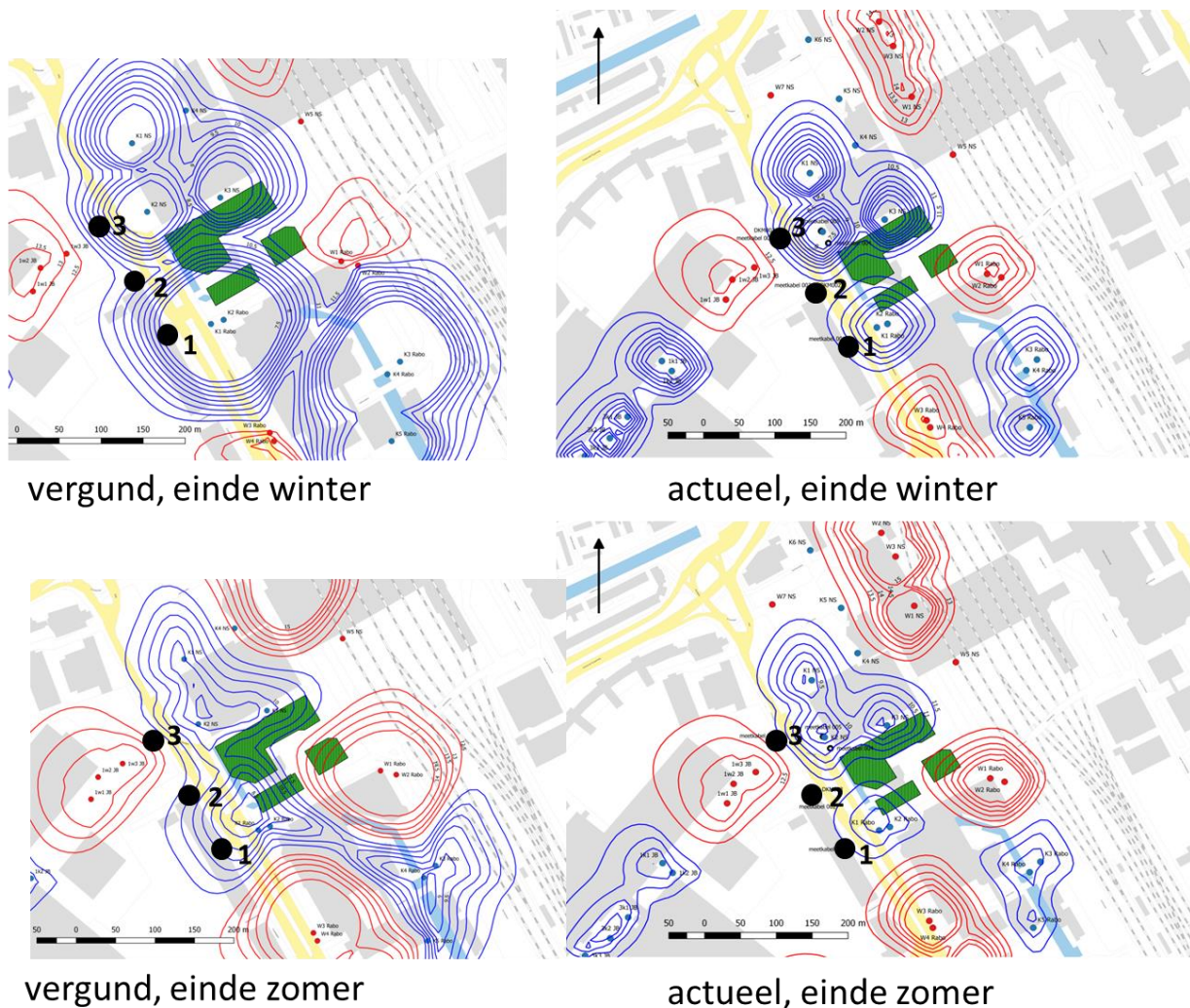
De locatie Beurskwartier ligt aan de westkant van station Utrecht Centraal. In het gebied zijn meerdere bestaande WKO-systemen aanwezig, met zodanige vergunde grondwaterhoeveelheden dat de ondergrond op papier 'vol' is. Uit de jaarrapportages is bekend dat de systemen met een veel lager debiet en veel kleinere energiehoeveelheden draaien dan vergund. Glasvezelmetingen uitgevoerd in het FOME-BES project hebben het vermoeden bevestigd dat daardoor het ondergrondse thermische ruimtesbeslag veel kleiner is dan volgens de vergunning. Dit biedt kansen voor verdichting met nieuwe systemen, dan wel uitbreiding van de capaciteit van bestaande systemen. Deze kans

sluit aan bij de geplande ontwikkelingen, echter inpassing van nieuwe systemen staat op gespannen voet met de volledig verkavelde ondergrond uitgaande van de vergunde WKO-systemen en de verwachting dat de nog niet benutte capaciteit van huidige systemen in de toekomst wel zal worden benut. De vraag in dit gebied is daarom hoe om te gaan met de huidige marges tussen vergunning en praktijk: voorkomen van interferentie versus meer mogelijkheden voor inpassing. De specifieke vraagstelling voor deze locatie in CRYSTAL is op welke manier glasvezeltemperatuurmetingen op kosteneffectieve wijze kunnen bijdragen aan het optimaliseren van doelmatig gebruik van de ondergrond in een gebied met meerdere bestaande WKO-systemen en toenemende vraag naar bodemenergie.

Specifiek aandachtspunt in het Beurskwartier is het gebouw De Knoop van het Rijksvastgoedbedrijf. Rijksvastgoedbedrijf wil hier graag een WKO-systeem inpassen (Figuur 12), maar op basis van de reeds verleende vergunningen en de huidige ontwerpnormen is het gebied 'vol' en is er geen ruimte voor een nieuw WKO-systeem (Figuur 13). Aan de zuidoostkant van De Knoop zitten de bronnen van de WKO van de Rabobank. Aan de noordwestkant van De Knoop liggen de bronnen van de WKO van NS Stations (o.a. ten behoeve van station en Stadskantoor). Een nieuw doublet ter plaatse van gebouw De Knoop is mogelijk als in het gebied een alliantie wordt gesloten tussen huidige en potentiële, nieuwe WKO-eigenaren. Voor deze onderzoekslocatie is een ontwerp gemaakt van een CRYSTAL monitoringsnetwerk waarbij met de meetresultaten betrouwbare modelvoorspellingen gedaan kunnen worden over het gedrag en omvang van warme en koude bellen in de ondergrond. Die meetresultaten in combinatie met betrouwbare modelresultaten geven inzicht in de mogelijkheden om een nieuw doublet te plaatsen. Met de verwachte toename in Nederland van het aantal WKO-systemen in stedelijke gebieden is het opschalingspotentieel van deze resultaten groot.



Figuur 12. Situatie nabij De Knoop, Beurskwartier Utrecht. De blauwe en oranje stippen geven de bestaande bronnen aan, het blauwe en rode kruisje de mogelijke nieuwe bronnen van De Knoop



Figuur 13. Resultaat modelberekening thermische invloedgebieden. Het Knooppgebouw is met groen weergegeven. Ook zijn de glasvezelmeetkabels 1, 2 en 3 weergegeven.

Centrum, Den Haag

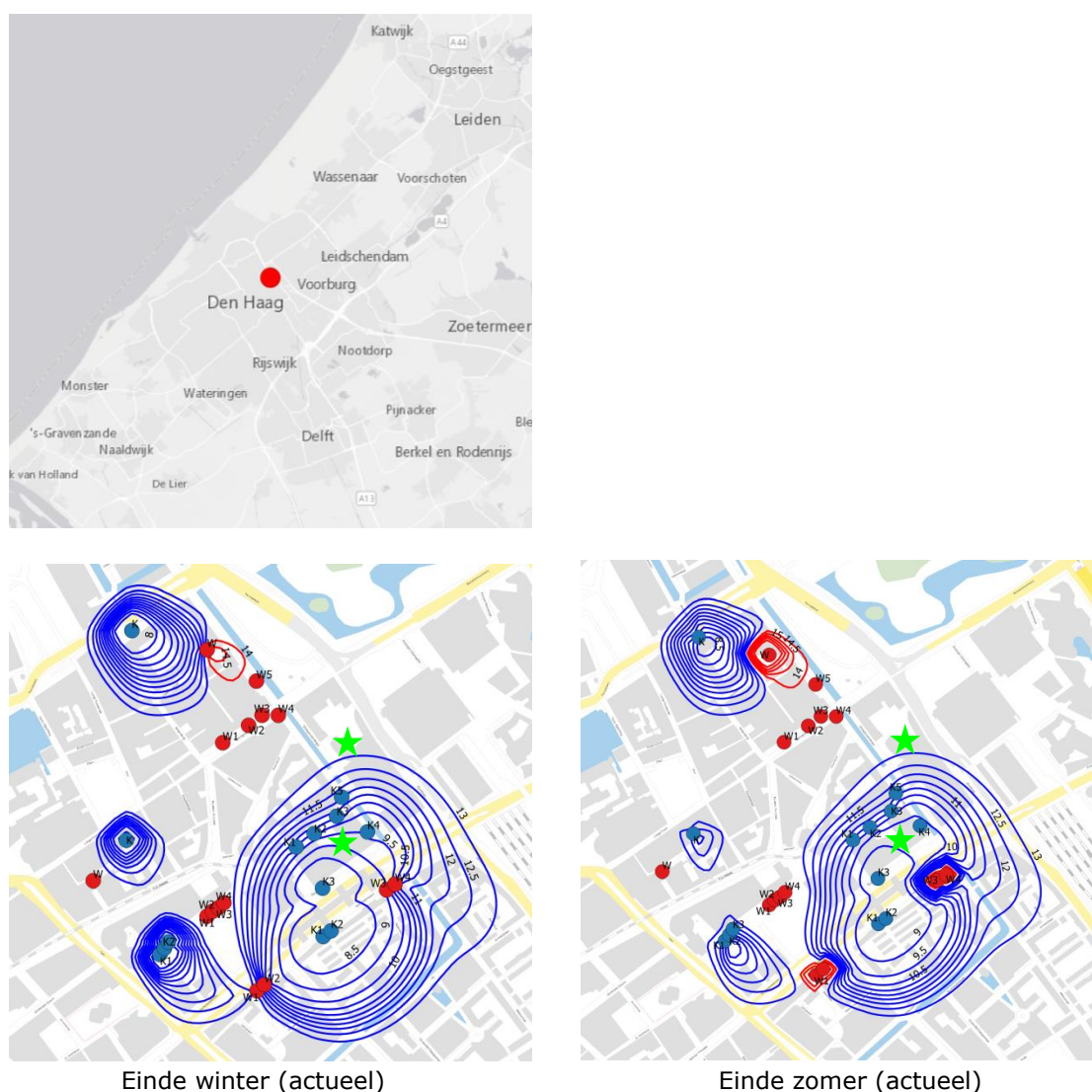
Pilotlocatie Den Haag Centrum betreft het gebied van circa 1 km² rondom station Den Haag Centraal. In dit gebied is een groot aantal WKO-systemen in bedrijf. In 2012 is de optimale configuratie van de bronnen van deze systemen in relatie tot interferentie onderzocht in het project Meer met Bodemenergie (Meer met Bodemenergie, Rapport 7, Interferentie, 2012⁴). Uit dit onderzoek blijkt een vrij grote marge te bestaan tussen de gemiddeld te verpompen waterhoeveelheden volgens het ontwerp en de maximaal te verpompen waterhoeveelheden volgens de vergunning. In combinatie met onbalans, waar onvoldoende rekening mee lijkt te zijn gehouden, treedt lokaal ongewenste interferentie op. De specifieke vraagstelling voor deze locatie is op welke manier glasvezelmonitoring op kosteneffectieve wijze kan bijdragen aan het optimaliseren van doelmatig gebruik van de ondergrond in een gebied met meerdere bestaande WKO-systemen en toenemende vraag naar bodemenergie. Een verschil met Beurskwartier, Utrecht is dat ongewenste interferentie al lokaal lijkt op te treden.

Met een CRYSTAL-monitoringsysteem kan worden vastgesteld hoe ernstig de bedreiging van de warme bronnen door de opringende koude is, en door welke processen en koude bronnen deze

⁴ <https://soilpedia.nl/>

bedreiging primair wordt veroorzaakt. Daardoor biedt het handvatten voor het herstellen van de onbalans, waarvan het effect op de koude- en warmteverdeling ook weer in de tijd gevolgd kan worden. Deze situatie is als toepassing voor CRYSTAL interessant omdat door de hoeveelheid aan WKO systemen interferentie tussen warme en koude bronnen kan optreden en CRYSTAL dat vroegtijdig kan detecteren.

Specifiek aandachtspunten in Den Haag Centrum zijn het gebouw van het ministerie van Justitie en Veiligheid en het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (JuBi-gebouw) en De Hoftoren (groene sterren in Figuur 14). Het JuBi-gebouw beschikt al over een WKO, voor de Hoftoren wil het Rijksvastgoedbedrijf graag een WKO-systeem aanleggen. Mogelijk kan in de toekomst voor deze WKO bij De Hoftoren gedeeltelijk gebruik worden gemaakt van WKO overcapaciteit bij JuBi. Uit berekeningen blijkt namelijk dat bij JuBi sprake is van een koude-overschot in de bodem (Figuur 14).



Figuur 14. Ligging koude- en warmtebronnen in het Den Haag Centrum en hun invloedsgebieden.

Het Moreelse, Utrecht

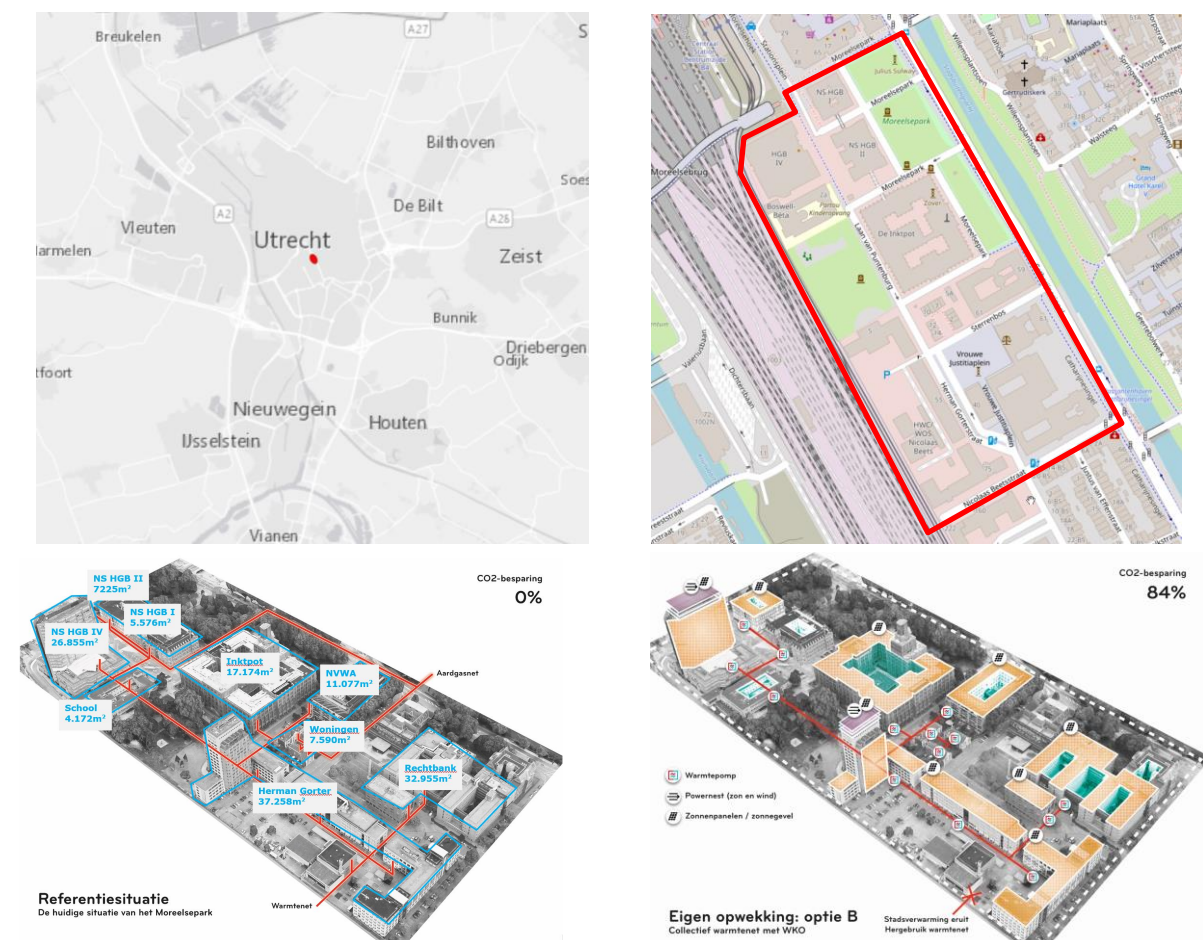
De locatie Het Moreelse ligt ten zuidoosten van station Utrecht Centraal.

In het Moreelse, met het RVB als belangrijke stakeholder, wordt gewerkt aan een gebiedsontwikkeling waar in de toekomst een hoge dichtheid aan WKO systemen wordt verwacht. Toepassing van warmte koude opslag is namelijk een realistisch scenario voor het verduurzamen van het RVB-vastgoed.

Deze situatie is vooral als gebiedsontwikkeling interessant.

Om optimaal gebruik te maken van de ondergrond, en om hiermee een grotere CO₂ besparing te behalen, is collectiviteit en bijbehorende energie exploitatie op gebiedsniveau een interessante invalshoek. Het optimaal benutten van de ondergrond kan worden bereikt door bronnen zo dicht mogelijk op elkaar te ontwerpen, maar ook door stakeholders binnen het gebied ervan te overtuigen als collectief gebruik te maken van dezelfde WKO bronnen. Deze mogelijkheden om de ondergrond optimaal te benutten vragen in de praktijk om met CRYSTAL het gedrag van de WKO bronnen en hun thermische invloedsgebieden, en daarmee het ruimtegebruik, te monitoren.

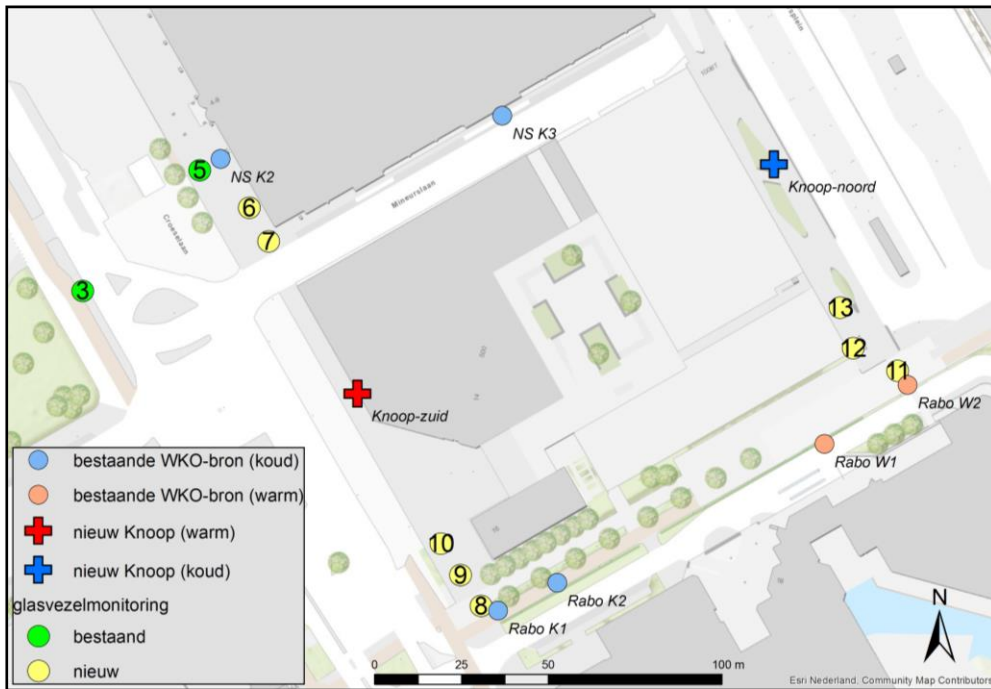
De specifieke vraagstelling voor deze locatie in CRYSTAL is op welke manier glasvezeltemperatuurmonitoring op kosteneffectieve wijze kan bijdragen aan de optimalisatie van de inrichting van de ondergrond uitgaande van WKO-systemen in hoge dichtheid. Daarnaast omvat de vraagstelling wat glasvezelmonitoring toevoegt aan een gebiedsgerichte benadering van de inzet van WKO-systemen als duurzame warme en koude bron voor het in het gebied aanwezige vastgoed.



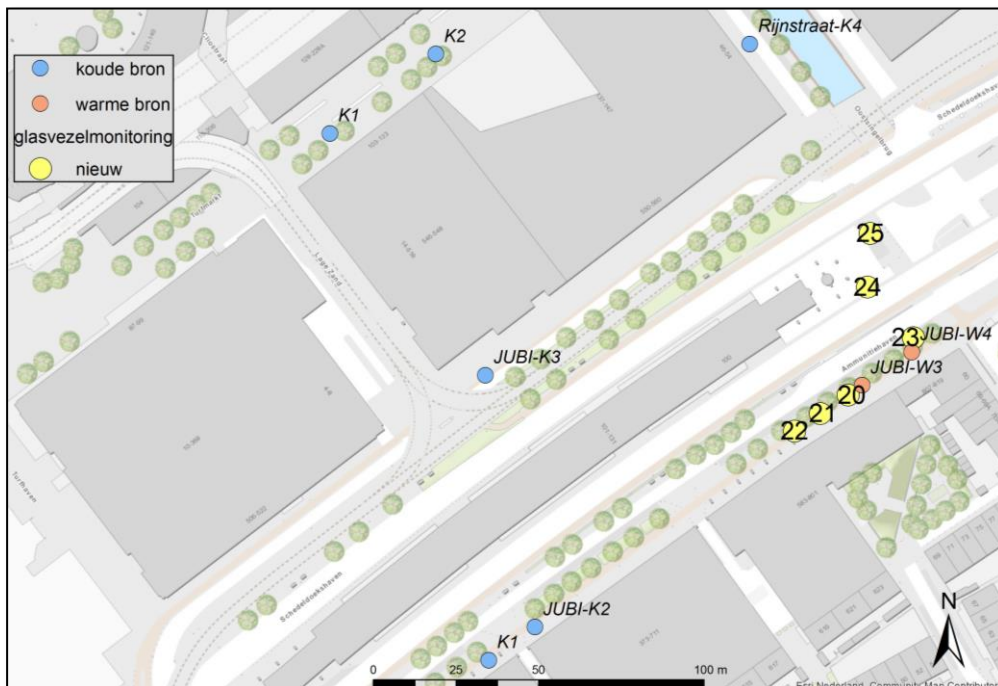
Figuur 15. Ligging Het Moreelse, Utrecht (kaart rechtsboven op basis van Openstreetmap. Onderste figuren afkomstig uit Notitie Energieconcepten Moreelsepark van Merosch (2017))

3.4.3. Resultaten pilotlocaties Beurskwartier, Utrecht / Centrum, Den Haag

Het CRYSTAL-project heeft voor de locaties Beurskwartier, Utrecht en Centrum, Den Haag ontwerpen gemaakt voor het meetnetwerk met glasvezelmeettechniek (Figuur 16 en Figuur 17), die aansluiten bij de doelstellingen zoals beschreven in paragraaf 3.4.2.



Figuur 16. Ontwerp meetnetwerk Beurskwartier, Utrecht



Figuur 17. Ontwerp meetnetwerk Centrum, Den Haag

In voorjaar 2019 zijn de voorbereidingen getroffen voor de aanleg van de glasvezelkabels. De situatie in het Beurskwartier, Utrecht was dusdanig complex (o.a. aanwezigheid restanten tankgracht, natuurstenen trottoir, kabels en leidingen op locaties waar meetpunten gepland stonden), dat besloten is om te beginnen met de aanleg in Centrum, Den Haag.

Bij het boren van één van de meetpunten in Den Haag is een transportleiding van een WKO-installatie geraakt, waardoor de verdere aanleg is gestaakt. De desbetreffende WKO-installatie is uitgeschakeld en betrokken projectpartners zijn direct begonnen met het achterhalen van de oorzaak en het herstellen van de schade. Dit heeft circa 4 maanden in beslag genomen. Ondertussen werd er gezocht naar alternatieve pilotlocaties in de RVB-vastgoedportefeuille. De schadeafhandeling is eind 2020 nog in handen van juristen en verzekeraars. De verdere aanleg van glasvezelkabels in Den Haag is gestaakt.

Tegelijkertijd is ook pas op de plaats gemaakt met de geplande aanleg in Utrecht. En is tijd genomen om de risico's te heroverwegen. Dit is gedaan met een technisch overleg met stakeholders uit het gebied en een daarop volgende risicosessie. Er zijn meerdere scenario's verkend om de risico's te managen, maar dit heeft geen mogelijkheid opgeleverd om de risico's te beheersen, d.w.z. alloceren zodat alle partijen ze acceptabel vinden om de werkzaamheden uit te voeren.

Uiteindelijk is in voorjaar 2020 het besluit genomen door alle projectpartners om niet verder te gaan met de aanleg en de resultaten van het project te verwoorden en evalueren in een eindrapportage. In deze paragraaf worden de geleerde lessen beschreven die samenhangen met het aanleggen van glasvezelkabels.

Geleerde lessen

Vorbereidingsfase:

- Zorg dat alle informatie die nodig is om een goed ontwerp te maken en de risico's in de aanleg zo klein mogelijk te houden, ook daadwerkelijk op tafel komt.
- Leg een Geografisch Informatie Systeem (GIS) aan waarin alle gebiedsinformatie wordt ontsloten. Dit verbetert de interpretatie van die informatie en verkleint het risico op missen van informatie.
- Bij het Kadaster (en op te vragen via een KLIC-melding) wordt de ligging van kabels en leidingen in de openbare ruimte bijgehouden. Dat betekent dus dat kabels en leidingen op privaat terrein niet inzichtelijk worden met een KLIC-melding. Leidingen die op privaat terrein liggen kunnen alleen inzichtelijk gemaakt worden door informatie te betrekken van de desbetreffende grondeigenaar.
- WKO-leidingen van de bronnen naar het gebouw zijn niet goed geregistreerd bij het Kadaster en derhalve is het noodzakelijk om die informatie op te vragen bij de desbetreffende WKO-beheerder.
- In binnenstedelijk gebied is vaak sprake van een versnipperd grondeigendom. Bij het Kadaster kan de actuele situatie worden opgevraagd. Deze informatie biedt inzicht in welke stakeholders betrokken moeten worden. Vanuit de eigendomssituatie kan ook beoordeeld worden welke vergunningen/toestemming noodzakelijk is voor het verrichten van sondeer-/boorwerkzaamheden.
- Verifieer de verzamelde informatie door met de boorfirma die de glasvezelkabels gaat aanleggen de situatie ter plekke te beoordelen. Overweeg daarbij om detectietechnieken, zoals bijvoorbeeld grondradar in te zetten.
- Organiseer een technisch overleg met de stakeholders uit het gebied (gebouwbeheerders, overheid, vastgoedeigenaren, boorfirma), zodat de voorgenomen werkzaamheden en verzamelde informatie besproken kan worden, met als doel om de technische haalbaarheid en mogelijke risico's in kaart te brengen.
- Maak aan de hand van een risicosessie heldere en door iedereen geaccepteerde afspraken over rollen, verantwoordelijkheden, risico's, beheersmaatregelen.

Aanlegfase:

- De aanleg van glasvezelkabels via sonderingen of mechanische grondboringen kan overlast voor de omgeving met zich meebrengen. Mechanische boringen geven over het algemeen meer overlast dan sonderingen. Er is meer ruimte nodig voor het plaatsen van een mechanische boring dan voor het plaatsen van een sondering. Boringen kunnen, in tegenstelling tot sonderingen, invloed hebben op de grondwaterstand. Bij boringen komt grond vrij die mogelijk moet worden afgevoerd. Daarnaast zijn sonderingen goedkoper dan mechanische boringen. Nadeel van sonderingen is dat ze een minder diep bereik hebben dan mechanische boringen. Daarbij kan een sondering afbuigen van de verticaal. Bij sonderingen dient dan ook altijd voldoende ruimte tot obstakels in de ondergrond in acht te worden genomen.
- Glasvezelkabels moeten, in het geval van 'monitoring op afstand', met een uitleesunit verbonden worden, hiervoor worden horizontale glasvezelverbindingen gelegd. Om overlast en risico's op beschadiging na aanleg zo veel mogelijk te voorkomen is het aan te raden de horizontale glasvezelkabels zo min mogelijk te laten kruizen met (drukke) wegen.
- In het geval monitoring op afstand staan de uitleesunits over het algemeen in de buitenruimte. De voorkeur van zowel gemeenten als terreineigenaren gaat daarom uit naar een zo klein en onopvallend mogelijke installatiekast.

Monitoringsfase:

- Monitoring kan ook handmatig plaatsvinden. Zorg voor een duidelijke labeling van de meetpunten, zodat er geen verwisseling kan plaatsvinden van meetpunten in de meetdata. Tevens kan elke glasvezelkabel een andere overlengte (= de extra lengte die boven het maaiveld uitsteekt om de kabel aan te kunnen sluiten op de uitleesunit) krijgen. Dit is de extra lengte die een glasvezelkabel heeft. Mocht er sprake zijn van mogelijke verwisseling van meetpunten dan kan met de overlengte gecontroleerd worden welke kabel het betreft. Met de unieke overlengte per meetpunt heeft elke glasvezelkabel die wordt gemeten een eigen totale lengte. Met die unieke totale lengte kunnen verschillende metingen worden onderscheiden en toebedeeld worden aan het juiste meetpunt.

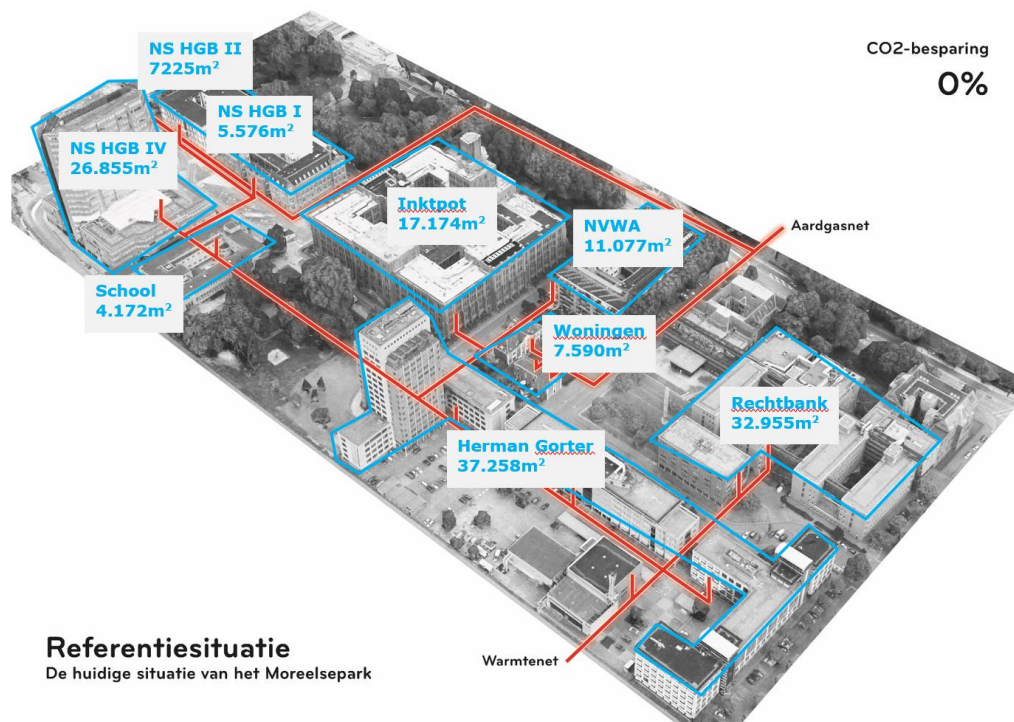
3.4.4. Resultaten Het Moreelse, Utrecht

In het project zijn de volgende resultaten gerealiseerd, die ondersteunend kunnen zijn bij gebiedsontwikkelingen waarin men aan de voorkant invulling wenst te geven aan een verdichte inrichting van de ondergrond met WKO-bronnen:

- Berekeningen aan scenario's van mogelijk aantal WKO-bronnen in te herontwikkelen gebied uitgaande van verschillende bronafstanden.
- Er is een spel 'Bodemenergie: the final frontier!' ontwikkeld (zie bijlage 1). Door dit spel te spelen met stakeholders in het gebied kan bewustwording worden gecreëerd over de complexiteit van ondergrond en WKO-systemen, plus het gevoel aanwakkeren dat samenwerking tussen de stakeholders uit het gebied noodzakelijk is om de individuele en collectieve ambities te realiseren.

Scenario's aantal WKO-bronnen

In het Moreelse, Utrecht waren in 2018/9 nog geen WKO-systemen aanwezig en beoogde gemeente Utrecht met de overige stakeholders een herontwikkeling van het gebied. Voor deze herontwikkeling is een gebiedsvisie opgesteld in opdracht van gemeente Utrecht en Rijksvastgoedbedrijf⁵. Onderdeel van de herontwikkeling is de verduurzaming van de verschillende gebouwen in het gebied.



Figuur 18. Gebouwen in Het Moreelse, Utrecht met bedrijfsvloeroppervlaktes (BVO) (figuur op basis van notitie van Merosch, 2017)

In CRYSTAL is een scan uitgevoerd om te bepalen of het mogelijk is om met WKO-systemen te voorzien in de verwachte warmte- en koudevraag van de gebouwen na renovatie.

De bedrijfsvloeroppervlaktes zijn per gebouw ingeschat op basis van informatie van het Rijksvastgoedbedrijf en de notitie van Merosch (2017) (Figuur 18). In combinatie met kentallen voor warmte- en koudevraag in dit type gebouwen is een inschatting gemaakt van de energievraag van alle gebouwen samen. Deze energievraag is vertaald naar de bodem door aan te nemen dat circa

⁵ Gebiedsvisie Tuinen van Moreelse (januari 2019):

<https://www.rijksvastgoedbedrijf.nl/documenten/publicatie/2019/01/01/gebiedsvisie-moreelse>

75% van de warmtevraag (de overige 25% betreft piekvraag op koude dagen, die over het algemeen niet ingevuld wordt met de warmte uit een WKO-systeem) en 100% van de koudevraag voorzien kan worden vanuit WKO-systemen.

Tabel 3. Verwachte energievraag gebouwen en vertaald naar de bodem voor Het Moreelse

	<u>Energievraag gebouwen:</u>	<u>Energievraag vertaald naar de bodem:</u>
Warmtelevering	Energie: 10.000 MWh	Energie: 7.500 MWh
	Vermogen: 7.500 kW	Vermogen: 5.500 kW
Koudelevering	Energie: 10.000 MWh	Energie: 10.000 MWh
	Vermogen: 10.000 kW	Vermogen: 10.000 kW

De naar de bodem vertaalde energievraag is gebruikt om in te schatten hoeveel debiet en waterhoeveelheden nodig zijn om die energievraag in te vullen:

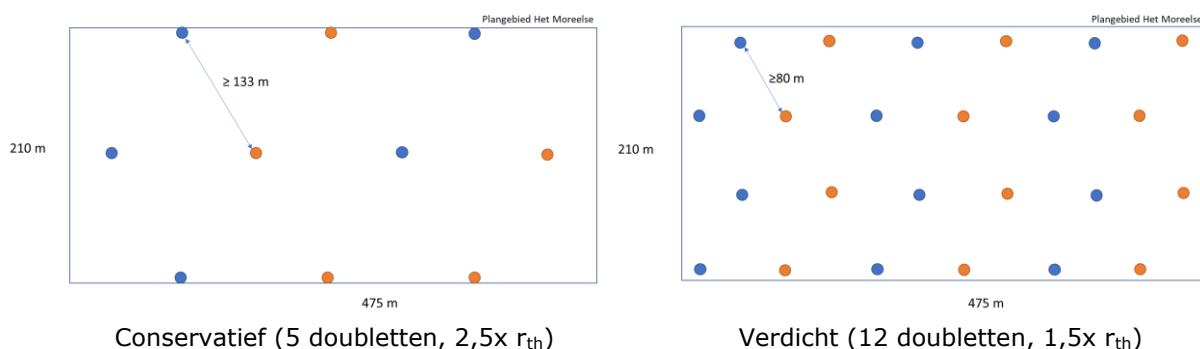
- Benodigd debiet $\sim 1.000 \text{ m}^3/\text{uur}$
- Benodigde waterhoeveelheid $\sim 1.500.000 \text{ m}^3/\text{seizoen}$

In Utrecht kunnen WKO-systemen ontwikkeld worden, die een debiet kunnen realiseren van circa $80 \text{ m}^3/\text{uur}$. Daaruit kan afgeleid worden dat circa 12-13 WKO-systemen nodig zijn om het benodigde debiet te halen.

Ten slotte is bepaald welke WKO-bronnenconfiguratie zou passen binnen de grenzen van Het Moreelse. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen twee configuraties, te weten:

- Conservatieve configuratie uitgaande van huidige ontwerprichtlijnen die 2,5x thermische straal als afstand tussen WKO-bronnen hanteert
- Verdichte configuratie uitgaande van 1,5x thermische straal als afstand tussen WKO-bronnen.

Dit leidt tot de volgende schematische figuren (Figuur 19), waarbij wordt opgemerkt dat bij de positionering van de WKO-bronnen nog geen rekening is gehouden met de inpasbaarheid in de bovengrond. Uit deze figuren blijkt dat bij het conservatieve scenario 5 WKO-systemen passen in het eerste watervoerend pakket en 12 bij het verdichte scenario.



Figuur 19. Aantal mogelijke WKO-systemen bij conservatieve en verdichte scenario's

Voor beide scenario's kan dan afgeleid worden hoeveel vierkante meters gebiedsoppervlakte nodig zijn en of dit past in Het Moreelse (oppervlakte circa 100.000 m^2):

- Conservatief: circa 360.000 m^2 nodig \rightarrow past niet
- Verdicht: circa 130.000 m^2 nodig \rightarrow past wel. Kanttekening: een deel van de bellen zou aan de randen van het Het Moreelse worden gepositioneerd, waardoor een deel van de bellen buiten het gebied ligt en WKO voor omliggende gebouwen kan belemmeren.

Aangezien dit een theoretische berekening is (met als doel om te bepalen of een verdichte WKO-configuratie mogelijk is), worden de volgende kanttekeningen geplaatst:

- Opgemerkt wordt dat bovenstaande berekening is gebaseerd op het theoretisch in een ideaal stramien kunnen plaatsen van de bronnen. In de praktijk zal dat niet zo zijn. Houdt rekening met een inefficiëntie van circa 30%. Met andere woorden er is 30% meer oppervlak nodig voor hetzelfde aantal doubletten.
- Daarnaast wordt in de gebiedsvisie gesproken over infiltreren van hemelwater in het eerste watervoerende pakket. De combinatie van hemelwaterinfiltratie en WKO is een zeer hoog risico voor de toepassing van WKO. Het zuurstofrijke hemelwater geeft een zeer hoog risico op bronverstopping van de WKO. Het toepassen van deze techniek kan het potentieel van WKO in het eerste watervoerende pakket tot 0 reduceren.
- Bij het clusteren van de bronnen (meerdere van dezelfde soort bij elkaar) is circa 20% winst te halen. Met andere woorden er is 20% minder oppervlak nodig om hetzelfde aantal doubletten te plaatsen.
- Opgemerkt wordt dat 1,5 x de thermische straal het theoretische minimum is. Het risico op thermische interactie door slecht beheer of klimatologisch afwijkende jaren is groot. Monitoring met glasvezelmeettechniek in combinatie met data uit het gebouwbeheerssysteem is derhalve belangrijk.
- 2,5 x de thermische straal is de conservatieve vuistregel, waarbij op basis van ervaring voldoende bufferruimte is om significante thermische onbalansen op te vangen.
- Opgemerkt wordt dat wordt uitgegaan van optimaal benutten van de capaciteit van de bodem met bronnen van 80 m³/uur per stuk
- Opgemerkt wordt dat de minimale afstand tussen de bronnen òf het aantal bronnen verkleind kan worden door het bivalent maken van de installatie. Bijvoorbeeld toepassing in combinatie met luchtwarmtepompen of thermische energie uit oppervlaktewater (TEO). Vanzelfsprekend dient dit nader beoordeeld te worden in een detaillering van berekeningen en realistische positionering van WKO-bronnen.

4. Exploitatie- en financieringsmodellen CRYSTAL-monitoringsysteem

Een van de onderzoeksvragen binnen het CRYSTAL-project is welke exploitatie- en financieringsmodellen denkbaar zijn voor de inrichting en exploitatie van een CRYSTAL-monitoringsysteem. De vraag zou worden beantwoord op basis van de ervaringen die zouden worden opgedaan bij de financiering van de pilots. Doordat de pilots niet zijn uitgevoerd, is geen inzicht verkregen in de kosten van de aanleg, monitoring en onderhoud. Wel is ter voorbereiding op het opstellen van exploitatie- en financieringsmodellen onderbouwd welk instrumentarium (business-case of MKBA) nodig is om een financieringsmodel te beschrijven.

De implementatie van CRYSTAL vergt (meer)investeringen, die door een private dan wel publieke partij moeten worden bekostigd en dus ook onderbouwd. In het bedrijfsleven wordt een investeringsbeslissing doorgaans onderbouwd d.m.v. een business case, de overheid kiest vaak voor een Maatschappelijke Kosten-Baten Analyse (MKBA). Beide instrumenten kennen hun eigen specifieke kenmerken en doel, voor CRYSTAL kunnen het beide zinvolle exercities zijn, omdat ze andere baten inzichtelijk maken.

In dit hoofdstuk wordt – anders dan een rekenvoorbeeld – niet ingegaan op een cijfermatige analyse; het doel is om aanbevelingen te geven voor een initiatiefnemer die een vervolg geeft aan het CRYSTAL-monitoringsysteem.

4.1. Business case en MKBA

De toegevoegde waarde van het CRYSTAL-monitoringsysteem is het beter doorgronden van de capaciteit van de bodem voor warmte- en koudeopslag, waardoor verdichting plaats kan vinden. Gevolg is dat het mogelijk wordt om meer warmte en koude in de ondergrond op te slaan en te benutten in de energievoorziening van een gebied dan zonder verdichting mogelijk zou zijn. Dat leidt tot verschillende baten, waarvan sommige tot uitdrukking komen in een business case en sommige in een MKBA.

Een business case gaat echt over de harde euro's, in een MKBA komen ook zachtere baten zoals bijvoorbeeld vermeden emissies terug. Kort gezegd zouden de baten in een business case bestaan uit vermeden kosten voor energie (besparing aan euro's). In plaats van gas of elektra in te kopen voor verwarming en koeling komt nu een deel van deze energie uit de bodem. Omdat de vermeden emissies niet leiden tot een kasstroom op bedrijfsniveau worden deze niet opgenomen in een business case. In een MKBA kunnen deze baten, na omrekening naar euro's, wel tot uitdrukking komen.

Tabel 4 vat beknopt de verschillen samen tussen beide instrumenten.

Tabel 4. Verschillen Business case en MKBA

	Business Case	MKBA
Niveau	Individueel bedrijf	Maatschappij
Grondslag	Financieel	Economisch
Waardering effecten	Kasstromen	Maatschappelijke effecten
Looptijd	10 – 15 jaar ⁶	30 jaar ⁷
Discontovoet	WACC ⁸	3% ⁹

⁶ Voor WKO, looptijd varieert in business case afhankelijk van economische levensduur en financiering

⁷ Wordt voor WKO passend geacht, kan voor infrastructuurprojecten aanmerkelijk langer zijn

⁸ Weighted Average Cost of Capital: de gewogen kosten van het eigen en vreemd vermogen dat wordt gebruikt om investeringen te financieren

⁹ Rapport Werkgroep Discontovoet 2015

4.2. Relatie business case en MKBA

Bedrijven gebruiken over het algemeen een business case om een investeringsbeslissing te maken. Op basis van harde kasstromen wordt inzichtelijk of de investering leidt tot een positief of negatief kasresultaat. Daar waar een business case negatief is, maar het bedrijf wel graag de investering wil doen vanwege het maatschappelijk belang, kan een MKBA helpen om ook de niet-financiële baten inzichtelijk te maken. Een dergelijke MKBA is vaak de onderbouwing van een subsidie^{10,11}. Mocht de business case niet sluitend¹² zijn, maar de MKBA is wel positief, dan is de conclusie dat er maatschappelijke baten zijn, die niet voldoende tot uitdrukking komen in marktprijzen en kan er een rechtvaardiging zijn voor de overheid om financiële steun te verlenen.

4.3. Rekenvoorbeeld

Onderstaand rekenvoorbeeld (Tabel 5) is illustratief voor de situatie waar door toepassing van glasvezelmonitoring het aantal WKO-bronnen kan worden verdicht met als gevolg dat een nieuw WKO-systeem kan worden ingepast zodat een extra gebouw gebruik kan maken van bodemenergie, waar dit zonder inzet van glasvezelmonitoring niet mogelijk was geweest. De getallen zijn fictief, het gaat puur om het illustreren van de methode. In de MKBA zijn voor de helderheid alleen de vermeden CO₂-emissies als maatschappelijk effect meegenomen, uiteraard zijn er meer maatschappelijke effecten te verwachten.

Tabel 5. Resultaten rekenvoorbeeld

	Business Case ¹³	MKBA
Investing glasvezelmonitoringssysteem*	EUR 1 miljoen	EUR 1 miljoen
Beheer en onderhoud*	EUR 25.000 per jaar	EUR 25.000 per jaar
Besparing energiekosten	EUR 100.000 per jaar	EUR 100.000 per jaar
Vermeden CO₂ emissies	n.v.t.	10 ton per jaar
Netto Contante Waarde	-/- EUR 112.500	EUR 30.000

* meerkosten voor WKO t.o.v. referentie

4.4. Verdeling kosten bij gebiedsoplossingen

Bij aanleg van een glasvezelmonitoringssysteem voor een individuele WKO is helder dat de kosten, maar ook de baten, van het monitoringssysteem bij de WKO-eigenaar/-exploitant liggen. Bij monitoringssystemen voor gebieden ligt dit wat genuanceerder. Er zijn situaties voor te stellen dat een CRYSTAL-monitoringssysteem aantoont dat verdichting met aantal WKO-systemen in een gebied mogelijk is. De baten gaan dan naar het WKO-systeem dat dan 'extra' kan worden aangelegd, maar is dat dan ook degene die moet betalen voor het monitoringssysteem? Of zou iedereen die in het gebied al baten heeft kunnen trekken van WKO, uit maatschappelijk oogpunt, ook een bijdrage moeten leveren? Dit vraagstuk laat zich niet oplossen met alleen een business case of een MKBA, hiervoor is ook overleg nodig tussen gebiedspartners en een regiepartner zoals de overheid over hoe we met z'n allen willen omgaan met het ruimtegebruik onder het maaiveld en de baten die we

¹⁰ Een overheidsorganisatie kan ook zelf gebouweigenaar zijn en investeren in een systeem. In dat geval kan gekozen worden om een publieke business case op te stellen.

¹¹ Of andere vormen van steun, zoals het afdekken van risico's d.m.v. garanties

¹² Een 'sluitende' business case houdt in dat de opbrengsten voldoende zijn om de investeringen en operationele kosten te dekken, te voldoen aan de financieringsverplichtingen en een marktconform rendement op het geïnvesteerde eigen vermogen te behalen.

¹³ In de business case is rekening gehouden met 2% inflatie, een WACC van 5% en een looptijd van 15 jaar. In de MKBA is CO₂ gewaardeerd tegen een prijs van EUR 20 in 2020, oplopend tot EUR 150 in 2035. De looptijd van de MKBA is in dit voorbeeld beperkt tot 15 jaar.



daarvan hebben. Als een gebiedsontwikkeling begint met nul bestaande WKO-systemen, dan is verdeling mogelijk van de kosten van de monitoring over alle partijen die WKO gaan aanleggen of samen willen werken in een gebiedsalliantie.

5. Het CRYSTAL-monitoringsysteem als beleidsinstrument

Onderzoeksvraag

Is het mogelijk glasvezelmonitoring in te zetten als beleidsinstrument en zo ja hoe kunnen we op gebiedsniveau afspraken maken over de positionering van nieuwe WKO-systemen en verdichting van het bestaande WKO-net? Kan glasvezelmonitoring worden ingezet om overdimensionering van warme en koude bellen in WKO-vergunningen te voorkomen dan wel terug te draaien?

Een van de gedachten bij het CRYSTAL-monitoringsysteem is dat het op gebiedsniveau inzicht geeft in de manier waarop de ondergrond op dit moment wordt ingezet voor de opslag van warmte en koude en de resterende potentie van de ondergrond. Met dit inzicht wordt het voor overheden en andere gebiedsregisseurs mogelijk te gaan sturen op efficiënter gebruik van de ondergrond voor warmte- en koudeopslag. Ook biedt dit inzicht mogelijkheden om nieuwe initiatiefnemers te wijzen op de potenties van ondergrond voor opslag van warmte en koude en biedt het een instrument om het gesprek tussen gebruikers van de ondergrond te openen.

Om te kunnen sturen op het gebruik van de ondergrond voor warmte- en koudeopslag is het nuttig om inzicht te hebben in welke actoren betrokken zijn bij warmte- en koudeopslag, wie wellicht baat zou hebben bij aanvullend inzicht en wat dan de handelingsperspectieven zijn om dit inzicht te verkrijgen dan wel te benutten.

In het CRYSTAL-project zijn hiertoe individuele interviews afgenomen om het proces dat doorlopen wordt van initiatief, vergunningverlening, toezicht en handhaving en monitoring van WKO-systemen in kaart te brengen. Hiermee is inzicht verkregen in de momenten waarop kennis kan doorwerken naar het beleid en de uitvoering en is onderzocht op welke aspecten het CRYSTAL monitoringssysteem meerwaarde kan bieden.

5.1. Handelingsperspectieven stakeholders

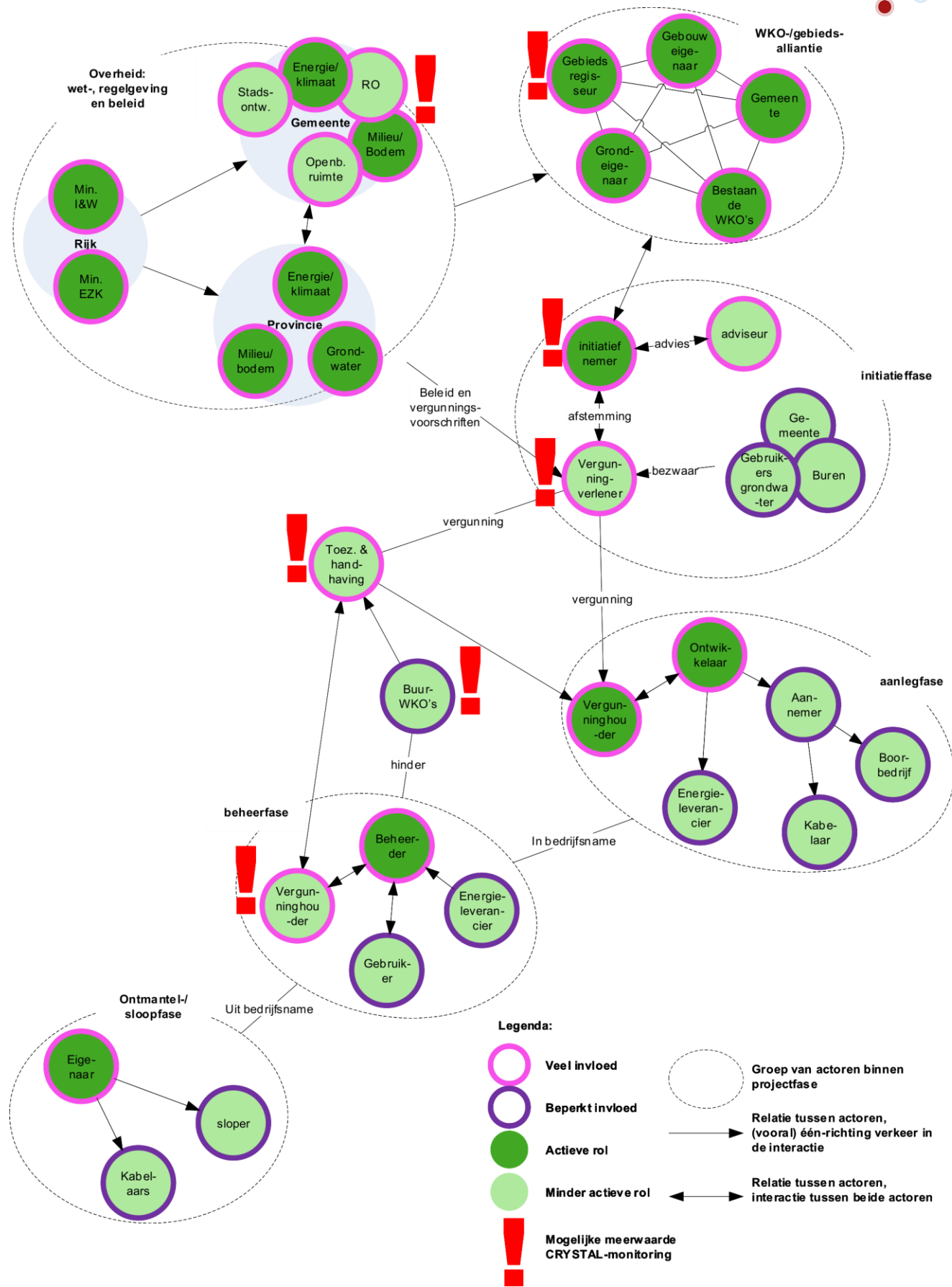
Een van de doelen van dit project is om het proof-of-principle van glasvezelmonitoring om te zetten in een economisch rendabel prototype van het CRYSTAL-monitoringsysteem bestemd voor ontwikkeling en exploitatie van gebiedsgerichte WKO-systemen en WKO-allianties. Hiervoor moet voor de stakeholders duidelijk zijn wat de meerwaarde van een dergelijk monitoringssysteem is voor 'hun' aandeel in deze collectieve WKO-systemen. Wat is de reden voor actoren om gebruik te maken van de mogelijkheden van monitoring met CRYSTAL? Welke meerwaarde biedt de monitoring van de temperatuur hun voor het gebruik van WKO en waarom zouden ze dan kiezen voor CRYSTAL? Met andere woorden wat is het handelingsperspectief van actoren om een CRYSTAL-monitoringsysteem aan te leggen en te gebruiken?

Handelingsperspectieven kunnen per actor en per moment verschillen. Om die reden zijn in Figuur 20 schematisch de belangrijkste stakeholders bij de (beleids-)voorbereiding, aanleg, in werking hebben en houden en ontmanteling van WKO-systemen inzichtelijk gemaakt. Met kleur is aangegeven welke actoren veel invloed en welke minder invloed hebben. Ook is aangegeven of de actor een actieve of wat passievere rol heeft. Zo heeft bijvoorbeeld de aannemer bij de aanleg een minder invloedrijke en wat passievere rol dan de ontwikkelaar en/of vergunninghouder. Het is tenslotte de ontwikkelaar/vergunninghouder die de aannemer opdracht geeft het systeem aan te leggen. De aannemer zal over het algemeen niet zelf het initiatief nemen om te bepalen waar de bronnen moeten komen en hoe het aan te leggen systeem eruit zal komen te zien. Hiervoor volgt hij/zij de opdracht en de daarbij behorende tekeningen en vergunningsvoorschriften. Idem voor het beleid dat wordt vormgegeven bij de gemeente. Over het algemeen zal het initiatief om beleid voor WKO-systemen op te stellen komen vanuit de afdelingen waar ondergrond en bodem of klimaat en energie zijn ondergebracht. Afdelingen als stadsontwikkeling, ruimtelijke ordening en openbare

ruimte hebben wel invloed op hoe het beleid eruit komt te zien, maar zullen over het algemeen niet de trekker zijn en dus een minder actieve rol hebben.

In Figuur 20 zijn met rode uitroeptekens de stakeholders aangegeven die mogelijk baat hebben bij een CRYSTAL-monitoringsysteem. Dit zijn de beleidsmakers die een ambitie neerleggen met betrekking tot het gebruik van de ondergrond en de inzet van duurzame energiebronnen, gebiedsregisseurs die zich inzetten voor WKO-allianties, de initiatiefnemer van nieuwe systemen, de vergunningverlener, de toezichthouder/handhaver, de vergunninghouder/beheerder van een werkend systeem en eventuele eigenaren van buursystemen die hinder zouden kunnen ervaren van een WKO.

Handelingsperspectieven zijn opgehaald in interviews met provincie Utrecht/RUD Utrecht (beleidsmaker, vergunningverlener en toezicht en handhaving), gemeenten Utrecht en Den Haag (beleidsmaker en gebiedsregisseur) en het Rijksvastgoedbedrijf (eigenaar/initiatiefnemer WKO-systemen).



Figuur 20. Belangrijkste stakeholders bij de (beleids-)voorbereiding, aanleg, in werking hebben en houden en ontmanteling van WKO-systemen

Tabel 6. Handlingsperspectieven per stakeholder voor de inzet van het CRYSTAL-monitoringssysteem.

