



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Startdocument Roadmap Bodemenergie

In opdracht van het ministerie van Economische Zaken

>> *Duurzaam, Agrarisch, Innovatief
en Internationaal Ondernemen*

Startdocument Roadmap Bodemenergie

In opdracht van RVO, project ISDE160043

Opleverdatum: 01 december 2016 (Engelstalige versie)

Vertaald: 23 maart 2017

Dr. Frank P.W. Agterberg MBA

Dit rapport is gebaseerd op de afstudeerscriptie van de auteur voor Executive Master of Business Administration aan TIAS School for Business and Society.

Inhoudsopgave

Management samenvatting	4
1 Inleiding	6
2 Theoretisch kader	8
2.1 Innovatie-adoptie	8
2.2 Het bouwen van een ‘innovatiesysteem’	10
3 Methodebeschrijving	12
4 Beschrijving van de sector en de techniek	14
4.1 Bodemenergie-technologie en toepassing	14
4.2 Strategische positie bodemenergie in het Nederlandse energiesysteem.....	15
4.3 De bodemenergie-sector	16
5 Marktsegmenten-analyse – ‘Where to play?’	19
5.1 De bodemenergie-markt	19
5.2 Kopers’ criteria analyse	21
5.2.1 Effect van gebouwfunctie: wonen en utiliteit.	22
5.2.2 Effect van utiliteits-gebouwgrootte	24
5.2.3 Effect van nieuwbouw of renovatie van bestaande bouw	25
5.2.4 Gebouwfunctie en locatie	26
5.2.5 Systeemeigenaarschap.....	27
5.3 Marktsegmenten	30
6 Strategische opties: structurele aantrekkelijkheid van marktsegmenten	32
6.1 Marktpotentieel van de segmenten	32
6.1.1 Utility segmenten	32
6.1.2 Woningensegmenten	33
6.1.3 Renovatie.....	34
6.1.4 WKO Systemmanagement markt: beheer & onderhoud en exploitatie	35
6.2 Externe ontwikkelingen en hun impact op de BE markt	36
6.2.1 Technologische trends	36
6.2.2 Politieke trends: nationale duurzaamheidsdoelen en -plannen	36
6.2.3 Legale aspecten	36
6.2.4 Andere externe elementen en trends	37
6.3 De management agenda voor marktsegmenten-groei	37
7 Het mobiliseren van het bodemenergie-marktpotentieel – analyse van het innovatiesysteem	39
7.1 Innovatiefuncties	39

7.2	Verwachtingsmanagement.....	41
7.3	Naar een sector agenda	42
8	Conclusies en aanbevelingen.....	49
	Appendix 1. Geselecteerde details van bodemsysteem-functionaliiteit	51
	Appendix 2. Data and data processing	54
	Appendix 3. PESTLE analyis.....	56
	Appendix 4. SWOT analysis	58
	Appendix 5. Competition and substitutes	60
	Appendix 6. Interviews	62
	Verwijzingen en noten	64

Management samenvatting

Bodemenergie (BE) heeft het potentieel om de Nederlandse energievoorziening te helpen verduurzamen en daarom kan en moet de bijdrage van Bodemenergie sterk groeien. De huidige groei op basis van ‘business-as-usual’ is te laag om de geambieerde doelstellingen te behalen. Groei betekent groei van de vraag naar bodemenergiesystemen (BES) in de vastgoedsector. Dit rapport heeft de markt voor bodemenergie onderzocht op basis waarvan, met kennis van de drivers van klanten, maatregelen voor vergroting van de vraag kunnen worden voorgesteld. Achterliggende vraag is de – enigszins academische vraag van - markt-diffusie van deze radicale innovatie.

De markt voor bodemenergie kent twee verschillende maar gerelateerde markten: de realisatie van nieuwe BES en onderhoud & beheer van bestaande systemen. In toenemende mate verleent de sector ook exploitatie van BES als dienst als ‘Energy Service Company’. Sommige bedrijven bieden een integraal pakket van ontwerp, aanleg, onderhoud en commercieel beheer. Zulk een integrale propositie is energetisch en financieel economisch het beste concept, vanwege het technisch geavanceerde concept en vanwege de noodzakelijke maar niet gemakkelijke inregeling van het bodem-systeem op het gebouw of proces.

De waardeketen waarbinnen de BE-sector opereert, loopt van ruimtelijke planning en locatie-ontwikkeling uiteindelijk naar de eindgebruiker die het binnenklimaat geniet. De daarmee complexe keten kent (dus) ‘split incentives’: niet alle klanten zijn geïnteresseerd in een integraal optimaal werkend BES omdat de investerende partij (meestal) niet de functionele noch de financiële rendementen geniet.

De bodemenergiemarkt is geschat op een volume van € 150-200 miljoen per jaar voor aanleg van nieuwe systemen en € 35-40 miljoen per jaar voor beheer en onderhoud. Vier marktsegmenten worden geïdentificeerd waarbij klantsegmenten zich onderscheiden op gebouw-functie – wonen of utiliteit – en eigenaarschap van het BES – eigen exploitatie en gebruik of verkoop en exploitatie voor en door derden. Eigenaars die het systeem zelf exploiteren en/of gebruiken investeren significant meer per oppervlakte- of capaciteit-eenheid. Weliswaar was dit gedacht in de markt, maar nog niet eerder onderzocht en gerapporteerd.

In utiliteit kent bodemenergie een marktaandeel van 20% van de nieuwbouwmarkt en in totaal heeft 3% van de bestaande utiliteit een BES voor klimaatvoorziening. De penetratie is zeer afhankelijk van de gebouwgrootte: bij grote utiliteit is het een standaard, kleine en middelgrote utiliteit zijn relatief onderbediend en aldaar is veel onbenutte potentie. In woningen kent bodemenergie een marktaandeel van nieuwe woningen van 2% in 2015 komend van 10% enkele jaren daarvoor en groeiend naar 5% in 2016. Ook hier veel onbenutte potentie, echter de trend is vooralsnog onduidelijk. Renovatie biedt, zowel in utiliteit als bij woningen veel potentieel en deze markt is groter dan de nieuwbouwmarkt. Het is aanbevolen om samen te gaan werken met de respectievelijke platforms, zoals woningbouwcorporaties en renovatieplatforms en -programma’s.

De marketingstrategie dient de drivers van de diverse klantsegmenten te respecteren: betaalbare investeringen met behoud van kwaliteit, ook bij beoogde verkoop en/of exploitatie voor en door derden. Dit vergt ook businessmodel innovaties voor het herverdelen van de gecreëerde waarde over de keten.

Het bodemenergie-innovatiesysteem is over de jaren opgebouwd en er is verdere gezamenlijke inspanning vereist van de diverse stakeholders om het innovatiesysteem te completeren. De marktverwachtingen zijn door een 'hype' gegaan in de jaren 2008-2011 en bevindt zich momenteel in of nabij de 'vallei van desillusie'. In het bijzonder is aandacht vereist voor facilitering van de financiering van de relatief grote voorinvestering in een BES, in kennisontwikkeling en -deling op basis van een strategische kennisagenda. Tot slot is verdere 'markt-creatie' nodig, geholpen door verdere afstemming op elkaar van wet- en regelgeving met het oog op groei en met balans naar bescherming van bodem en grondwater. De sector dient hiertoe de diverse stakeholders strategisch te managen op basis van de in principe uitstekende energetische, financiële en sociale waardepropositie.

1 Inleiding

Bodemenergie (BE) is een technologie voor duurzame verwarming en koeling van gebouwen en processen. De essentie is dat overtollige thermische energie seizoenmatig wordt opgeslagen in de ondergrond en worden opgehaald en hergebruikt als nodig. Zo wordt warmte opgeslagen in de zomer voor hergebruik in de winter en koude opgeslagen in de winter voor koeling in de zomer. BE is in Nederland op de markt geïntroduceerd rond 1990 en is dus een ‘enabler’ van een duurzame gebouwde omgeving doordat ‘gratis’ omgevingswarmte en -koude¹ wordt gebruikt waardoor gebruik van fossiele energie wordt verminderd.

De totale vraag naar thermische energie in Nederland bedraagt rond de 1.200 PJ en bedraagt daarmee ongeveer 40% van het totale energieverbruik van Nederland^{2,3}. Het grootste deel van de totale warmtevraag komt van de industrie (44%, grotendeels >100 °C), gevolgd door huishoudens (29%), utiliteit (20%) en landbouw (7%). Ruim 25% van de warmtevraag kan hernieuwbaar worden ingevuld³. Het is belangrijk om te zien dat de vraag naar laagwaardige warmte (< 100°C) aanzienlijk groter is dan de vraag naar hoogwaardige warmte (> 1.000°C): 62% oftewel ongeveer 750 PJ van de totale warmtevraag betreft laagwaardige warmte³ en deze kan worden geleverd door bodemenergie. De scope van dit onderzoek is ‘ondiepe bodemenergie’, te weten open warmte-koude opslag (WKO) en gesloten bodemwarmte wisselaar (BWW) systemen voor opslag en hergebruik van thermische energie in de bodem tot 500 meter diep.¹ In de levering van koude naast warmte is bodemenergie uniek! In Appendix 1 is het principe van de werking van een bodemenergiesysteem (BES) beschreven en hoe een BES leidt tot besparing van primaire energie.

Momenteel wordt 6% van de energie voor de gebouwde omgeving duurzaam opgewekt en daarvan wordt 8% geleverd middels BE. Er is dus veel ruimte voor groei. De groei van bodemenergie is van belang voor de nationale duurzame energiedoelstellingen. Deze zijn vastgelegd in het SER Energieakkoord (EA) voor duurzame energie⁴, de warmtevisie van het ministerie van Economische Zaken⁵ en zijn in lijn met de ambitie van de bodemenergiesector om bij te dragen aan verduurzaming van de energievoorziening.⁶ Invulling wordt gegeven aan opschaling van bodemenergie als onderdeel van de EA-categorie ‘overige hernieuwbare energie’ (OHE)⁷. Aan bodemenergie is in de uitwerking OHE een kwantitatieve doelstelling van 16 respectievelijk 21 PJ toebedeeld in het jaar 2020 respectievelijk 2023. Met een realisatie van 5,8 PJ (3,8 PJ aan warmte en 2,0 PJ aan koude) ultimo 2015⁸, is bodemenergie weliswaar gegroeid met gemiddeld ongeveer 0,5 PJ per jaar maar deze groei is onvoldoende voor de nationale doelstelling die een groei van gemiddeld 2 PJ per jaar vereist.

Bodemenergie is, in tegenstelling tot energie uit wind, zon en biomassa, veel minder bekend bij het grote publiek. De markt voor bodemenergie is tot op heden niet onderzocht vanuit een economisch perspectief behoudens incidentele rapportage van een systeem⁹ en bijvoorbeeld door de Rabobank, rapportierend over specifieke energetische prijzen¹⁰, terwijl er redelijk veel werk is gedaan aan technische aspecten^{11,12,13,14} en de performance van systemen¹⁵.

¹ Bodemenergie is een collectie van technieken voor opslag en hergebruik van thermische energie in de ondiepe bodem en het grondwater. Er zijn nog andere technieken voor thermische opslag, zie appendix 5.

Vergroting van bodemenergie behelst vergroting van markt-adoptie. Het devies is om de status van diffusie van bodemenergie-technologie te onderzoeken als basis voor bepaling van de marktpotentie. Dit rapport beschrijft de marktontwikkeling van bodemenergie in Nederland met als doel om strategische mogelijkheden voor groei te onderzoeken en de ‘knoppen’ om deze te mobiliseren. De onderzoeksvragen zijn:

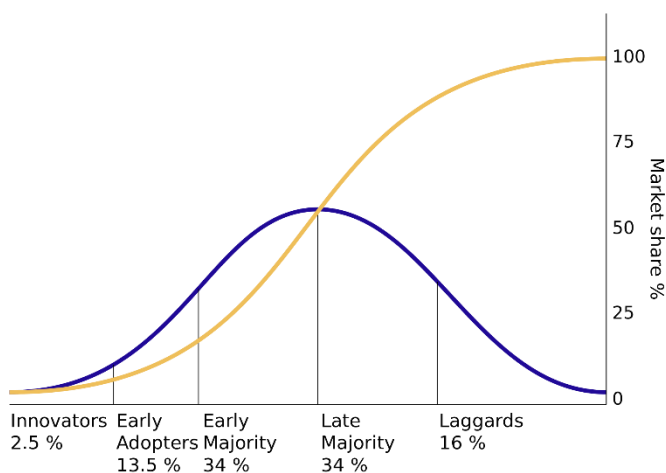
1. Welke markten worden momenteel bediend door de bodemenergie-sector en met welke propositie(s) in de vastgoed-waardeketen?
2. Wat zijn de marktsegmenten en wat zijn de overwegingen van (potentiele) klanten?
3. Hoe structureel aantrekkelijk zijn de marktsegmenten?
4. Hoe kan de marktpotentie worden gemobiliseerd voor groei?

De onderzoeksvragen worden elk beantwoord in een hoofdstuk. Hoofdstuk 4 introduceert BE-technologie en beschrijft de marktgrootte en proposities. Hoofdstuk 5 identificeert de marktsegmenten en de criteria van klanten voor hun aankoopbeslissingen. Dit helpt de sector zijn waardepropositie te heroverwegen. Hoofdstuk 6 bepaalt de ontwikkelstatus en potentie van de segmenten als basis voor hun structurele aantrekkelijkheid. Tot slot, in hoofdstuk 7, wordt de ontwikkeling van het bodemenergie-innovatiesysteem bepaald en worden specifieke maatregelen voor groei geconcludeerd. Een doelstelling is mede om de diverse stakeholders beter met elkaar te laten schakelen. De bevindingen zijn alle input voor een sectorale roadmap, aansluitend te ontwikkelen. De roadmap en uitvoering daarvan zal een onderdeel zijn van een ‘versnellingsactie’ die onlangs werd ge-co-initieert door de Nederlandse Vereniging Duurzame Energie (NVDE) en het ministerie van EZ.

2 Theoretisch kader

2.1 Innovatie-adoptie

De socioloog Everett Rogers bestudeerde de marktadoptie van innovatieve producten in de vroege jaren 60 van de vorige eeuw en zijn klassieke theorie wordt inmiddels wijd gebruikt om diffusie van innovaties te modelleren^{16,17,18}. Hij hanteerde een ‘people focus’ en een ‘product focus’. Van zijn people focus is de klassieke adoptiecurve afgeleid met de vijf categorieën adopters en waarbij het cumulatieve marktaandeel de typische ‘S-Curve’ vormt. Zie Figuur 1.



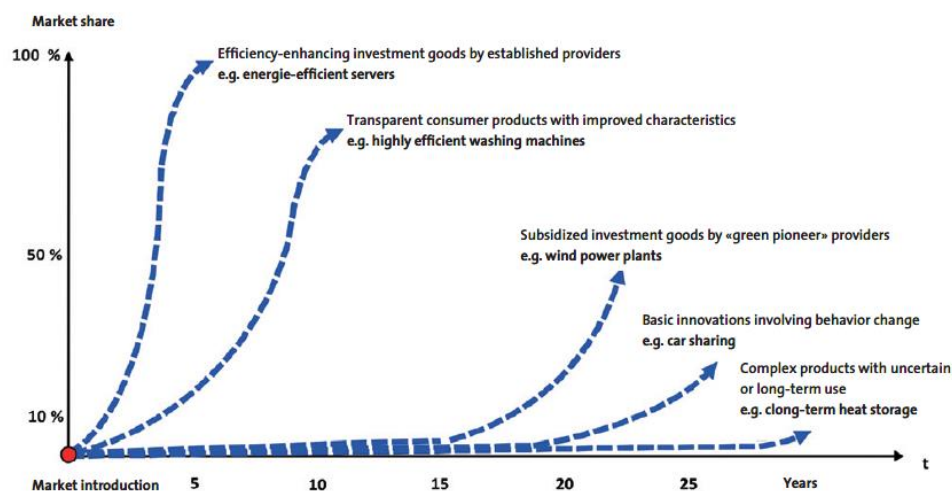
Figuur 1. Rogers' 'people focus' innovatie-adoptie curve.

In de regel is er een ‘kloof’ om te overbruggen bij de overgang van ‘early adopters’ naar de ‘early majority’, geïdentificeerd door Moore begin deze eeuw¹⁹. De meerderheid is veel kostengevoeliger en minder tot risico’s bereid.

Vijf beslisfactoren werden door Rogers geïdentificeerd in zijn product focus: het relatieve voordeel versus het te vervangen product; de compatibiliteit met bestaande warden en ervaringen; de complexiteit van het product qua begrip en gebruik; de mogelijkheid om te proberen en, tot slot, de zichtbaarheid bij en van anderen¹⁶. Latere studies hebben aangetoond dat Rogers’ adoptiecurve varieert met de aard van de innovatie: doorbraak-innovaties die technisch radicaal zijn behoeven een system-innovatie en vertonen complexe adoptieprofielen. Deze technologieën hebben (veel) meer tijd nodig om tot wasdom te komen^{20,21}. Nieuwe en meer Duurzame technologieën missen de productie-, distributie- en gebruikers-infrastructuur aan de aanbieders-kant²². Aan de vraagkant wordt een keten van adopters gebouwd welke het mogelijk moeten maken voor de eindgebruiker om aan de waarde propositie²³ te komen. Voor bestaande technologieën is dit al het geval en het vervangen van deze toegang door een nieuwe en meer Duurzame technologie kan rekenen op stevige weerstand, zowel passief vanuit een gebrek aan infrastructuur als actief vanuit de gevestigde belangen. Daarom noemde Mokyr innovaties ‘hopeful monstrosities’²⁴. Duurzame

innovaties verlangen het dat meerdere en verschillende actoren meerdere acties managen en gezamenlijk de waardeketen bedienen.

Duurzame (energie) technologieën kunnen disruptief²⁵ zijn. Christensen's disruptieve innovaties' theorie²⁵ leert dat een disruptieve innovatie zijn eigen niche zoekt en daarbij nieuwe klanten bedient die onconventionele aspecten waarderen. Op enig moment zal opschaling plaatsvinden om de 'mainstream market' te bedienen met een betere propositie tegen lagere kosten. Gevestigde bedrijven met 'oude technologie' kunnen mogelijk de figuurlijke boot missen daar zij het potentieel van de nieuwe technologie onderschatten en omdat bestaande klanten er niet om vragen. Fichter en Clausen²⁶ hebben zeven sleutelfactoren geconcludeerd en vijf typen van diffusiepaden in een studie van honderd innovatie-cases. Deze zeven factoren zijn: De markt van gevestigde aanbieders; politieke 'push en pull'; de invloed van pioniers; aankoop-overwegingen; compatibiliteit van routines; prijzen; en economische levensvatbaarheid inclusief de transparantie bij innovaties. De vijf typen van innovatie paden staan in Figuur 2 uit Ref. 20, terwijl BE letterlijk genoemd wordt als voorbeeld van 'complexe producten met een onzekere business case en welke soms decades behoeven voor doorbraak'. In energie-innovaties in transitie is dat geen ongebruikelijke duur²⁷.



Figuur 2. Vijf typen diffusiepaden voor verschillende innovatie-aard. Grafiek overgenomen uit referentie 20.

Gruber²⁷ herdefinieerde de blik op de vorm van de S-curve door te kijken naar "qualitative changes in the direction or speed of diffusion", bij "tipping points, such as market introduction of a product, reaching critical mass, bifurcation or multifurcation points, change of direction and abrupt changes in the trajectory and market exit of the product". Het succes van duurzame energie innovaties hebben heel veel tijd nodig, soms decaden! De achtereenvolgens te nemen stappen zijn: experimenteren en leren, gevolgd door opschaling "at the unit level" en "at the industry scale". Het laatste leidt in de regel tot kostenreductie hetgeen uitbreiding van de markt naar meer kostenbewuste klanten mogelijk maakt.

Bodemenergie is een radicale innovatie die aanpassing van de fysieke en regelgevende infrastructuur behoeft en ook verandering van gedrag, bijvoorbeeld ook elektrisch in plaats van op gas koken bij een ‘all electric’ woning. De diffusie van BE zal dus naar alle waarschijnlijkheid niet de Rogers’ adoptiecurve volgen maar wordt verwacht meer die van Fichter en Clausen’s ‘complex products with (...) long-term use’, zie figuur 2, te volgen. De dynamiek van technologie-adoptie met een ‘common-pool resource’ (CPR), zoals BE, ontmoeten nog additionele barrières: Duurzame exploitatie van een CPR loopt tegen natuurlijke limitering van gebruik en exploitatie aan omdat overexploitatie de bron kan uitputten²⁸. WKO’s gebruiken natuurlijke aquifers voor opslag en hergebruik van thermische energie. Hoewel BES het energiegebruik drastisch kunnen reduceren, zou overexploitatie van een aquifer bijvoorbeeld kunnen leiden tot interferentie tussen BES waardoor de efficiëntie afneemt. Boons *et al.* hebben geconcludeerd dat bedrijven meerdere waarde proposities moeten combineren in een meer geïntegreerde Organisatie binnen de waardeketen en op basis van een financieel model dat marktintroductie mogelijk maakt^{29,30}. Met CPR dient ook de niet-financiële waarde van de bron te worden meegenomen in de risicoanalyse; in de regel wordt hiervoor verantwoordelijkheid genomen door een publieke (overheids)partij. Voor WKO’s zijn dat de provincies als bevoegd gezag.

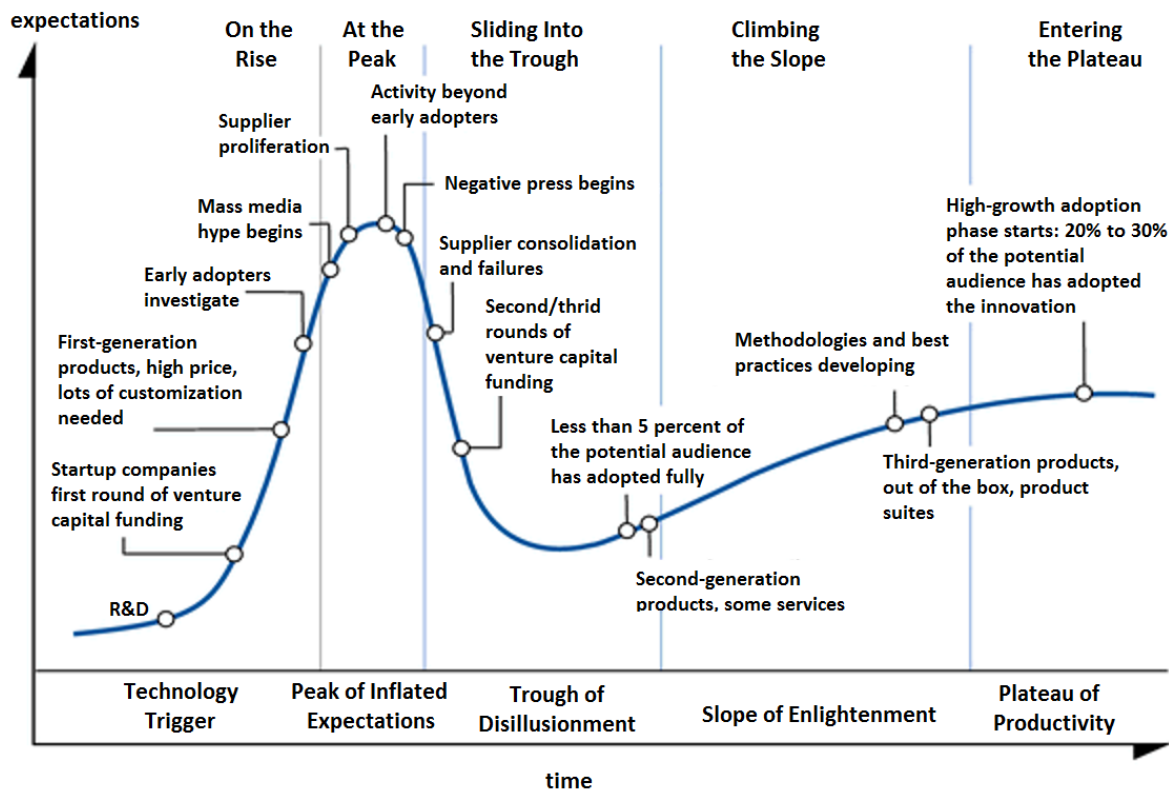
Bouwend op Rogers¹⁶ zeggen Fichter and Clausen²⁰, Grubler²² en Boons²⁹ dat diffusie van duurzame (energie) technologieën een langdurig en complex proces is dat vraagt om interactie tussen verschillende actoren en met verschillende belangen, om een omgeving te realiseren die uiteindelijk klaar is voor markt-diffusie.

2.2 Het bouwen van een ‘innovatiesysteem’

De BE-sector heft behoefte aan een praktische agenda voor groei, gebaseerd op de inzichten zoals hierboven beschreven. Hekkert et al.^{21,31} hebben de adoptie van Duurzame innovaties bestudeerd vanuit een ‘innovatiesysteem’ perspectief. Zij identificeerden zeven sleutelfuncties welke een ‘checklist’ vormen voor de mate waarin een technologie klaar is voor marktintroductie en -groei. Een innovatiesysteem is een dynamische samenwerking in kennis, onderwijs, ondernemerschap, financiering, wet- en regelgeving, consumptie en maatschappelijk debat. De zeven functies reflecteren deze aspecten: het experimenteren door ondernemers, kennisontwikkeling en -deling, het geven van richting aan het zoekproces, het mobiliseren van mensen en financiën, markt creatie en lobby³¹. Deze zeven functies worden gemobiliseerd door een viertal ‘innovatie-motoren’: de kennismotor, de ondernemersmotor, de systeembouw-motor en de marktmotor³¹. Als meerdere ‘motoren’ bijspringen en de andere blijven draaien wordt het innovatiesysteem steeds effectiever en kan de diffusiesnelheid gaan groeien. Het analyseren van de ontwikkeling van deze innovatie-motoren voor een specifieke technologieontwikkeling kan een praktische wijze zijn om de ‘readiness’ van de technologie te bepalen. Indicatoren zijn bv. het aantal activiteiten en/of actoren bij een van de functies.

