



Planbureau voor de Leefomgeving

Toekomstbeeld Klimaatneutrale warmtenetten in Nederland

Beleidsstudie

Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland

Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland

Beleidsstudie

Nico Hoogervorst

Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2017

PBL-publicatienummer: 1926

Contact

nico.hoogervorst@pbl.nl

Auteur

Nico Hoogervorst

Met dank aan de volgende personen die informatie hebben aangedragen en/of waardevol commentaar hebben geleverd op de conceptversie van dit rapport, in alfabetische volgorde, allen PBL-collega's tenzij anders vermeld: Pieter Boot, Thijs Boxem (TNO-Geo-energy), Piet Broekharst (LTO-Glaskracht), Hans Elzenga, Jurgen Ganzevles, Pieter Hammingh, Anton van Hoorn, Leo Oprel (EZ), Jan Matthijsen, Jos Notenboom, Jan Ros (tevens projectleider van het raamproject waar deze studie onder valt), Bart Wesselink (Bart Wesselink | vereenvoudigt duurzaamheid), Bram Willemse (Studio Marco Vermeulen), Ruud van den Wijngaart.

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Uitgeverij PBL

Opmaak

Xerox/OBT, Den Haag

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Hoogervorst, N. (2017), *Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland*, Den Haag: PBL.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is voor alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoud

BEVINDINGEN

Samenvatting en conclusies 8

VERDIEPING

1 Inleiding 18

2 Mogelijke toekomstbeelden 20

2.1 De betekenis van collectieve warmtevoorziening in Nederland 20

2.2 Mogelijke warmtesystemen van de toekomst 25

2.3 Selectie van kansrijke collectieve warmtesystemen op lange termijn 27

3 Toekomstbeeld geothermie in Nederland 30

3.1 Potentiële beschikbaarheid van geothermie 30

3.2 Huidige ontwikkelingen bij geothermie 37

3.3 Ontsluiting van het potentieel van geothermie 40

4 Warmtevoorziening voor gebouwen 42

4.1 De potentie van warmtenetten voor gebouwen 42

4.2 Huidige collectieve warmtevoorziening voor gebouwen 45

4.3 Mogelijkheden voor warmtelevering aan gebouwen beter benutten 48

5 Warmtevoorziening voor de industrie 52

5.1 Potentie van warmtenetten voor de industrie 52

5.2 Huidige industriële warmtevoorziening 53

5.3 Mogelijkheden voor industriële warmte beter benutten 54

6 Warmtevoorziening in de glastuinbouw 58

6.1 Potentie van warmtenetten voor de glastuinbouw 58

6.2 Huidige warmtevoorziening voor kassen 58

6.3 Opgaven voor een klimaatneutrale glastuinbouw 60

7 Ontwikkeling van nieuwe warmtetransportnetten 64

7.1 Toekomstbeeld warmtetransportnetten 64

7.2 Huidige situatie bij warmtenetten 64

7.3 Mogelijkheden voor warmtenetten beter benutten 69

Literatuur 74

BEVINDINGEN

BEVINDINGEN

Samenvatting en conclusies

Nieuwe warmtenetten nodig voor de energietransitie

De aanleg van nieuwe warmtenetten kan een belangrijke bijdrage leveren aan de transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem in Nederland. Ongeveer de helft van de energie wordt in Nederland gebruikt voor het verwarmen van gebouwen en voor productieprocessen. Om een klimaatneutraal energiesysteem te realiseren is het nodig om een zo groot mogelijk deel van de verwarming te dekken uit klimaatneutrale bronnen, zoals: biomassa, groene stroom, groen gas, maar ook restwarmte (mits klimaatneutraal opgewekt), aardwarmte, en andere vormen van omgevingswarmte uit lucht, water en bodem. Het bestaande netwerk kan vaak wel die stroom en gas transporteren, maar de capaciteit voor warmte-energie is beperkt; nieuwe warmtenetten vormen dan ook een belangrijk element in een klimaatneutraal energiesysteem.

Nieuwe warmtenetten verschillen van de bestaande warmtenetten. Bestaande netten worden veelal gevoed door één grote (vaak fossiel gestookte) warmtebron of een beperkt aantal bronnen van één eigenaar, terwijl nieuwe warmtenetten doorgaans gevoed zullen worden door een aantal minder grote en kleinere (niet fossiel gestookte) warmtebronnen van verschillende eigenaren. Om het gebruik van nieuwe warmtenetten mogelijk te maken, zullen ook veel gebouwen en productieprocessen geschikt gemaakt moeten worden voor dit type warmtevoorziening, wat veel geld gaat kosten en tijdelijk veel ongemak zal veroorzaken. De afgelopen decennia zijn al veel initiatieven ontplooid om energiebesparing en het gebruik van restwarmte en warmtenetten te stimuleren. Op dit moment wordt circa 4 procent van de nationale warmtevraag via warmtenetten geleverd.