Actor	Moment waarop CRYSTAL wordt ingezet	Reden om CRYSTAL in te zetten	Reden om CRYSTAL niet in te zetten / belemmering voor inzetten CRYSTAL
Provincie	Beleidsfase Vergunningverlening Toezicht en handhaving	<ul style="list-style-type: none"> - inzicht kan leiden tot doelmatiger gebruik van de ondergrond en daarmee bijdragen aan energie- en klimaatdoelstelling - inzetten in gebiedsprocessen/collectieve vergunningen als middel om het mogelijk te maken systemen dichter om elkaar te plaatsen 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring WKO-systemen is niet primair een provinciale taak - T.a.v. inzetten in gebiedsprocessen: vraag is of enkele meetlocaties voldoende bewijs leveren voor of vertrouwen genereren in mogelijkheden voor verdichting.
Gemeente	Beleidsfase voorafgaand aan de aanleg van nieuwe WKO-systemen	<ul style="list-style-type: none"> - Onderzoeken hoeveel ruimte er nog in de ondergrond is om te verdichten in aantal WKO-systemen / aantonen dat er ruimte is voor de inpassing van een nieuwe WKO. Daarmee bijdrage aan klimaat- en energiedoelstelling. - Onderzoeken of en waar er sprake is van interferentie - Sturen op positionering van bronnen en warme en koude bellen (interferentiebeleid) 	<ul style="list-style-type: none"> - kosten irt baten: baten van eventuele ruimte die wordt gevonden komen ten goede van degene die er vervolgens een WKO aanlegt en niet aan de gemeente die de kosten heeft gemaakt voor de aanleg van CRYSTAL.
Gebieds-regisseur	Fase van alliantievorming en bij instandhouding van alliantie	<ul style="list-style-type: none"> - Als instrument om gesprek tussen verschillende actoren in een gebied opgang te krijgen in aanloop naar een gebiedsalliantie - Onderzoeken hoeveel ruimte er nog in de ondergrond is om te verdichten in aantal WKO-systemen / aantonen dat er ruimte is voor de inpassing van een nieuwe WKO. - Sturen op positionering van bronnen en warme en koude bellen (interferentiebeleid) 	<ul style="list-style-type: none"> - kosten irt baten: de gebiedsregisseur is vaak niet de budgethouder van de ontwikkelingen in een gebied. NB. Indien door de gemeente een interferentiegebied is aangewezen, kan de gemeente ook gebiedsregisseur zijn.
Initiatiefnemer nieuwe WKO	Initiatieffase / vergunningsaanvraag	<ul style="list-style-type: none"> - Onderzoeken hoeveel ruimte er nog in de ondergrond is om te verdichten in aantal WKO-systemen / aantonen dat er ruimte is voor de inpassing van een nieuwe WKO. 	<ul style="list-style-type: none"> - Er zijn geen buursystemen bekend, dus geen concurrentie om ruimte - er zijn vanuit de vergunningsvoorwaarden geen beperkingen om een WKO in te passen - Kosten

Actor	Moment waarop CRYSTAL wordt ingezet	Reden om CRYSTAL in te zetten	Reden om CRYSTAL niet in te zetten / belemmering voor inzetten CRYSTAL
Toezicht / handhaver	Beheerfase	<ul style="list-style-type: none"> - aantonen van eventuele interferentie of negatieve effecten op andere gebruikers van de ondergrond (met name andere WKO-systemen)/ bepalen temperatuur in de bellen - aantonen van onderbenutting van vergunde debieten en daarmee ruimte in de ondergrond 	<ul style="list-style-type: none"> - kosten zijn hoog voor een handhavingsinstrument - CRYSTAL maakt niet zichtbaar waar de warmte/koude vandaan komt. Dus bij interferentie is niet altijd aan te geven welk systeem de interferentie veroorzaakt.
Beheerder	Beheerfase	<ul style="list-style-type: none"> - optimalisatie van het systeem - aantonen dat 'jouw' systeem geen hinder oplevert voor buursystemen 	<ul style="list-style-type: none"> - wordt niet geëist vanuit de vergunningsvoorwaarden - kosten irt baten: meerwaarde betaalt zich onvoldoende terug.
Buursystemen	Initiatief-vergunning-, aanleg en beheerfase	<ul style="list-style-type: none"> - aantonen of voorkomen dat je last gaat krijgen of hebt van een buursysteem (onderbouwing bezwaarschrift) 	<ul style="list-style-type: none"> - kosten irt baten: hoe sterk zijn de argumenten vanuit een dergelijk monitoringssysteem om een aanpassing in een ander systeem af te dwingen? En kun je met het systeem echt aantonen datje hinder van de burens ondervindt?

Toelichting handelingsperspectieven om gebruik te maken van het CRYSTAL-monitoringssysteem:

- Onderzoeken hoeveel ruimte er nog in de ondergrond is om te verdichten in aantal WKO-systemen. Het CRYSTAL-monitoringssysteem kan worden benut om, in gebieden waar al (veel) WKO-systemen aanwezig zijn, te onderzoeken in hoeverre het gebruik van de ondergrond door WKO-systemen kan worden verdicht. Ervaring is dat de warme en koude bellen in de aanvraag om WKO-vergunning vaak te groot zijn gedimensioneerd, onder andere om voldoende ruimte te hebben om extreme jaren op te vangen of in de toekomst uit te breiden. Hierdoor nemen WKO-systemen op papier meer ruimte in de ondergrond in dan ze daadwerkelijk doen. Om ook de 'ongebruikte' ruimte zo optimaal mogelijk te kunnen inzetten is inzicht nodig in de daadwerkelijke dimensionering van de warme en koude bellen. CRYSTAL kan hierbij helpen.
- Onderzoeken waar en of er sprake is van negatieve of positieve interferentie/ aantonen dat 'jouw' systeem geen hinder oplevert voor buursystemen/aantonen dat je last gaat krijgen of hebt van een buursysteem (onderbouwing bezwaarschrift of handhavingsverzoek). Interferentie en hinder ontstaat op die plaatsen waar twee of meer WKO-systemen elkaar beïnvloeden. Op dit moment wordt het risico op interferentie modelmatig bepaald. Verificatie van deze modelmatige benadering was tot op heden niet mogelijk. Met FOME-BES is aangetoond dat het temperatuurverloop in de diepte te meten is via deze techniek. Hierdoor is nu wel te verifiëren of de modelmatige berekening van de warme en koude bellen overeenkomt met de daadwerkelijke situatie in de ondergrond.

- Sturen op positionering van bronnen en warme- en koude bellen (interferentiebeleid). Voor het opstellen en bewaken van het interferentiebeleid kan het handig zijn om inzicht te hebben in de temperatuur in de ondergrond zodat warme en koude bellen zo optimaal mogelijk kunnen worden gepositioneerd.
- Als instrument om gesprek tussen verschillende actoren in een gebied op gang te krijgen in aanloop naar een gebiedsalliantie. Zeker in gebieden waar al meerdere WKO-systemen aanwezig zijn stuit de ambitie om te verdichten op weerstand van eigenaren van bestaande WKO-systemen. Men is bang dat een ander de eigen warme- en/of koude bel zal beïnvloeden waardoor het eigen systeem niet meer optimaal werkt. Resultaten vanuit het CRYSTAL-monitoringssysteem kunnen bijdragen aan inzicht in de situering van bellen van bestaande WKO-systemen en daarmee ook het inzicht in waar nog ruimte is om een nieuwe WKO toe te voegen of een bestaand systeem uit te breiden. Om de potentie van de ondergrond in een gebied zo optimaal mogelijk te gebruiken is het soms zinvol dat verschillende stakeholders zich verenigen in een gebiedsalliantie, waarin ze samenwerken aan de invulling van de ambities op gebied van klimaat en energie.
- aantonen van eventuele hinder van andere gebruikers van de ondergrond (met name andere WKO-systemen)/bepalen omvang van warme en koude bellen/bepalen temperatuur in de bellen. Op basis van de aanvraag wordt getoetst op de omvang van en de minimale en maximale temperatuur in de bellen om te bepalen of de vergunning verleend kan worden. Dit om hinder van andere gebruikers van en schade aan de ondergrond te voorkomen. Toezicht en handhaving kunnen CRYSTAL inzetten om de omvang en de temperatuur in de bellen te monitoren en zo toezicht te houden op naleving van de vergunningsvoorschriften.

De kanttekeningen bij de inzet van het CRYSTAL-monitoringssysteem hebben vooral betrekking op:

- Kosten versus baten: Met name op het moment dat het CRYSTAL-monitoringssysteem benut gaat worden ter onderbouwing van overheidsgerelateerde doelen (zoals beleidsontwikkeling, aantonen ruimte in de ondergrond, als instrument om gesprekken over WKO-allianties te initiëren en/of als handavings- en toezichtinstrument), popt het vraagstuk van de kosten versus de baten op. De kosten voor installatie en instandhouding van het systeem liggen in dat geval vaak bij een overheidspartij terwijl de WKO-systemen die door inzet van het systeem 'extra' kunnen worden gerealiseerd in private handen zijn. De baten (vermindering in energiekosten) van deze WKO-systemen komen ten goede aan deze private partners. De maatschappelijke baten in de vorm van een bijdrage aan energie- en klimaatdoelstelling zijn wel ten gunste van de overheid.
- Technische beperkingen. Het systeem maakt het temperatuurverloop in de ondergrond inzichtelijk, met als uitkomst dat de omvang van de warme en koude bellen inzichtelijk gemaakt kan worden. Wat het systeem echter niet kan is aangegeven waar de warmte of koude vandaan komt. Dit maakt het minder geschikt om bij eventuele negatieve interferentie inzichtelijk te maken welk systeem verantwoordelijk is voor de verstoring. Dit kan worden ondervangen door meetpunten strategische te plaatsen of een grotere hoeveelheid meetpunten, maar dat is kostbaar.

6. Conclusie en aanbevelingen

6.1. Conclusies

In het project is onderzoek verricht naar de inzetbaarheid van glasvezelmeettechniek om het aantal WKO-systemen op gebiedsniveau te vergroten (verdichten). Tevens is geanalyseerd of glasvezelmeettechniek een bijdrage kan leveren aan het oprichten van WKO-allianties in relatief drukke WKO-gebieden. Hiervoor is onderzocht of het mogelijk is om glasvezelmeettechniek, dat bedoeld is voor de monitoring van de temperatuurontwikkeling in de ondergrond bij één individuele WKO, door te ontwikkelen naar een systeem dat op gebiedsschaal inzicht geeft in de temperatuurontwikkeling en omvang van warme en koude bellen in de ondergrond. Het zogenaamde CRYSTAL-monitoringsysteem.

Ondanks het niet kunnen installeren van glasvezelmeettechniek op twee testlocaties, heeft het project resultaten en geleerde lessen opgeleverd, die door andere initiatiefnemers benut kunnen worden voor de inzet van glasvezelmeettechniek.

Technische haalbaarheid

- DTS (*Distributed Temperature Sensing*) en FBG (*Fiber Bragg Grating*) zijn beschikbare glasvezelmeettechnieken, die allebei ingezet kunnen worden voor het betrouwbaar monitoren van de temperatuurveranderingen in het grondwater, zoals die zich manifesteren bij WKO-systemen (temperatuurrange 8-20 °C).
- Een programma van eisen is opgesteld waarmee een keuze is gemaakt in de voor dit project geschikte glasvezelmeettechniek. De aspecten uit het programma van eisen zijn bruikbaar voor toekomstige projecten, en dienen locatiespecifiek beoordeeld te worden.

Ontwerp CRYSTAL monitoringssysteem

Eén van de aspecten van dit innovatietraject was het testen van het CRYSTAL-monitoringsysteem op een aantal pilotlocaties. Dit biedt niet alleen de gelegenheid om de technische mogelijkheden te onderzoeken, maar ook om af te tasten hoe een dergelijk instrument beleidsondersteunend kan worden ingezet. De locaties waar een testsysteem wordt aangelegd zijn gekozen op basis van hun zogenaamde archetype (gebiedstype). Voor dit traject zijn de volgende archetypen beschreven:

1. Druk, geen interferentie: Druk binnenstedelijk gebied (zowel boven- als ondergrond) met groot aantal WKO-systemen waarbij nu nog geen sprake is van interferentie. Daarnaast bestaan in het gebied wensen voor uitbreiding/verdichting van het aantal WKO-systemen.
2. Druk, lokale interferentie: Druk binnenstedelijk gebied (zowel boven- als ondergrond) met groot aantal WKO-systemen waarbij op lokale schaal sprake is van interferentie. Daarnaast bestaan in het gebied wensen voor uitbreiding/verdichting van het aantal WKO-systemen.
3. Binnenstedelijk gebied waarin nog geen WKO-systemen zijn gerealiseerd, maar wel wensen aanwezig zijn voor de realisatie van een groot aantal WKO-systemen.

Aanleg CRYSTAL monitoringssysteem:

Er is een beschrijving opgesteld van het werkproces dat doorlopen kan worden om tot de juiste afweging en keuzes te komen voor de inzet van het CRYSTAL monitoringssysteem.

- In het werkproces zijn geleerde lessen verwerkt, die gericht zijn op het verkleinen van risico's die gepaard kunnen gaan met de aanleg van glasvezelkabels.
- Leg een Geografisch Informatie Systeem (GIS) aan waarin alle gebiedsinformatie wordt ontsloten. Dit verbetert de interpretatie van die informatie en verkleint het risico op missen van informatie.
- Met een KLIC-melding wordt alleen de ligging van kabels en leidingen in de openbare ruimte ontsloten. Leidingen die op privaat terrein liggen kunnen alleen inzichtelijk gemaakt worden door informatie te betrekken van de desbetreffende grondeigenaar.

- WKO-leidingen van de bronnen naar het gebouw zijn niet goed ontsloten via het Kadaster en derhalve is het noodzakelijk om die informatie op te vragen bij de desbetreffende WKO-beheerder.
- Een technisch overleg over de aanleg van glasvezelkabels en een risicosessie, verschaft helderheid in de (on)mogelijkheden van het aanlegproces en wat voorafgaand geregeld moet worden in afspraken, contracten, vergunningen en dergelijke.

Exploitatie- en financieringsmodellen

Een van de onderzoeksvragen binnen het CRYSTAL-project is welke exploitatie- en financieringsmodellen denkbaar zijn voor de inrichting en exploitatie van een CRYSTAL-monitoringssysteem. De vraag zou worden beantwoord op basis van de ervaringen die zouden worden opgedaan bij de financiering van de pilots. Doordat de pilots niet zijn uitgevoerd, is geen inzicht verkregen in de kosten van de aanleg, monitoring en onderhoud. Wel is ter voorbereiding op het opstellen van exploitatie- en financieringsmodellen onderbouwd welk instrumentarium (businesscase of MKBA) nodig is om een financieringsmodel te beschrijven.

Aan de hand van een illustratief rekenvoorbeeld (met fictieve getallen) is getoond wat de kosten en baten zijn voor de situatie waar door toepassing van glasvezelmonitoring het aantal WKO-bronnen kan worden verdicht met als gevolg dat een nieuw WKO-systeem kan worden ingepast zodat een extra gebouw gebruik kan maken van bodemenergie, waar dit zonder inzet van glasvezelmonitoring niet mogelijk was geweest. Het rekenvoorbeeld laat zien dat samenwerking tussen publiek en private stakeholders essentieel is om maatschappelijke baten (positieve MKBA) te verbinden met private kosten (negatieve businesscase).

Handelingsperspectieven en meerwaarde voor stakeholders

Om te kunnen sturen op het gebruik van de ondergrond voor warmte- en koudeopslag is het nuttig om inzicht te hebben in welke actoren betrokken zijn bij warmte- en koudeopslag, wie wellicht baat zou hebben bij aanvullend inzicht en wat dan de handelingsperspectieven zijn om dit inzicht te verkrijgen dan wel te benutten.

In het CRYSTAL-project zijn hiertoe individuele interviews afgenomen om het proces dat doorlopen wordt van initiatief, vergunningverlening, toezicht en handhaving en monitoring van WKO-systemen in kaart te brengen. Hiermee is inzicht verkregen in de momenten waarop kennis kan doorwerken naar het beleid en de uitvoering en is onderzocht op welke aspecten het CRYSTAL monitoringssysteem meerwaarde kan bieden.

Handelingsperspectieven verschillen per actor en per fase. Per actor is in de rapportage aangegeven in welke fase van een WKO-initiatief een CRYSTAL-monitoringssysteem ingezet kan worden en wat de meerwaarde daarvan is. Tevens zijn daarnaast knelpunten en belemmeringen benoemd. Dit overzicht biedt actoren een uitgangspunt om de inzet van een CRYSTAL monitoringssysteem te overwegen.

Meerwaarde van de inzet van een CRYSTAL-monitoringssysteem wordt in elke fase gevonden (beleidsontwikkeling, gebiedsalliantie, initiatieffase, aanlegfase en beheerfase) en concentreert zich op:

- inzicht kan leiden tot doelmatiger gebruik van de ondergrond en daarmee bijdragen aan energie- en klimaatdoelstellingen
- inzetten in gebiedsprocessen/collectieve vergunningen als middel om het mogelijk te maken om WKO-systemen dichter op elkaar te plaatsen
- Onderzoeken of en waar er sprake is van interferentie
- Sturen op positionering van bronnen en warme en koude bellen (interferentiebeleid)
- Als instrument om gesprek tussen verschillende actoren in een gebied opgang te krijgen in aanloop naar een gebiedsalliantie

- optimalisatie van een WKO-systeem
- aantonen dat een WKO-systeem geen hinder oplevert voor buursystemen
- aantonen of voorkomen dat je last gaat krijgen of hebt van een buursysteem (onderbouwing bezwaarschrift)

6.2. Aanbevelingen

Het is spijtig dat het project te kampen heeft gehad met tegenslag waardoor het niet mogelijk was om op de testlocaties in Utrecht en Den Haag meetresultaten te genereren, die kennis zouden kunnen opleveren voor een gebiedsgerichte benadering van de benutting van de ondergrond. Dit heeft er ook in geresulteerd dat in het project geen voortgang is geboekt op de vraagstukken die zich op gebiedsniveau manifesteren. Tegelijkertijd blijven de consortiumpartners de relevantie van het project, de vraagstelling en doelstelling benadrukken. Als consortium bevelen we daarom aan dat het onderzoek in de toekomst een doorstart krijgt, waarbij de beste kansen liggen op het moment dat er een aanleiding voor is in een gebied. Denk bijvoorbeeld aan een gebiedsontwikkeling waarin gebouwen verduurzaamd gaan worden of een herontwikkeling van een terrein waarbij nieuwe gebouwen worden gebouwd.

Indien dat onderzoek er komt, wordt aanbevolen om te bepalen welke onderzoeksvragen betrokken kunnen worden. Daarbij kan geput worden uit deze eindrapportage, maar dient zeker ook gekeken te worden naar de rapportage "Optimale ondergrondse inpassing van open bodemenergiesystemen"¹⁴ van een innovatieproject dat gesubsidieerd is door de Topsector Water. Dit rapport beantwoordt deels de onderzoeksvragen, gebaseerd op computermodellen.

Aanvullend op deze geavanceerde computermodellen is monitoring van het daadwerkelijke gedrag in de ondergrond noodzakelijk, zodat de volgende onderzoeksvragen kunnen worden beantwoord:

- Wat is het effect van heterogeniteit van de ondergrond op de verspreiding van warmte en koude door het grondwater?
- Wat is het effect van het verdichten van het aantal bodemenergiesystemen op interferentie (positief/negatief)?
- Op welke wijze kunnen glasvezelmetingen benut worden om te komen tot gebiedsallianties?
- Op welke wijze dient omgegaan te worden met de dynamiek tussen ondergrond (reactietijd van dagen) en gebouwen (reactietijd van minuten)?
- Welke sturingsinformatie leveren glasvezelmetingen op voor het optimaal benutten van de ondergrond.

¹⁴ Optimale ondergrondse inpassing van open bodemenergiesystemen - Bepaling van plaatsingsregels voor de toepassing van open bodemenergie met hoge ruimtelijke dichtheid ter verlaging van de gebiedsuitstoot van CO₂. Rapportnummer: KWR 2020.055, mei 2020.

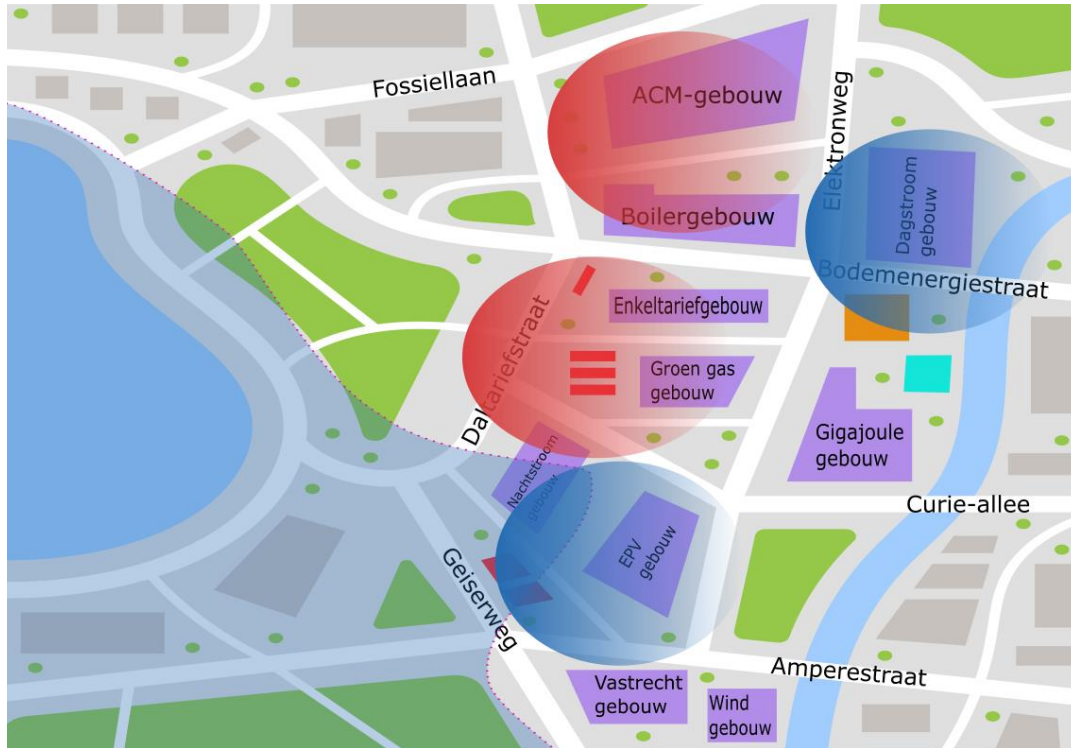


Bijlage 1 – Spel 'Bodemenergie: the final frontier!'

Bodemenergie: the final frontier!

Interactief spel rondom WKO-samenwerking

Ontwikkeld in het kader van het project CRYSTAL (<https://tki-crystal.nl/>)



1

Create Your Sustainable Thermal energy storage at Area Level with fibre-optic monitoring (CRYSTAL) is een TKI Urban Energy project en is mede mogelijk gemaakt door Topsector Energiesubsidie van het Ministerie van Economische Zaken & Klimaat

Interactief spel rondom WKO-samenwerking

Titel: Bodemenergie: the final frontier!

Tijdsduur: 90 minuten

Doelstelling: Bewustwording complexiteit ondergrond/WKO + gevoel tot samenwerken aanwakkeren

Opzet: presentatie + rollenspel

Introductie

Warmte Koude Opslag (WKO) is één van de duurzaamste energievormen om gebouwen duurzaam te verwarmen en te koelen. WKO is onmisbaar in de transitie naar een duurzame warmtevoorziening zonder aardgas. De komende jaren zal het aantal WKO-systemen in steden sterk toenemen. Echter, de toenemende drukte in de ondergrond vereist afstemming op gebiedsniveau om deze duurzame energielevering te borgen en het aanwezige bodemenergiepotentieel optimaal te benutten.

WKO-samenwerking op gebiedsniveau vindt echter nog nauwelijks plaats, veroorzaakt door de zorg dat belendende WKO's de eigen WKO op termijn negatief gaan beïnvloeden. Dit biedt aardig wat stof tot nadenken. Welke voordelen of nadelen biedt de gebiedsschaal, waarom afspraken maken, hoe en wat voor afspraken?

Tijdens deze workshop hoor je de laatste bevindingen van innovatieproject CRYSTAL en gaan we een energiek en interactief rollenspel doen over de strijd om de ondergrond. Wie het eerst komt, wie het eerst prompt ... of kan het slimmer?

2

Concept programma

Nr	Tijd	Onderdeel
1	0-10 minuten	Welkom, uitleg programma en werkvorm om elkaar te introduceren
2	10-25 minuten	Introducerende presentatie over opgaven bodemenergie
3	25-35 minuten	Inventarisatie -welke voorzieningen heb je ervaring mee? Gebouw & ondergrond & gebied. Doorvragen of ervaring met WKO's
4	35-45 minuten	Intro gebied fysieke omgeving bovenaanzicht: CrystalCity Uitgangspunten en dilemma's? Op basis van gebiedsvisie. Energie neutraal maken gebied dmv WKO. Partijen en belang. 3 scenario's : allen met WKO
5	45-80 minuten	Rollenspel op basis van WKO-scenario's
6	80-90 minuten	Afrondend verhaal project Crystal

Toelichting per onderdeel

Onderdeel 1. Welkom + introduceren

Opening van de sessie met een korte introductie (zie blz 1)

Werkvorm voorstellen deelnemers: (5 minuten)

- Inventarisatie typen actoren aanwezig in de zaal door mensen gericht te vragen wie ze zijn en welk type actor ze vertegenwoordigen. Na iedere actor aan de zaal vragen wie nog meer tot die actorgroep behoort. Dat 3-4 keer doen en dan vragen welke actoren we gemist hebben.

Onderdeel 2. Presentatie van Jan Mimpfen (20 minuten)

- Korte presentatie op de kernboodschap (altijd WKO + gebiedsschaal): Om de Nederlandse vastgoedvoorraad energieneutraal te maken, moeten we goed kijken welke voorzieningen in de omgeving te vinden zijn. Samenwerkingen tussen stakeholders als gemeenten, woningcorporaties en andere partijen worden belangrijker dan ooit om complete gebieden duurzaam te maken.

Onderdeel 3. Inventarisatie (10 minuten)

- Kort interactiemoment met deelnemers om te inventariseren met welke voorzieningen ze ervaring hebben. Daarbij vragen we naar drie schaalniveaus: gebouw, ondergrond en gebied. Doel is om deelnemers op hun gemak te stellen door ze te bevragen op wat ze al kennen. Vastleggen op een flip

Onderdeel 4. Presentatie CrystalCity (10 minuten)

- Introductie tot de casus als opwarmer naar het rollenspel. We gebruiken de gebiedsvisie van het Moreelse om een reële casus te schetsen. Uitgangspunten hierbij zijn:
 - o Ambitie om het gebied energieneutraal en klimaatadaptief te maken.
 - o Zoveel mogelijk opwek in het gebied zelf
 - o Optimale benutting van de ondergrond voor WKO
 - o Voldoende ruimte voor bomen en groen (boven- en ondergronds)
- Doel is om een reële opgave te schetsen vanuit het RVB/Gemeente op ambitieniveau.
- Laatste dia's zullen beelden weergeven van drie scenario's met WKO (elk gebouw zijn eigen WKO, één groot collectief WKO-systeem voor het hele gebied, aantal grotere WKO's die meerdere gebouwen van warmte en koude voorzien)
Deze laatste dia's vormen de overgang naar het rollenspel met de deelnemers.

Onderdeel 5. Rollenspel (35 minuten)

- Gegeven de WKO-plaatjes uit onderdeel 4, wordt de groep verdeeld in drieën: vastgoedeigenaar, overheid en bedrijfsleven/energieleverancier.
- Doelstelling rollenspel: afspraken maken over het benutten van de ondergrond voor het optimaal verwarmen en koelen van de gebouwen in het gebied.
- In het rollenspel wordt met elkaar onderhandeld over ambities, doelstellingen en businesscase, ten einde afspraken te kunnen maken voor samenwerking
- Groepen gaan eerst apart van elkaar de randvoorwaarden definiëren waarmee ze de onderhandelingsarena willen betreden (max 10 minuten). Hierbij dient iedere groep minimaal 2 randvoorwaarden te hebben voor people, planet en profit.
- Onderhandelingsarena (max 25 minuten): in het midden van de zaal gaan de drie groepen met elkaar in gesprek over wat ze willen bereiken in het gebied.
 - o Vastgoedeigenaar (drie eigenaren /onderhandelaars: drie stadia in energielabel G start 2020, label G start 2024, label C start 2020):
 - wil gebouwen energieneutraal maken wil een rendabele business case;
 - zoekt naar voorspelbare kosten voor renovatie en energielevering

- wenst een comfortabel gebouw voor de medewerkers
- kan via het aanbestedingsbeleid sturen op duurzaamheidscriteria
- Overheid
 - Ziet gebied als belangrijk icoongebied om de stad gasloos te maken
 - Is bereid om bestemmingsplannen te wijzigen, mits het binnen de gebiedsvisie past
 - Vergt inzicht in de effecten van maatregelen, m.n. of er afwenteling plaatsvindt naar buiten het gebied
 - Wenst optimale benutting van de ondergrond
 - Heeft nog aanvullende wensen en eisen aan het benutten van de ondergrond, zoals infiltreren van regenwater, behouden van monumentale bomen, beschermen van drinkwatervoorraden (.zullen we allen drinkwatervoorraad doen = diepte WKO?)
 - Kan fysieke leefomgeving aanpassen met duurzame maatregelen (bv waterinfiltrerende bestrating, aanleg parken/bomen)

De uitgangspunten van iedere groep zullen leiden tot een levendige discussie. Begin zal aarzelend zijn, maar uiteindelijk zal blijken dat er onderhandeld gaat worden. Het op gang brengen van de arena doen we door één van de groepen uit te nodigen om te beginnen met het delen van hun wensen/ambities.

Tijdens het gesprek is het zaak dat we focussen op het realistisch blijven van de afspraken die gemaakt gaan worden. Als men denkt eruit te zijn stellen we extra vragen om de realiteit van de samenwerking te toetsen. Doel is immers dat zal blijken dat individuele oplossingen niet leiden tot het realiseren van de ambities, maar dat er juist samengewerkt moet worden.

Onderdeel 6. Afsluitende woorden met verwijzing naar CRYSTAL

We sluiten de sessie af met een korte presentatie van maximaal 5 minuten waarbij we de complexiteit van de ondergrond benadrukken en de stappen die we in CRYSTAL zetten. We doen dit juist aan het eind, omdat we dan denken dat de aanwezigen open staan om nut en noodzaak van CRYSTAL te doorgronden.



Spel – Bodem: the final frontier

Presentatie om spel te introduceren



CRYSTAL-City - Bodemwijk

10 april 2019

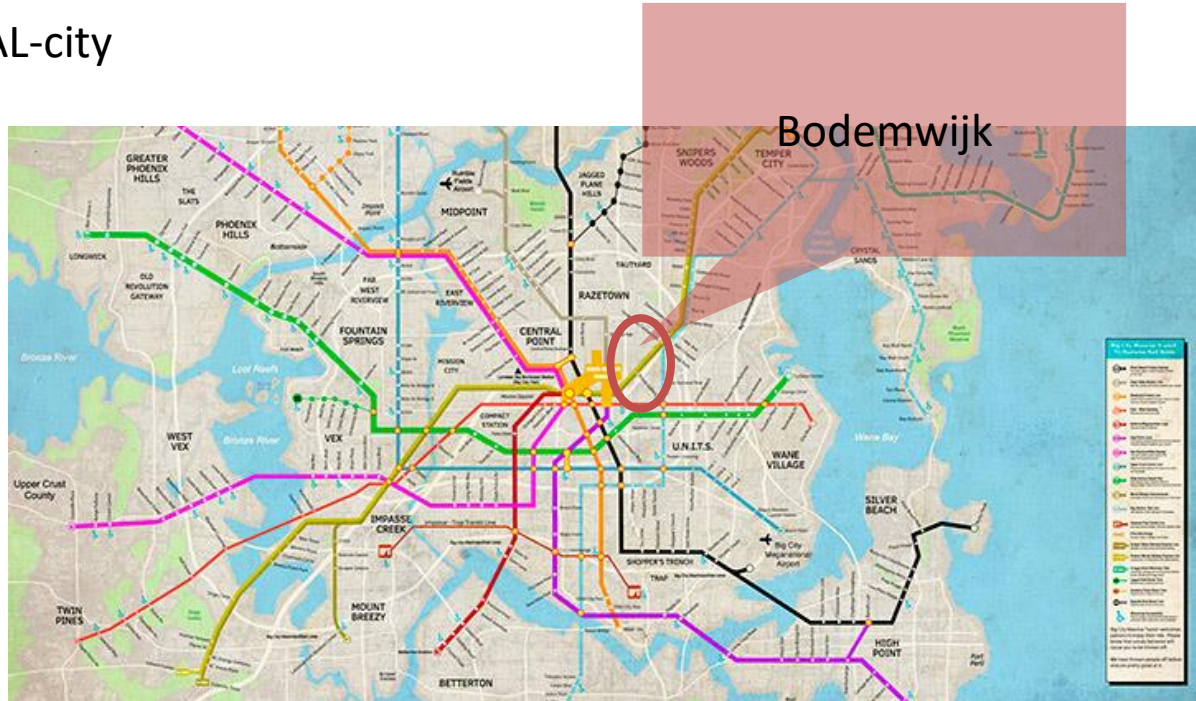
Sessie Building Holland

USI (Arno Peekel), RHDHV (Maartje van Meeteren), Rijksvastgoedbedrijf (Martine de Vaan, Manon Smeets), gemeente Utrecht (Cees van der Vliet)

Herontwikkeling Bodemwijk



Stad: CRYSTAL-city



Herontwikkeling Bodemwijk

- Druk binnenstedelijk gebied,
- Organisch ontstaan sinds 1960 tot heden
- Gekenmerkt als werkgebied
- Ambitie om het gebied energieneutraal en klimaatadaptief te maken.
- Zoveel mogelijk opwek in het gebied zelf
- Optimale benutting van de ondergrond voor WKO
- Voldoende ruimte voor bomen en groen (boven- en ondergronds)



Eigenschappen Bodemwijk



- Grondoppervlak Bodemwijk = 100.000 m² (500x200 meter)
- BVO Werken = 135.000 m²
- BVO Wonen = 7.000 m²
- BVO School = 6.000 m²
- Energiebedrijf = 2000 m²
- Totaal BVO = 150.000 m²

Bodemopbouw

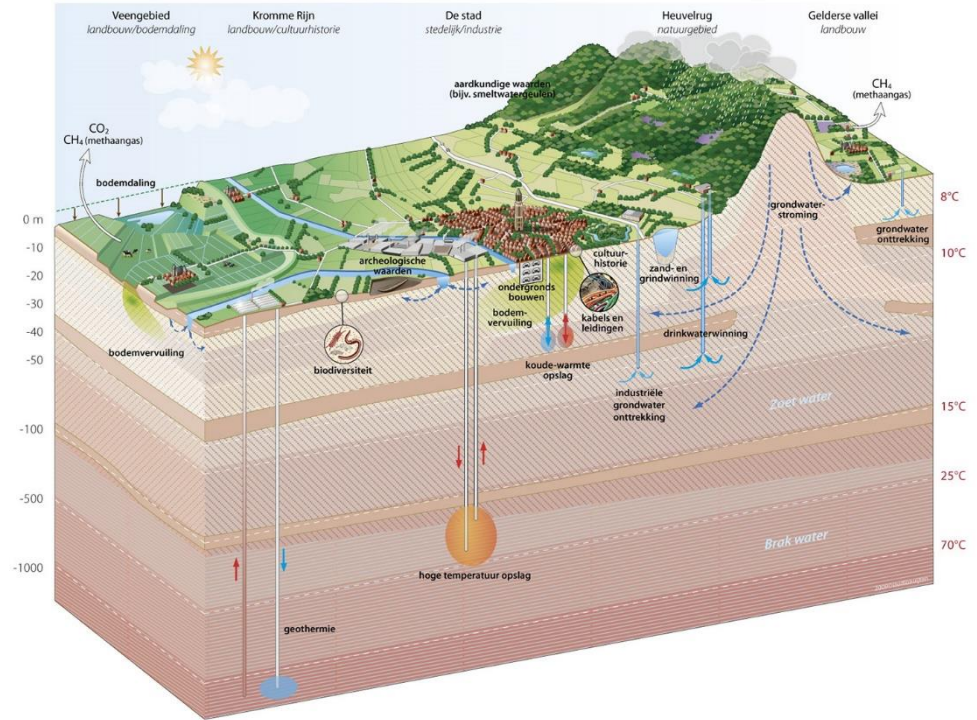
0-50 meter = zand

50-55 = slechtdoorlatende lag

55-180 = zand

Beleid WKO:

Alleen WKO's mogelijk in eerste watervoerend pakket (0-50 m-mv)





Eigendom gebouwen

- 10 kantoorpanden met 6 verschillende eigenaren
- Hier en daar wat woonhuizen (geen hoogbouwflats)
- 1 schoolgebouw
- Energiegebouw voor stadsverwarming



Energielabel en geplande renovatie

Nu nog geen enkele duurzame vorm van energie aanwezig in het gebied



Eerste berekeningen



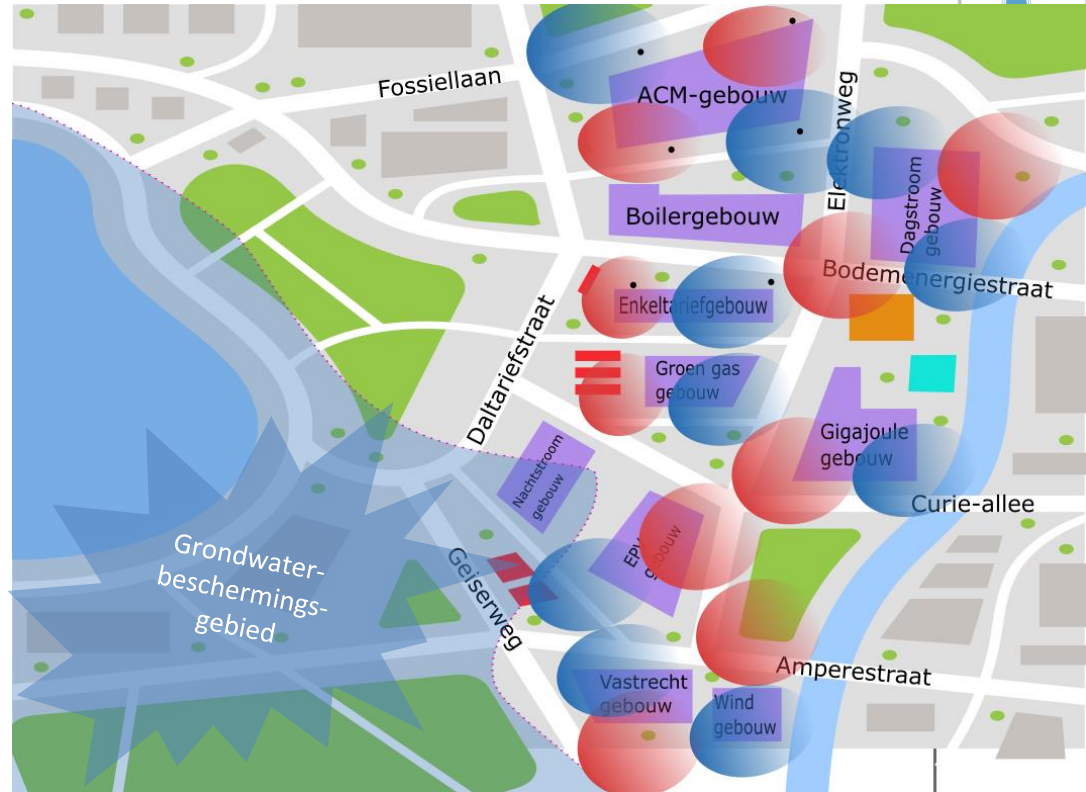
	Warmtevraag (gebouw)	Koudevraag (gebouw)		Warmtevraag (bodem)	Koudevraag (bodem)
Energie	10.000 MWh	10.000 MWh	→	7.500 MWh	10.000 MWh
Vermogen	7.500 kW	10.000 kW	→	5.500 kW	10.000 kW

Benodigd debiet	~1.000 m ³ /uur
Benodigd waterhoeveelheid	~1.500.000 m ³ /seizoen

Afstand bronnen	Oppervlakte bij 12 doubletten
2,5x thermische straal	130.000 m ²
1,5x thermische straal	360.000 m ²

WKO-scenario “Allemaal eigen WKO”

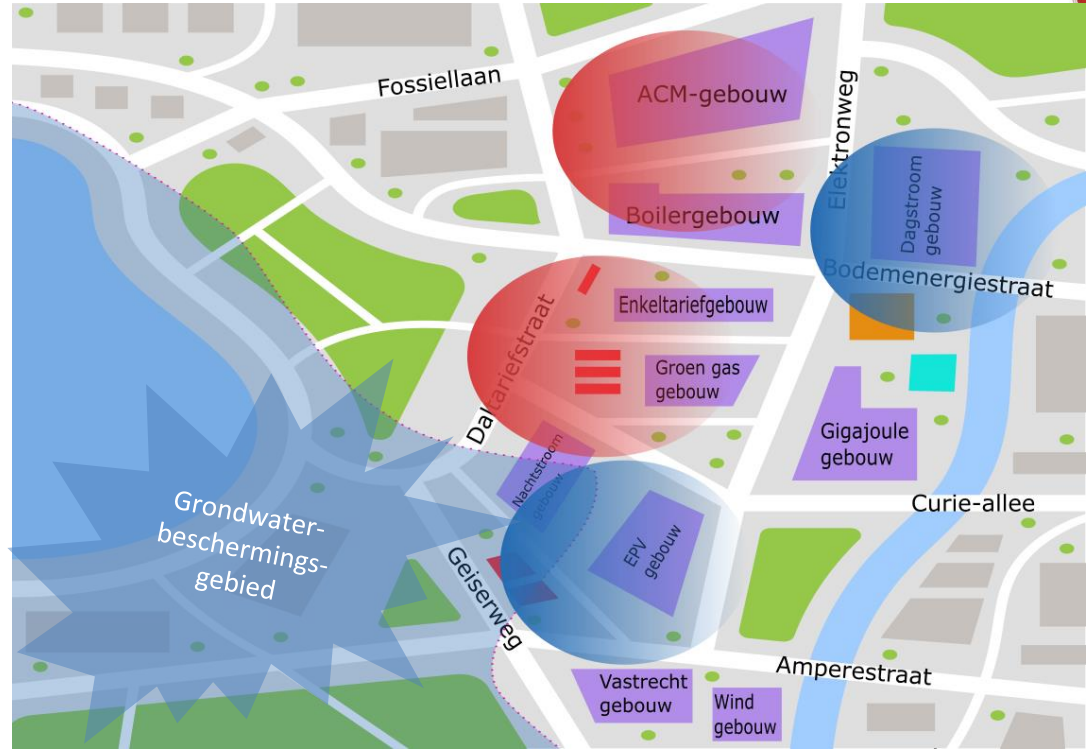
Organische ordening van WKO-doubletten



Scenario “Een groot collectief WKO-systeem”



Scenario “Enkele collectieve WKO-systemen”





Rollenspel

Doelstelling

- Onderhandelingsspel om met elkaar tot gebiedsafspraken te komen over benutting ondergrond

- Vier groepen
 - Eén overheid
 - Drie vastgoedeigenaren



Voorbespreken

- Ambities scherp
- Randvoorwaarden voor onderhandeling

- Randvoorwaarden duurzaamheid
 - Minimaal 2 People
 - Minimaal 2 Planet
 - Minimaal 2 Profit



Onderhandeling

- Ga in onderhandeling met de andere groepen
 - Probeer afspraken te maken over samenwerking om gebouw en gebied energieneutraal te maken
- Zorg voor realistische afspraken
 - Toets je afspraak aan je ambities



Spel – Bodem: the final frontier

Spelmateriaal

Crystalcity – Gebiedsontwikkeling Bodemwijk



Eigenschappen gebied

Grondoppervlak Bodemwijk = 100.000 m² (500x200 meter)

BVO Werken = 135.000 m²

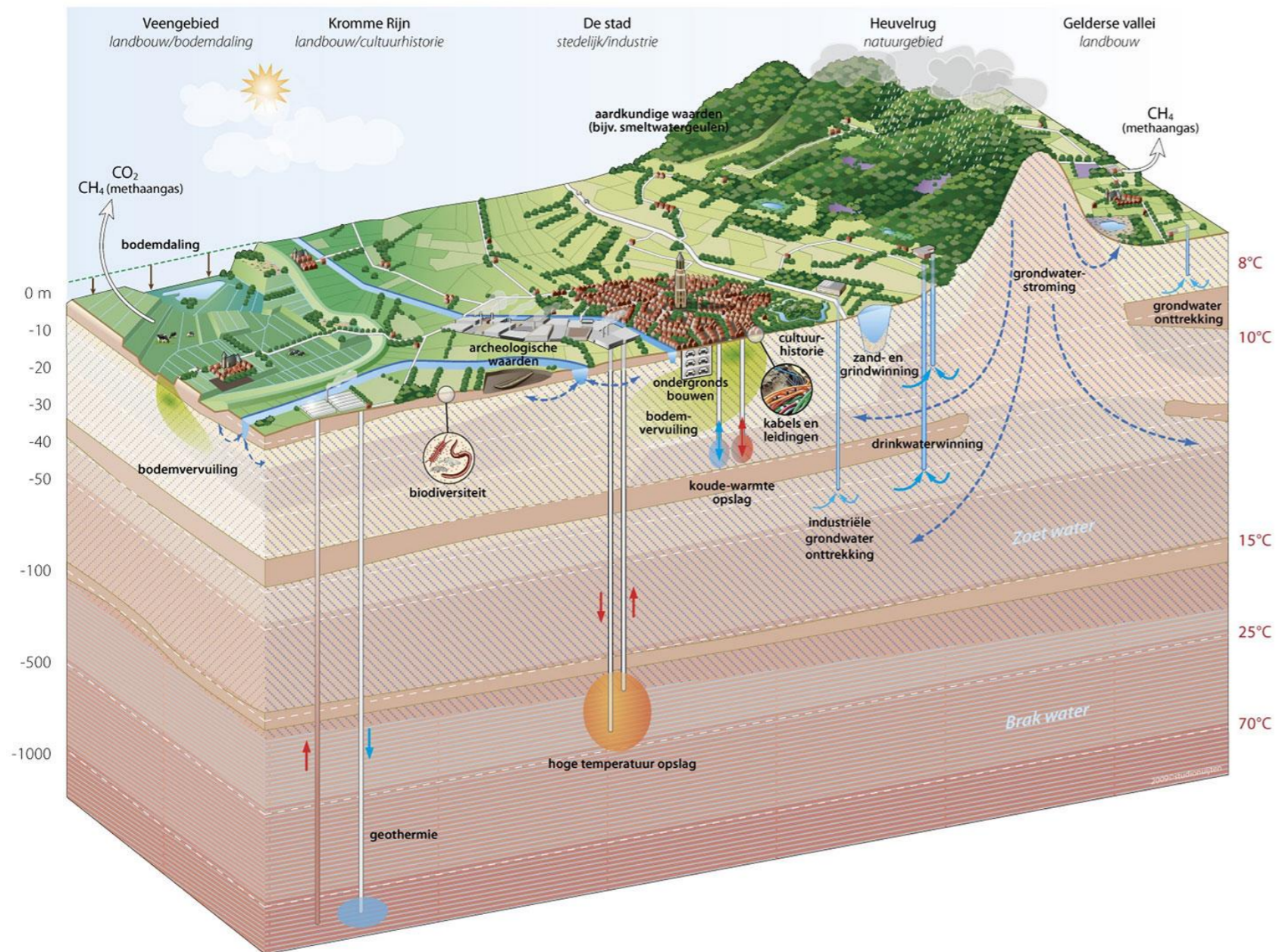
BVO Wonen = 7.000 m²

BVO School = 6.000 m²

Energiebedrijf = 2000 m²

Totaal BVO = 150.000 m²

Bodemopbouw



Beleid WKO:

- Alleen WKO's mogelijk in eerste watervoerend pakket (0-50 m-mv)

Karakteristieken gebouwen

Gebouw	Bouwjaar	BVO (m ²)	Energielabel	Eigendom
Woningen (rode gebouwen)	Variërend tussen 1960 en 1985	7000	C en D	Privaat eigendom
Schoolgebouw (bruin gebouw)	1979	6000	D	Eigendom gemeente
Energiecentrale stadsverwarming (blauwe gebouw)	1977	2000	D	Eigendom energiebedrijf

Kantoren (paarse gebouwen):

Gebouw	Bouwjaar	BVO (m ²)	Energielabel	Renovatie gepland	Eigendom
ACM-gebouw (monumentaal)	1960	30000	G	Ja, 2020	Vastgoedeigenaar A
Boilergebouw	1965	19000	G	Ja, 2020	Vastgoedeigenaar B
Dagstroomgebouw	1983	16000	D	Nog niet	Vastgoedeigenaar C
Enkeltariefgebouw	1995	6000	C	Ja, 2021	Vastgoedeigenaar A
Groengasgebouw (monumentaal)	1960	8000	G	Ja, 2024	Vastgoedeigenaar B
Gigajoulegebouw	1979	21000	C	Ja, 2020	Vastgoedeigenaar B
Nachtstroomgebouw	1996	11000	C	Ja, 2022	Vastgoedeigenaar D
EPV-gebouw	1988	9000	C	Nog niet	Vastgoedeigenaar E
Vastrechtgebouw	2006	12000	B	Nog niet	Vastgoedeigenaar F
Windgebouw	2008	3000	B	Nog niet	Vastgoedeigenaar F

Mogelijkheden WKO in dit gebied

Grondoppervlak: Het grondoppervlakte van de Bodemwijk bedraagt 100.000 m²

Energievraag gebouwen:

Warmtelevering

- Energie: 10.000 MWh
- Vermogen: 7.500 kW

Koudelevering

- Energie: 10.000 MWh
- Vermogen: 10.000 kW

Energievraag vertaalt naar de bodem:

Warmtelevering

- Energie: 7.500 MWh
- Vermogen 5.500 kW

Koudelevering

- Energie: 10.000 MWh
- Vermogen: 10.000 kW

Benodigde waterhoeveelheden en debiet

Benodigd debiet ~1.000 m³/uur

Benodigde waterhoeveelheid ~1.500.000 m³/seizoen)

Benodigd aantal doubletten

Eerste watervoerende pakket → 12 doubletten

(op basis van 1,5 x thermische straal is 130.000 m² Utrecht nodig) → past niet

(op basis van 2,5 x thermische straal is 360.000 m² Utrecht nodig) → past niet







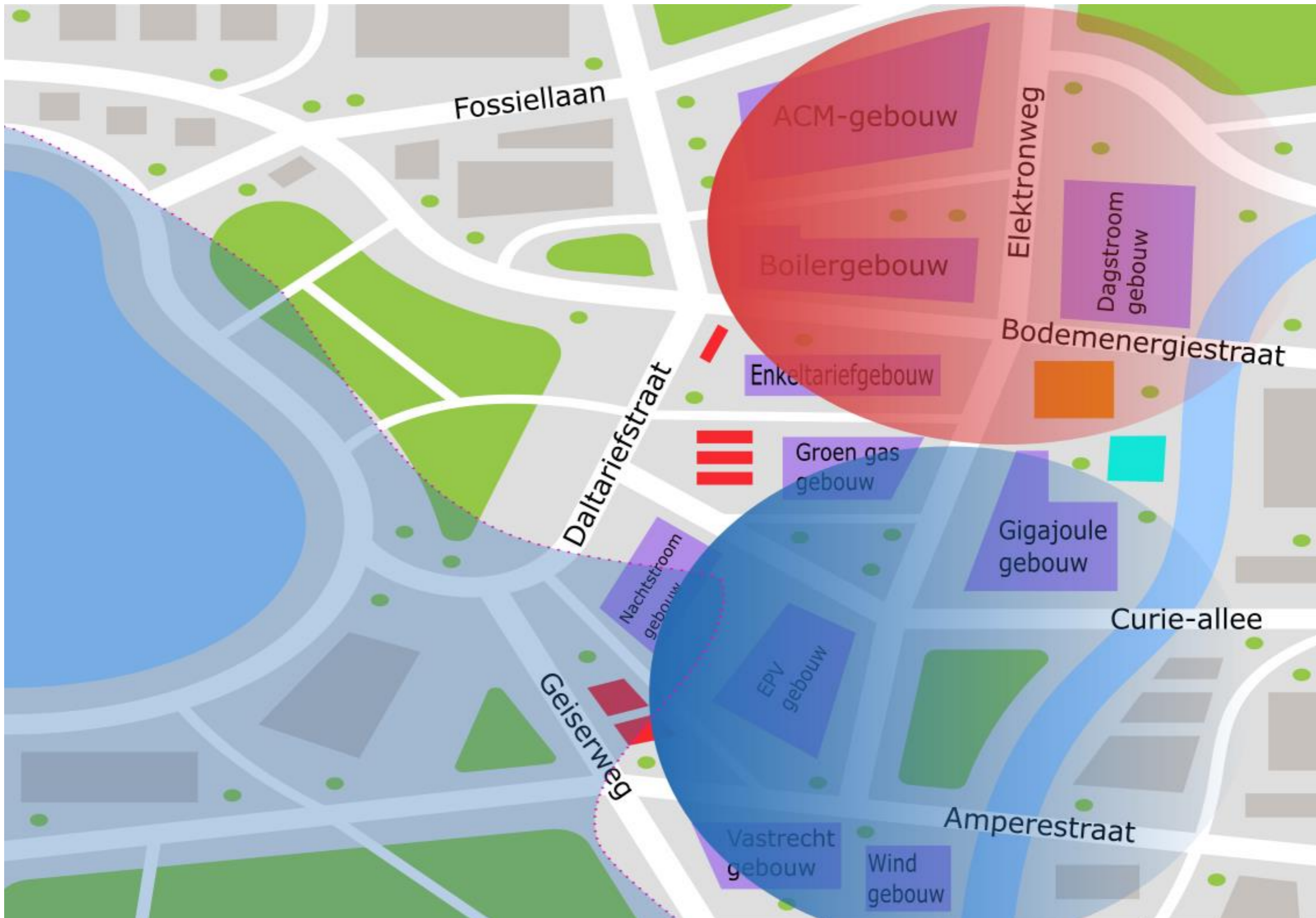
Gebouw	BVO (m ²)	Eigendom	Bouwjaar	Energie-label
Woningen (rode gebouwen)	7000	Privaat eigendom	Variërend tussen 1960 en 1985	C en D
Schoolgebouw (bruin gebouw)	6000	Eigendom gemeente	1979	D
Energiecentrale stadsverwarming (blauwe gebouw)	2000	Eigendom energiebedrijf	1977	D

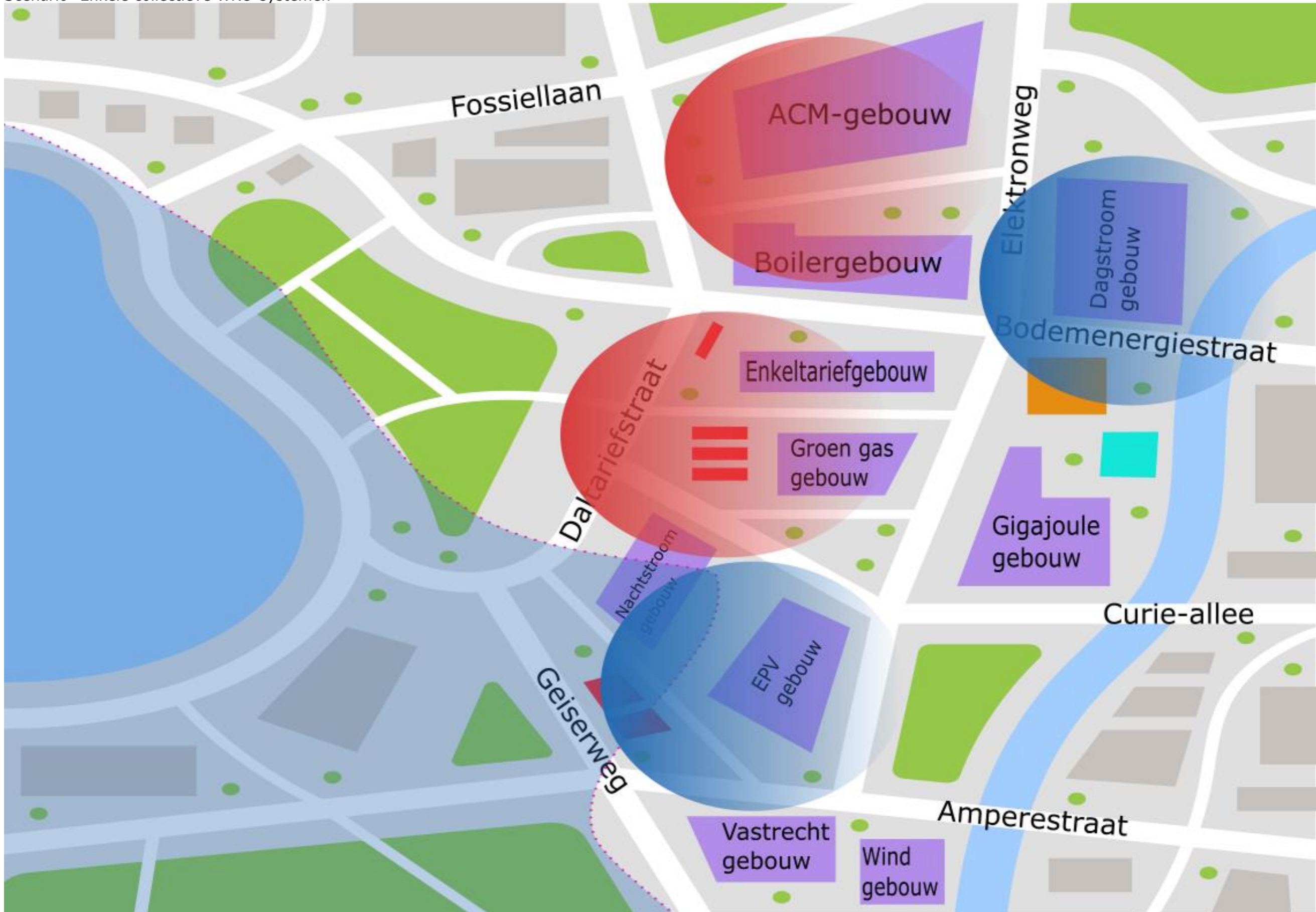
Gebouw	Bouwjaar	BVO (m ²)	Energie-label	Renovatie gepland?	Eigendom
ACM-gebouw (monumentaal)	1960	30.000	G	Ja, 2020	Vastgoedeigenaar A
Boilergebouw	1965	19.000	G	Ja, 2020	Vastgoedeigenaar B
Dagstroomgebouw	1983	16.000	D	Nog niet	Vastgoedeigenaar C
Enkeltariefgebouw	1995	6.000	C	Ja, 2021	Vastgoedeigenaar A
Groengasgebouw (monumentaal)	1960	8.000	G	Ja, 2024	Vastgoedeigenaar B
Gigajoulegebouw	1979	21.000	C	Ja, 2020	Vastgoedeigenaar B
Nachtstroomgebouw	1996	11.000	C	Ja, 2022	Vastgoedeigenaar D
EPV-gebouw	1988	9.000	C	Nog niet	Vastgoedeigenaar E
Vastrechtgebouw	2006	12.000	B	Nog niet	Vastgoedeigenaar F
Windgebouw	2008	3.000	B	Nog niet	Vastgoedeigenaar F

Scenario: "Allemaal eigen WKO"



Scenario "Een groot collectief WKO-systeem"





Vastgoedeigenaar A

Ambities	Voorwaarden			Afspraken	
	People	Planet	Profit	Inhoud	Met wie?
<ul style="list-style-type: none"> - wil gebouwen energieneutraal maken wil een rendabele business case; - zoekt naar voorspelbare kosten voor renovatie en energielevering - wenst een comfortabel gebouw voor de medewerkers - kan via het aanbestedingsbeleid sturen op duurzaamheidscriteria 					

Vastgoedeigenaar B

Ambities	Voorwaarden			Afspraken	
	People	Planet	Profit	Inhoud	Met wie?
<ul style="list-style-type: none"> - wil gebouwen energieneutraal maken wil een rendabele business case; - zoekt naar voorspelbare kosten voor renovatie en energielevering - wenst een comfortabel gebouw voor de medewerkers - kan via het aanbestedingsbeleid sturen op duurzaamheidscriteria 					

Vastgoedeigenaar C

Ambities	Voorwaarden			Afspraken	
	People	Planet	Profit	Inhoud	Met wie?
<ul style="list-style-type: none"> - wil gebouwen energieneutraal maken wil een rendabele business case; - zoekt naar voorspelbare kosten voor renovatie en energielevering - wenst een comfortabel gebouw voor de medewerkers - kan via het aanbestedingsbeleid sturen op duurzaamheidscriteria 					

Overheid

Ambities	Voorwaarden			Afspraken	
	People	Planet	Profit	Inhoud	Met wie?
<ul style="list-style-type: none"> - Ziet gebied als belangrijk icoongebied om de stad gasloos te maken - Is bereid om bestemmingsplannen te wijzigen, mits het binnen de gebiedsvisie past - Streeft naar energie-neutraal binnen het gebied - Wenst optimale benutting van de ondergrond - Heeft nog aanvullende wensen en eisen aan het beschermen van drinkwatervoorraden - Kan fysieke leefomgeving aanpassen met duurzame maatregelen (bv waterinfiltrerende bestrating, aanleg parken/bomen) 					