Het verwachtingsniveau van een technologie bepaalt de ‘push’ van leveranciers en de ‘pull’ van de markt. De ‘hype cyclus’³² beschrijft de generieke ontwikkeling van de verwachting

welke in de regel over een piek van overspannen verwachting heen gaat gevolgd door het verlagen van de verwachting naar een realistisch niveau, maar wel tegen de prijs van ‘een dal van teleurstelling’. Vervolgens neemt de verwachting weer gradueel toe waarbij aanbod en vraag in verhouding zijn en op het ‘plateau’ is de technologie klaar voor de snelle groeifase – bij Rogers de overgang van ‘early adopters’ naar ‘early majority’. Zie Figuur 3.



Figuur 3. Schematische weergave van de hype cyclus. Overgenomen uit referentie 32.

Als de ontwikkeling van de zeven innovatiefuncties van Hekkert worden gesuperponeerd over de hype cyclus kan mogelijk een voorspelling worden gedaan over de timing van de groeifase. De theorieën van innovatie-diffusie zullen worden toegepast op de ontwikkeling van de bodemenergie-technologie en markt: bepaling van de status (plaats op de S-curve) en een strategische agenda (ingrediënten van een roadmap) om de hiaten in te vullen richting toekomstig succes van de sector binnen de vastgoed-keten^{33,34,35,36}. Hierbij zal inspiratie worden opgedaan uit de ‘Strategy logic’ van Laffley en Martin³⁷ en Porter³⁸ en McGrath³⁹.

3 Methodebeschrijving

De gebruikte onderzoeksmethode was desktop research, semigestructureerde interviews en kwalitatieve en kwantitatieve beschrijvende statistiek. Desktop research werd gebruikt om de benodigde marktdata te definiëren en te vinden in secundaire (literatuur) en primaire (bedrijven) bronnen. Secundaire statistische data werden uit verschillende bronnen betrokken. Algemene statistische data van CBS Statline⁸ ~~Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.~~ en haar jaarlijkse rapportage over Hernieuwbare energie⁴⁰ worden gebruikt vanwege de consistentie van de data en ondanks de relatief grote onbetrouwbaarheid, door CBS geschat op 25%. De CBS-cijfers onderscheiden functie (wonen en utiliteit) maar niet binnen het woningen-segment naar type huis. De data onderscheidt de twee typen bodemenergiesystemen: open WKO en gesloten BWW (termen worden in het volgende hoofdstuk uitgelegd) waarbij WKO-data gebaseerd zijn op vergunningsgegevens, geactualiseerd o.b.v. de verplichte rapportage van WKO-systemen; hierdoor zijn energie-gebruiken waarschijnlijk overschat. Data voor gesloten BWW-systemen zijn wellicht onderschat wegens gebrek aan registratie daar dit voor juli 2013 nog niet verplicht was en inmiddels ook nog niet goed functioneert. Verkoopstatistieken van bodemgebonden warmtepompen werden gebruikt, echter onderscheiden deze niet de toepassing in open en gesloten systemen. Bouwstatistieken van CBS⁸ gaan over nieuwbouw omdat sinds het jaar 2000 renovatie niet meer apart wordt gemonitord. In utiliteit wordt de gebouw-data gespecificeerd per functie. Voor renovatie data werd gebruik gemaakt van andere bronnen zoals Bouwend Nederland⁴¹, Bouwkennis⁴², De Ruiter⁴³ en, specifiek voor utiliteit Sipma⁴⁴ en Olthof⁴⁵.

Een kwalitatieve beschouwing van de markt is gebaseerd op tien semigestructureerde interviews met experts en business managers van bedrijven in de sector. In appendix 6 zijn de geïnterviewde bedrijven/personen weergegeven. Kwantitatieve data van bestaande BES en modeldata werden verkregen van geselecteerde bedrijven en welke kwantitatief worden geanalyseerd. Bij deze kwantitatieve analyse is het belangrijk om de scope goed in acht te nemen: welke systeemdelen en energiestromen worden meegenomen. Figuur 29 in Appendix 1 toont schematisch alle energiestromen inclusief verwarmings- en koelingsmodus, energie opgeslagen en hergebruikt uit de bodem, de primaire energie voor de bron- en warmtepompen, de totale nuttige energie uit de warmtepomp, piek- en regeneratievoorzieningen. De secundaire en primaire databronnen hebben verschillende scopes. Gepoogd werd om deze zoveel als mogelijk te detailleren en vergelijkbaar te maken; dit is niet helemaal gelukt wegens het ontbreken van details. In principe is als scope aangehouden de bron, bronpomp, warmtewisselaar (TSAⁱⁱ), warmtepomp en droge koeler en appendages tot aan het gebouwzijdige afgiftesysteem. Om data onderling te kunnen vergelijken zijn deze specifiek gemaakt: kosten per bruto vloeroppervlak (BVO) in €/m² en per vermogensseenheid (€/kW). Bij woningen is in aantallen gerekend daar deze onderling redelijk vergelijkbaar zijn qua grootte. Utiliteit verschilt enorm in grootte, dus daarin is consequent gerekend o.b.v. BVO. Aannames werden gemaakt waar specifieke data ontbrak. Voor utiliteit werd aangenomen een

ⁱⁱ TerugStroom Apparaat

specifiek energiegebruik van 50 W/m^2 voor verwarming en 60 W/m^2 voor koeling. Gebaseerd op primaire capaciteitsdata voor woningen werd € 811/kW gemiddeld aangehouden en voor utiliteit € 723/kW excl. btw gebaseerd op totaal nuttig vermogen van de warmtepomp.

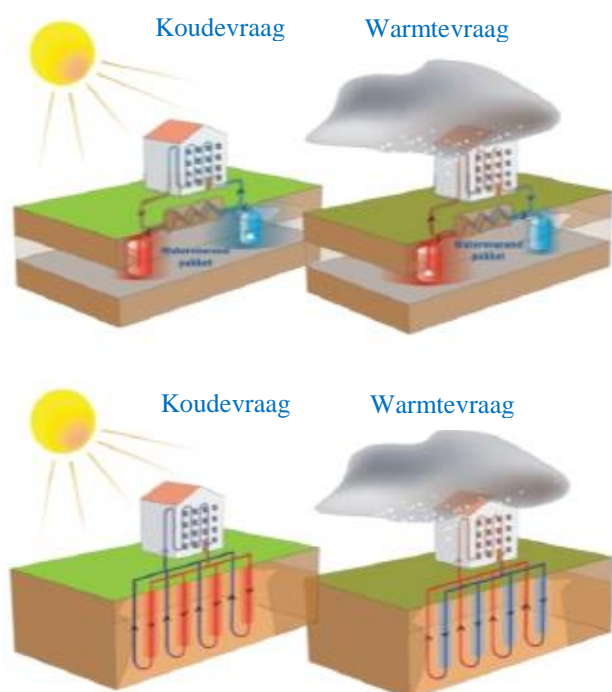
4 Beschrijving van de sector en de techniek

Dit hoofdstuk introduceert de BE-technologie en beschrijft de algemene omvang van de markt en het aanbod van de sector binnen de vastgoed-waardeketen alsmede de onderlinge verhoudingen van de vier sub-sectoren.

4.1 Bodemenergie-technologie en toepassing

BE is twee gerelateerde technieken om warmte en koude op te slaan in de ondiepe ondergrond (0-500 m diep) en te hergebruiken voor het verwarmen en koelen van gebouwen en processen. In de gebouwen is BE een onderdeel van de totale klimatisering (HVACⁱⁱⁱ). BE is een Hernieuwbare energiebron omdat primaire energie wordt vermeden door omgevingsenergie te benutten. Een unieke eigenschap en daarmee een belangrijk competitief voordeel van BE boven andere Duurzame energiebronnen is het vermogen om duurzaam te kunnen koelen. Het klimaat en de ondergrond in Nederland zijn bijzonder geschikt voor BE. Gematigde seizoenen en geschikte aquifers in de ondergrond met een goed isolerend vermogen, en voldoende doorlaatbaarheid en relatief lage grondwaterstroming.

Er zijn twee typen BES. Selectie hangt in eerste instantie af van de functie en de grootte van een gebouw of proces^{iv}. De twee typen zijn gesloten BodemWarmteWisselaars (BWW) en open Warmte-KoudeOpslag (WKO). Het werkingsprincipe is getoond in figuur 4.



Figuur 4. Schematisch werkprincipe van open WKO (boven) en gesloten BWW (onder)⁴⁶.

ⁱⁱⁱ Heating, Ventilation en AirConditioning.

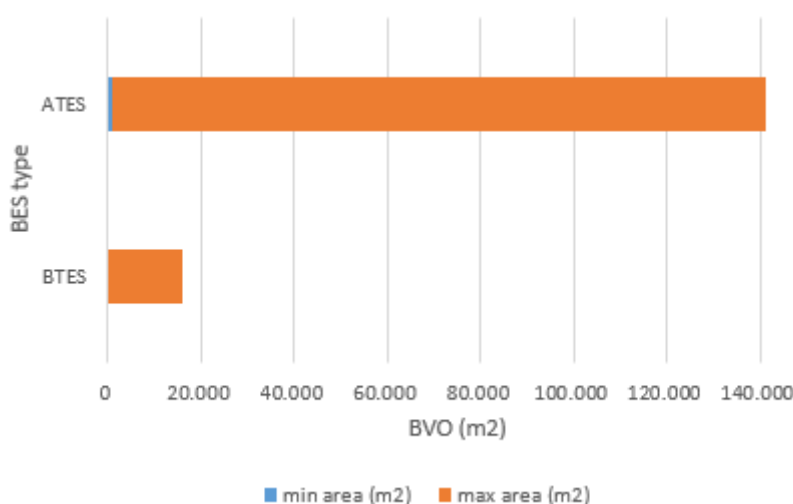
^{iv} Vanaf hier wordt over 'gebouw' gesproken maar dient 'gebouw of proces' te worden gelezen.

Het gebruik van bodemenergie betekent grondboren naar geschikte aquifers (WKO) of voldoende diepte voor uitwisseling van thermische energie (BWW). Hierbij worden scheidende lagen doorboord en aquifers zijn relatief kwetsbaar. Het aanleggen en benutten van bronnen vergt een goede omgang met grondwaterlagen en de ondergrond; bij onjuist handelen wordt efficiëntie gemist of, erger nog, kunnen ongelukken gebeuren met schade aan ondergrondse en bovengrondse infrastructuur⁴⁷.

BE-systemen kunnen worden ontworpen voor een zeer breed scala van capaciteiten van bijvoorbeeld een paar kilowatt (kW) voor een enkele woning tot multi megawatt (MW) voor grote gebouwen. De eerste en meest bepalende factor is van het gebouw verwarming en koeling van de behoeften die worden bepaald door de grootte en de functie(s). Dit leidt tot een keuze tussen een open WKO- of een gesloten BWW-systeem. BWW-toepassing begint bij ongeveer 80 m² voor een enkel grondgebonden huis en toepassing loopt momenteel tot 10-15.000 m² oppervlakte. BWW en WKO zijn beide geschikt voor oppervlakten variërend van 1.000-10.000 m², hoewel in het algemeen de WKO-businesscase slecht is tot 10.000 m² volgens de geïnterviewden. WKO-toepassing wordt uitgevoerd tot meer dan 150.000 m².

Figuur 5 toont de werkelijke gegevens van de onderzochte systemen.

De techniek van BE is dus technisch in staat om vrijwel alle gebouwen voor alle doeleinden te bedienen, variërend van een enkele woning tot zeer grote multifunctionele utiliteit. De laatste is bijvoorbeeld een winkelcentrum met residentiële en recreatiefaciliteiten. De scheiding tussen woon- en professionele functies scheidt de markt in twee delen. Globaal gezien, zijn huizen en kleine hulpprogramma bereikbaar via BWW, grotere wooncomplexen en grotere utiliteit middels WKO.



Figuur 5. Systeem type versus oppervlak. N=43, alle onderzochte systemen.

4.2 Strategische positie bodemenergie in het Nederlandse energiesysteem

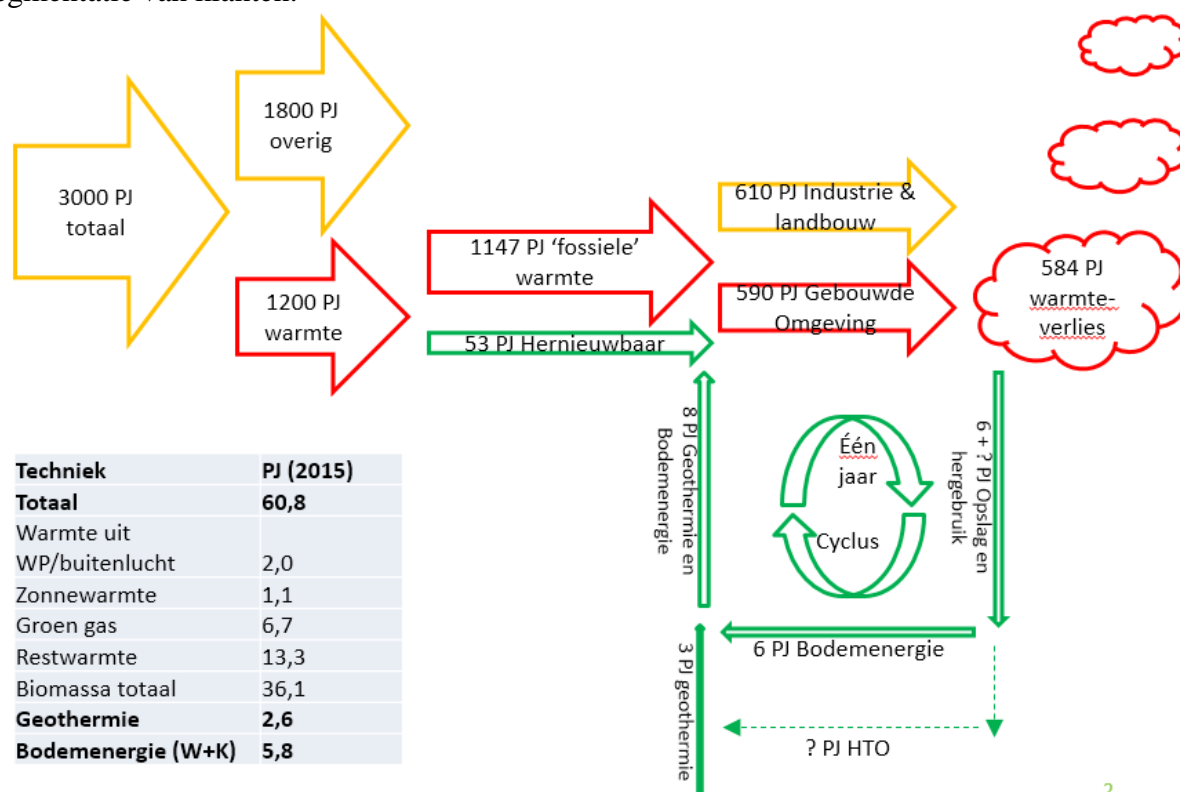
Vanuit een maatschappelijk perspectief draagt BE bij aan een duurzame gebouwde omgeving (Figuur 6). De totale vraag naar warmte in Nederland bedraagt 1.200 PJ hetgeen 40% van het

totale energiegebruik is^{48,49}. Een groot deel van de warmtevraag bevindt zich in de industrie (44%, >>100 °C), gevolgd door huishoudens (29%), utiliteit (20%) en land- en tuinbouw (7%). De vraag naar lage-temperatuur warmte, ≤ 100°C, is groter dan die naar hoge-temperatuur warmte (temperatuur, > 1.000°C: 62% of 750 PJ van de totale warmtevraag is 'laagwaardig'³ en zou duurzaam kunnen worden geleverd, bijvoorbeeld middels BE.

Vanuit het oogpunt van klimaat (verandering) vermindert BE de CO₂-uitstoot wegens de vermindering van het gebruik van primaire energie uit fossiele energiebronnen⁵⁰. Wanneer duurzame elektriciteit wordt gebruikt voor het aandrijven van de bron- en warmtepompen, wordt alle broeikasgassen uitstoot vermeden en is de klimaat-voetafdruk gelimiteerd tot de realisatie, het onderhoud en end-of-life aspecten. De levensverwachting van een BE-systeem is over het algemeen meer dan dertig jaar, twee- tot driemaal die van conventionele en andere hernieuwbare energiesystemen.

4.3 De bodemenergie-sector

De sector BE implementeert en onderhoudt BES voor klimaatregeling in gebouwen. De BE-markt bestaat uit twee verschillende maar gerelateerde markten. Aan de ene kant is er de markt voor levering van nieuwe BES, d.w.z. de ontwerpen, de bouw en de financiering van nieuwe systemen. Aan de andere kant is er het onderhoud van BES tijdens de werking. De twee markten bestaan uit meerdere dimensies die zijn geïdentificeerd als een basis voor segmentatie van klanten.

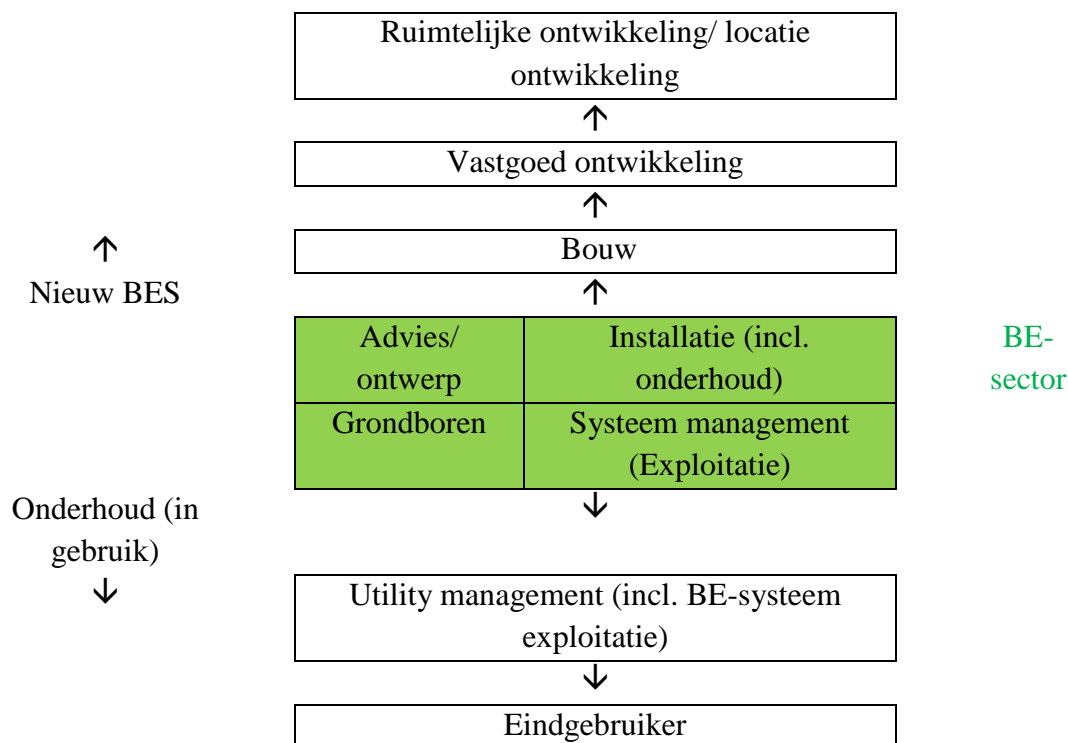


Figuur 6. Conceptuele bijdrage van BE aan de Nederlandse (duurzame) warmtevoorziening.

Een BE-systeem levert warmte en koeling als het 'product', dat wordt genoten door de eindgebruiker. De omvang van het systeem is afhankelijk van de specifieke functie, de intensiteit van gebruik en fysieke parameters zoals isolatiewaarde en warmtelast van bijvoorbeeld zonlicht, computers en mensen. In de meeste gevallen is de klant van BE niet de eindgebruiker, wat leidt tot 'split incentives' in de waardeketen.

BE acteert in de vastgoed-waardeketen welke loop van ruimtelijke planning (RO) en locatie-ontwikkeling als de overall driver van vastgoedontwikkeling naar 'consumptie' van een comfortabel binnenklimaat door de eindgebruiker. Deze complexe waardeketen introduceert 'split incentives' omdat investerende partijen niet noodzakelijkerwijze ook profiteren van de investering. Vanuit duurzaamheidsperspectief is het verwarmen en koelen van een gebouw een belangrijk aspect van duurzaamheid; vanuit de traditionele bouwsector is het slechts een klein deel van het vastgoedproject. Er zijn echter meer vooruitstrevende architecten die wel expliciet richten op duurzame gebouwen⁵¹, zie bijvoorbeeld ook het tiny houses⁵² concept.

De BE-sector levert diensten aan de vastgoedsector bij de realisatie van een nieuw BES. De sector levert ook onderhoud en beheer van BES aan de gebouweigenaar – of het daarvanuit gedelegeerde facilitymanagement. De energetische en financieel-economische performance van een BES hangt sterk af van de kwaliteit van het design, de installatie en de besturing. De BE-sector levert middels haar vier sub-sectoren, schematisch weergegeven binnen de vastgoed-waardeketen in figuur 7, gebaseerd op interviews en geïnspireerd door Kuipers⁵³.



Figuur 7. Schematische weergave van de BE-positie in de vastgoed-keten.

De adviseur/ontwerper en de installateur worden in de regel ingehuurd door de projectontwikkelaar. De grondboorder wordt op zijn beurt ingehuurd door de installateur. De respectievelijke onderhandelingsposities variëren dus en zijn van elkaar afhankelijk. De winstgevendheid van de boorder, bijvoorbeeld, hangt af van de winstgevendheid van de installateur. Bij lage marges is weinig ruimte voor flexibiliteit en worden technische en business risico's soms niet afdoende afgedekt en dit kan leiden tot kwaliteitsissues.

Dit hoofdstuk heeft aangetoond dat de ondergrondse thermische energieopslag een 'enabler' is voor de verduurzaming van de Nederlandse energievoorziening voor gebouwen en processen waarvoor lage temperatuur verwarming geschikt is. De twee soorten systemen, gesloten BWW en open WKO, kunnen technisch het hele scala van kleine tot extreem grote gebouwen bedienen. De BE-sector bestaat uit vier subsectoren – advies/ontwerp, boren, installatie en systeembeheer - die samen voorzien de vastgoed waardeketen voorzien van nieuwe BES en van onderhoud van bestaande systemen, twee verschillende maar gerelateerde markten.

5 Marktsegmenten-analyse – ‘Where to play?’

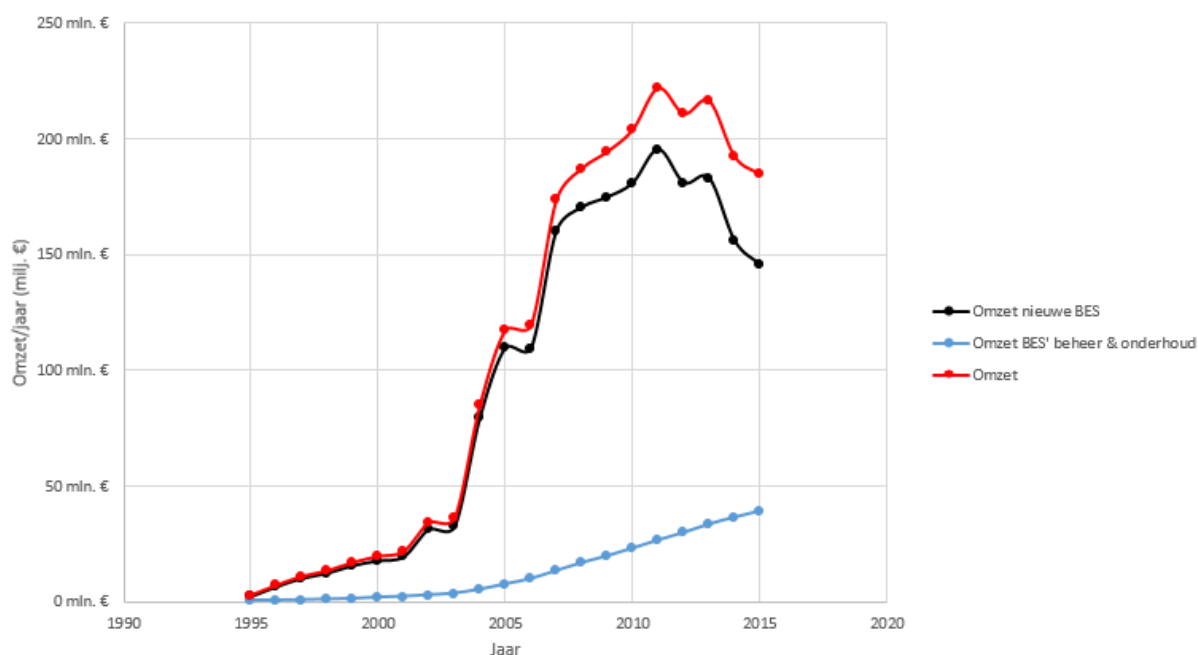
Dit hoofdstuk onderzoekt de segmenten van de markt voor bodemenergie en de criteria waarop klanten hun aankoopbeslissingen voor nieuwe bodemenergie-systemen baseren. Het hoofdstuk is gericht op economische factoren, met inbegrip van aanschafkosten en eigenaarschap van het bodemenergie-systeem. Twee factoren waarvan wordt verwacht dat ze mede de investeringskeuzes bepalen. Dergelijk onderzoek is niet eerder gebeurd.

5.1 De bodemenergie-markt

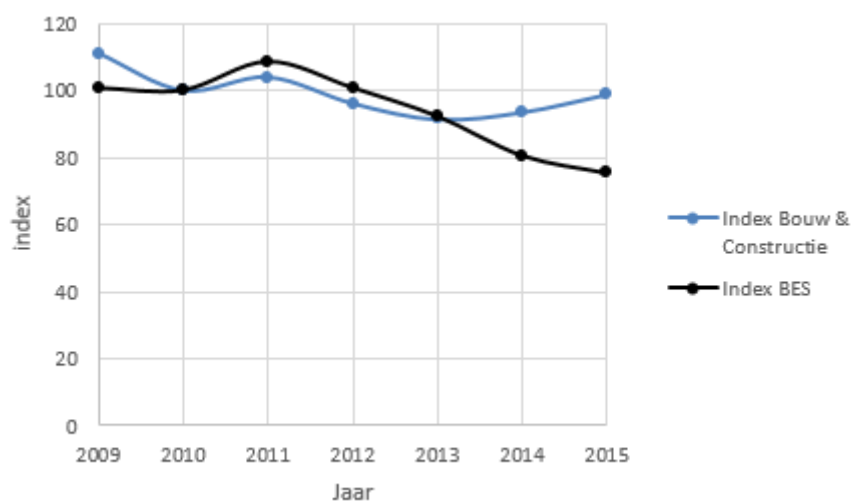
De technologie en kennis van BE-systemen zijn ontwikkeld in het laatste kwart van de vorige eeuw. Begin van de negentiger jaren van de vorige eeuw werd het in de markt geïntroduceerd. BE was een radicale innovatie voor gevestigde technologie – gasgestookte CV’s en elektrische airconditioning. De features van bodemenergie bieden, naast verwarming en koeling, ook aanvullende voordelen zoals CO₂-emissiereductie en vormt daarmee een ‘meervoudige’ businesscase⁵⁴.

De markt voor nieuwe BES is geschat op € 150-200 miljoen per jaar, gebaseerd op de gemiddelde investeringskosten per kW en de toename van geïnstalleerde capaciteit. De markt van BES’ onderhoud bedraagt zo’n € 35-40 miljoen per jaar gebaseerd op de gemiddelde onderhoudskosten per gesloten BWW-systeem (€ 100-500 per systeem per jaar) en per utiliteitsoppoervlak (€ 2,3 per m² per jaar). De onderhoudsmarkt groeit per definitie met toenemend aantal systemen in gebruik. Sommige BES-eigenaren worden verleid tot bezuiniging vanuit financiële drijfveren of vanuit onwetendheid. De ontwikkeling van de sectoromzet wordt in Figuur 8 getoond.

De ontwikkeling van de sectoromzet laat een ‘S-curve’ profiel zien. De marktgrootte laat een sterke groei zien in de periode 2003-2011, gevolgd door een gematigde krimp van gemiddeld 4% per jaar over de laatste vijf jaar. Bepalend voor de vraag naar nieuwe BES zijn de activiteiten van de bouw en de economische status van de bouw hangt op zijn beurt weer af van het macro-economische klimaat. Figuur 9 laat de relatieve ontwikkeling van de bouw en van BE zien; het is evident dat vanaf 2013 de correlatie daartussen verandert: bouw groeit terwijl BE verder gaat met de krimp. Een indicatie van onvolwassenheid van de technologie en de markt van BE. Er kan op basis hiervan, nog niet worden geconcludeerd of de markt (nog) voor haar volwassenheid staat of er al overeen is. En wat de status en rol is van concurrerende (duurzame) technieken; de omzetontwikkeling van de laatste zijn buiten de scope van dit onderzoek maar zouden mogelijk wel iets kunnen zeggen over de non-correlatie tussen bouw en BE sinds 2013.



Figuur 8. BE-marktontwikkeling.

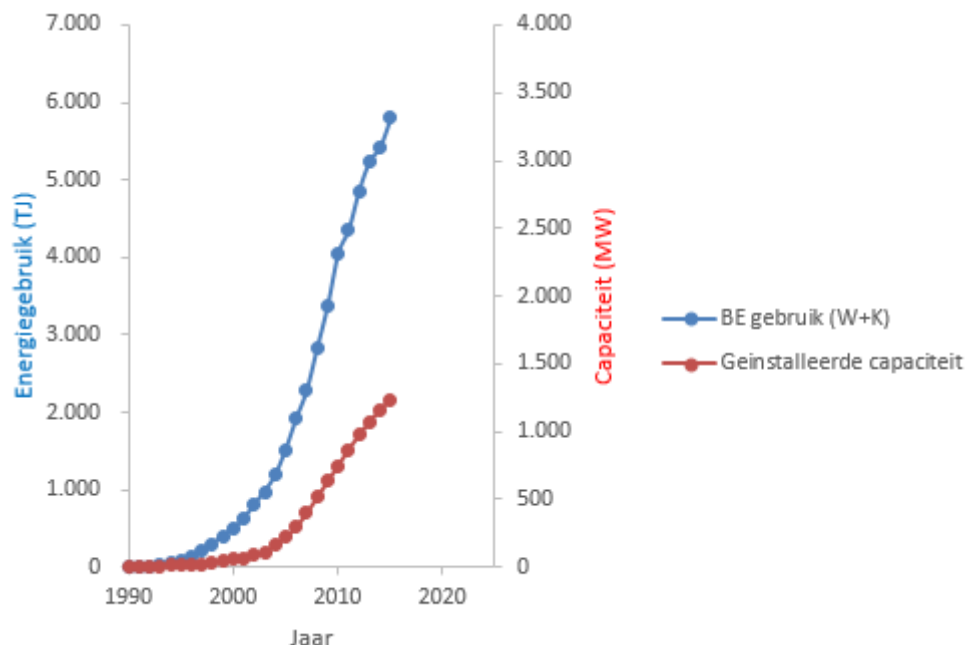


Figuur 9. Vergelijking van de algemene economische trend van bouw en van de BE-sector. 2010 = index 100.

De lage en variërende groei van BE zijn niet per sé verontrustend zoals aangetoond door Fichter en Clausen^{20,26}. Zulke radicale innovaties kunnen decades nodig hebben om het punt van grote marktpenetratie te bereiken. Zie Figuur 2 van sectie 2.1.

BE-energiegebruik en de onderliggende capaciteit worden gemonitord door het CBS⁸. Er is een, niet onverwachte maar eveneens nog niet aangetoonde lineaire correlatie tussen capaciteit en energiegebruik (Appendix 2). De geïnstalleerde capaciteit is uitgedrukt als de

capaciteit van de warmtepomp (de gecombineerde capaciteit uit de bodem en de primaire energie voor de warmtepomp. Zie Appendix 1 voor details.



Figuur 10. Totale BE-energiegebruik (TJ) en geïnstalleerde capaciteit (MW_{th}^v).

Evenals de omzet toont de chronologische ontwikkeling van energiegebruik en capaciteit een 'S-Curve profiel': volgend op een periode van snelle groei in de periode 2003-2012, neemt de groei af sinds 2013. Betekent dat dat de markt inderdaad volwassenheid nadert? Zo ja, is BE dan een permanente niche en niet een mainstream marktproduct? Of is de vertraging een indicatie van het naderen van de innovatie-kloof⁵⁵ tussen de 'early adopters' and de 'early majority'. Dit is onderdeel van het vervolg van dit onderzoek.

5.2 Kopers' criteria analyse

De geïnterviewden hebben aangegeven welke parameters in hun ogen een aankoopbeslissing over een BES beïnvloeden. Dit onderzoek beschouwt deze parameters vanuit de waarde toevoeging. Bodemenergie wordt in de markt beschouwt als een relatief dure investering ten opzichte van alternatieve opties en daarom is onderzoek naar de drijfveren opportuun. De in de sector actieve bedrijven kennen natuurlijk kun respectievelijke eigen business cases; echter ontbreekt op sectorniveau het overzicht en daarom is er geen eensluidendheid over de oorzaak van en oplossing voor de te langzame groei.

Elk individueel BE-systeem is maatwerk voor zijn specifieke applicatie. De eisen van een gebouw of proces verschilt vanwege functie en locatie en vanwege de financiële

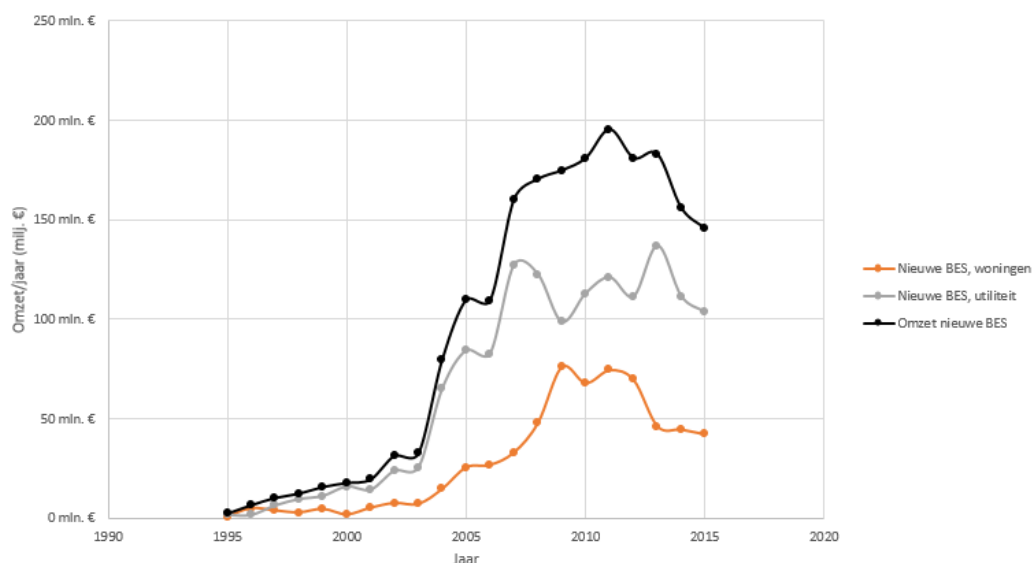
^v MW_{th} is het thermisch vermogen in megawatt.

(on)mogelijkheden van de eigenaar. Een BES is (nog) geen commodity en dat zal het, naar de verwachting van enkele geïnterviewden in de branche, nooit worden. De parameters in beeld, zijn:

- **Gebouwfunctie:** wonen of utiliteit. De twee sectoren hebben een verschillende warmte- en koudevraag en andere business cases. Waar woningen relatief goed zijn te vergelijken heeft binnen utiliteit de specifieke functie van een gebouw een grote invloed.
- **Grootte:** Ten eerste bepaalt de grootte van een gebouw de keuze voor een open WKO of een gesloten BWW-systeem. Het totaal aantal systemen in Nederland ultimo 2015 is geschat op ruim 47.000 waarvan zo'n 2.000 WKO en ruim 45.000 BWW. De keuze voor een open of een gesloten systeem is een zuiver technische vraag die bepaald wordt door grootte en (on)balans van de warmte en koudevraag. Deze factor wordt dus genegeerd als keuzeparameter. Wel wordt grootte beschouwd als parameter in de hoogte van de investering.
- **Nieuwbouw of renovatie:** in nieuwbouw is het relatief makkelijker om een systeem integraal aan te passen aan het gebouw op basis van de laatste stand der techniek. Renovatie vraagt om een fundamentele keuze van de mate van ingrijpendheid: wordt een geheel nieuw klimaatstelsel aangelegd of worden delen van het oude systeem gehandhaafd?
- **Eigenaarschap van het systeem:** vanwege in de sector gehoorde klachten over opdrachtgevers die beknibben op de investering en daarmee op de kwaliteit van een systeem werd verwacht dat eigenaarschap van het systeem een significante factor is. Onderzocht werd of een opdrachtgever met direct belang bij de performance van een BES andere keuzes maakt dan een opdrachtgever die beoogt het gebouw/systeem te verkopen of te laten exploiteren door en voor derden.

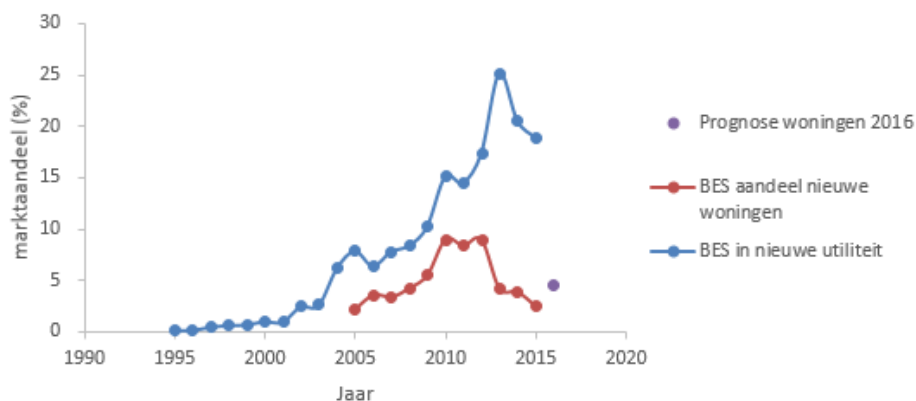
5.2.1 Effect van gebouwfunctie: wonen en utiliteit.

Bijna 10.000 BES zijn in utiliteit en ruim 37.000 in woningen. Figuur 11 toont detaillering van de omzet in nieuwe BES uit Figuur 8 voor deze beide segmenten.



Figuur 11. Omzet in nieuwe BES voor woningen respectievelijk utiliteit.

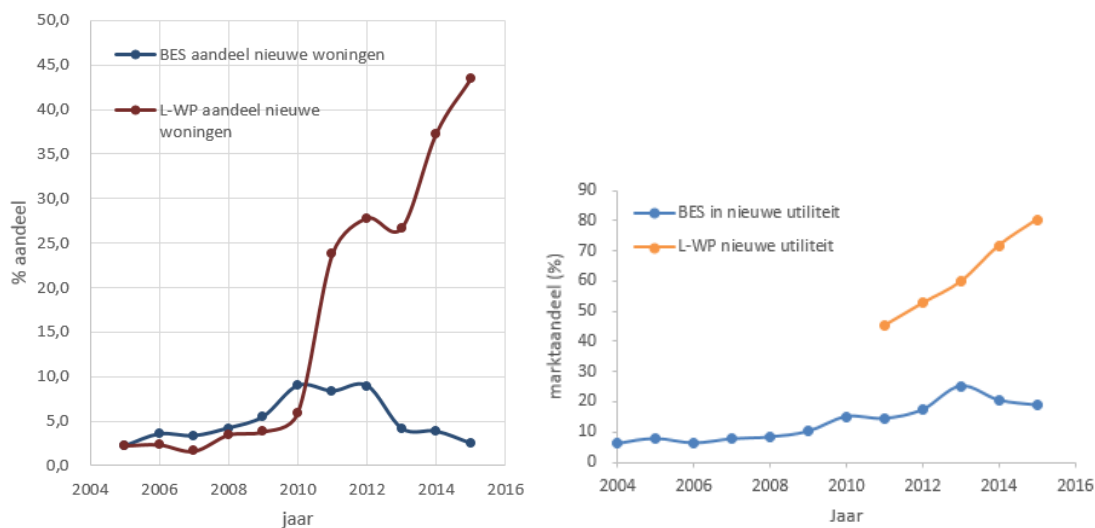
Deze absolute getallen reflecteren vanzelfsprekend ook macroeconomische ontwikkelingen zoals het effect van de 2008 (bouw)crisis. De vijfjaargemiddelde groei is -8% per jaar voor woningen en ongeveer 0% voor utiliteit, samen een geringe marktdaling van -4% opleverend. Figuur 12 toont de respectievelijke marktaandelen voor nieuwbouw; voor woningen in aantallen daar dit segment redelijk vergelijkbaar is; voor utiliteit o.b.v. Bruto VloerOppervlak (BVO) vanwege de grote variatie in BVO van verschillende gebouwen.



Figuur 12. Marktaandeel BE in nieuwe utiliteitsbouw en woningen.

Een marktaandeel-analyse elimineert het macro-economische effect, zie Figuur 12. Zowel de utiliteit als de woningmarkt laten een graduele groei zien tot 2012 waarna de huizenmarkt een duik nam welke zich continueert tot in 2015. Een prognose voor 2016 op basis van data uit de ISDE-subsidieregeling en non-publieke data voor grondgebonden warmtepompen laat voor het eerst in jaren weer groei zien.^{56,57} Utiliteit liet groei zien t/m 2013 waarna '14 en '15 een krimp van het marktaandeel toonden. Het is nog onduidelijk waarheen de langere termijn trend gaat.

Kijkend naar het marktaandeel van substituu-technieken is evident dat de recente sterke groei van lucht-water en lucht-lucht warmtepompen (L-WP) zowel in de woningbouw als in utiliteitsbouw mede leidden tot de druk op het marktaandeel van BE, zie Figuur 13.

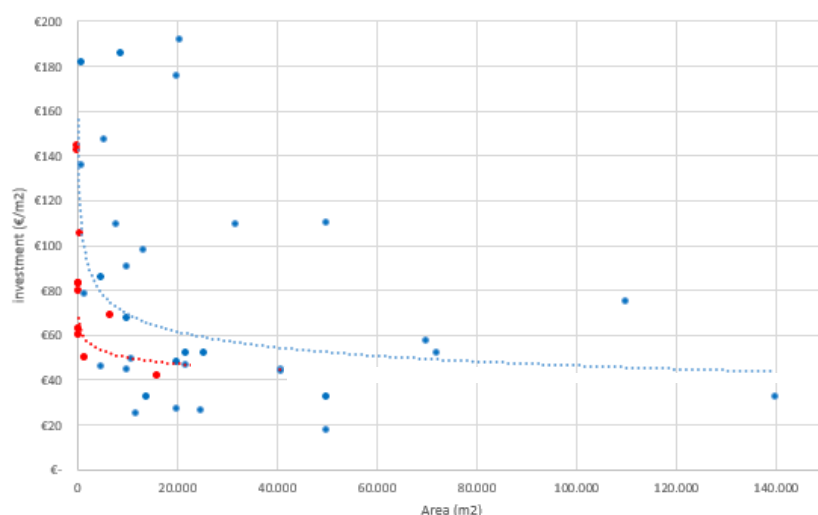


Figuur 13. Marktaandeel van BE vs L-WP.

Het aantal woningen en het BVO in utiliteit dat wordt geklimatiseerd door BE in figuren 12 en 13 is toegerekend aan *nieuwbouw*. De installatie van BE en L-WP gebeurt eveneens in renovaties en deze zitten ook in de cijfers, vandaar het foutieve aandeel van tegen de 100% berekend voor L-WP in utiliteit. De verhouding van BE en L-WP is echter actueel en toont de sterke competitie en indiceert een disruptie²⁵ van de BE-markt door lucht-warmtepompen. Daarentegen verwacht Van Tilburg (Ecofys)⁵⁸ dat de verhouding op de lange termijn 50/50 zal zijn omdat bodemgebonden warmtepompen de voorkeur hebben vanuit een energetisch en klimaat-technisch perspectief en zullen worden aangelegd waar bodem-technisch mogelijk en in ieder geval is de prognose voor BE in woningen in 2016 is veel beter dan 2015 wegens de start van de ISDE-subsidieregeling met ook een categorie bodem.⁵⁶ Paragraaf 6.1.2 beschrijft een Qualitative Comparative Analysis⁵⁹ tussen concurrerende warmtetechnieken en welke de bovenstaande observatie onderschrijft.

5.2.2 Effect van utiliteits-gebouwgrootte

Figuur 14 toont de relatieve investering per m² BVO voor de onderzocht BES; vanwege de onvermijdelijke systeemscope variaties^{vi} zitten er noodzakelijkerwijze discrepanties in de vergelijking.



Figuur 14. BES investeringen per BVO; BWW in rood, WKO in blauw. Steekproef is 43 (alle systemen).

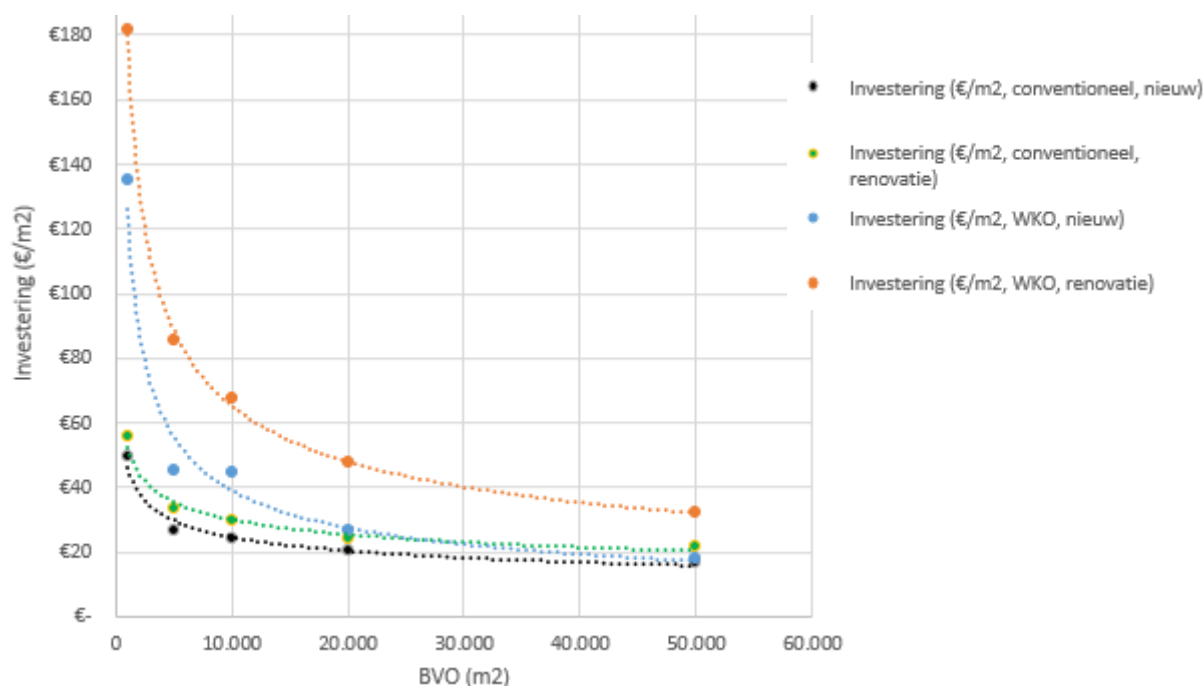
Overall dalen de relatieve investeringen geleidelijk met toenemend BVO. Gesloten BWW worden geprefereerd bij kleine oppervlakken; bij een te groot te bedienen oppervlak schieten gesloten systemen te kort in de hoeveelheid te leveren (verwarmen) of onttrekken (koelen) thermische energie. De relatief grote variatie, dus non-correlatie, tussen specifieke investering en BVO bij kleine oppervlakken kan niet alleen worden verklaard uit scope-variaties. De non-correlatie wordt mogelijk verklaard door de som van andere factoren zoals geografische locatie (bodemvariatie), gebouwfunctie en/of andere winstmarges.

^{vi} Zie hoofdstuk 3 voor details; tenminste de bron, ondergrondse installaties en TSA zijn inclusief. ; soms zijn de warmtepomp, en in een enkel geval ook de piek-voorziening is inclusief.

5.2.3 Effect van nieuwbouw of renovatie van bestaande bouw

Een ander aspect is of het BES wordt geïnstalleerd in nieuwbouw of in bestaande bouw (renovatie). In nieuwbouw betreft het een gebouw dat aan de modernste en dus strengste eisen van energieprestatie (EPC) voldoet en welk een geheel nieuw afgiftesysteem volgens de nieuwste HVAC-technologie betreft. Bij renovatie van bestaande bouw zal ook investering nodig zijn in verbetering van de schil en/of in aanpassing van het BES aan een bestaand afgiftesysteem. In tegenstelling tot bv. bio-pelletkachels behoeft een bodembebonden warmtepomp een lage-temperatuur afgiftesysteem zoals vloer-, wand en/of plafondverwarming in plaats van conventionele hoge-temperatuur-radiatoren danwel een hoge-temperatuur warmtepomp als de radiatoren worden behouden. Renovatie van bestaande gebouwen is een belangrijk onderdeel van de energietransitie en daarmee een heel interessante en grote markt omdat 80% van de beoogd energie-neutrale gebouwen van 2050 momenteel reeds bestaan.^{60,61}

In een data-subset worden investeringen voor verschillende gebouwgroottes en renovatiegraad van overheidskantoren systematisch vergeleken.⁶² In eerste instantie bevestigd dit onderzoek de afnemende relatieve investering bij toenemende gebouwgroote en dat renovatie structureel duurder is dan nieuwbouw van het klimaatsysteem.



Figuur 15. Investering voor nieuwbouw en renovatie van WKO vergeleken met conventionele klimaattechniek (gasgestookte CV en elektrische airconditioning. Steekproef is 20 modelberekeningen uit een totale inventarisatie van overheidsgebouwen met een BES.⁶²

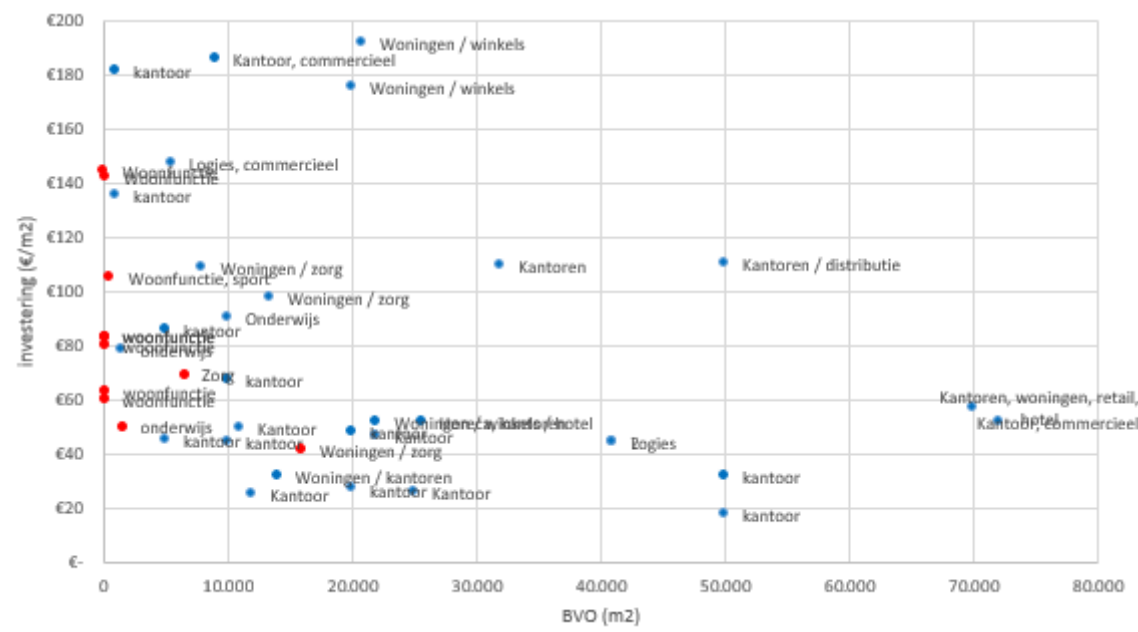
Alleen bij zeer grote BVO's (> 30.000 m²) komen relatieve investeringen van nieuwbouw BES in de buurt van conventionele technologie en pas >> 50.000 m² komt de relatieve investering van renovatie in de buurt van nieuwbouw en conventioneel. De business case voor

WKO zit echter in de variabele kosten (zie paragraaf 5.2.5), daarom is een BES vanuit een integrale kosten oogpunt vaak de beste optie. Investeringsbesluiten worden vaak gebaseerd op de (hoge) vaste (kapitaals-)lasten in plaats van op de integrale kosten.

Momenteel wordt het merendeel van de BES aangelegd in nieuwbouw. Het aantal concrete renovatieprojecten in dit onderzoek is te klein voor conclusies over marktaandeelen. De geïnterviewden geven aan dat renovatie tot een kwart van de totale markt bedraagt.

5.2.4 Gebouwfunctie en locatie

Twee volgende dimensies om te onderzoeken op hun effect op investeringshoogte zijn de functie van het gebouw en de geografische locatie. De laatste heeft effect wegens de lokaal verschillende bodemopbouw en daarmee het effect op het grondwater. De benutting en bezetting van een gebouw hebben grote invloed op de warmte- en koudebehoefte, bijvoorbeeld heeft een 24/7-bedreven ziekenhuis een grotere warmtevraag dan gemiddeld en heeft een datacentrum vrijwel alleen maar een (grote) koudevraag. Figuur 16 toont de relatie tussen gebouwfunctie en investering in het BES als functie van de gebouw grootte.



Figuur 16. Relatieve investering in het BES (€/m²) met aangegeven de gebouwfunctie; BWB in rood, WKO in blauw. Steekproef is 43 (alle systemen).

In eerste instantie laat de figuur de voorkeur voor gesloten BWB zien bij een relatief klein BVO en voor open WKO's bij grotere BVO; dit is logisch gezien de geringe koudevraag bij kleine oppervlakken hetgeen zou leiden tot onbalans in een open WKO-systeem. Voorts lijkt er geen evidente correlatie met gebouwfunctie te zijn en lijken de gebouwfuncties random te zijn verspreid in de grafiek. Een disclaimer is wel dat in sommige gebouwfuncties het aantal steekproeven gering is en dus geen statistisch verantwoorde conclusies mogelijk zijn.

Geografie heeft invloed op de investering⁶³. Bijvoorbeeld is volgens geïnterviewden een WKO-systeem in Zuid Holland duurder dan in de rest van Nederland wegens de dunne en

vaak ook verzilte aquifers. De variatie in geografie van het aantal onderzochte specifieke systemen is zeer beperkt waardoor geen statistisch verantwoorde conclusies kunnen worden getrokken. De locatie is echter in de markt vaak een gegeven en daarmee geen vrijheidsgraad noch een beslissingscriterium. Op strategisch niveau is het ‘laag-hangend fruit’ om het aantal BES in relatief goedkope gebieden als eerste te mobiliseren.

5.2.5 Systeemeigenaarschap

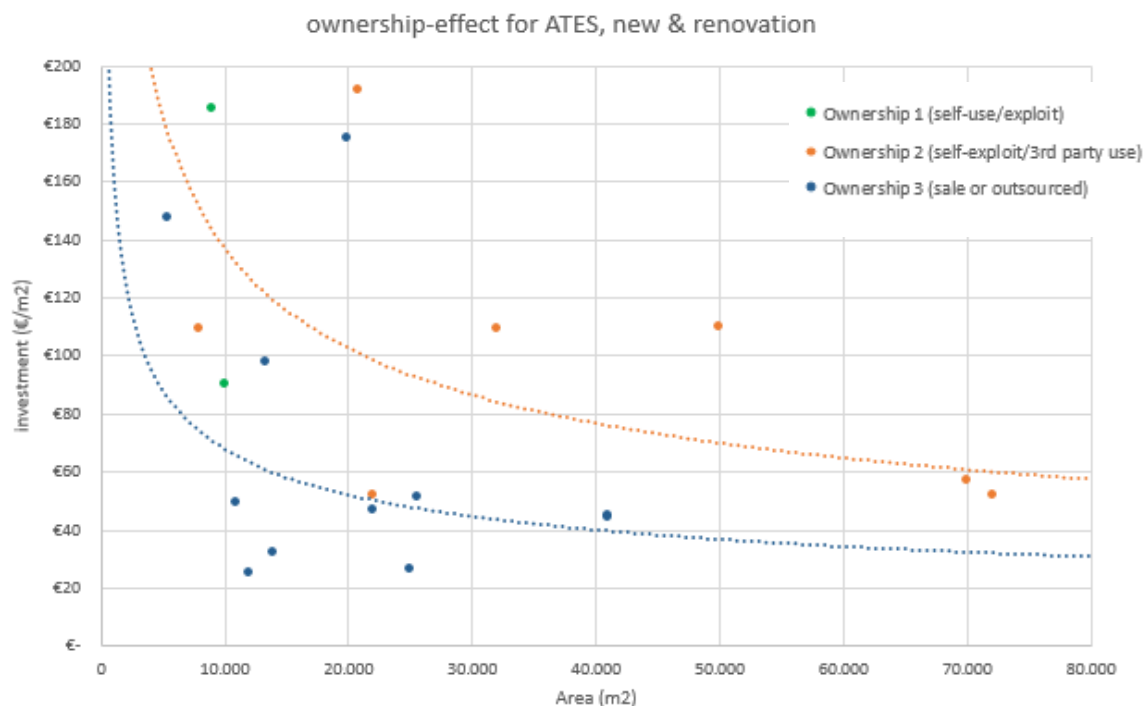
Tot slot wordt het (beoogde) eigenaarschap van het gebouw en/of het BES beschouwd. Het was op basis van perceptie in de markt en volgens de geïnterviewden verwacht dat dit een significante factor is: als klanten een direct belang hebben bij de energetische en/of financieel-economische prestaties van het BES worden verwacht andere ontwerpkeuzes te maken dan opdrachtgevers die het gebouw en/of het BES voor en door derden te laten exploiteren. In dat laatste geval is korte termijn winst de driver, in het eerste integrale lage kosten.

Figuur 17 toont de investeringskosten (€/m²) voor geselecteerde WKO-systemen^{vii} met daarbij aangegeven het (beoogde) eigenaarschap: (1) = eigen exploitatie en/of gebruik; (2) = exploitatie door of namens opdrachtgeven aan derden; en (3) = WKO wordt verkocht of de exploitatie ge-outsourced. De trendlijnen tonen de lopende gemiddelden voor (2) en (3); (1) is genegeerd wegens het te laag aantal systemen in deze steekproef.

Inderdaad wordt waargenomen dat opdrachtgevers die het BES zelf gebruiken en/of exploiteren significant meer investeren per m² BVO dan anderen met beoogde verkoop of exploitatie door/voor derden. Hoewel verwacht is dit effect niet eerder aangetoond. Een lagere relatieve investering kan ook een lagere kwaliteit betekenen met risico voor sub-optimale performance van een BES.⁶³

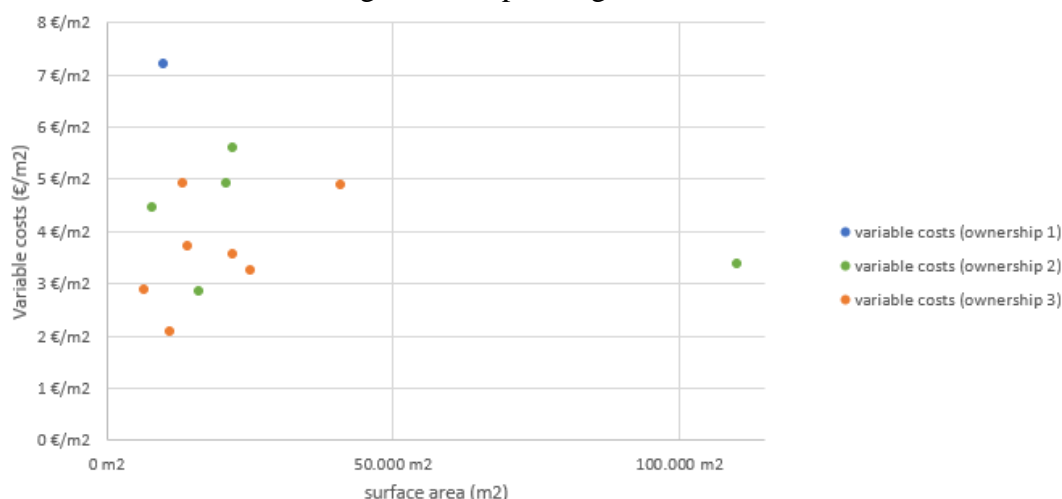
Een hogere relatieve investering betekent één-op-één hogere kapitaalslasten. Bij derden als eindgebruikers worden de vaste lasten in de regel doorberekend als ‘vastrecht’. Voor de exploitant kan dit een vrijwel risicoloos toekomstige inkomst zijn die netto contant kan worden gemaakt ten behoeve van de investering. Wel loopt de exploitant aan tegen een mogelijk gebrek aan draagvlak bij de eindgebruikers wegens de gepercipieerde ‘gedwongen winkelnering’ en/of het delen van de financiële voordelen. Van de lage variabele kosten. In het bijzonder bij koeling daar deze ‘passief is’ tegen alleen de pompkosten.

^{vii} In deze subset zijn opgenomen de systemen waarvan het (beoogde) eigenaarschap bekend was; de data van de RGD⁶² werd niet meegenomen.

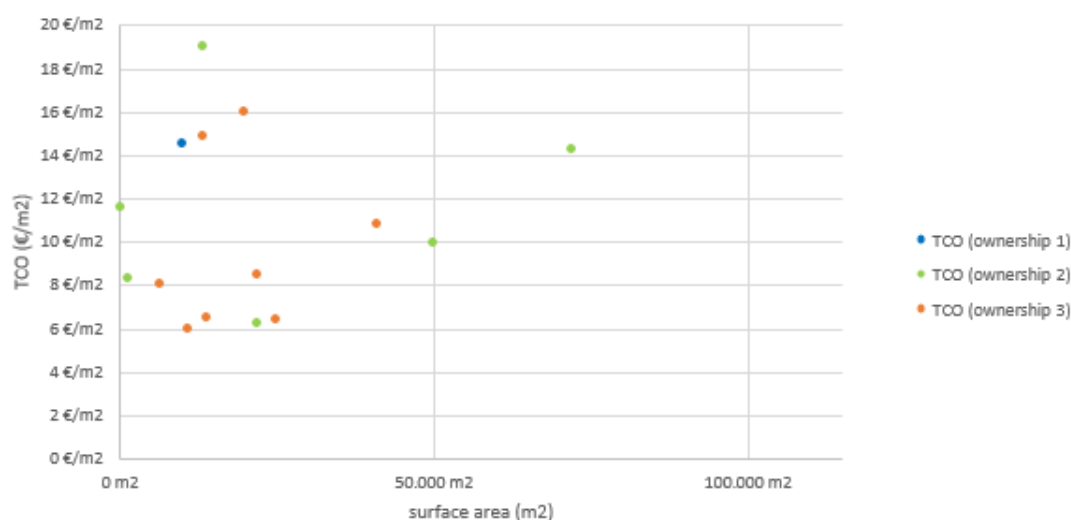


Figuur 17. Relatieve investeringskosten met aangegeven het (beoogde) WKO systeem-eigenaarschap. Steekproef is 19 systemen; dit is de totale subset waarvan het beoogde eigenaarschap bekend was.

Variabele kosten voor WKO bedragen 7-9 €/GJ voor verwarmen en 1-2 €/GJ voor koeling volgens enkele geïnterviewden. Het verschil met conventionele techniek is 6-8 €/GJ voor verwarming (40-50% goedkoper) en 5-6 €/GJ voor koeling (80-90% goedkoper). Een evidente vervolgvraag is of de hogere relatieve investering resulteert in nog lagere variabele kosten en daarmee in lagere Total-Costs-of-Ownership (TCO). Figuur 18 laat de variabele kosten zien als functie van eigenaarschap en Figuur 19 toont de resulterende TCO.



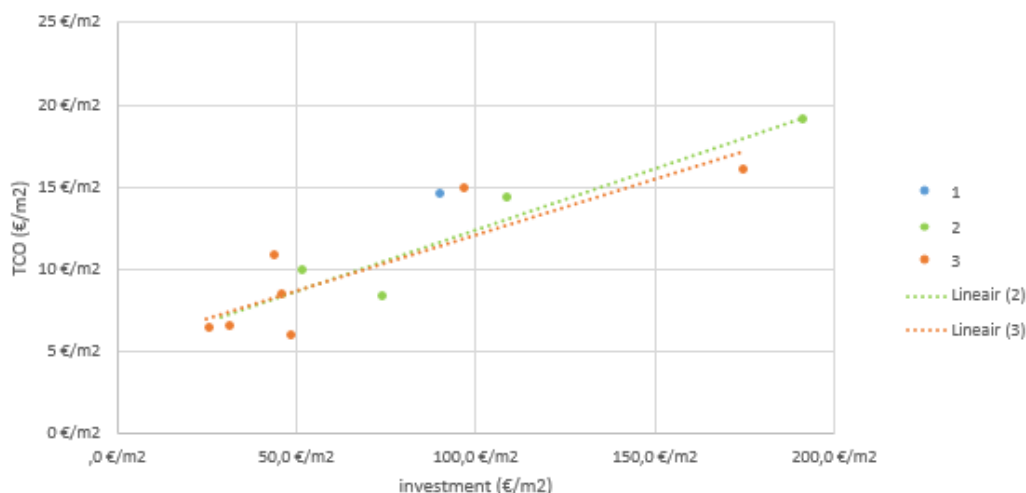
Figuur 18. Variabele kosten als functie van eigenaarschap. Steekproef is 13; de gehele subset van Figuur 17 waarvan ook de variabele kosten bekend waren.



Figuur 19. TCO afhankelijk van eigenaarschap? Steekproef is 15, de gehele subset van Figuur 17 waarvan ook de integrale kosten bekend waren

Figuur 19 laat een grote variatie in TCO zien en maar een kleine, als überhaupt, correlatie met het BVO neigend naar 8-12 €/m² bij grotere bediende oppervlakken. Bij vergelijking van relatieve investeringskosten en relatieve TCO, met een verwachte negatieve correlatie door lage TCO vanwege hoge investering (Figuur 20) blijkt dit bij de huidige steekproef onduidelijk en is dit vooralsnog geen argument voor investering in extra kwaliteit. Aanbevolen wordt om de eventuele correlatie tussen investeringshoogte en integrale totale kosten nader te onderzoeken. Vooralsnog staat dat de impact van de relatief hoge vaste kapitaalslasten groter is dan het voordeel in lagere variabele kosten hetgeen ook zou passen in de een hypothese van een relatief vroege innovatie-fase.

Bestaande BES hebben onderhoud nodig voor behoud van performance. Beheer en onderhoud maken soms deel uit van het bouw- en opleverproces, maar meestal niet volgend geïnterviewden. In dat laatste geval wordt beheer vaak aanbesteed aan een derde partij, niet zijnde de bouwer. Evenzo is dat in de meeste gevallen een korte-termijn contract. Dit alles leidt tot split-incentives zonder centrale regie en overall optimalisatie.



Figuur 20. Correlatie tussen TCO en investering. Steekproef is 13.

5.3 Marktsegmenten

Van bovenstaande analyse wordt geconcludeerd dat de belangrijkste drivers voor de beslissing tot aanleg van een BES is de gebouwfunctie (wonen versus utiliteitsbouw) en beoogd eigenaarschap (zelf-gebruik of -exploitatie versus exploitatie en gebruik door en voor derden). Bovenop specifieke criteria voor de segmenten is een gemeenschappelijk criterium duurzaamheid. En zijn gemeenschappelijke randvoorwaarden: comfort voor eindgebruikers en compliance met bouw- en exploitatie regulering.^{64,viii} Vier marktsegmenten worden nu onderscheiden, zie

Tabel 1, waarin segment-specifieke criteria van de geïnterviewden zijn aangegeven. De vier segmenten worden bediend met één of meer van drie mogelijke marktproposities:

- Propositie 1. Bouw van een nieuw BES
- Propositie 2. Technisch beheer en onderhoud van een bestaand en functionerend systeem
- Propositie 3. Commerciële exploitatie, bv. als Energy Service Company (ESCO)

Geïnterviewden stellen dat is de markt de meerderheid van de omzet, zo'n 80%, wordt gerealiseerd in segmenten 2 en 4, dus met eigenaarschap niveau 3 en een gelimiteerde garantie van maximaal 2 jaar en zonder prestatiecontract.

Idealiter krijgen en accepteren klanten een integraal pakket van aanleg, inregeling en lange termijn beheer & onderhoud van een BES met eventueel ook nog exploitatie namens opdrachtgever. Om te voldoen aan de behoefte voor lange-termijn zorg dringen sommige bedrijven zoals Hydreco, Eneco, Nathan en Engie aan op zo'n integrale benadering en dienstverlening om opdrachtgevers volledig te ontzorgen; niet alle eigenaars zijn vatbaar voor

^{viii} Als collectieve verwarmingssystemen worden geëxploiteerd en waarbij eindgebruikers geen vrije keuze hebben, reguleert de 'warmtewet' de tarieven o.b.v. 'niet meer dan anders' waarbij 'anders' een gasgestookte CV-ketel is.

de argumentatie en dezen nemen een niet-integrale en daardoor gefragmenteerde benadering die kan leiden tot een lage(re) systeemprestatie.

Tabel 1. BE-marktsegmenten.

	Woningen	Utiliteit
Zelf-exploitatie	Segment 1. Individuele huiseigenaren of collectief eigenaarschap. KPI's: - Energie efficiency - TCO Propositions: 1 en 2	Segment 3. Utiliteit in eigendom, bv. scholen, ziekenhuizen. KPI's: - Energie efficiency - TCO Propositions: 1, 2 and 3
Exploitatie/ gebruik voor/door derden	Segment 2. Huizen voor verhuur of verkoop, bv. WoCo's KPI's: - Lage kapitaalskosten Propositions: 1, 2 en 3	Segment 4. Utiliteit voor verhuur of verkoop, bv. winkelcentra. KPI's: - Lage kapitaalskosten Propositions: 1, 2 en 3

Vanwege verschillende, hier niet nader onderzochte, redenen wordt een underperformance van BES geconstateerd. Interessant en misschien zelfs ironisch is dat dat ⁶³ leidt tot business in diagnose en herstel zoals Unica's "WKO dokter"⁶⁵ en Kuijpers' "WKO check"⁶⁶. Andere bedrijven nemen dit nog een stap verder, zoals Vaanster⁶⁷ and Eteck⁶⁸ die sub-optimaal presterende systemen aankopen, verbeteren en vervolgens re-exploiteren. Vanuit een overall perspectief is een integrale en gecoördineerde benadering 'beter' vanuit een energetisch en klimaattechniek perspectief. Bestaande marktconventies leiden echter tot split incentives door sub-optimalisatie binnen, in plaats van optimalisatie over, de keten. De BE sector zou moeten werken aan marktomstandigheden welke een integrale(re) en daarmee maatschappelijk optimalere, Total-Costs-of-Ownership benadering. Daarvoor is het ook nodig dit voordeel aan te tonen middels aanvullend onderzoek.

6 Strategische opties: structurele aantrekkelijkheid van marktsegmenten

Vier marktsegmenten werden geïdentificeerd in hoofdstuk 5 welke zich onderscheiden naar gebouwfunctie - wonen versus utiliteitsbouw- en beoogd eigenaarschap - zelf-gebruik of -exploitatie versus exploitatie en gebruik door en voor derden. Dit hoofdstuk bepaalt de ontwikkeling en potentie van de segmenten en daarmee hun structurele en strategische attractiviteit. Het hoofdstuk besluit met de identificatie van groeikansen.

6.1 Marktpotentieel van de segmenten

De vier marktsegmenten zijn:

Segment 1. Huiseigenaren met BES in individueel of collectief eigendom

Segment 2. Huiseigenaren met BES voor verkoop of exploitatie voor/door derden

Segment 3. Utility eigenaar met BES voor eigen gebruik en exploitatie

Segment 4. Utility eigenaar met BES voor verkoop of exploitatie voor/door derden

Eerder in dit rapport werd al geconcludeerd dat gebouw-grootte een groot effect heeft op de benodigde investering in een BES. Tabel 2 klassificeert gebouwen in Nederland naar gebruiksfunctie en hun grootte

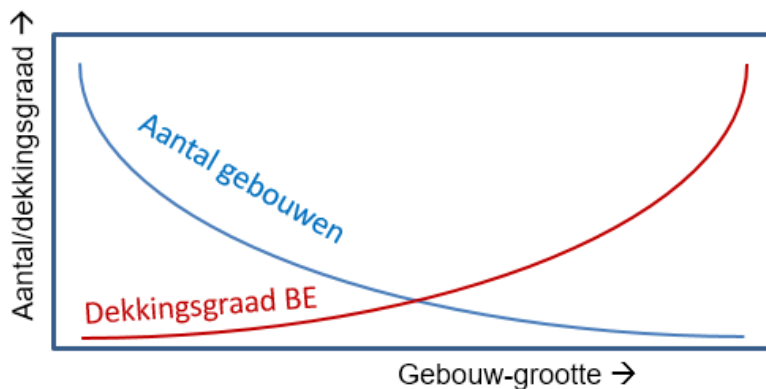
Tabel 2. *Quantitatieve gegevens van utiliteitsbouw grootte en BES bediening.*

Aard gebouw	Woningen (W)	Utiliteitsbouw (U)			
Totaal aantal (W) c.q. BVO (U) (m ²)	850 miljoen stuks	600 miljoen m ²			
BVO klasse (m ²)	N/A	1-1.000 m ²	1.000-5.000 m ²	> 5.000 m ²	> 10.000 m ²
Aandeel oppervlak binnen de BVO klasse	N/A	79 %	18 %	3 %	
Ratio van BES binnen de BVO-klasse	0,5%	35,5%		64,5%	38,5%

6.1.1 Utility segmenten

Utility (segmenten 3 en 4 samen), hebben een marktaandeel van 20% van de nieuwbouw. Van alle utiliteitsbouw is 3% naar oppervlakte ratio voorzien van bodemenergie. De marktpenetratie is zeer afhankelijk van de gebouw-grootte en het aantal gebouwen naar grootte is omgekeerd evenredig^{44,45}: 80% van de utiliteitsbouw is kleiner dan 1.000 m². BES bedienen tot 80% van de zeer grote utiliteit > 5000 m² die slechts 3% van de BVO bedraagt. Figuur 21 toont schematisch de omgekeerde correlatie tussen utiliteitsbouw-grootte en marktpenetratie van BE.

In zeer grote gebouwen waar de bedieningsgraad hoog is, is BE de beste optie vanuit zowel energetisch als financieel economisch perspectief. In dit deelsegment zijn budgetten voor inrichting en onderhoud van het klimaatsysteem in de regel voldoende hoog. In kleinere gebouwen in de range van 1.000-10.000 m² kunnen de energetische en financieel-economische optima ongelijk vallen omdat energetische optimalisatie weleens een te laag financieel rendement kan hebben vanwege de te kleine schaal. Toch is dit deelsegment interessant om zijn potentiële segmentgrootte.



Figuur 21. Schematische distributie van gebouw-grootte en BE-penetratie in utiliteitsbouw.

Budgetten zijn in de regel relatief kleiner in middelgrote en kleine utiliteit waardoor er financiële druk staat op de investering. En daarmee op de kwaliteit. Ook kunnen er split-incentives zijn als investeringen op andere departementen drukken dan exploitatiebudgetten. Bijvoorbeeld bij scholengemeenschappen moeten lokaal de investeringen worden opgebracht terwijl de variabele lasten op de groep drukken. In het geval van BE met relatief hoge vaste kapitaalslasten en relatief lage variabele lasten leidt dat tot perverse prikkels en de noodzaak om de verdeling van lasten en baten te heroverwegen. Financiering is daarmee ook een belangrijk aspect en een beslissende factor bij de investeringsbeslissing. Tot slot is standaardisatie van BES een optie om schaal te zoeken en daarmee de relatieve kosten te drukken om zodoende het deelsegment kleine utiliteit te ontsluiten voor bodemenergie.

6.1.2 Woningensegmenten

Van alle huizen heeft 1% een klimaatvoorziening op basis van bodemenergie en in 2015 een marktaandeel van 2% van de nieuwbouw.⁶⁹ Dit houdt in dat er een groot ‘untapped potential’ is. Echter, paragraaf 5.2.1 liet zien dat de huizenmarkt de laatste jaren juist kromp met 8% per jaar. In 2016 is de prognose van 5% beter, vooral door de ISDE subsideregeling⁵⁶. De huizenmarkt is daarmee echter onzeker. Geïnterviewden hebben aangegeven dat er een positieve trend is met meerdere en grotere projecten. De tussentijdse cijfers van ISDE realisatie bevestigen de observatie. Met klimaatverandering naar warmere zomers kan worden verwacht dat ook woningen een koudevraag gaan krijgen en dat daarmee bodemenergie aan aantrekkelijkheid zal winnen vanwege de goedkope passieve koudelevering. In technische zin wordt een groot potentieel gezien in renovatie van energetisch verouderde maar nog niet afgeschreven hoogbouw-woningen (flats) (segment 2). Inmiddels mag dit segment zich

verheugen in veel aandacht voor verduurzaming⁷⁰. Engagement met bijvoorbeeld woningcorporaties zou dit segment kunnen mobiliseren voor duurzame opwekking. Een sterke concurrentie, wellicht zelf disruptie, is begonnen door de opkomst van relatief goedkope lucht-water- en lucht-lucht warmtepompen (L-WP) in het woningensegment. Speciaal in segment 1. Aangenomen wordt dat de groei van L-WP en de daling van BE-marktaandeel oorzakelijk zijn gecorreleerd. Figuur 13 in sectie 5.2.1 liet de ontwikkeling over de tijd zien en inderdaad vallen de opkomst van L-WP en de start van de daling van BES samen in de tijd. De lezer wordt tevens voorwaarts verwezen naar paragraaf 7.1 dat de zorgen over de performance van BES in de praktijk ook in die periode opkwamen.

De beide technieken zijn onderworpen aan een Qualitative Comparative Analysis⁵⁹ van klantencriteria. Beide leveren thermisch comfort en worden beschouwd als duurzamer dan conventionele klimaatcontrole. Een eerste vergelijkend voordeel van L-WP is de mogelijkheid voor een add-on op een gasketel-systeem voor een duurzamere base-load en de gasketel als piekvoorziening. Een zogenoemd hybride WP. Wanneer het systeem als hoofdsysteem wordt toegepast, is het fundamentele verschil tussen L-WP en BES waar de omgevingsenergie vandaan komt en heeft een BES een groot voordeel om in de (koude) winter warmte te onttrekken aan warm grondwater en in de zomer koude te onttrekken aan koud grondwater terwijl een L-WP systeem in de winter warmte onttrekt aan koude buitenlucht en de zomer koude aan warmte buitenlucht. Van een BES is de zogenaamde coëfficiënt-of-performance, zeg maar de ratio tussen duurzame omgevingswarmte en primaire energie voor de warmtepomp, hoger dan een L-WP. De daarmee betere klimaat-voetafdruk van een BES vertaalt zich nog niet in een betere financiële business case omdat de CO₂ niet financieel gewaardeerd is in positieve zin voor bodemenergie en in negatieve zin voor fossiele primaire energie. Dit is een groot marktdefect dat getuigt van halfslachtig beleid, zie ook paragraaf 7.3.. BE, in tegenstelling tot L-WP, behoeft een grondboring hetgeen een extra investering is en enige nevenschade aan het perceel veroorzaakt. Alles opgeteld prefereren huiseigenaren momenteel L-WP boven BES. Eén van de elementen om het segmentaandeel van BE te verhogen is om de nevenschade te beperken middels ‘schoon boren’ en hetgeen verschillende bedrijven al praktiseren. De belangrijkste driver om te introduceren is een ‘CO₂-boete’.

6.1.3 Renovatie

Statistieken van de bouw- en constructiesector⁷¹ geven aan dat renovatie groeit en momenteel zo’n 50% van het volume bedraagt. BES in renovaties wordt geschat op 25% en is dus een nog ondergewaardeerde kans. De verhouding renovatie versus nieuwbouw is hoger in oude, dichtbebouwde steden zoals Amsterdam dan in groeilokaties. Met het oog op een duurzamere energieprestatie van de gebouwde omgeving moet de bestaande bouw veel aandacht krijgen^{60,72}. Met de huidige vernieuwings-snelheid is berekend dat 80% van de gebouwen van 2050 vandaag al bestaat. De natuurlijke renovatiecyclus voor woningen is 30-35 jaar en incidenteel als mensen verhuizen naar een bestaande woning. Eén van de drivers van renovatie is verduurzaming naast financiële afwegingen en fysiek ongemak van de verbouwing. Renovatie van een woning verhoogt de waarde⁴² en is dus een discriminator. Voor utiliteitsbouw is dat anders: renovatie is hier een ‘qualifier’ voor behoud van waarde

omdat die verloren gaat als de energieprestatie en/of duurzaamheid van een gebouw niet up to standard is.^{42, 73} De investering in renovatie van utiliteit is gemiddeld zo'n 6-10% van de waarde⁷⁴ en vastgoedpartijen schatten dat vijf miljoen m² aan retail-BVO dient te worden gerenoveerd⁷⁵ hetgeen in potentie 500 à 1.000 nieuwe BES kan betekenen. Barrieres zijn onder andere bestaande hoge-temperatuur afgiftesystemen en die nog niet volledig zijn afgeschreven. Energetisch idealiter worden deze vervangen door lage-temperatuur afgiftesystemen. Een innovatiekans is verdere verbetering van hoge-temperatuur warmtepompen die daarmee een concurrerende optie van behoud van bestaande afgiftesystemen toestaat. De BE sector zou met renovatieplatforms en -netwerken kunnen engagen zoals het National Renovatie platform⁷⁶ om bewustzijn en daarmee de vraag te vergroten.

6.1.4 WKO Systeemmanagement markt: beheer & onderhoud en exploitatie

De markt voor beheer en onderhoud wordt – uiteraard- bepaald door het aantal systemen in gebruik en die dus groeit met toename van het aantal systemen. Deze markt is daarmee ook minder gevoelig voor macro-economische factoren met een groot effect op nieuwbouw en renovatieprojecten. Waar traditioneel onderhoud tegen 'uurtje-factuurtje' wordt aangeboden is het in toenemende mate een onderdeel van een integrale propositie van aanleg én beheer & onderhoud. Vanuit het belang van een blijvend goed werkend systeem neemt de vraag naar smart beheer toe. Ook vragen klanten in toenemende mate om ook de exploitatie uit te voeren. In dat totaal-model wordt lange-termijn prestatie gegarandeerd met een bonus-malus businessmodel. Providers financieren soms zelf voor middels een daartoe specifiek geëquipeerde entiteit. Voorbeelden zijn Geocomfort, Unica Ecopower and ENGIE Energy Services. Een dergelijke integrale propositie is feitelijk voorwaartse verticale integratie⁷⁷, naar analogie met WKO in de agrarische sector⁷⁸. Achterwaartse integratie wordt eveneens geobserveerd waarbij bedrijven klimaat systeem-advies geven in de fase van gebieds- en lokatieontwikkeling. Voorbeelden zijn If-Technology die gemeenten adviseert in vroege gebiedsontwikkelingsfasen en DWA en Techniplan die pre-ontwerpadvies geven in vroege ontwerpfasen van (een) gebouw(en).

Enkele bedrijven hebben een markt gecreëerd voor het opkopen en verbeteren van sub-optimaal functionerende BES om deze vervolgens te exploiteren in een ESCo-constructie. (zie paragraaf 5.3), een andere vorm van verticale integratie. Het blijkt nodig te zijn om dit in de markt te steunen omdat het alternatief is dat exploitanten de contracten discontinueren en gebruikers daarmee achterlaten met slecht werkende klimaatsystemen en waardoor dezen zijn gedwongen tot òf investeren in verbetering, òf in vervanging van het systeem voor een andere techniek.

Eindgebruikers zijn momenteel onvoldoende georganiseerd om zorgen en best practices uit te wisselen; een indicatie van een onvolwassen markt daar gebruikers van conventionele HVAC systemen en gangbaardere duurzame energiesystemen zoals zonnepanelen en windstroom vertegenwoordigd worden door consumentenorganisaties. Pas recent is de interesse van consumenten en huiseigenaren in (bodemgebonden) warmtepompen opgekomen.⁷⁹ Het onder auspiciën van BodemenergieNL geïnitieerde Gebruikersplatform Bodemenergie is een eerste

stap naar vereniging van eigenaren/gebruikers en daarmee het completeren van het netwerk binnen de waardeketen.

6.2 Externe ontwikkelingen en hun impact op de BE markt

Bodemenergie is onderdeel van de duurzame energie transitie. Een omgevingsanalyse volgens PESTLE,⁸⁰ aangepast vanuit ref. ⁸¹ en getoond in appendix 3, somt de belangrijkste externe elementen op die het markt- en maatschappelijke framework bepalen. Enkele worden hieronder beschouwd.

6.2.1 Technologische trends

WKO systemen kunnen nog steeds worden toegepast in niet-thermisch gebalanceerde toepassingen als een recirculatiesysteem wordt gebruikt. Dit is conceptueel in overeenstemming met de technologische trend van ‘toenemende flexibiliteit’.⁸² Met steeds toenemende kennis van en ervaring met open BWW systemen, is dit type systemen inmiddels beschikbaar met 100 kW warmtecapaciteit en zelfs meer hetgeen tot 2.000 m² BVO kan bedienen en daarmee overlapt met kleine open WKO-systemen met debiet rond 10 m³/uur die BVO 1.000-2.000 m² kan bedienen. BES kunnen nu technisch alle gebouwtipe en -grootten aan: klein, b.v. 80 m² voor een woning, tot extra groot met tienduizenden vierkante meter BVO. Terugverdientijden voor grote BVO’s zijn conventioneel economisch verantwoord; voor de kleinste systemen, enkele grondgebonden systemen voor een woning, kan deze nog aan de lange kant zijn met tot 15-20 jaar. Combinatie van functies, bijvoorbeeld WKO gecombineerd met grondwatersanering^{83,84}, kan de businesscase verbeteren.

6.2.2 Politieke trends: nationale duurzaamheidsdoelen en -plannen

Het Nederlandse energieakkoord heett in de uitwerking een doelstelling van 21 PJ bodemenergie gesteld in 2023^{85,86,87}. BE moet daarmee een factor drie tot vier groeien over de komende zes à zeven jaar. De sector heeft deze doelstelling geadopteerd als haar ambitie⁸⁸ en is graag bereid om haar rol te nemen in groei van het aantal geïnstalleerde BES met behoud en verdere verbetering van de kwaliteit daarvan. Het technische potentieel, gegeven de warmte- en koudeleverende bodemcapaciteit is berekend op tenminste 50 PJ⁸⁹ en zelf op 300 PJ^{90,91,92} in andere studies. In een eerste oogopslag lijkt de sector dan *the place to be for business*. Een nationale doelstelling betekent echter nog niet dat de marktvraag daarmee vanzelf toeneemt. Bovendien is er tot heden geen ovrekoepelend markteconomisch onderzoek gedaan voor bodemenergie, slechts een handvol geïsoleerde cases.^{93,94}

6.2.3 Legale aspecten

Meerdere publiek-private programma’s gericht op verantwoorde groei van bodemenergie hebben inmiddels geleid tot stringenter regelgeving ter bescherming van milieu en ondergrond(water). De stakeholders ervaren hierover gemengde gevoelens hetgeen een indicatie kan zijn van een gebalanceerde benadering. Echter, de beoogde groei is te laag voor de doelstelling (secties 5.1 and 5.2.1) en de timing en richting van marktontwikkelingen indiceren dat de maatregelen contraproductief kunnen zijn. Het volgende hoofdstuk bekijkt de bredere context vanuit een innovatie-framework perspectief.

6.2.4 Andere externe elementen en trends

Een interessante kans de (her-)ontwikkeling van gebieden en lokaties omdat hierbij een totaalvoorziening kan worden ingericht waarbij overschotten aan warmte en/of koude kunnen worden uitgewisseld⁹⁵ doordat (semi-)collectieve warmte en koudnetten worden aangelegd. Bijvoorbeeld kunnen zo een datacenter met groot warmteoverschot (koelvraag) worden gekoppeld aan woningen met een grote warmtevraag (koudeoverschot). Een concreet project is de koppeling van de Hermitage in Amsterdam (warmteoverschot) aan de botanische tuin (warmtevraag) op 400 meter afstand van elkaar.⁹⁶ Een sectorale business kans is om een inventarisatie van potentiële uitwisselingen te maken en om projecten te faciliteren. Die facilitering is nodig omdat partijen aarzelend zijn om wederzijdse afhankelijkheden aan te gaan en om de facto onkundige leverancier te worden. Het concept zal technische, functionele en financiële risico's van bijvoorbeeld non-delivery moeten afdekken. Bij gebiedsontwikkeling is een specifiek risico dat een initieel te ruime en dus onderbenutte bron wordt aangelegd terwijl de groei van de afname zich geleidelijk ontwikkelt. Gesloten systemen lenen zich in principe beter voor gefaseerde, modulaire, bijbouw dan open systemen doordat de eerste relatief makkelijk extra bodemlussen aanlegt. Voorbeelden van ingroei van een BES zijn de Eindhoven High-Tech Campus en de Utrecht University campus "De Uithof". De energiestaat van gebouwen wordt gradueel beter door concepten als Bijna-energie neutrale gebouwen (BENG) en nul-op-de-meter (NOM) woningen. Met toenemende energieefficiency van de gebouwen zou een bestaand BES een steeds meer gebouwen kunnen bedienen.

6.3 De management agenda voor marktsegmenten-groei

De geschatte structurele aantrekkelijkheid (grootte en groei) van de marktsegmenten is onderstaand weergegeven in een BCG groei-aandeel matrix⁹⁷, alle bovenstaande bevingen combinerend.

Markt Groei	Hoog	(vraagteken) <ul style="list-style-type: none"> • Renovatie • Midelgrote utiliteit • Integrale propositie 	(Ster)
	Laag	(Hond) <ul style="list-style-type: none"> • Grondgebonden woningen 	(Melkkoe) <ul style="list-style-type: none"> • Grote utiliteit
		Laag	Hoog

Marktaandeel

Figuur 22. BCG groei-aandeel matrix

De drie 'vraagtekens' zien er op zich veelbelovend uit daar het waarschijnlijk is dat er zich (een) ster(ren) onder hen bevinden. De afwezigheid van een 'ster' is enigszins verontrustend: het grootste marktsegment vertoont slechts een lage groei.

De medium-groote utiliteitsbouw markt voor gebouwen van 1.000-5.000 m² hebben veel groeipotentieel. Om dit potentieel te mobiliseren zouden BES-prijzen moeten worden verlaagd door bv. standaardisatie en opschaling, in tegenstelling tot de huidige 'maatpakken' benadering. De woningbouw-markt lijkt minder aantrekkelijk hoewel recentelijk de markt van 2% naar 5% lijkt te zijn gegroeid

Het schoon boren concept zou de attractiviteit verder kunnen vergroten. Gestapelde bouw zou erg interessant kunnen blijken als woningbouw-corporaties kunnen worden geïnteresseerd en als alle voordelen incl. CO2 emissie reductie in de business case kunnen worden gereflecteerd. De renovatiemarkt, in het bijzonder de die voor mid-sized utility, is een groeiend segment hoewel momenteel met een klein marktaandeel. De BE-sector kan met het Nationale Renovation Platform engagen om de vraag te vergroten. . Interessant kan zijn de uitwisseling van overmatige warmte en/of koude; dit vereist wel facilitering want men wil niet van andere leveranciers afhankelijk zijn. Om deze business te ontginnen moet een andere businessmodel worden overwogen.

7 Het mobiliseren van het bodemenergie-marktpotentieel – analyse van het innovatiesysteem

Diffusie van duurzame energie innovaties, welke bijna per definitie radicaal van karakter zijn, hangen af van zeven sleutelfactoren.²⁶ De factoren zijn gerelateerd aan het product of de service, de adopter en de leverancier, de sector, de overheid en het diffusiepad.^{20,26} Een randvoorwaarde om de marktgroefase in te gaan is een effectief innovatiesysteem³¹ waarin in zeven innovatie functies worden voorzien door de verschillende actoren. Marktontwikkelingen zoals bestudeerd in vorige hoofdstukken suggereren het naderen van marktverzadiging. Als dat het geval zou zijn, betekent dit dat het innovatiesysteem ‘in place’ moet zijn en de groeifase al zijn geweest danwel dat er een disruptie gaande is met vroegtijdige marktvolwassenheid als gevolg. In ieder geval zou dat een deceptie zijn voor de sector wier ambitie veel groter is en voor de ondertekenaars van het energieakkoord welk aan bodemenergie een veel hogere doelstelling heeft toegekend. In dit hoofdstuk wordt onderzocht in welke mate het innovatiesysteem met zijn zeven factoren en innovatiefuncties daadwerkelijk ontwikkeld is. In tegenstelling tot bovenstaande zou een incompleet innovatiesysteem betekenen dat er hoop is voor een nog komende snelle groei en een duidelijke sectoragenda voor het vervolmaken van dat innovatiesysteem.

7.1 Innovatiefuncties

De mate waarin de zeven innovatiefuncties zoals geïdentificeerd door Hekkert²¹, zijn ontwikkeld en in de praktijk zijn gebracht werden onderzocht op basis van interviews en sector data in literatuur en statistische data bronnen.⁹⁸ Tabel 3 vat de ontwikkeling per functie samen.

Tabel 3. Status van bodemenergie innovatie functies. De verkeerslichtkleuren geven de mate van ontwikkeling aan: rood is on(der)ontwikkeld; oranje is gedeeltelijk ontwikkeld en/of in ontwikkeling; groen is ontwikkeld en in de praktijk gebracht.

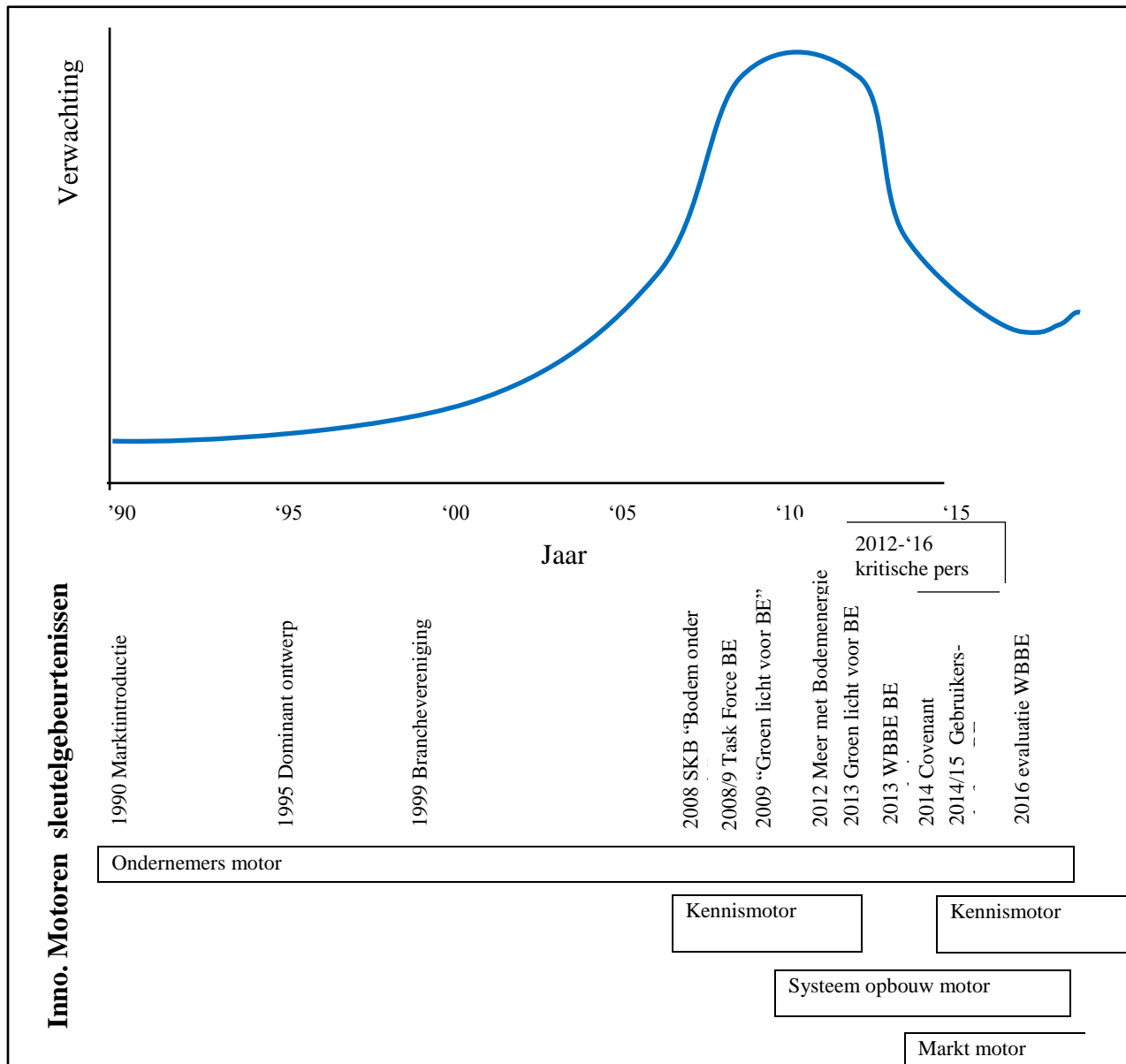
Innovatie functie ²¹	Status december 2016
■ Experimenteren door ondernemers	In 1990 kwamen de eerste pioniers op de beginnende bodemenergiemarkt. De markt ontwikkelde zich langzaam maar gestaag door het aantrekken van ‘selectoren’ zoals drinkwaterbronboorders en installateurs uit de conventionele HVAC sector. Eind jaren ’90 van de vorige eeuw werd een branchevereniging opgericht waarvan het lidmaatschap groeide tot zo’n 70 lid-bedrijven in 2016 en met een nog steeds licht groeiend bestand van naar schatting ongeveer de helft van de sector. Verreweg de meeste leden doen bodemenergieactiviteiten als onderdeel van een breder portfolio.
■ kennisontwikkeling	Kennisontwikkelingsprojecten en -programma’s hebben over de jaren gevarieerd in intensiteit en geaardheid. Sommige ontwikkelingen vinde plaats boinnen bedrijven zelf; daarenboven zijn er pre-commerciele gezamenlijke projecten op brancheniveau.

	<p>In 2009-2012 vond een breed en multi-stakeholderprogramma plaats: ‘Meer met bodemenergie’.⁹⁹ Sinds het einde daarvan in 2012 waren er slechts incidentele en weinig bekende publiek-private R&D-projecten. Bijvoorbeeld op de Delft university, Deltares en Wageningen Universiteit. In 2014 werd het multi-stakeholder Kennisplatform bodemenergie opgericht,¹⁰⁰ hetgeen een kennisagenda ontwikkelde en welk nu middelen en projecten mobiliseert in een kennisprogramma.</p>
<p>■ kennisuitwisseling in netwerken</p>	<p>Kennisdeling binnen de sector wordt gefaciliteerd door de kenniswerkgroep van de branchevereniging. De branchevereniging organiseert ook cursi voor technische kennis voor werkzaamheden aan een BES en voor certificering welk sinds 2013 wettelijk is vereist. Na het Meer-met-Bodemenergie kennisprogramma⁹⁹ ontstond een vacuum in brede publiek-private kennisontwikkeling en -deling. De ‘WKO-tool’ dat resulteerde uit het samenwerkingsprogramma WKO (S-WKO) wordt breed bekritiseerd en het feit dat er verschillende en alle incomplete databases zijn vor BES’ data is verwardend voor alle stakeholder, met name bedrijven die actuele en betrouwbare data nodig hebben voor goed ontwerp en inpassing van een BES ter plaatse. Het reeds genoemde Kennisplatform Bodemenergie organiseert tweemaal jaarlijks neterk bijeenkomsten sinds 2016.</p>
<p>■ Richting geven aan het zoekproces</p>	<p>Het Nederlandse publieke beleid en de sectorambitie vinden zich in het SER duurzame energieakkoord^{85,86}. De eerdergenoemde publiek-private programma’s hebben geresulteerd in een sectorale agenda en waarbij de belangrijkste te slechten barrière is de toegenomen bureaucratie en de weerstand bij sommige lagere overheden om het toenemende gebruik van bodem en grondwater toe te staan.</p>
<p>■ Creëren van markten</p>	<p>Deze functie treedt vaak als laatste in. Tot 2016 is bodemenergie in Nederland niet specifiek gesubsidieerd. In 2016 werd de ISDE subsidie⁵⁶ geïntroduceerd welke onder andere bodemgebonden warmtepompen subsidieert. In 2013 werd regelgeving van kracht die de bodem beschermt en de kwaliteit van werken aan den BES regelt. Hoewel dit een kwaliteits-ondergrens stelt levert dit tevens extra bureaucratie op hetgeen de (groei van de (business) belemmert volgens geïnterviewden. Om duurzame energievormen gradueel aantrekkelijker te maken, is in 2016 de energiebelasting op aardgas een klein beetje verhoogd. De overheid probeert ook als launching customer⁶² op te treden. Sinds 2012 is er slechte pers geweest over de bij de verwachting achterblijvende prestaties van bodemenergiesystemen hetgeen verdere ontwikkeling van de markt zeker zal hebben gehinderd.</p>
<p>■ Mobiliseren van financiële en personele middelen</p>	<p>Zie ook bovenstaande over de zoektocht naar middelen voor publiek-private R&D. Er zijn contacten gelegd tussen de sector en de Nederlandse Investerings Agentschap¹⁰¹ voor een potentieel en dedicated fonds. Het tertiair onderwijs is niet-specifiek gericht op de bodemenergiesector.</p>

<p>■ tegenspel bieden aan weerstand</p>	<p>Een branchevereniging die de belangen van de sector vertegenwoordigd en voor de sector lobbyt bestaat sinds 1999. Samen met andere duurzame energietechnieken is de sector verenigd in de NVDE, de nederlandse Vereniging Duurzame Energie. Weerstand wordt ervaren vanuit de gevestigde orde van conventionele energiebedrijven en warmtebedrijven maar ook van .</p>
---	---

7.2 Verwachtingsmanagement

De hype-cyclus³², zie sectie 2.2, verbeeldt de groei van de verwachting bij een opkomende innovatie tot overspannen verwachtingen, gevolgd door teleurstelling in de markt vanwege niet aan de verwachtingen voldoende prestaties. Het verwachtingsniveau verlaagt zich via de vallei-van-desillusie tot realistische niveau's. Pas dan is de techniek klaar om de groeisput van marktpenetratie in te gaan zetten.



Figuur 23. BE-ontwikkeling geprojecteerd op de Gartner hype cyclus.

Als ontwikkelingen en mijlpalen van BE worden geprojecteerd op de Gartner hype cyclus³² en als dit ook nog wordt gelinkt aan de vier innovatiemotoren dan resulteert Figuur 16. De verwachtingen stegen sterk in de late jaren '00 en culmineerden in de target bij de uitwerking van het SER-Energieakkoord van 2014⁸⁶. Ondertussen namen zorgen over de energie-efficiency en daarmee over de kosten van BES toe in de media⁶³. Deze slechte pers zal hebben bijgedragen aan verlaging van verwachtingen en kopers-enthousiasme en tot het oprichten van het Gebruikersplatform¹⁰² dat een soort 'consumentenbond' van bodemenergie werd. Ongeveer tegelijkertijd werd nieuwe regelgeving (Wijzigingsbesluit Bodemenergie) geïntroduceerd ter bescherming van de bodem en het grondwater. Eén van de sleutelfactoren voor diffusie van de innovatie werd dus gemankeerd. De negatieve pers bestaat nog steeds in eind 2016.^{103,104} Echter, er komen ook in toenemende mate weer positieve berichten op.¹⁰⁵ De sector realiseert zich dat het gemiddelde en de ondergrens van de kwaliteit van BES omhoog moet. Om deze reden heeft de branchevereniging de totstandkoming van de huidige erkenningsregeling ondersteund en meegewerkt aan de implementatie, bv. door het geven van training voor certificering. De hoop en verwachting is dat daarmee langzamerhand het marktvertrouwen en de groei zullen worden vergroot. Het kan dus worden geconcludeerd dat de ontwikkeling van BES is net voorbij de 'vallei van desillusie' en dat daarmee de snelle groei aanstaande is als de markt inderdaad weer meer vertrouwen krijgt en als de propositie kosteneffectief is en blijft.

7.3 Naar een sector agenda

Vanuit alle voorgaande hoofdstukken en de eerste twee paragrafen van het huidige alsmede de resultaten van een sectorale SWOT-workshop (zie ook Appendix 4), werd het bodemenergie-innovatiesysteem geanalyseerd volgens Hekkert's model¹⁰⁶. Zie figuur 24, onderstaand.

Vraagzijde			
Vraag naar nieuwe BES in utiliteitsbouw ■, woningbouw ■			
Vraag naar BE-services ■			
Industrial system	Facilitators, makelaars ■	Research & education	Political system
Large companies ■		Professioneel onderwijs en training ■	Overheid ■
MKB ■		Tertiare educatie en research ■	Governance ■
Startups ■		Publieke sector onderzoek ■	R&D&I beleid ■
Infrastructure			
Banken, kapitaalfondsen ■	Patenten en informatie ■	Companies' innovatie support ■	Standaarden ■

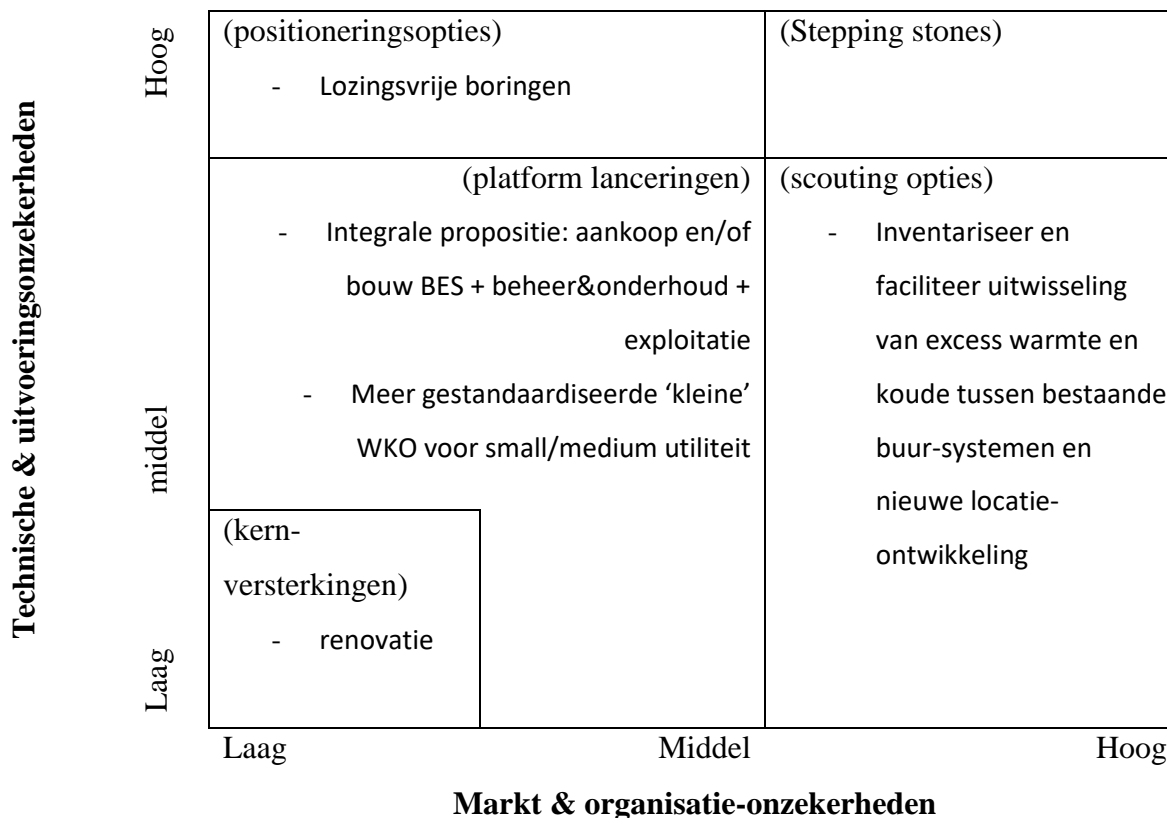
Figuur 24. BE Innovatie systeem assessment. De verkeerslichtkleuren geven de mate van ontwikkeling aan: rood is on(der)ontwikkeld; oranje is gedeeltelijk ontwikkeld en/of in ontwikkeling; groen is goed ontwikkeld en in de praktijk gebracht.

Figuur 24 toont dat het innovatiesysteem nog niet compleet is en indiceert gebieden voor verdere gezamenlijke actie voor het completeren van innovatiemotors en -functies. De belangrijkste actielijnen zijn:

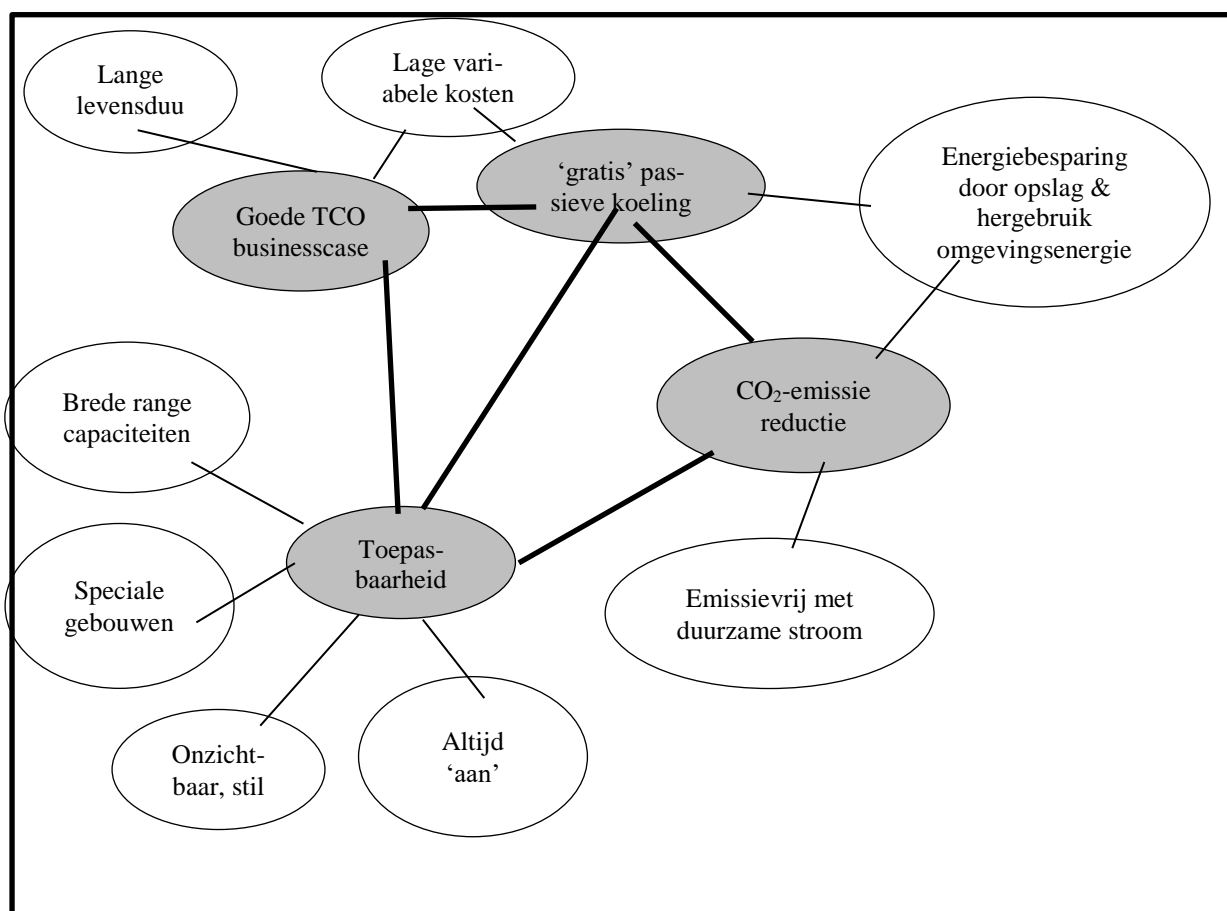
- Verhoging van de vraag naar BES heeft verdere promotie richting prospects in vastgoed-, bouw- en installatiesectoren. De overheid moet dit actief steunen vanwege haar overall coördinerende rol in de nationale duurzame energie doestellingen. Deze actielijn is inclusief monitoring en verbetering van BES' prestaties.
- Onderzoek het effect en mogelijke verbetering van huidige financieringspraktijken en -arrangementen. Bijvoorbeeld van de ISDE-subsidieregeling en de EIA-belastingaftrek. Overweeg inclusie in de SDE-regeling voor afroming van een eventuele onrendabele top bij BES in bepaalde segmenten zoals kleine utiliteit.
- Intra-waardeketen samenwerking. Denk aan renovatie van woningen en utiliteit. De BE-sector zou engagement moeten zoeken met de renovatiesector, bij voorkeur gefaciliteerd door relevante ketenspelers uit de bouw, installatie en/of overheid. Uitbreiding en/of standaardisatie van garantieregeling, bijvoorbeeld in een keurmerk samen met collega-branches is een overweging voor vergroting van het marktvertrouwen.
- Versterking van de kennisinfrastructuur door bestendinging van de kennisagenda en -programma van het kennisplatform bodemenergie. Dat is inclusief een publiek-private R&D&I-strategie en stimulering van ondernemerschap in deze relatief nieuwe branche.
- Een goed BES' ontwerp heeft toegang tot relevante ondergrond data inclusief gegevens van nabije andere BES. De overheid is aan zet om data te completeren en in bruikbare vorm ter beschikking te stellen.

Eén aspect van het materialiseren van de gewenste vergrote marktvaart is het continu verbeteren van de propositie. Marktbehoefte blijven zich immers ook steeds ontwikkelen en nieuwe segmenten kunnen nieuwe behoeften hebben of accenten leggen. Een 'opportunity portfolio'¹⁰⁷, welke technische en juridische onzekerheden van kansen beschouwd, zal kunnen helpen om een strategie te ontwikkelen. Figuur 25 toont de sectorale opportunity portfolio³⁹.

Het materialiseren van de kansen heeft ontwikkelingen van de 'resources & capabilities'. Een 'activity system'³⁴, of 'businessmodel'¹⁰⁸ beschrijft de belangrijkste benefits van de bestaande proposities hetgeen de basis is voor verdere ontwikkeling van de resources & capabilities. De 'Customer Value Proposition' (CVP) wordt gevormd door de combinatie van de belangrijkste voordelen die BE onderscheiden van conventionele en concurrerende duurzame energietechnieken.

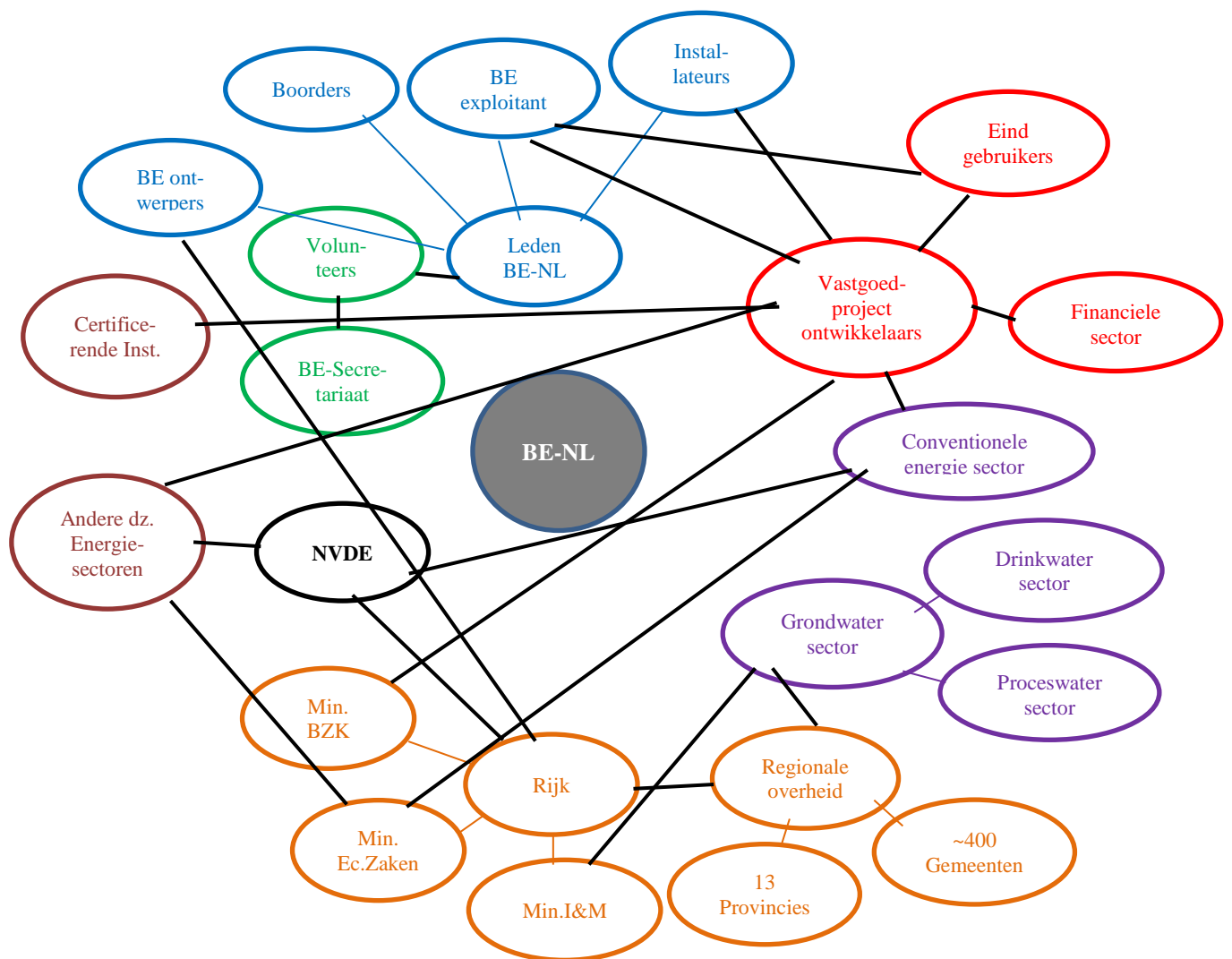


Figuur 25. Kansen portfolio



Figuur 26. Het 'businessmodel' die de algemene resources en competenties toont alsmede de kernwaarden daarbinnen die tesamen de customer value proposition (CVP) vormen.

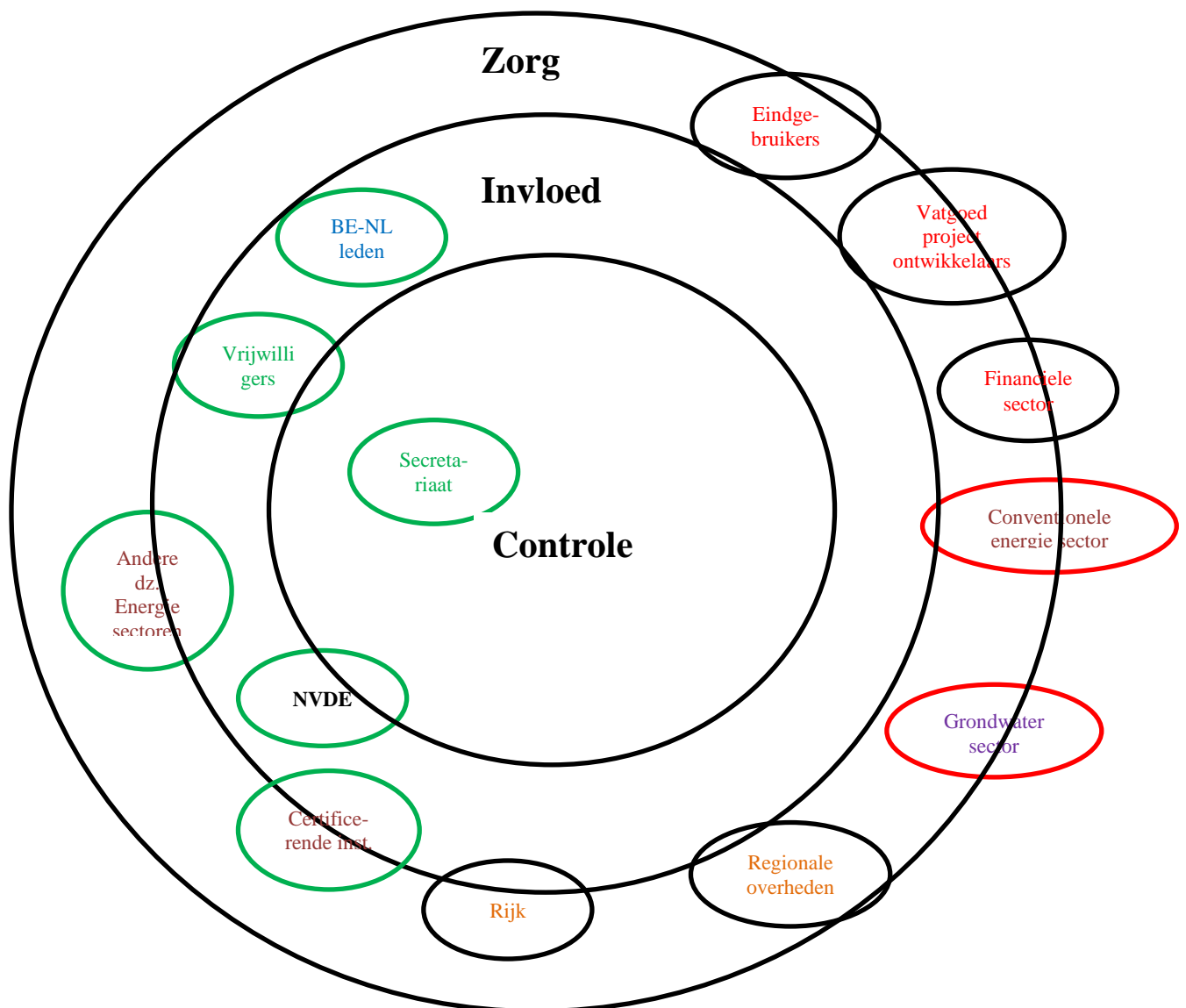
Marktdiffusie van een duurzame energieinnovatie hangt, meer dan bij een synergieverhogend consumentenproduct, af van interacties tussen stakeholders met diverse interesses en verantwoordelijkheden. Succes of falen hangt dus af van het binden van de verschillende stakeholders om vruchtbare condities te creëren of minimaal om niet actief tegen te werken. De relatie met stakeholders en hun houding en macht zijn van belang. Figuur 27 toont schematisch het netwerk vanuit het perspectief van de branchevereniging (BE-NL),¹⁰⁹ Deze stakeholder map is inclusief haar achterban, organisatie, klantsegmenten, kwaliteitsbeheer, de concurrentie incl. voor andere bodemfuncties en de overheid in haar meerdere rollen.



Figuur 27. Stakeholder kaart.

Uit de stakeholderanalyse wordt geconcludeerd dat gezamenlijke aanpak via de NVDE^{ix} samen met collega-sub-sectoren de invloed op de nationale overheid kan worden vergroot. En dat de interactie tussen de drinkwatersector en het ministerie van Infrastructuur en Milieu dient te worden gemonitord. Verder zouden de installateur- en BES' exploitanten kunnen worden gevraagd om liaison te zijn naar upstream ketenpartners en dus klantensegmenten. Of stakeholders ook geallieerden kunnen zijn of worden hangt af van hun houding jegens bodemenergie. De ovalen in figuur 27 tonen de gepercipieerde houding: groen is positief, zwart is neutraal of gemengd en rood heeft mogelijk een tegengesteld belang. Ook de mate waarin BodemenergieNL invloed heeft speelt een rol. Figuur 28 schetst dit grafisch.

^{ix} Nederlandse Vereniging Duurzame Energie



Figuur 28. Stakeholders' niveau van invloed en hun attitudes.

Vanuit deze verdere analyse volgt dat de NVDE een essentiële intermediair is en alwaar BodemenergieNL andere sub-sectoren nodig heeft om de NVDE te mobiliseren. BodemenergieNL moet via NVDE ook engageren met de conventionele energiebedrijven en met de drinkwatersector omdat het individueel weinig invloed daarop heeft.

Het bodemenergie innovatie systeem is over de jaren heen in opbouw geweest en behoeft nog gezamenlijke multi-stakeholder actie om het systeem te completeren. In het bijzonder verdienen aandacht de financiering van de relatief grote up-front investering, kennisontwikkeling en -disseminatie op basis van een strategische kennisagenda en marktontwikkeling door het stroomlijnen van de gefragmenteerde regelgeving. Markt- en maatschappelijke verwachtingen zijn eerst gestegen en later gedaald conform de hype-cyclus. Op basis daarvan zou de techniek nu op een realistisch verwachtingsniveau zitten en klaar zijn voor een sterke marktgroei om daarmee de early majority te gaan bedienen. Tenzij bodemenergie een techniek zou zijn voor 'een permanente niche'.

Op korte termijn zou groei met name in de renovatiemarkt kunnen zitten hetgeen geen verandering van de propositie of businessmodel nodig heeft. Meer groei kan worden verwacht van meer standaardisatie van kleine WKO-systemen van een meer integrale propositie (bouw, beheer en onderhoud en exploitatie van BES als Energy Service Companies. De laatste valt onder 'platform launches' met andere businessmodellen.

8 Conclusies en aanbevelingen

De BE markt is gevestigd voor ‘early adopters’ in de woningmarkt en in delen van de utiliteitsbouw. BE is mainstream in grote utiliteitsbouw waar de energetische en economische business case onbetwist is. Strategische marktkansen zitten in de onderbediende markt van kleine en middelgrote utiliteit, zowel nieuwbouw als renovatie. In dit segment is de energetische business case positief doch staat de financiële casus onder druk. Kansen in de woningbouw zijn minder duidelijk: het marktaandeel fluctueert over de tijd en neemt momenteel toe door de ISDE-subsidieregeling vanuit een dieptepunt in 2015. Renovatie van gestapelde bouw lijkt een interessante kans indien een semicollectief systeem kan worden gerealiseerd en financiering kan worden gevonden. Wegens koudeoverschot in woningmarkt door de ongebalanceerde vraag is combinatie met een utiliteitsgebouw met een netto koudevraag een ideaal scenario.

De BE-sector bedient de vastgoedketen met verschillende proposities: ontwerp en aanleg van nieuwe BES en BES’ beheer en onderhoud. In toenemende mate vindt verticale integratie plaats naar een meer integrale propositie waarbij ook BES’ exploitatie ‘downstream’ en betrokkenheid bij de locatieontwikkeling ‘upstream’ wordt aangeboden. De geïdentificeerde marktsegmenten discrimineren zich in gebouwfunctie – wonen versus utiliteitsbouw – en eigenaarschap van het BES – zelf-exploitatie an/of eigen gebruik versus verkoop of exploitatie en gebruik door en voor derden. BES’ eigenaars die hun systeem zelf exploiteren en/of gebruiken investeren relatief meer dan eigenaren zonder een direct belang bij de financiële en/of energetische prestatie van een BES. Deze laatsten kunnen zijn verleid tot nadruk op prijs en niet op kwaliteit.

De marktpenetratie van bodemenergie bevindt zich in de ‘take-off’ fase, ondanks dat de marktintroductie al meer dan 25 jaar geleden plaats vond. Voor voortvarende verdere groei dient het bodemenergie-innovatiesysteem te worden gecompleteerd. Met name de functies kennisontwikkeling, kennisdeling en marktontwikkeling behoeven nog versterking. De marktverwachtingen zijn nu realistisch na de hype in de jaren 2008-11 en bevinden zich nog net in of net na de ‘vallei van desillusie’ en is nu, volgens de theorie, klaar voor de snelle groeifase. Gezamenlijke multi-stakeholder actie moet alle zeven innovatiefuncties completeren. Een randvoorwaarde is herwinning van het marktvertrouwen door kwaliteit te leveren en het genereren van positieve feedback.

Verschillende actielijnen zijn aanbevolen oor inclusie in een sectorale roadmap om het totale framework te versterken en om nog onbenut marktpotentieel te mobiliseren. Het bewustzijn in die kansrijke maar zich nog weinig bewuste segmenten moet worden vergroot. In potentie kan dit bijvoorbeeld via relevante platforms zoals woningcorporaties en renovatieplatforms. De up front investering in een BES is relatief hoog, in het bijzonder voor minder kapitaalkrachtige kleine en middelgrote utiliteit. Financieringsarrangementen dienen dan ook te worden geëvalueerd en mogelijk verbeterd. Verdere integratie binnen de waardeketen naar gebiedsontwikkeling, bouw en installatie en ook facilitymanagement en engagement met eindgebruikers kan leiden tot groei van de marktvraag en verdere ontwikkeling van kwaliteit(sgaranties). Een structurele sectorale kennisagenda en – programma helpt continue technische en businessontwikkeling. Meer in het bijzonder kan worden gedacht aan verdere standaardisatie van (kleinere) systemen die kan leiden tot kostenverlaging en aan hoge-temperatuur warmtepompen opdat in niet-ingrijpende renovatie een bestaand hoge-temperatuursysteem kan worden behouden.

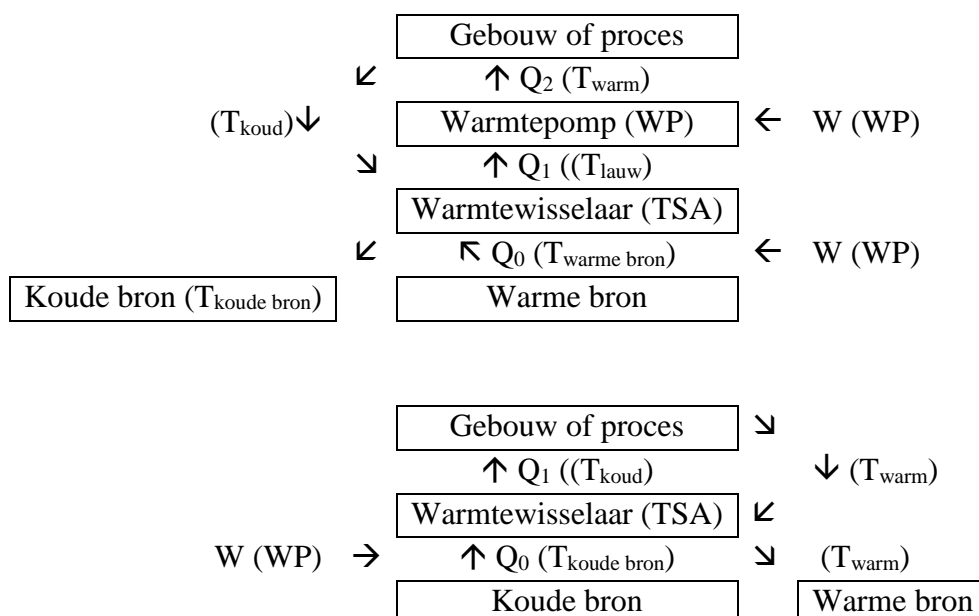
Tot slot verdient het wet- en regelgevend kader aandacht. Stimulering van de groei van bodemenergie moet hand-in-hand gaan met bescherming van het milieu en in dit geval dus van bodem en grondwater. Op maatschappelijk niveau dient continu balans te worden gevonden tussen techniek, milieu en bureaucratie. Indien dat lukt zal de bodemenergiesector op verantwoorde wijze kunnen groeien en daarmee in de doelstellingen van hernieuwbare peta-joulen van de nationale doelstellingen voorzien!

Appendix 1. Geselecteerde details van bodemsysteem-functionaliteit

Tabel 4 toont de toepasbaarheid van gesloten bodemwarmtewisselaars (BWW) en open warmte-koudeopslag (WKO) systemen als functie van gebouw grootte en hoofdfunctie; kleuren geven de mate van toepasselijkheid aan: dondergroen is goed, lichtgroen is voldoende. Debieten en temperatuurconversies worden in Figuur 29 weergegeven.

Tabel 4. Schematische weergave toepasbaarheid van gesloten BWW en open WKO als functie van gebouw grootte en -functie.

Wonen	Grondgebonden woning	Gestapelde woningbouw	N/A		
Utiliteitsbouw	N/A	Klein, bv. school	Gemiddeld, bv. kantoor	Groot, bv. winkelcentrum	Zeer groot, bv. multifunctioneel complex
BVO (m ²)	~100	1.000-2.000	2.000-10.000	10.000-50.000	50.000+
Verwarmingscap. (kW)	5	50-100	100-500	500-2.500	2.500+
BWW (gesloten)					
WKO (open)			10-50 m ³ /hr	50-250 m ³ /hr	> 250 m ³ /hr



Figuur 29. Schematische energiestromen en temperatuurconversies in een BES. Boven: verwarmingsmodus (winter); onder: directe koeling modus (zomer).

In principe zijn zowel warmte als koude uit de bodem (Q_0) ‘bijna gratis’, omdat er alleen pompenergie nodig is om grondwater (WKO) of circulatievloeistof (BWW) rond te pompen. En een warmtewisselaar om de warmte en/of koude te onttrekken voor afgifte aan het gebouw of proces. De temperatuur voor koelen, zo’n 6-11 °C, is in het algemeen laag genoeg voor passieve – directe – koeling. De temperatuur voor verwarmen, in de range van 14-20 °C, is te laag en behoeft een warmtepomp (WP) om de temperatuur te verhogen naar zo’n 35-40 °C voor een lage-temperatuur afgiftesysteem. De WP heeft enige primaire energie nodig (Work, oftewel $W(WP)$) waarbij de verhouding tussen totale nuttige warmte uit de WP (Q_2) en $W(WP)$ wordt uitgedrukt als de Coefficient of Performance (CoP). Deze is gemiddeld in de range van 2,5-5,0 wat zoveel betekent als voor 1 eenheid primaire energie krijg je 2,5-5 maal nuttige warmte beschikbaar. Koelen is dus vrijwel 100% hernieuwbaar, en verwarmen afhankelijk van de bron van de primaire energie, elektriciteit of gas. Bij hernieuwbare elektriciteit of bio-gas is verwarmen dus ook vrijwel volledig duurzaam, bij fossiele primaire energie nog altijd 60-80%.

Development of a STRES system is part of real estate development. The process starts with an investor hiring a project developer. As part of the specification, the buildings climate system is pre-designed. When STRES is the chosen concept for climate management, the schematic approach is:

1. Building function(s) and related expected heating and cooling demands.
2. Program of demands^x based on the thermal energy demands, taking into consideration minimal measures to meet mandatory energy performance demands (*i.e.* the EPC-requirements) and the required flexibility hence system robustness based of potential fluctuations of demands.
3. Choice of the ratio of the required peak demands, peak cooling in high summer and peak heating in the dead of winter, that should be delivered by the STRES system. Generally, this is in the range of 30% of the heating demand, allowing the STRES system to perform at its maximum capacity most of the time. For cooling, the ration may be (close to) 100% of the cooling demand to prevent having to use the heat pump for active cooling. See Figure 30.

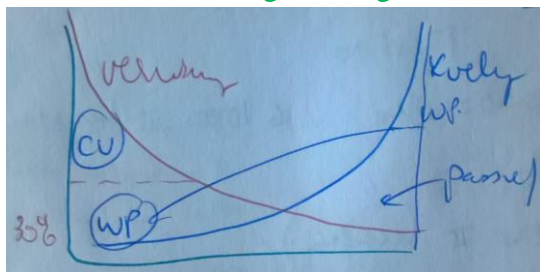


Figure 30 . Jaarbelastingduurkromme en keuze van het uit de bodem aan te leveren vermogen. X-axis: no. Of days increasing for heat, decreasing for cooling, Y-axis is specifiek capacity need.

^x Dutch: ‘Programma van Eisen’

4. Calculation of the 'name plate capacities' for heat and cooling from the well and of the potential misbalance in case of an ATES system. The latter would require additional balancing apparatus, i.e. a dry cooler in case of excess cooling demand.

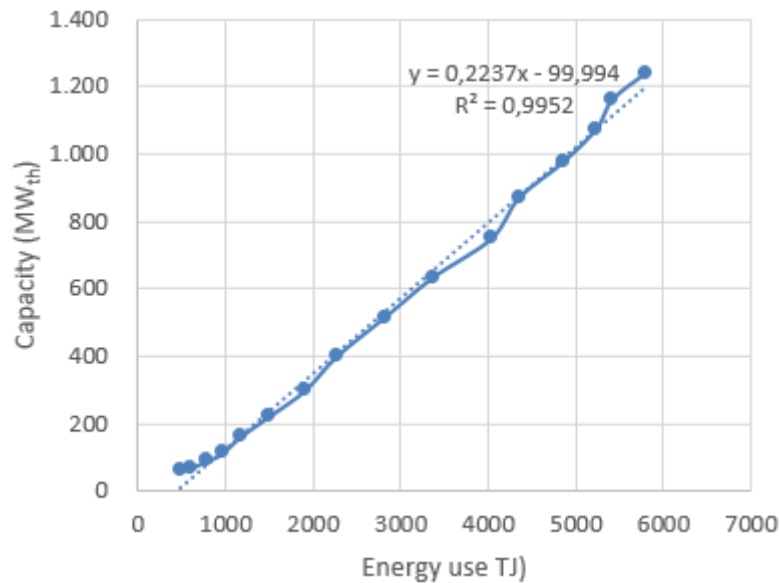
In the past, STRES system were designed based on peak cooling demand, yielding the STRES system' heating capacity as a result. In designing the climate system, the peak heating facility (gas-powered boiler) capacity was adjusted accordingly. Nowadays the STRES system is designed to overall optimize energetically and financially which may include using the heat pump for active cooling in case of high cooling demand.

Appendix 2. Data and data processing

Statistical (secondary) Data and data processing.

Capacity and energy

An increase of installed capacity and use of that capacity leads to an increase of energy use. Figure 31 shows the correlation in the period 2000-2015



Figuur 31. Thermisch vermogen bodemgebonden warmtepomp versus bodemenergiegebruik.

The linear correlation observed ($R^2=0,9952$) was used to calculate the required capacity to be installed for the national sustainable energy target, shown in Figure 32.

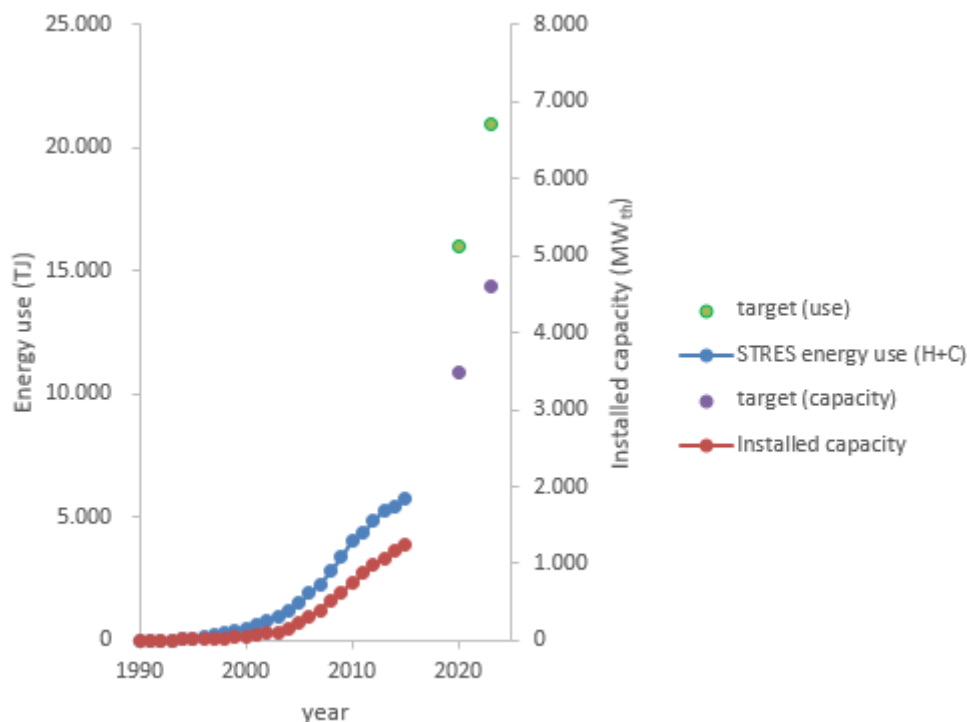


Figure 32. Historical development and national targets

For unit energy numbers, references from CBS¹¹⁰ were used.

STRES system size and building size

Utility buildings' average heating and cooling capacities needed are 50+10 W/m² floor surface for heating and 60+10 W/m² for cooling¹¹¹. The utility surface area serviced was thus calculated from ground-based heat pump heating capacities. Building size distribution was investigated by Sipma¹¹², Bak¹¹³ and Olthof Olthof¹¹⁴. STRES system' size distribution was reported by If-Technology¹⁵. When combined, the ratio of building size category serviced by STRES system can be reliably estimated.

Data and data processing

Primary data was obtained from the interviewees companies and some other non-public data⁶². A master Excel sheet contains all primary and secondary data collected and the calculations made on the data. The master Excel sheet is available as a separate Excel file. Statistical data for STRES from CBS⁸ discriminate between open and closed systems and between residential and utility use. CBS data for capacities and energy use of ground-based heat pumps do not discriminate between these two dimensions.

Details on STRES system were calculated from statistical data on sales of ground-based heat pumps combined with ATESS data based on granted environmental permits for new ATESS and annual reporting thereafter. Small BTES (< 70 kW) only have a mandatory registration since July 2013. The number of systems is highly uncertain and is estimated as the difference between heat pump sales and the number of ATESS. The number of ATESS in its turn is uncertain because not all permits are executed and/or implemented in full. Statistical data uncertainty is estimated at 25% by CBS.

Appendix 3. PESTLE analysis

TABLE 5. PESTLE analysis

Dimension	Analysis
Political; public sector	<ul style="list-style-type: none"> • Public policies for transition to sustainable energy supply and energy conservation; policies are inconsequent however because of changing nature of governments over time. • Energy transition Agreement (EA) with concrete implementation plans and accompanying rules and regulations requiring substantiation by and commitment from the EA sector • Public bodies, media and representative organizations expect a single face, voice and ear of the SE-sector • Verbal support but political and market competition (fighting back) from conventional energy sector (CE); they have a strong figure head • SE-sector is not exerting its economic weight and potential in the debate and negotiations • SE enables reducing dependence on less stable/friendly markets and regimes
Economic	<ul style="list-style-type: none"> • Large growth potential and ambitions, i.e. envisioned to be factor 4 financially and jobs in 10 years. • Whole SE-supply chains involved in debate and in execution empowering and enabling effective implementation • Differing potential and support needs for market development of the individual SE technologies leading to mixed messages • Fierce competition from mature CE-sector with existing infrastructure, economic power and political/social support. • Need to expand SE labor force and increase their competencies to materialize the expansion • The relatively young technologies require further development of businessmodels as conventional sell&use • Ongoing increasing CE energy prices are assumed
Social	<ul style="list-style-type: none"> • Energy market increasingly ready for transition based on sustainability awareness and competing business cases albeit some requiring subsidies • citizens collectively taking initiatives and/or demanding their housing companies for local energy supply and storage. • Some SE-companies are not interested in quality of their services leading to technical and exploitation issues • Much and increasing media attention for SE and outrage if opportunities are frustrated; media are however also seeking sensation by enlarging technical and exploitation problems
Technological	<ul style="list-style-type: none"> • Many of the SE-technologies are relatively young and thus need to be developed further including being integrated in existing infrastructures. • businessmodel and supply chain developments required (see 'economic') • STRES system feeding into high-temperature heating systems

Legal	<ul style="list-style-type: none"> • The legal system also is in transition to enable SE growth and gradually disable CE-technologies yielding large political, social, economic and environmental tensions, especially for STRES in balancing energetic benefits with ground-based concerns. • climate regulations require EU and global arrangements to prevent national and regional authorities to inhibit SE by protecting existing CE and energy intensive industries. • Local governments should stimulate and facilitate local SE-production and lobby for inclusion in regional and (inter)national energy grids
Ecological	<ul style="list-style-type: none"> • decreased environmental impact is a main driver of SE • Each Se-technology has its own opportunities and issues; e.g. geothermal energy may lead to earthquakes and groundwater pollution; windmills are perceived to pollute the landscape view.

Appendix 4. SWOT analysis

Tabel 6. SWOT analysis

Strengths	Weaknesses
<p>Technisch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kennis, o.a. bronkennis • Energetische optimalisatie <ul style="list-style-type: none"> • Voor gebouw - Hoog energetisch rendement • Voor BV Nederland • Levensduur bron 30+ jaar • Betrouwbaarheid • (Hulp)stoffen <ul style="list-style-type: none"> • Alleen water (geen koudemiddel) in gebouw <p>Duurzaam</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gasloos & all-electric = toekomst • Geen 'uitstoot' <ul style="list-style-type: none"> • CO₂ & Emissieloos met groene stroom • Warmte <ul style="list-style-type: none"> ○ Geen hitte-eiland-effect • Geluid <ul style="list-style-type: none"> ○ Geen geluid over erfgrens heen • Visueel/ruimtebeslag bovengronds <ul style="list-style-type: none"> ○ Onzichtbaar <p>Markt/Strategisch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Normen- en kwaliteitssysteem <ul style="list-style-type: none"> • BRL's & certificering • EPC & BREEAM (ook 'in use') • Comfort • Hoog rendement mogelijk <ul style="list-style-type: none"> ▪ Lage variabele kosten (door) 'gratis' passieve koeling 	<p>Technisch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Warmtepomp is groot t.o.v. CV-ketel + boiler • Balanseis WKO → beperking toepasbaarheid en dure regeneratie <p>Markt/strategisch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hoge basisinvestering wegens boring, warmtepomp en maatwerk • Maatwerk voor elk systeem → duur & risico op sub-optimaal bedrijf • Overlast & schade aan perceel bij aanleg bron • Aanvaarding van opdracht voor inferieur systeem (lage kosten) • Klimaatsysteem is vaak geen onderdeel van gebouw-ontwerp (architect) • BE-bedrijven hebben geen middelen/capaciteit voor bredere discussie • Split incentive: investeren en profiteren door verschillende partijen <ul style="list-style-type: none"> ▪ NB bij een oplossing door het 'contant maken' van vastrecht profiteert de eindgebruiker weer te weinig • 'We' hebben slecht(e) (werkende) systemen aangelegd <p>Anders</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ontbreken leerstoel bodemenergie
<p>Opportunities</p>	<p>Threats</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Standaardisatie & modulair ontwerp <ul style="list-style-type: none"> ○ Goedkoper én kwalitatief goed; eenvoudiger dus beter te bedrijven systemen ○ Herkenbaar & overal toepasbaar (Plug & Play) 	<p>Markt/strategisch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Energielabel woningen leeft niet • Warmteoverschot bodem mag niet (WBBE/OW)

<ul style="list-style-type: none"> ○ Per klantsector standaardiseren PMC ○ Modulaire opschaling mogelijk ● Middelgrote utiliteit en projectmatige woningbouw <ul style="list-style-type: none"> ○ NB kleine utiliteit geen business case ● Renovatie ● Slimme combinaties <ul style="list-style-type: none"> ○ Combinatie van vraag en overschot <ul style="list-style-type: none"> ● Combinaties van gebouwen = uitruil overschotten; bv. woningen (wamtevraag) en datacenters/scholen (interne warmtelast) ○ Integratie WKO met gebouw voor regeneratie ○ Add-on voor (stads)warmtenetten voor bufferen van lokale/tijdelijke overschotten ○ WKO en bodemsanering ● Vroeg en integraal in keten meepraten <ul style="list-style-type: none"> ○ Totaalconcept realisatie & beheer ○ Integraal onderdeel van stadsvernieuwing en locatie-ontwikkeling (basisvoorzieningen) ● Bijzondere gebouwen, bv. monumenten ● Samenwerking met <ul style="list-style-type: none"> ○ Warmtepompen (DHPA) ○ Isolatie-industrie (bv. Rockwool) ○ Geothermie (warmte-cascadering) ● Kennisdeling met concullega's en ketenpartners <ul style="list-style-type: none"> ○ Kennis codificeren in tool(s) ● Totaal-analyse bestaande systemen → StaVaZa & kans op verbeterslag (aankoop) ● 'smart-grids' van WKO bellen → positieve interferentie ● Export van STRES aanleg en kennis ● BE reduceert electriciteitsnet-verzwarend door piekvraag-reductie 	<ul style="list-style-type: none"> ● Eenduidig en volledig register van systemen ontbreekt → kans op neg. interferentie ● Niet-samenhangend beleid en communicatie <ul style="list-style-type: none"> ○ rijksoverheid beleid 3 departementen EZ/I&M/BZK ○ communicatie rijk naar decentraal ○ lokale maatregelen bv. lozingsbeperkingen ● ISDE-subsidie lastig bij projectontwikkelaars ● EPC-eisen renovatie (net-niet kaalslag) niet streng genoeg ● Weinig handhaving → ruimte 'rommelaars' ● Kopersmarkt → aanleg op lage kosten = inferieure systemen ● Kennisgebrek <ul style="list-style-type: none"> ○ Sector: juiste (niche)markten ○ Partners ○ Bevoegde gezagen ● Regressieve energieprijzen bij toename gebruik ● Conservatieve installatiebranche adviseert 'gewoon' gasketels
---	--

Appendix 5. Competition and substitutes

Competition and substitutes

Competition of STRES are other alternative heating and cooling techniques based on storage of thermal energy and/or of sustainable sources of heat and cooling. Examples are listed in Table 7¹¹⁵.

Table 7. Competition and substituents

Techniek		Energetic capacity ^{xi}	Specific examples	Energetic contribution (of all renewable)
Thermal storage	(subsoil) water tank	~100 MJ/m ³ (i.e. delta T ~24 K)		Very small
	Phase change materials	~300-500 MJ/m ³	solar freezer	Very small
	thermochemical reaction	~1000 MJ/m ³		Very small
Heat generation	Air-water or air-air heat pumps	5-100's of kW		3%
	Heat from drinking water	10's of kW	Waternet (Amsterdam)	emerging
	Solar boilers			2%
	biopellet- and biomass boilers	kW- multi MW ranges		59%
	Residual heat	100's of MW's	Gas-powered electricity plants	22%
	Geothermal heat	100's of MW's		4%

^{xi} NB thermal capacity ATES is 4.2 MJ/m³/K; with a temperature difference (delta T) of 4-7 K the thermal capacity is some 20-30 MJ/m³ groundwater.

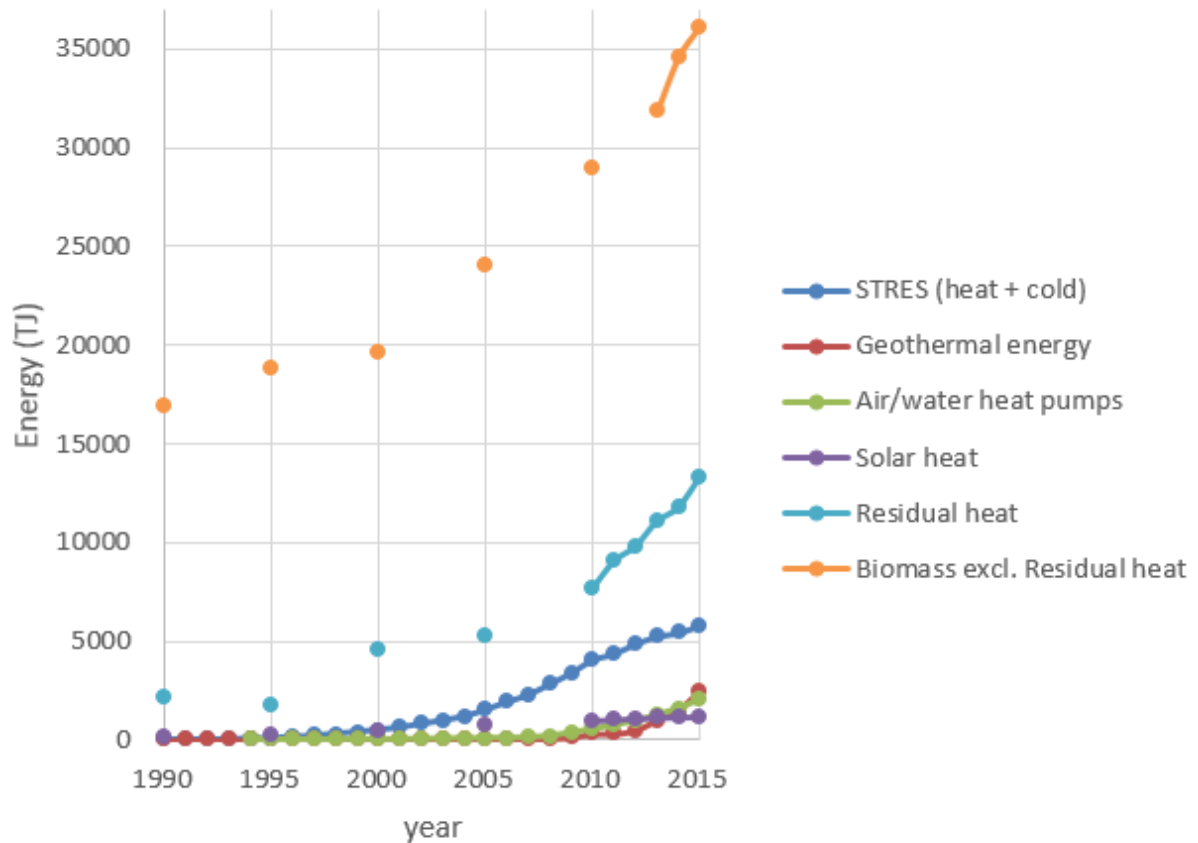


Figure 33. Competing sustainable heat generation technologies.

Figure 33 shows that STRES is of significant size but at risk regarding high growth of Air-heat pumps and geothermal energy.

Table 8. Relative market contributions of competing heat generation techniques.

Technology	Energy use share 2015 (%)	Average Growth '10-'15 pa	Market share '10-'15	Market share '15	market share trend
Total heat		9%			
Air/water heat pumps	3%	55%	8%	9%	↑
Solar heat	2%	3%	1%	0%	↓
Residual heat	22%	14%	30%	31%	↑
Biomass excl. Residual heat	59%	5%	39%	32%	↓
Geothermal energy	4%	135%	12%	20%	↑
STRES (heat + cold)	10%	9%	10%	8%	↓

Appendix 6. Interviews

Appendix 6A: list of interviewees

Appendix 6B. Interview questions

Appendix 6C. Interview reports (separate file)

6A. The organizations and persons that were interviewed are:

Table 9. List of interviewees.

Organiza- tion	Plaats in BE-keten							Perso(o)n(en)	Interview datum (locatie)
	Advice	esign	Subsoil installation	Isurface installation	drilling	exploitation	Techn. maintenance		
Company portfolio									
Installect- Geocom- fort	yes	yes	yes	yes			yes	Broekhuizen, Heuvel en Van der Lee	24Jun16 (Nijkerk) (Ongestructureerd interview, eig. buiten kader project)
ENGIE	yes	yes	yes	yes		yes	yes	Penning en Homan	02Aug16 (Bunnik)
Unica- EcoPower	Yes	yes	?	yes		yes	yes		08Aug16 (Hoevelaken)
DWA	yes	Alléén PvE					yes	Den Dekker	24Aug16 (Bodegraven)
Groen- holland	Yes	Yes	Yes				Yes	Van Gelder en Witte	24Aug16 (Amsterdam)
Techni- plan	yes	PvE en voorontwerp					yes	Molenaar	25Aug16 (Rotterdam)
Nathan	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes		Yes	De Gans	06Sep16 (Leusden)
Haitjema			yes		yes			Folders	08Sep16 (De Meern)
If Techno- logy	yes	yes				?	yes	Van Hilten and Koenders	06Sep16 (Arnhem)
Utrecht Municipi- pality								Van der Vliet	(06Okt16) (Utrecht)

6B: Interview questions:

#	Question	Details
1	Introduction person and company	<ul style="list-style-type: none"> - Turnover and share of STRES - Type of business in STRES and/or role in the real estate value chain - Role/function of interviewee in company and/or in the sector
2	Working philosophy and principles regarding STRES system quality	<ul style="list-style-type: none"> - Design principles (e.g. Heat and cooling demands, balance, base load/peak facilities) - Product portfolio
3	New STRES system investment	<ul style="list-style-type: none"> - Energetic and financial policy

		<ul style="list-style-type: none"> - Where, if any, are financial and/or energetic concessions to quality - Financing of projects
4	Existing STRES system maintenance and/or exploitation	<ul style="list-style-type: none"> - Number and range of systems maintained/managed - Cost structure
5	Value chain	<ul style="list-style-type: none"> - Split incentives? Value generated and shared - Interdependence within the STRES subsectors - Market potential & views on how to unlock?
6	Developments and trends	<ul style="list-style-type: none"> - What sectoral and framework trends - How to anticipate
7	Resources and capabilities	<ul style="list-style-type: none"> - In-company and/or collaboration - Vertical integration up- and/or down value chain
8	Competition, substitutes	<ul style="list-style-type: none"> - Competing techniques, their business case
9	Systems' data and/or empirical model calculations	<p>If willing and able (allowed):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Project, location - Building and function - Size (surface area) - New or renovation? - Type system - Capacities - Energy use (MWh_{th}) - Financial data (Investment, details on system parts; variable costs, subsidies received etc.) - Performance-data (e.g. SPF, delta-T, flow (ATES, m³/hr)) - Exploitation numbers (period, fixed fees, variable costs. - TCO data, if available.

Verwijzingen en noten

- ¹ Graaf, R.E. de, F.H.M. van de Ven, I. Miltenburg, G. van Ee, L.C.E. van de Winckel en G. van Wijk (2008), Exploring the Technical and Economic Feasibility of using the Urban Water System as a Sustainable Energy Source, *Thermal Science* Vol 12, No 4, pp 35-50.
- ² Schoots, K., Hammingh, P. (2015), *Nationale Energie Verkenning 2015*, <https://www.ecn.nl/publications/BS/2015/ECN-O--15-033>
- ³ Schepers, B. en Aarnink, S., *Kansen voor warmte*, Delft: CE Delft (2014). http://www.ce.nl/publicatie/kansen_voor_warmte/1475
- ⁴ SER Energieakkoord voor duurzame groei (september 2013).
- ⁵ Warmtevisie MinEZ (april 2015).
- ⁶ “Bodemenergie, de onmisbare schakel in de energietransitie”, BodemenergieNL, Woerden, april 2014. Zie: https://issuu.com/bodemenergienl/docs/standpuntenboekje_bodemenergienl_lo
- ⁷ “Uitwerking Overige Hernieuwbare Energie - tussenstand ten behoeve van de Borgingscommissie van het Energieakkoord voor duurzame groei” dd. 18 december 2014.
- ⁸ <http://statline.cbs.nl/Statweb/>
- ⁹ D. Vanhoudt, J. Desmedt, J. Van Bael, N. Robeyn, H. Hoes, (2011), An aquifer thermal storage system in a Belgian hospital: Long-term experimental evaluation of energy and cost savings, *Energy and buildings*, 43 (12), 2011, p. 3657. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811004427>
- ¹⁰ Rabobank (2014).
- ¹¹ Nordell, B., Snijders, A. and Stiles, L. (2015), *The use of aquifers as thermal energy storage (TES) systems*, in: *Advances in Thermal Energy Storage Systems*, Elsevier, 87-115.
- ¹² Bloemendal, M., Olsthoorn, T., & Boons, F. (2014). How to achieve optimal and sustainable use of the subsurface for Aquifer Thermal Energy Storage. *Energy Policy*, 66, 104-114.
- ¹³ SKB (2012), *Meer met bodemenergie*, Gouda: SKB and references therein. See: <http://soilpedia.nl/Wikipaginas/Meer-met-Bodemenergie.aspx>
- ¹⁴ Geelen, C.P.J.M. and Braber, K.J. (2013), *Monitoring van (energetische) prestaties en knelpuntenanalyse WKO-systemen in de glastuinbouw*, Arnhem: Productschap Tuinbouw.
- ¹⁵ If-Technology (2016), *Rapportage bodemenergiesystemen in Nederland, analyse van 125 projecten*, Utrecht: RVO. www.rvo.nl/sites/default/files/2016/06/Rapport%20Bodemenergiesystemen%202016.PDF
- ¹⁶ Rogers, E. (2003), *Diffusion of Innovations*, Fifth Edition. The Free Press, New York.
- ¹⁷ Grant, R.M. (2013), *Contemporary Strategy Analysis*, Chichester, UK: John Wiley & sons Ltd., 8th ed., p. 209.
- ¹⁸ Shane, S.A. (2014), *Technology Strategy for managers and entrepreneurs*, Pearson Education Ltd, p. 22.
- ¹⁹ Moore, G. (2013), *Crossing the chasm*, London: Harper Business Essentials.
- ²⁰ Fichter, K. and Clausen, J. (2013), *Diffusion paths of sustainability innovations*, Berlin: Borderstep Institute.
- ²¹ Planko, J., Cramer, J.M., Chappin, M.M.H., Hekkert, M.P., “Strategic collective system building to commercialize sustainability innovations”, *Journal of Cleaner Production* 112 (2016) 2328-2341.
- ²² Grubler, A., “Energy transitions research: Insights and cautionary tales”, *Energy Policy* 50 (2012) 8–16.
- ²³ Adner, R., *The wide lens*, a new strategy for innovation, Penguin, London, 2012, p. 47-61.
- ²⁴ Mokyr, J. (2001), *High technology in the low countries: geschiedenis van de techniek in Nederland*, *Technology and culture* 42 (2001), 133-136.
- ²⁵ Christensen, C.M., Anthony, S.D. and Roth, E.A. (2004), *Seeing what’s next*, Boston, USA: Harvard Business School Press, p. 39.
- ²⁶ Fichter, K. and Clausen, J., *Diffusion dynamics of sustainable innovation – insights on diffusion patterns based on the analytics of 100 sustainable products and service innovations*, *Journal of Innovation Management* 2 (2) (2016), 30-67.
- ²⁷ A. Grubler, *Energy Policy* 50 (2012) 8–16, “Energy transitions research: Insights and cautionary tales”.
- ²⁸ Jaxa Rozen, M. (2015), 2015 Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). “The adoption and diffusion of common-pool resource-dependent technologies: The case of aquifer Thermal Energy Storage systems”.
- ²⁹ Boons F., & Ludeke-Freund F. (2013). Businessmodels for sustainable innovation: State-of-the-art and steps towards a research agenda. *Journal Of Cleaner Production*, 45, 9-19.
- ³⁰ Boons, F., Montalvo, C., Quist, J., & Wagner, M. (2013). Sustainable innovation, businessmodels and economic performance: an overview. *Journal Of Cleaner Production*, 45, 1-8.
- ³¹ Hekkert, M. and Ossebaard, M., *De innovatiemotor Het versnellen van baanbrekende innovaties*, Assen: Van Gorcum, p. 77.

- ³² Gartner. <http://www.gartner.com/technology/research/methodologies/hype-cycle.jsp>
- ³³ Moenaert, R., Robben, H. and Gouw, P. (2014), *Marketing strategy & organization*, Leuven, Belgium: Lannoo Campus, p.39.
- ³⁴ Porter, M.E. (2008), *The five competitive forces that shape strategy*, Harvard Business Review, 57 (January 2008), 57-71.
- ³⁵ Moenaert, R., Robben, H. and Gouw, P. (2014), *Marketing strategy & organization*, Leuven, Belgium: Lannoo Campus, p. 59.
- ³⁶ Grant, R.M. (2013), *Contemporary Strategy Analysis*, Chichester, UK: John Wiley & sons Ltd., 8th ed., p. 81.
- ³⁷ Laffley, A.G. and Martin, R. (2013), *Playing to win*, Harvard Business School Press.
- ³⁸ Porter, M.E. (2008), *The five competitive forces that shape strategy*, Harvard Business Review, 57 (January 2008), 57-71.
- ³⁹ McGrath, R.M. (2013), *The end of competitive advantage*, Boston, USA: Harvard Business Review Press.
- ⁴⁰ CBS (2016), *Hernieuwbare Energie in Nederland 2015*, Den Haag.
- ⁴¹ Schreurs, J.W., 2016, *Feiten en cijfers*, Zoetermeer: Bouwend Nederland.
<http://www.bouwendnederland.nl/feiten-en-cijfers>
- ⁴² Bouwkennis, 2016, *Bouwkennis jaarrapport 2016/17*, Rotterdam: Bouwkennis BV, p. 32.
- ⁴³ Ruijter, P. de, Kenter, R. and Heijningen, J. van (2015), *Scenario's energiebesparing gebouwde omgeving 2050 – fase 1- trends en onzekerheden*. LINK
- ⁴⁴ Sipma, J.M. (2014), *Energieverbruik in de utiliteitssector*, Real Estate Research quarterly, september 2014, p. 36-44. <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2014/v14011.pdf>
- ⁴⁵ Olthof, H. (2012): Onderzoek oppervlaktegegevens utiliteitsbouw (Geon), bijlage 7.
<http://docplayer.nl/19792667-Onderzoek-oppervlaktegegevens-utiliteitsbouw.html>
- ⁴⁶ SKB (2012), *Bodemenergie warm aanbevolen*, Gouda: SKB.
<http://www.soilpedia.nl/Bikiwiki%20documenten/SKB%20Cahiers/Bodemenergie.pdf>
- ⁴⁷ Sass, I. and Burbaum, U., *Damage to the historic town of Staufen (Germany) caused by geothermal drillings through anhydrite-bearing formations*, ACTA CARSOLOGICA 39/2 (2010), 233–245. See also:
<http://www.dw.com/en/green-good-intentions-cause-chaos-in-two-german-towns/a-4473382>
- ⁴⁸ Schoots, K., Hammingh, P. (2015), *Nationale Energie Verkenning 2015*, ECN.
<https://www.ecn.nl/publications/BS/2015/ECN-O-15-033>
- ⁴⁹ Schepers, B. en Aarnink, S., *Kansen voor warmte*, Delft: CE Delft (2014).
http://www.ce.nl/publicatie/kansen_voor_warmte/1475
- ⁵⁰ RLI (2015), *Rijk zonder CO₂*, Den Haag: Raad voor de Leefomgeving en Infrastructuur, p. 34.
<http://www.rli.nl/publicaties/2015/advies/rijk-zonder-co2-naar-een-duurzame-energievoorziening-in-2050>
- ⁵¹ See for example <https://www.paulderuiter.nl/nl/projects/sustainability/energy-neutral>
- ⁵² <http://www.tinyhousenederland.nl/>
- ⁵³ Kuipers, W. (2008), “DUURZAME ENERGIE OP GEBIEDSNIVEAU - Een onderzoek naar toepassing van collectieve WKO systemen in de private utiliteitssector”, master scriptie.
<http://alexandria.tue.nl/extra2/afstversl/bwk/637188.pdf>
- ⁵⁴ Heijden, van der, J. (2012), *Toekomstwaarde NU: de kracht van functiecombinaties*, Utrecht: AgentschapNL.
- ⁵⁵ Moore, G., *Crossing the chasm*, Harper Business Essentials, London, 2013.
- ⁵⁶ ISDE subsidy scheme 2016-2020. See: <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/investeringsubsidie-duurzame-energie>
- ⁵⁷ *Hoge score voor warmtepompen in ISDE-regeling*, Vakblad warmtepompen, October 2016, p. 7.
- ⁵⁸ Tilburg, J. van, Leun, K. van der, Staats, M. and Petersdorff, C. (2016), *Windless winter weeks*, Utrecht, Ecofys
- ⁵⁹ Rihoux, B., "Qualitative Comparative Analysis (QCA) and Related Systematic Comparative Methods: Recent Advances and Remaining Challenges for Social Science Research", *International Sociology*, 21 (5) (2006) 679.
- ⁶⁰ Ruijter, P. de, Kenter, R. and Heijningen, J. van (2015), *Scenario's energiebesparing gebouwde omgeving 2050 – fase 1- trends en onzekerheden*.
- ⁶¹ Ruijter, P. de, Kenter, R. and Heijningen, J. van (2015), *Scenario's energiebesparing gebouwde omgeving 2050 – fase 2- scenario's*.
- ⁶² Rijksgebouwendienst, 2012, ministry of housing, spatial development and the environment, *Model en systematiek warmte/koudeopslag - factsheet*, Den Haag.
- ⁶³ Dooren, H. van (2015), *Tussenbalans in WKO. Van koude kermis naar duurzame warmte*. Milieumagazine nr. 1/2, FEBRUARI 2015, p. 30-31.
- ⁶⁴ Bloemendal, M. and Jaxa-Rozen, M., Results of WKO users survey on drivers and barriers for investing in WKO, Delft: TU Delft, to be published.
- ⁶⁵ Unica (2013), *Komt een WKO bij de dokter*, Unica White paper. <https://www.unica.nl/getmedia/98c9388a-c461-4dc4-9f6a-2263ee8675b9/Whitepaper-Unica-Ecopower-Komt-een-WKO-bij-de-dokter-06-2013.pdf>

- ⁶⁶ <http://www.kuijpers.nl/wko>
- ⁶⁷ <http://vaanster.nl/>
- ⁶⁸ <http://www.eteck.nl/>
- ⁶⁹ Bouwkennis, 2016, *Bouwkennis jaarrapport 2016/17*, Rotterdam: Bouwkennis BV, p. 21.
- ⁷⁰ See for example www.stroomversnelling.nl
- ⁷¹ Bouwkennis, 2016, *Bouwkennis jaarrapport 2016/17*, Rotterdam: Bouwkennis BV, p. 32.
- ⁷² Unica (2015), *Nearly Zero Energy Buildings – voor bestaand vastgoed*, Unica white paper. https://www.unica.nl/getmedia/3051c242-f018-440c-a265-8b2862652372/Whitepaper_nZEB_Unica.pdf
- ⁷³ Bouwkennis, 2016, *Bouwkennis jaarrapport 2016/17*, Rotterdam: Bouwkennis BV, p. 27.
- ⁷⁴ Geijer, T. (2014), *Energiebesparing in bestaand vastgoed*, ING. https://www.ing.nl/media/ING%20-%20Energiebesparing%20in%20bestaand%20vastgoed%20-%20maart%202014_tcm162-32707.pdf
- ⁷⁵ Bouwfonds IM (2013), in reference 68.
- ⁷⁶ <http://www.nrp.nl/>
- ⁷⁷ Mann, D.L. (2007) 'Hands-on Systematic Innovation', Sowton: Short Run Press Ltd., p. 335.
- ⁷⁸ Reference 7, p. 8.
- ⁷⁹ See e.g. <https://www.consumentenbond.nl/energie-vergelijken/warmtepompsysteem> and <https://www.eigenhuis.nl/huis-duurzaam-maken/energiehuis/warmtepomp>.
- ⁸⁰ Morrison, M. and Daniels, K. (2010), *Pestle Analysis Factsheet*, London: Chartered Institute for Personnel and Development; Huckzinsky, A.A. and Buchanan, D.A. (2013), *Organizational Behaviour*, Harlow, UK: Pearson, Eighth edition, p. 57.
- ⁸¹ Agterberg, 2015, *Organizational Change in the Dutch Sustainable Energy sector association, EMBA paper for Organizational Behaviour and Human Resources Management*.
- ⁸² Mann, D.L. (2007) 'Hands-on Systematic Innovation', Sowton: Short Run Press Ltd., p. 343.
- ⁸³ Hoes, H., Patyn, J. and Lookman, R. 2012, *The combination of aquifer thermal energy storage (WKO) and groundwater remediation*, Mechelen: OVAM. http://rwsenvironment.eu/publish/pages/97224/citychlor_ates_with_remediation_20april2012.pdf
- ⁸⁴ Hydreco (2016), WKO-plus combineert duurzame energie en sanering. http://www.hydreco.nl/Actueel/Overzicht/Artikel/16-11-01/WKO-plus_combineert_duurzame_energie_en_sanering.aspx
- ⁸⁵ SER Energieakkoord voor duurzame groei (september 2013).
- ⁸⁶ "Uitwerking Overige Hernieuwbare Energie - tussenstand ten behoeve van de Borgingscommissie van het Energieakkoord voor duurzame groei" dd. 18 december 2014.
- ⁸⁷ Ministry of economic affairs (2015), *Warmtevisie*, Den Haag.
- ⁸⁸ "Bodemenergie, de onmisbare schakel in de energietransitie", BodemenergieNL, Woerden, april 2014. https://issuu.com/bodemenergienl/docs/standpuntenboekje_bodemenergienl_lo
- ⁸⁹ Wijngaart, R.A. van den, Folkert, R.J.M. and Elzenga, H.E. (2012), *Naar een duurzamere warmtevoorziening van de gebouwde omgeving in 2050*, Den Haag: PBL.
- ⁹⁰ eRisk Group, 2012. *Het technisch potentieel van lokale decentrale duurzame energie opwek oplossingen in 2020*, S.l.: eRisk Group.
- ⁹¹ SKB (2008), *Bodem onder energie*, Gouda: SKB.
- ⁹² PBL (2011).
- ⁹³ D. Vanhoudt, J. Desmedt, J. Van Bael, N. Robeyn, H. Hoes (2011), *An aquifer thermal storage system in a Belgian hospital: Long-term experimental evaluation of energy and cost savings*, Energy and buildings, 43 (12), 2011, p. 3657.
- ⁹⁴ Rabobank (2014).
- ⁹⁵ Reference 7, p. 10.
- ⁹⁶ <http://vakbladwarmtepompen.nl/hermitage-amsterdam-en-hortus-botanicus-aangesloten-op-een-warmte-koudebron/>
- ⁹⁷ Grant, R.M. (2013), *Contemporary Strategy Analysis*, Chichester, UK: John Wiley & sons Ltd., 8th ed., p. 369.
- ⁹⁸ www.bodemenergienl.nl
- ⁹⁹ SKB et al. (2012), *Meer met bodemenergie*, Gouda: SKB.
- ¹⁰⁰ www.kennisplatformbodemenergie.nl
- ¹⁰¹ www.nederlandsinversteringsagentschap.nl
- ¹⁰² www.gebruikersplatformbodemenergie.nl
- ¹⁰³ Griendt, B. van der, *Bodemenergie op z'n retour*, Cobouw, 1 October 2015. <http://www.cobouw.nl/artikel/1598906-aandeel-bodemenergie-stagneert>
- ¹⁰⁴ Griendt, B. van der, *Bodemenergie definitief op zijn retour*, Bodem 5 (October 2016), p. 27.
- ¹⁰⁵ Bauerhuit, T. (2016) in *Rendement wko over de hele linie verbeterd*, ENSOC, 16 February 2016. <https://www.ensoc.nl/nieuws/rendement-wko-over-hele-linie-verbeterd>

-
- ¹⁰⁶ Hekkert, M. and Ossebaard, M., *De innovatiemotor Het versnellen van baanbrekende innovaties*, Assen: Van Gorcum, p. 49.
- ¹⁰⁷ Mcgrath, R.G. and MacMillan, I.C. (2009), *Discovery driven growth*, Boston: Harvard Business Press.
- ¹⁰⁸ Moenaert, R., Robben, H. and Gouw, P. (2014), *Marketing strategy & organization*, Leuven , Belgium: Lannoo Campus, p.59.
- ¹⁰⁹ Agterberg, F, 2016: *Organizational Change BodemenergieNL*, TIAS MBA paper for Organizational Change.
- ¹¹⁰ CBS (2016), *Onderzoeksbeschrijving Energiekentallen Utiliteitsbouw*, Den Haag: Studio BCO, maart 2016.
- ¹¹¹ Sipma, J.M. (2014), *Energieverbruik in de utiliteitssector*, Real Estate Research quarterly, september 2014, p. 36-44. <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2014/v14011.pdf>
- ¹¹² Sipma, J.M. (2014), *Energieverbruik in de utiliteitssector*, Real Estate Research quarterly, september 2014, p. 36-44. <ftp://ftp.ecn.nl/pub/www/library/report/2014/v14011.pdf>
- ¹¹³ Bak, R.L. (2012): Kantoren in cijfers 2011. Statistiek van de Nederlandse kantorenmarkt. Nieuwegein: NVM Business. http://mvgmbedrijfshuisvesting.nl/documents/1399_Kantoren%20in%20Cijfers%202011.pdf
- ¹¹⁴ Olthof, H. (2012): Onderzoek oppervlaktegegevens utiliteitsbouw (Geon), bijlage 7. <http://docplayer.nl/19792667-Onderzoek-oppervlaktegegevens-utiliteitsbouw.html>
- ¹¹⁵ Paksoy et al., *International Journal of Global Warming* , 2015, *Volume 1, Issue 1-3.*, *CO₂ mitigation with thermal energy storage.* <http://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJGW.2009.027093>



Dit is een publicatie van:
Rijksdienst voor Ondernemend Nederland
Croeselaan 15 | 3521 BJ Utrecht
Postbus 8242 | 3503 RE Utrecht
T +31 (0) 88 042 42 42
E klantcontact@rvo.nl
www.rvo.nl

Deze publicatie is tot stand gekomen in opdracht van het ministerie van Economische Zaken.

© Rijksdienst voor Ondernemend Nederland | maart 2017
Publicatienummer: RVO-026-1701/RP-DUZA

De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO.nl) stimuleert duurzaam, agrarisch, innovatief en internationaal ondernemen. Met subsidies, het vinden van zakenpartners, kennis en het voldoen aan wet- en regelgeving. RVO.nl werkt in opdracht van ministeries en de Europese Unie.

RVO.nl is een onderdeel van het ministerie van Economische Zaken.