Uit deze studie blijkt dat warmtenetten de potentie hebben om op termijn circa de helft van de benodigde warmte te leveren; dat is dus grofweg een kwart van de totale energiebehoefte. Maar om die potentie rond 2050 te kunnen benutten, moet een aantal hardnekkige barrières

snel worden geslecht. We geven in deze studie een onderbouwde schatting van de potentiële bijdrage van nieuwe warmtenetten aan de warmtevoorziening in 2050.

Ook inventariseren we de belangrijkste technische, economische en organisatorische belemmeringen die betrokken partijen momenteel ondervinden bij de ontwikkeling van nieuwe warmtenetten. De investeringsrisico's zijn hoog, de financiële rendementen zijn laag, de ruimte voor prijsverhoging is beperkt en veel partijen zijn van elkaar afhankelijk om investeringen tot een succes te maken. Deze belemmeringen zijn niet nieuw. Ze konden jarenlang onopgelost blijven doordat er geen instantie was die zich verantwoordelijk voelde en krachtig genoeg

Warmtenetten in soorten en maten

Een warmtenet is een leidingennetwerk dat producenten van warmte verbindt met afnemers. Dat kan op uiteenlopende manieren, afhankelijk van de afstand tussen bron en bestemming, de gewenste temperatuur, de benodigde capaciteit, et cetera.

Binnen een warmtenet maken we onderscheid tussen transportnetten en distributienetten. Transportnetten of -leidingen zijn weinig vertakt en transporteren warmte over grote afstanden naar warmteoverdrachtstations (WOS). Van daaruit wordt warmte via doorgaans sterk vertakte distributienetten naar de eindgebruikers getransporteerd. Tot nu toe zijn transportleidingen en distributienetten meestal eigendom van één bedrijf, maar bij toekomstige nieuwe warmtenetten gaat dat waarschijnlijk veranderen. Naarmate er meer maar kleinere warmteproducenten op warmtenetten worden aangesloten, zal de behoefte aan transportnetten waarschijnlijk sneller groeien dan de behoefte aan distributienetten (zie hoofdstuk 7).

Tabel 1

Potentiële vraag en aanbod van LT-warmte voor warmtenetten op lange termijn

Potentiële afnemers	Potentiële vraag (PJ/j)	Potentiële aanbieders	Potentieel aanbod (PJ/j)
Woningen	165	Geothermie	85-1000
Utiliteitgebouwen	105	WKO	70
Industrie	50	Industrie	100
Glastuinbouw	12-40	Glastuinbouw	?
		Aquathermie	42-182
Totaal	Circa 350	Totaal	297-1352

Bron: hoofdstuk 7

was om ze op te lossen. Commerciële partijen staan niet te trappelen om nieuwe warmtenetten te ontwikkelen. Als marktpartijen niet in staat zijn de coördinatie hiervan op zich te nemen, dan zou de overheid de aangewezen instantie kunnen zijn om dit op te lossen. Door de klimaatproblematiek en het klimaatakkoord van Parijs wordt het steeds urgenter om te investeren in warmtenetten aantrekkelijk te maken. In deze studie geven we daarom een aantal opties voor de Rijksoverheid om bij te dragen aan het doorbreken van de huidige patstelling rond nieuwe warmtenetten.

Hoeveel kunnen warmtenetten bijdragen?

De inventarisatie van de potentiële vraag naar en productie van klimaatneutrale lage temperatuurwarmte leidt tot de conclusie dat op termijn circa 350 petajoule (PJ) ofwel 60-75 procent van de nationale lage temperatuurwarmtebehoefte¹ het goedkoopst door warmtenetten kan worden geleverd. Bovendien blijkt dat daarvoor in Nederland voldoende hernieuwbare warmtebronnen aanwezig zijn (zie tabel 1). Daarnaast zou de uitwisseling van hoge temperatuurwarmte middels warmtenetten tussen bedrijven kunnen toenemen, maar dat is in deze studie niet onderzocht.

Die 350 petajoule komt overeen met een kwart tot een derde van het nationale energieverbruik in 2050. Door die hoeveelheid energie klimaatneutraal te maken, kan dus een grote bijdrage worden geleverd aan de energietransitie. Verwarming via warmtenetten lijkt daarvoor een van de goedkoopste technieken te zijn. Uitbreiding van warmtenetten kan dus een grote rol spelen in de energietransitie.

Anno 2014 ging 3 procent (36 petajoule) van het totale warmtegebruik via niet-industriële warmtenetten en 9 procent (112 petajoule) via industriële warmtenetten, maar die warmte was nog maar voor een klein deel klimaatneutraal. Veel partijen zetten zich al jaren in voor uitbreiding van de toepassing van warmtenetten maar zij ondervinden hardnekkige belemmeringen en ontberen effectieve coördinatie.

Wie is aan zet?

In deze notitie geven we een overzicht van de activiteiten die momenteel in Nederland ondernomen en ontwikkeld worden om nieuwe infrastructuur van klimaatneutrale warmtenetten vorm te geven. Anders dan veel geraadpleegde studies, benaderen wij het onderwerp in deze notitie vanuit de verschillende perspectieven van de betrokken partijen. De centrale gedachte hierachter is, dat klimaatneutrale warmtenetten alleen tot stand zullen komen als alle betrokken partijen bereid zijn daaraan mee te werken. Dat gebeurt alleen als in redelijke mate tegemoet wordt gekomen aan de wensen en belangen van die partijen.

In de analyse zijn zes soorten partijen onderscheiden die direct betrokken zijn bij de ontwikkeling van warmtenetten. Voor elk van die partijgroepen is onderzocht wat hun grootste belemmeringen zijn om aan de ontwikkeling van nieuwe warmtenetten bij te dragen en wat hun wensen en belangen ten aanzien van warmtenetten zijn, zie tabel 2. Uit die inventarisatie komen knelpunten en tegenstrijdige belangen naar voren die het realiseren van duurzame warmtenetten in Nederland in de weg kunnen staan.

Rondom deze zes soorten zijn andere partijen actief in een ondersteunende rol: adviseurs, financiers, juristen, constructeurs en overheden. Overheden nemen in dit rijtje een speciale positie in, omdat die afwegingen moeten maken tussen private en publieke belangen en omdat ze de middelen hebben om bestaande regelingen en procedures aan te passen om belemmeringen voor de ontwikkeling van warmtenetten weg te nemen. Daarom wordt bij de analyse van de belangen en belemmeringen die afzonderlijke partijen ondervinden speciaal ingegaan op de mogelijkheden die overheden (Rijk, provincie en gemeenten) hebben om de ervaren belemmeringen weg te nemen.

Deze samenvatting geeft eerst voor elk van de genoemde partijen aan hoe de geconstateerde knelpunten

overwonnen zouden kunnen worden. Daarna volgt een samenvatting van wat de Rijksoverheid zou kunnen doen om het gebruik van warmtenetten te laten groeien. De daarbij gehanteerde redeneringen en bronnen worden in de achterliggende hoofdstukken gepresenteerd.

Afnemers willen een eerlijker warmteprijs en betere service

Warmtenetten hebben last van een slecht imago. Veel particuliere en zakelijke afnemers ervaren aansluiting op een warmtenet als gedwongen winkelnering. Daarnaast vinden ze de prijsvorming ondoorzichtig en betwijfelen veel afnemers of ze voldoende beschermd worden tegen te hoge kosten. De positieve kant van een aansluiting op een warmtenet, dat het kan bijdragen aan energiebesparing en een beter milieu, weegt niet genoeg op tegen de zorgen erover.

Leveranciers en overheden zijn de partijen die het imago van warmtenetten kunnen opvijzelen. Warmteleveranciers kunnen veel bezwaren wegnemen door hun service te verbeteren, individuele bemetering van warmteverbruik mogelijk te maken, heldere informatie te verstrekken over de opbouw van de warmtenota en over de hoogte daarvan verantwoording af te leggen. Ook kunnen ze het imago verbeteren door uit te leggen dat warmtenetten de potentie hebben om uit te groeien tot een modern energiesysteem dat helemaal past bij een klimaatneutrale levensstijl. Klimaatneutrale warmte uit een warmtenet zal qua productiekosten vermoedelijk (per energie-eenheid) duurder zijn dan warmte uit aardgas (zonder CO₂-beprijzing), maar in combinatie met uitgekiende isolatiemaatregelen kunnen de totale kosten voor verwarming beperkt blijven. Verder kunnen leveranciers samen met de overheid consumenten helpen bij de keuze uit de talloze opties voor optimalisatie van hun gebouwgebonden verwarmingssysteem en bij afstemming op het wijkgebonden energiesysteem.

Het Rijk kan het imago van warmteafname verbeteren door de regels aan te passen waarmee de vaste en variabele tarieven voor warmtelevering worden vastgesteld (zie paragraaf: *Hoe kan de Rijksoverheid de aanleg van warmtenetten stimuleren?*). Als warmte afnemen goedkoper wordt dan gas afnemen (en leveranciers andere, bovengenoemde verbeteringen doorvoeren), zullen afnemers enthousiaster worden om op warmtenetten te worden aangesloten. Dit heeft natuurlijk wel beperkingen; soms kunnen de kosten van warmtevoorziening dalen door overheidsbemoeienis maar meestal gaat het over een andere verdeling van kosten en zullen andere partijen bereid gevonden moeten worden om de extra kosten van klimaatmaatregelen te dragen die niet bij afnemers in rekening worden gebracht.

Leveranciers: betere rendementen door professionalisering en verdienmodel zonder NMDA

Voor de leveranciers zijn de huidige rendementen op warmtelevering marginaal. Zolang dat zo blijft, is het voor particuliere ondernemers niet erg aantrekkelijk om tot aanleg van nieuwe distributienetten over te gaan.

Voor warmte geldt nu het bij wet vastgelegde 'niet meer dan anders'-principe (NMDA), wat betekent dat consumenten niet meer mogen betalen voor warmte uit het warmtenet dan voor warmte afkomstig van hun gasgestookte cv-ketel. De opbrengsten van warmteleveranciers zijn dus gekoppeld aan de gasprijs, die sterk kan fluctueren door allerlei externe factoren die niets met warmtelevering te maken hebben. Op termijn, als de mondiale uitfasering van fossiele brandstoffen op stoom komt, zou de marktprijs van aardgas kunnen dalen, waardoor ook de opbrengst van warmtelevering kan gaan dalen. Leveranciers zijn dus gebaat bij een prijsvormingssysteem onafhankelijk van de gasprijs, waarmee ze hun kosten kunnen terugverdienen en een redelijke beloning krijgen voor hun diensten. In plaats van het NMDA-principe zijn dan andere mechanismen nodig om te verhinderen dat leveranciers misbruik maken van hun monopoliepositie op een distributienet.

Zolang de warmteprijs via het NMDA-principe wordt afgeleid van de aardgasprijs, kan verhoging van de energiebelasting op gas de leveranciers ruimte geven om hun financiële marges te verbeteren, zonder hun afnemers het gevoel te geven dat ze meer betalen dan bewoners met een gasgestookte cv-ketel. Investeerders krijgen echter vaak onvoldoende garanties dat die belastingverhoging tijdig, langdurig en in voldoende mate wordt ingevoerd om investeringen in nieuwe warmtenetten, die dertig tot veertig jaar meegaan, voor hen aantrekkelijk te maken.

Er lijkt ruimte voor verdere professionalisering van de warmtelevering, wat de rendementen ten goede kan komen. Gebrekkige professionaliteit blijkt bijvoorbeeld uit de constatering van de AFM dat veel leveranciers met vastgoed nu onvoldoende informatie verzamelen om hun rendement op warmtelevering te kunnen vaststellen. Doordat huidige leveranciers vrijwel altijd eigenaar zijn van hun distributienet, is er geen concurrentie tussen leveranciers. Om de professionaliteit, kwaliteit en efficiëntie van warmtelevering te verhogen, kan het wenselijk zijn om vormen van concurrentie tussen leveranciers mogelijk te maken. Dat kan alleen als het juridische eigendom van een distributienet (en van de transportleidingen) wordt gesplitst van de organisatie die de warmtelevering verzorgt. Vervolgens moeten nieuwe verdienmodellen ontwikkeld worden waarin commerciële

Tabel 2

Wensen en knelpunten van direct betrokken partijen bij de ontwikkeling van klimaatneutrale warmtenetten

Direct betrokken partijen*	Wensen, belangen	Belangrijkste knelpunten
a. Producenten van industriële restwarmte	Energiebesparing; Probleemloze bestemming voor restwarmte.	Warmte-uitkoppeling past niet in primair proces; Levering niet rendabel.
b. Producenten van geothermie en WKO	Ruime afzetmogelijkheden; Afdekken risico putboring.	Hoog risico op tegenvallende putprestaties; Weinig informatie over diepe ondergrond (>3km).
c. Ontwikkelaars en exploitanten van warmtetransportnetten	Duidelijkheid over toekomstig aanbod en vraag van warmte; Helder verdienmodel.	Gebrek aan financiers van investering in transportnetten.
d. Glastuinbouwbedrijven (als afnemers én producenten van warmte)	Flexibel warmte-aanbod; Mogelijkheid voor in- en verkoop van warmte.	Warmtenet ontbreekt.
e. Leveranciers (en distributeurs) van warmte	Redelijk rendement; Tevreden klanten.	Laag rendement.
f. Particuliere en commerciële afnemers (eindverbruikers) van warmte	Acceptabele warmteprijs; Betalen voor eigen verbruik; Goede service.	Weinig vertrouwen; Gebonden aan 1 leverancier; Denken te veel te betalen; Regelmatig slechte service.

*) Zie noot 2.

risico's verdeeld worden over beide nieuwe partijen. Met name in nieuwe, open warmtenetten is het logisch dat netbeheer en warmtelevering door onafhankelijke partijen wordt verzorgd. Leveranciers zouden dan kunnen concurreren om een concessie voor de levering van warmte op een bepaald distributienet gedurende enkele jaren. Cascadering van warmteleveringen, die het technisch rendement van het hele systeem verhoogt (zie paragraaf 2.2.1 en 4.3.3), wordt door juridische splitsing vermoedelijk moeilijker te realiseren. Voor cascadering moet namelijk de fysieke inrichting van een distributienet aangepast kunnen worden aan de afstemming van leveringscontracten tussen diverse afnemers. Over de wenselijkheid van juridische splitsing van warmtedistributienetten en warmteleveranciers is nog nadere gedachtevorming nodig.

Industrie heeft stevige prikkels nodig om tot warmte-uitkoppeling over te gaan

Het is voor bedrijven vaak veel eenvoudiger om hun restwarmte te lozen dan om het 'uit te koppelen', dat wil zeggen te leveren aan een warmtenet. Dat heeft te maken met de eisen die warmtenetten stellen met betrekking tot temperatuur, debiet, druk, continuïteit, enzovoort. Om aan die eisen te kunnen voldoen, moeten bedrijven niet alleen kosten maken voor extra technische installaties maar worden ze ook minder flexibel in het managen van hun primaire productieproces. Daarnaast zet het NMDA-principe een rem op de prijs die ze kunnen vragen voor de levering van restwarmte voor de verwarming van huizen. Hierdoor is met uitkoppeling van

LT-restwarmte momenteel zelden een financieel rendement te behalen dat voor commerciële bedrijven aantrekkelijk is. Restwarmtelevering tussen industriële bedrijven is in specifieke gevallen wel rendabel, maar de groeipotentie daarvan is beperkt.

Er zijn wel mogelijkheden om bedrijven op nieuwe manieren aan te sporen tot uitkoppeling van LT-restwarmte.

- 1 Het huidige preferente alternatief – lozen – kan minder aantrekkelijk worden gemaakt door het te koppelen aan strengere randvoorwaarden.
- 2 Door openbaar te maken hoe elk bedrijf omgaat met zijn restwarmte, zal een overstap van lozen naar uitkoppelen bijdragen aan een imago van maatschappelijk verantwoorde onderneming.
- 3 De definitie van energiebesparing kan zodanig worden aangepast dat nuttig gebruik van restwarmte meetelt als energiebesparing. Dat geeft bedrijven, die convenanten hebben afgesloten over energiebesparing, een prikkel om actief te zoeken naar afnemers voor hun restwarmte³.
- 4 Door de aanleg van zogenoemde open warmtenetten kan uitkoppeling van restwarmte voor bedrijven aantrekkelijker worden en minder interfereren met de planning van hun primaire productieproces, omdat open netten minder strenge eisen stellen aan de aangeleverde warmte.
- 5 Het is ook denkbaar uitkoppelende bedrijven te belonen voor de energiebesparing en de emissiereducties die ze buiten hun bedrijf mogelijk

maken, bijvoorbeeld in de vorm van extra CO₂-emissierechten of ruimte voor productie-uitbreiding in het kader van de PAS-regeling (Programmatische Aanpak Stikstof).

Tuinders willen warmtenetten gebruiken zodra die beschikbaar komen

De glastuinbouw wil op termijn, doch uiterlijk in 2050, klimaatneutraal worden. De sector ziet dat als voorwaarde voor behoud van een duurzame en toekomstbestendige bedrijfstak. Energiebesparing in de kassen, aanpassen van teeltmethoden en overschakelen op klimaatneutrale energiebronnen (zoals geothermie en groene stroom) zijn daarvoor de te bewandelen routes om de nationale uitstoot van broeikasgassen met 8 megaton CO₂-eq. (4 procent van de nationale uitstoot) en het primaire energiegebruik met 79 petajoule (3 procent in 2012) te reduceren.

De productiekosten in de glastuinbouw bestaan nu voor 20-25 procent uit energiekosten. Fluctuaties in de gasprijzen dus sterk door in de inkomsten van glastuinders. Die afhankelijkheid heeft enkele grote tuinbouwbedrijven doen besluiten te gaan experimenteren met geothermie, met name in het Westland. Zij vinden geothermie aantrekkelijk omdat de kosten voor lange tijd vastliggen, mits de techniek onder controle is. Geothermiebronnen werken het best als ze continu warmte kunnen leveren, maar de warmtebehoefte van glastuinders varieert door het jaar, afhankelijk van de buitentemperatuur maar ook van het type gewas en het groeistadium ervan. De efficiëntie van geothermieputten kan dus worden verhoogd door naast kassen ook warmteafnemers met verschillende warmtevraagprofielen aan te sluiten op een geothermieput. Voor die koppeling zijn warmtenetten nodig. Sommige tuinders hebben zelf een klein warmtenet aangelegd om enkele huizen en een openbaar zwembad aan te kunnen sluiten.

De komende jaren zullen veel glastuinbouwbedrijven beslissen over stoppen of doorgaan en over renovatie van de huidige kassen. Naarmate er meer duidelijkheid komt over de aanwezigheid van warmtenetten in bepaalde gebieden, groeit de kans dat veel tuinders hun investeringen daarop gaan afstemmen. In gebieden waar geothermie beschikbaar komt, is deze optie vermoedelijk goedkoper dan het klimaatneutrale alternatief van verwarmen met groene stroom, maar hierover is nog veel onzekerheid. De technische onzekerheden zal de sector grotendeels zelf weg kunnen nemen, maar de onzekerheden over beschikbaarheid van energienetwerken en over prijsontwikkelingen voor warmte en groene stroom zullen door anderen beheersbaar gemaakt moeten worden.

Geothermie heeft veel potentie maar heeft nog ondersteuning nodig

Voor de ontwikkeling van een klimaatneutrale warmtevoorziening is geothermie van groot belang omdat het de potentie heeft om de (rest)warmte uit fossiele bronnen, die nu en de komende jaren nog gebruikt zal worden voor de voeding van warmtenetten, volledig te vervangen. Uit de grote hoeveelheid warmte die in de diepe ondergrond aanwezig is, zou op termijn jaarlijks 85 tot 1000 petajoule klimaatneutrale energie geoogst kunnen worden die zou kunnen voorzien in 20 tot meer dan 100 procent van de toekomstige LT-warmtebehoefte⁴. De marge in deze bijdrage is nu nog groot omdat de kennis over de fysisch-chemische gesteldheid van de ondergrond nog beperkt is en omdat er in Nederland nog relatief weinig ervaring is met exploitatie van geothermie-installaties. Extra onderzoek en uitwisseling van ervaringen met de exploitanten van de huidige geothermie-installaties kunnen de onzekerheid over de potenties van geothermie in Nederland substantieel reduceren, evenals de risico's op ongewenste neveneffecten. Het is wenselijk een nauwkeuriger beeld te krijgen van het winbare potentieel aan geothermie (en bodemenergie) op nationale schaal.

Het is belangrijk dat de overheid deze ontwikkeling blijft ondersteunen. Dat gebeurt nu middels SDE+-subsidies en een garantiefonds voor geothermie-boringen. De kennisontwikkeling kan nog worden versterkt door te bewerkstelligen dat alle geologische informatie die voor de olie- en gaswinning is verzameld sneller toegankelijk wordt voor bedrijven die geothermieputten willen boren. Het is van belang de locatie van geothermieputten te coördineren omdat het aanleggen van een nieuwe put het energetisch rendement van bestaande putten kan verlagen als putten te dicht bij elkaar liggen. Vooruitlopend op grootschalige toepassing van geothermie is het van belang heldere procedures te ontwikkelen voor ruimtelijke inpassing, zowel ondergronds als bovengronds, en om zoekruimtes in omgevingsplannen aan te wijzen. Ook is adequaat toezicht nodig om de veiligheid van installaties te waarborgen en aardbevingen, vervuiling van het grondwater en lekkage van circulatievloeistoffen te voorkomen.

Warmtetransportnetten zijn de ontbrekende schakels

Van de toekomstige jaarlijkse energiebehoefte voor verwarming van gebouwen en productieprocessen in Nederland zou naar schatting ruim 350 petajoule LT-warmte geleverd kunnen worden via warmtenetten. Dat is de uitkomst van diverse analyses waarin is gezocht naar de goedkoopste manier om (met verschillende technieken) te voorzien in de nationale warmtebehoefte

in 2050. Die 350 petajoule is circa zeven keer de hoeveelheid energie die momenteel via warmtenetten wordt gedistribueerd. Zo een toename impliceert een overeenkomstige uitbreiding van de huidige capaciteit aan warmtenetten. Deze verzevenvoudiging is een ruwe schatting omdat die afhankelijk is van veel ongewisse factoren. Mocht bijvoorbeeld de prijs van elektriciteit sterk dalen en de seizoensopslag van stroom of warmte erg goedkoop worden, dan wordt elektrisch verwarmen op meer locaties een goedkoper alternatief en daalt de behoefte aan extra warmtenetten. Wordt het oogsten van aardwarmte een goedkope betrouwbare techniek, en blijkt verzwaring van het elektriciteitsnet duurder dan gedacht, dan kan geothermie en collectieve WKO op meer plaatsen een (relatief) goedkope energiebron worden en is een verzevenvoudiging van de warmtenetten waarschijnlijk niet voldoende om deze energiebron volledig te kunnen benutten.

Nieuwe warmtenetten vormen de ontbrekende schakels tussen alle nieuwe aanbieders en afnemers van warmte. Nieuwe netten zullen echter niet tot stand komen zoals de bestaande warmtenetten ontstonden, namelijk op initiatief van en gefinancierd door bedrijven die voor hun eigen restwarmte een afzetmarkt zochten. Omdat veel klimaatneutrale warmtebronnen klein zijn vergeleken met veel bronnen van de huidige warmtenetten, zullen toekomstige warmtenetten doorgaans uit meer verschillende bronnen gevoed (moeten) worden. Dat maakt dat nieuwe netten toegankelijk moeten zijn voor nieuwe warmteproducenten en in ieder geval in technische zin 'open' moeten zijn. Er is (in de wereld) nog weinig ervaring met hoe dat het beste organisatorisch, juridisch en economisch geregeld kan worden (zie verder hoofdstuk 7).

Geen van de betrokken partijen voelt zich in staat (of in de huidige situatie geroepen) om het initiatief te nemen tot aanleg van zo'n 'open' warmtenet. Ze zullen niet investeren in de aanleg van een open warmtenet omdat er voor hen teveel onzekerheid is over de hoeveelheid warmte die ze zullen kunnen afzetten, over de bereidheid van andere partijen om warmte aan te bieden en over de mogelijkheden zo'n warmtenet rendabel te kunnen exploiteren. Ook bestaande bedrijven met veel restwarmte uit fossiele bronnen (zoals de kolencentrales op de Maasvlakte) schrikken daar voor terug, omdat de kans bestaat dat ze zullen moeten sluiten voordat de investering in een warmtenet kan worden terugverdiend. Nieuwe warmtenetten komen waarschijnlijk niet tot stand zolang de risico's voor investeerders te groot zijn en zolang de coördinatie tussen toekomstige aanbieders en vragers niet tot stand komt.

Hoe kan de Rijksoverheid de aanleg van warmtenetten stimuleren?

Om de potentieel grote bijdrage van warmtenetten aan de transitie naar een klimaatneutrale warmtevoorziening te kunnen benutten, is er behoefte aan coördinatie en risicoreductie. Het is belangrijk te beseffen dat een deel van de financiële risico's voortkomt uit onzekerheid over de manier waarop bestaand overheidsbeleid de komende tijd wel of niet wordt aangepast. Daarbij gaat het om bestaand beleid voor:

- Bescherming van warmteafnemers tegen hoge energiekosten;
- Toegang van producenten en leveranciers tot warmtenetten;
- Splitsing van eigendom van warmteproducenten en netwerkeigenaren;
- Regulering van het gebruik van de ondergrond;
- Regulering en vergunningverlening van de lozing van restwarmte;

De overheid heeft, zo gezien, via bestaande regelingen veel invloed op de risico's voor investeerders in warmtenetten en zou die risico's met aanvullende instrumenten ook nog verder kunnen reduceren (zie paragraaf *Het Rijk kan risico's van investering in open warmtenetten reduceren*). Of de overheid bereid is die aanvullende instrumenten te ontwikkelen, is mede afhankelijk van de vraag of de Rijksoverheid zich verantwoordelijk voelt voor de ontwikkeling van warmtenetten. Die vraag wordt op haar beurt vaak gekoppeld aan de vraag of warmtenetten beschouwd kunnen worden als onderdeel van de rijksinfrastructuur.

Zijn regionale open warmtenetten te beschouwen als rijksinfrastructuur?

Deze vraag komt steeds terug maar wordt zelden beantwoord. Tot nu toe hebben warmtenetten een beperkte geografische omvang en doorkruisen ze het grondgebied van één tot enkele gemeenten. Dat maakt ze automatisch onderdeel van gemeentelijke of provinciale infrastructuur. Tot nu toe vindt de regering de aanleg en uitbreiding van warmtenetten een lokale en regionale aangelegenheid. 'De rol van de Rijksoverheid wordt hierbij ondersteunend en kaderstellend. (...) De Rijksoverheid zal, in overleg met de lokale en regionale overheden, de voortgang monitoren. Mocht het resultaat van deze manier van werken onvoldoende zijn in termen van gerealiseerde CO₂-emissiereductie, dan kan het stellen van nationale kaders overwogen worden' (EZ 2016:74).

Er zijn argumenten voor een actievere betrokkenheid van de Rijksoverheid. De transitie naar een klimaatneutrale, voor iedereen toegankelijke energievoorziening is

immers van nationaal belang. De Rijksoverheid ziet het als een rijkstaak om de energietransitie te realiseren. Dat impliceert dat het ook een rijkstaak is de benodigde transitie van de infrastructuur voor energie te (laten) realiseren. Voor de distributie van olie, gas en stroom is een landsdekkend distributienetwerk aangelegd onder verantwoordelijkheid van de Rijksoverheid. Het landsdekkende karakter van die netwerken kwam voort uit de wens om elke Nederlander toegang te geven tot energie, tegen min of meer gelijke kosten voor de afnemers. De aanlegkosten van een aansluiting op het gas- of stroomnet zijn hoger in dunbevolkte gebieden.

Door de aanleg van die netten uit de algemene middelen te financieren en uniforme aansluittarieven te rekenen, werden de kosten van elke aansluiting voor de gebruikers gelijkgetrokken. Dat zou ook gedaan kunnen worden bij de aanleg van warmtenetten. Dat bij transport van warmte per kilometer meer energie verloren gaat dan bij transport van gas of stroom doet aan het principe van kostenverevening niets af.

Belangrijker is dat de benutting van restwarmte en aardwarmte een substantiële bijdrage kan leveren aan de klimaatneutrale energievoorziening in Nederland. Het feit dat die bijdrage regionaal gedifferentieerd is (vanwege de beperkte transporteerbaarheid van warmte) doet daar niets aan af. Het is in het belang van alle Nederlanders om de klimaatneutrale energievoorziening tegen de laagst mogelijke kosten te realiseren. Zonder ontwikkeling van regionale open warmtenetten wordt de beoogde energietransitie namelijk aanmerkelijk duurder. De ontwikkeling van een kostenefficiënt klimaatneutraal energiesysteem betekent (volgens de huidige inzichten) dat in sommige regio's, waar de omstandigheden gunstig zijn, warmtenetten worden aangelegd, dat andere regio's aangesloten worden op een verzaamd elektriciteitsnet en dat sommige gebieden mogelijk hun gasaansluiting behouden om groen gas te gebruiken. Onder de huidige omstandigheden en regelingen is het niet waarschijnlijk dat die configuratie tot stand komt door alle partijen hun eigen keuzes te laten maken. De koppeling tussen het potentiële aanbod van warmte en de potentiële vraag naar warmte uit een warmtenet komt niet tot stand zolang de daarvoor benodigde infrastructuur ontbreekt. Dat kan potentiële afnemers van warmte ertoe brengen andere technieken toe te passen (zoals warmtepompen) waardoor de mogelijke rentabiliteit van een warmtenet wordt uitgehold. Zo bezien is het van belang dat regionale warmtenetten worden ontwikkeld en is het te overwegen dat de Rijksoverheid een coördinerende rol op zich neemt om een dreigende impasse te doorbreken. De Energie-agenda (EZ 2016b) bevat aanknopingspunten voor zo'n coördinerende rol. