

# Roadmap Compacte Conversie en Opslag (CCO)

In 2050 zal de gebouwde omgeving netto energieneutraal moeten zijn om de industrie- en transportsector de dan nog benodigde toegang tot fossiele brandstoffen te kunnen geven. Daarom is een netto energie producerende nieuwbouwsector noodzakelijk, naast een in hoge mate energie-efficiënte bestaande bouw. Bij grootschalige toepassing van duurzame energie zal om redenen van mis-match in vraag/aanbod van deze vorm van energie (dag/nacht, seizoenen) en van economische optimalisatie steeds meer opslagcapaciteit nodig zijn voor zowel warmte als koude. Dit kan en mag echter niet ten koste gaan van wooncomfort en betaalbaarheid. Opslag is de sleutel om duurzame bronnen en overtollige energie (bv. industriële restwarmte) in tijd en plaats te koppelen aan de vraagzijde.

J. (Jos) Blom, Alliander, projectleider WP Roadmap; H. (Huub) Keizers, TNO Penvoerder Meerjarenplan CCO

Koppeling van vraag en aanbod kan worden gerealiseerd met warmteopslag, transport en conversie van of naar andere energiedragers. De huidige oplossingen voor deze vormen van toepassing van warmte hebben echter beperkingen:

- Opslag

Huidige vormen van thermische energieopslag zijn ofwel slechts voor korte termijn, lage temperaturen met groot volume, of een combinatie hiervan;

- Conversie

Huidige compressiewarmtepompen gebruiken relatief grote hoeveelheden koudemiddel, zijn relatief luidruchtig en groot.

Compacte thermische energieopslag (warmte en koude) kan op termijn met faseovergangsmaterialen (phase-change materials, PCM) of met thermochemische opslagmaterialen

(TCM) worden gerealiseerd. Door de fysische en chemische processen die hierbij spelen wordt een veel compactere vorm van opslag gerealiseerd (factor 2-10), met daarbij, in geval van TCM gebaseerde opslag, geen thermische opslagverliezen.

Met betrekking tot conversie ligt een van de mogelijke oplossingen in de toepassing van magneto-calorische warmtepompen die naast een theoretisch hogere efficiëntie en daarmee gepaard gaand potentieel lager energiegebruik en compacter volume, tevens een veel lagere behoefte aan schadelijke koudemiddelen hebben. Ook warmtepompen gebaseerd op andere principes (bv. thermo-akoestisch, thermo-elastisch) worden internationaal momenteel onderzocht op bruikbaarheid in de gebouwde omgeving.

De uitdaging waarvoor we staan is zowel

van technologische (kan het), economische (wat levert het op versus wat kost het) en sociale aard (willen gebruikers de nieuwe technologieën adopteren). Het consortium CCO, bestaande uit 11 industriële partijen en 6 kennisinstellingen, heeft zich in 2015 aan een intensieve samenwerking gebonden die als doel heeft gesteld compacte conversie en opslagstechnologieën uit te ontwikkelen tot een economisch aantrekkelijke alternatief en daarmee Nederland en het Nederlandse bedrijfsleven in staat te stellen een leidende positie in te nemen op het gebied van compacte conversie en opslag. We noemen dit de 'Tweede Warmtereolutie' in analogie met de ontwikkelingen die een halve eeuw geleden hebben geleid tot de HR-ketel en die Nederland een leidende positie gaven op het gebied van (gas)verwarming (de zogeheten

'Eerste Warmterevolutie').

Voorliggende roadmap is door de betrokken partners (TNO, TUD, TU/e, UT, Hanze, UT, DWA, Alliander, BJW, RTB, CCS, Wendelin, Comsol, Liveliness, DOW, Nedmag, Ithodaalderop) in nauwe samenspraak met TKI Urban Energy opgezet en omvat zowel het lopende programma CCO als de noodzakelijke activiteiten om in de komende jaren een leidende positie te bewerkstelligen. Als onderdeel van het lopende programma zal de roadmap jaarlijks kritisch bekeken worden en waar nodig bijgesteld. De voorgestelde activiteiten richten zich in eerste instantie op compacte opslag en conversie van thermische energie voor het gebruik in individuele bestaande woningen, maar de te ontwikkelen opslag en conversieconcepten kunnen ook op grotere schaal, decentraal op gebiedsniveau worden gebruikt. De Roadmap Compacte Conversie en Opslag zal zowel worden gebruikt om verdere sturing aan het meerjarenprogramma te geven als dat het een uitnodiging is voor geïnteresseerde partijen om deel te nemen aan de ingezette tweede warmterevolutie en hiermee in belangrijke mate bij te dragen aan de verduurzaming van de gebouwde omgeving.

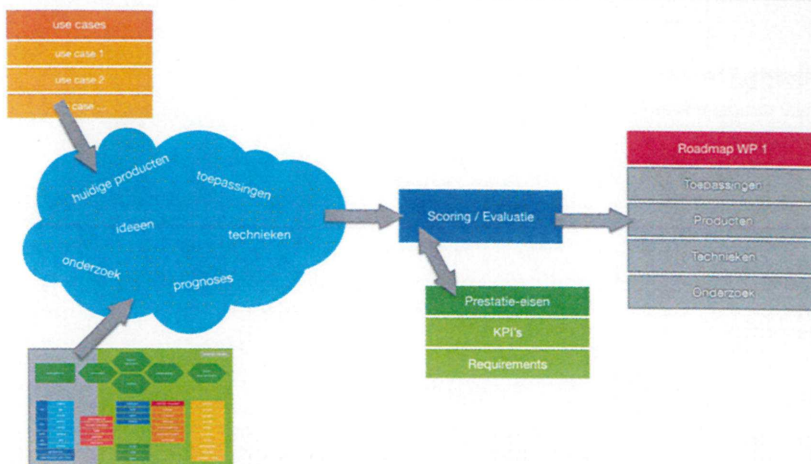
## ■ PROCES EN METHODE

De roadmap beschrijft de verschillende innovatie- en technologiepaden die nodig zijn om concepten voor warmte- en koudeopslag en conversie voor de gebouwde omgeving succesvol te ontwikkelen en in de markt te zetten. Figuur 1 geeft de generieke aanpak in vier stappen weer zoals die gevolgd is voor het realiseren van de roadmap:

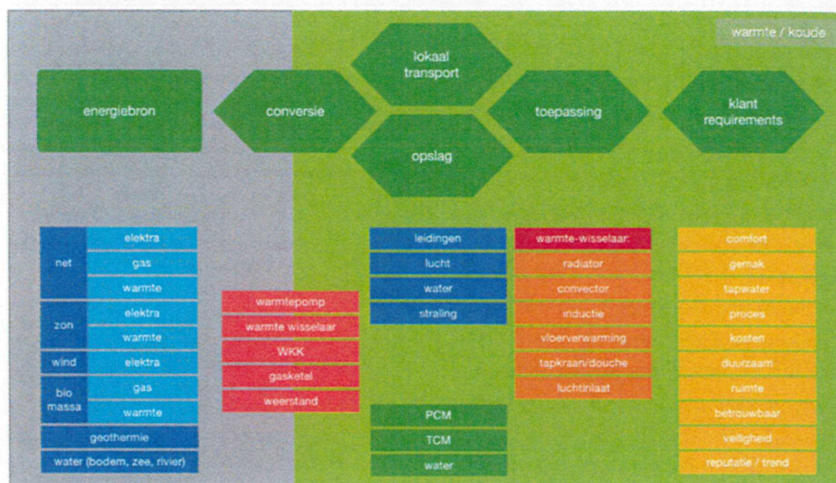
1. Vanuit functionele use cases is een selectie gemaakt van technieken en producten die van toepassing kunnen zijn.
2. Een use case wordt beschreven inclusief de Key Performance Indicators (KPI's) en de beperkingen van de oplossing; dit in termen van beschikbare ruimte, beschikbaar vermogen, etc.
3. Beschikbare technieken en potentiële technieken worden gescoord op basis van deze prestatie-eisen.
4. Vastgesteld wordt welk onderzoek benodigd is om de potentie van technieken vast te stellen en om prototypes en (deel) producten te ontwikkelen waarmee aan de beoogde prestaties kan worden voldaan.

## ■ ARCHITECTUUR

Figuur 2 geeft het overzicht van de mogelijke bronnen, technieken voor conversie en opslag en de toepassingen zoals die als basis voor de ontwikkeling van use-cases en systeemconcepten binnen de roadmap zijn meegenomen.



-Figuur 1- Generieke aanpak voor het bepalen van de roadmap voor CCO



-Figuur 2- Architectuur

## ■ USE CASES

De bruikbaarheid en potentie van de verschillende technieken voor conversie en opslag moet worden afgewogen binnen de context van een toepassing. Door het mogelijke gebruik van de techniek in de markt voor te stellen, kunnen de noodzakelijke en gewenste prestatie-eisen worden gedefinieerd. Het consortium heeft er voor gekozen om een aantal realistische en richtinggevend use cases te definiëren die gebruikt worden om het belang van prestatie-eisen af te leiden en de gewenste waarden van deze eisen te bepalen. Use cases zijn bedoeld als leidraad voor de selectie en scoring van technieken zodat deze duidelijk in het kader worden geplaatst van een gebruikerswens en niet alleen technisch worden beschouwd.

## ■ INVENTARISATIE EN SELECTIE

Vanuit de consortiumpartners zijn verschillende use cases gedefinieerd en vervolgens door experts gescoord op de volgende aspecten:

- Hoe relevant is de case voor de markt (een case met een hoog toepassingsgebied krijgt een hogere score dan een case met een beperkte toepasbaarheid)?

- Hoe illustratief is de case voor de CCO vraagstelling (een case die meer eisen stelt aan compactheid en de noodzaak voor opslag krijgt een hogere score)?
- In totaal zijn er meer dan twintig cases besproken en beoordeeld. De top 3 van use cases zijn:
1. Als gebruiker wil ik minimaal warm tapwater volledig duurzaam kunnen voorzien.
  2. Als bewoner van een appartement/portiekwoning in Nederland wil ik mijn woning ook duurzaam en onafhankelijk van gas kunnen verwarmen op een energiezuinige manier zodat ik geld kan besparen en zorgeloos kunnen beheren.
  3. Als eigenaar van een goed geïsoleerde woning in Nederland wil ik mijn woning zo duurzaam mogelijk verwarmen en koelen en wil ik gebruik maken van warm tapwater, het hele jaar door, onafhankelijk van fossiele brandstoffen (koeling is hier als onderscheidend aspect meegenomen).
- Overige meegewogen use cases (samenvatting):
- Duurzame voorziening warm tapwater
  - Appartement onafhankelijk van gas duurzaam
  - Goed geïsoleerde woning duurzaam verwarmen, koelen en warm tapwater

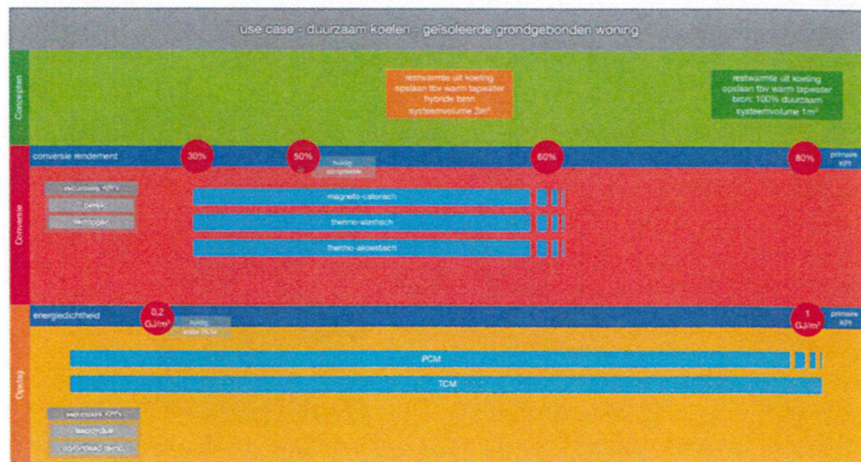
- Goed geïsoleerde jaren-70 woning hele jaar duurzaam verwarmen, koelen en warm tapwater
- Gemiddelde grondgebonden woning, decentrale opslag zonnewarmte
- Gemiddelde woning zo duurzaam mogelijk verwarmen
- Gemiddelde woning, PV plus elektrische warmtepomp, **gedistribueerde grid-connected opslag**
- Warmteopslag voor district verwarming (decentrale opslag) bij de eindgebruiker of in de wijk
- Gemiddelde woning zo duurzaam mogelijk verwarmen (geld besparen)
- Mobile unit om ruimtes duurzaam bij te verwarmen
- Blokverwarming (wooncorporatie) vervangen door een energiezuinige alternatief
- **Wijk gemeenschappelijk duurzaam kunnen verwarmen / koelen**
- **Kantoorpand** duurzaam verwarmen
- Werkplek (kantoren) duurzaam verwarmd/ gekoeld
- Kantoor (of woning) permanent op ondergrens 18 graden houden
- Markt voor restwarmte bedienen (industrie)
- Warmte opslag voor warmtenet (centrale opslag)
- Warmteopslag voor CHP plants en – WKK biogas
- Trigeneration warmte/koeling met WKK
- Flatgebouw duurzaam verwarmen en warm tapwater
- Goed geïsoleerde woning verwarmen met magnetocalorische warmtepomp

## RESULTATEN

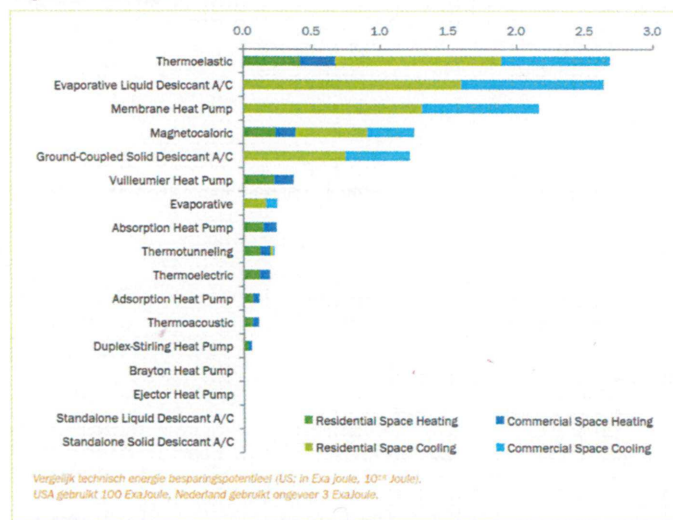
Door het consortium zijn de bekende, beschikbare en verwachte technieken in zogeheten systeemconcepten geplaatst. Deze concepten bestaan uit mogelijke combinaties van bronnen, conversie en opslagsystemen om als systeem invulling te geven aan de use cases. Per case zijn verschillende systeemconcepten uitgewerkt. De concepten zijn vertaald naar de fundamentele prestatie eisen en criteria om de case te kunnen invullen. Daar waar mogelijk is onderscheid gemaakt tussen een ideale en volledige invulling van de case (bijvoorbeeld een 100% duurzame bron en een zeer compacte systeemomvang) en een mogelijk nuttige tussenoplossing welke op kortere termijn kan worden gerealiseerd en waarmee als wel invulling gegeven kan worden aan de belangrijkste criteria.

De invulling van de use cases blijkt teruggebracht te kunnen worden naar twee fundamentele prestatie eisen, KPI's:

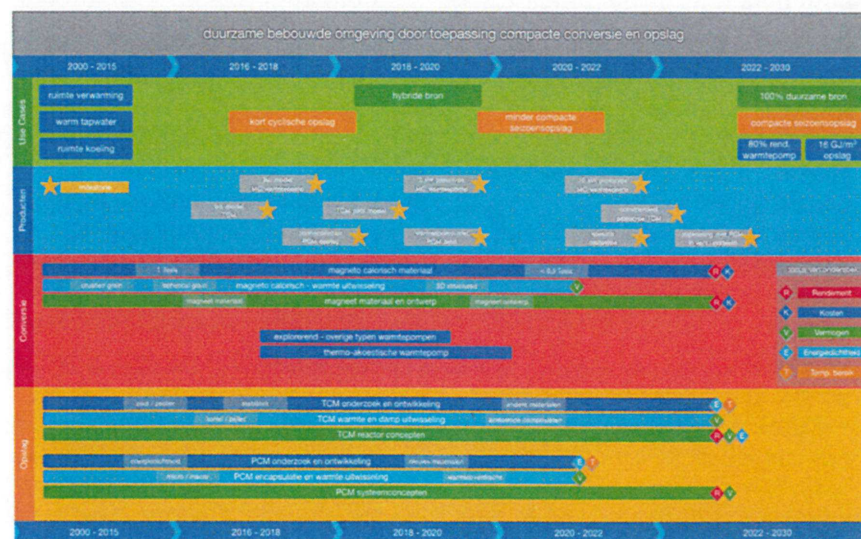
- energiedichtheid voor de opslag;
- het rendement van de warmtepomp.



-Figuur 3- Use Case



-Figuur 4-



-Figuur 5-

Secundair zijn de temperatuurbereiken en systeemparameters zoals de laadcyclus en het vermogen en de kosten. Geconcludeerd is dat de technieken, althans voor het fundamentele onderzoek, apart van elkaar beschouwd kunnen worden. Verder blijken de verschillende use cases tot sterk vergelijkbare eisen te leiden en deze zijn daarom als leidend voor de korte en lange termijn doelstellingen in de

roadmap gekozen. In de vervolgfase is voorzien de exercitie ook voor enkele van de andere use cases te doorlopen om zo te onderzoeken in hoeverre dit tot andere eisen en/of KPI's leidt.

## WARMTEOPSLAGTECHNIKEN

PCM (Phase Change Materials) en TCM (Thermo Chemical Materials) kunnen worden gebruikt voor de opslag van warmte met een

significant hogere energiedichtheid dan bijvoorbeeld water. Ze zijn daarmee de aangewezene technieken voor het compacte aspect van de CCO-doelstelling.

In een PCM wordt de faseovergang, bijvoorbeeld van vast naar vloeibaar en omgekeerd, gebruikt om warmte op te slaan en af te staan. Het materiaal neemt warmte op en smelt - de warmte is in het materiaal opgeslagen. Op een ander moment kan warmte onttrokken worden aan het materiaal om bijvoorbeeld een ruimte te verwarmen en het materiaal wordt weer vast. De temperatuur waarbij de faseovergang plaatsvindt bepaalt voor een belangrijk deel de bruikbaarheid van het materiaal in praktische toepassingen. De hoeveelheid energie benodigd voor de faseovergang bepaalt de energiedichtheid.

Bij een TCM wordt de warmte opgeslagen als chemische energie. De basis is een omkeerbare reactie, die optreedt wanneer warmte wordt toegevoegd en omkeert wanneer warmte wordt onttrokken. Net als bij PCM's hebben verschillende materialen (en dus reacties) een effectief temperatuurbereik. De huidige TCMs zijn voornamelijk gebaseerd op zouthydraten, deze zouten nemen water (damp) op in het kristalrooster. Deze reactie is omkeerbaar en neemt veel warmte op - vergeleken met water is de energiedichtheid van deze materialen een factor 10 beter.

## ■ MATURITEIT EN VERVOLGONDERZOEK

Zowel voor PCM als TCM gebaseerde opslag geldt dat al enkele jaren onderzoek wordt gedaan en de eerste werkzame prototypen beschikbaar zijn. De voornaamste uitdagingen zitten in het vermogen (hoeveel warmte kan er geabsorbeerd dan wel onttrokken worden per tijdseenheid), de stabiliteit van de materialen (hoeveel cycli kunnen even effectief worden benut) en daarnaast het fundamentele onderzoek naar de juiste materialen welke een hoge energiedichtheid combineren met een bruikbaar temperatuurbereik.

### Warmtepompen

De warmtepomp is een techniek waarbij warmte (en/of koude) niet direct met gas door een vlam of elektriciteit door een weerstand gemaakt wordt maar door warmte en koude uit elkaar te trekken (pompen). Dit uit elkaar trekken kost energie maar minder dan de klassieke vormen. Deze energie kan op vele vormen toegepast worden zoals comprimeren, verdampen, verbuigen, trillen, chemisch, elektrisch, magnetisch.

Naast de traditionele warmtepomp die in een koelkast of airco zit zijn er diverse ontwikkelingen in de techniek. Een goed overzicht van

mogelijkheden kan onder andere verkregen worden uit een publicatie van het USA DOE (Department of Energy). <http://energy.gov/eere/buildings/downloads/non-vapor-compression-hvac-technologies-report> Binnen Nederland zijn de afgelopen jaren de nodige ontwikkelingen geweest om warmtepompen op basis van klassieke technologie compacter en efficiënter te maken. Hier zijn flinke stappen gezet en verdere, incrementele reductie van zowel omvang, kosten en geluidproductie lijken hier nog zeker mogelijk. Om echt significante stappen zetten op te behalen rendement, compactheid en ook het gebruik van koelmiddel, lijkt het nodig om naar andere technologieën over te stappen. Naast warmtepompen op het magneto-calorische principe en op basis van het thermo-acoustische principe wordt hieraan echter binnen Nederland nog weinig aandacht besteed. Aangeraden wordt om hieraan in het kader van de voorliggende roadmap de komende jaren nader invulling te geven.

### Thermo-elastisch

Technologie op basis van vormgeheugenmetalen (Shape Memory Alloys, SMA). Thermo-elastische koelsystemen spannen en ontspannen een SMA-kern die warmte absorbeert uit of afgeeft aan de omgeving.

### Membraanwarmtepomp

Aangedreven door een vacuümpomp zorgen geavanceerde membraanwarmtepompen voor koeling en ontvochtiging en/of verwarming en bevochtiging door de overdracht van vocht via een aantal membranen.

### Adiabatische airconditioning

De adiabatische airconditioner bestaat uit een primair kanaal dat de inkomende lucht droogt en koelt met behulp van een vloeibare droogmiddelenstroom en een tweede kanaal dat door verdamping een waterlaag koelt met behulp van een deel van de gedroogde lucht waardoor de toevoerlucht verder gekoeld wordt. Het principe is hier dat de vochtigheid in de lucht te beïnvloeden door hygroscopische materialen. Het principe kan ook gebruikt worden om te verwarmen.

### Magnetocalorische koeling

Werkt op basis van het magnetocalorische effect, een fenomeen waarbij paramagnetische materiaal reversibel temperatuurveranderingen vertoont bij blootstelling aan een wisselende magnetisch veld.

### Thermo-akoestische warmtepomp

Werkt op het principe van thermo-akoestiek, een techniek waarbij laagfrequente geluidsgol-

ven in gas gebruikt om warmte op te pompen naar de gewenste temperatuur.

## ■ WERKPAKKET 4

In werkpakket 4 wordt de systeemintegratie en regelstrategieën voor efficiënte benutting van warmteopslag op gebouw- en wijkniveau beschreven.

Het doel is:

- Realiseren van een ontwerpmethodiek voor het samenstellen van effectieve combinaties van systeemconcepten en regelconcepten op woning en wijkniveau.
- Realiseren van regelsystemen voor de effectieve aansturing van te ontwikkelen systeemconcepten en aanwezige gebouw-systemen, waarbij eveneens wordt gekeken naar de optimale inzet en conversie tussen elektriciteit, gas en warmte.
- Ontwikkelen van marktfaciliterende taken rondom A, B en C. Hierbij ligt de focus op het ontwikkelen van een open standaard waarop marktpartijen hun eigen regelalgoritme/systeemintegratie kunnen aanbieden. Dit biedt keuzevrijheid voor de klant.

Onderbouwing: adequate integratie van te ontwikkelen systeemconcepten of combinaties van systeemconcepten vraagt om een uitgebalanceerd ontwerp en aansturing. Het in balans brengen van warmtestromen en warmteopslag op woning en/of wijkniveau is bij het minimaliseren van de restwarmtevraag noodzakelijk en daarom een cruciale succesfactor om tot energetisch en financieel rendement te komen.

## ■ ROADMAP

Uitgaand van relevante use cases zijn op een systematische wijze KPI's, systeemeisen, vereiste technologie- en productontwikkelingen in kaart gebracht. Doelstelling hierbij is om, voor de gebouwde omgeving, in Nederland een kennis- en industriële basis neer te zetten waarmee een leidende positie ingenomen kan worden op het gebied van compacte conversie en opslag van warmte (de 'Tweede Warmterevolutie'). Op basis van de roadmap kunnen technologische opties naast elkaar worden gezet en gebenchmarkt. Hiermee kunnen keuzes worden gemaakt voor toekomstige onderzoeks- en implementatie programma's. Het ligt in de bedoeling de roadmap gedurende de looptijd van het Meerjarenplan CCO jaarlijks te updaten. Voor nadere details worden belangstellenden verwezen naar de specifieke onderleggers zoals die voor de verschillende deelttechnologieën zijn opgesteld (zie [www.projectcco.org](http://www.projectcco.org)).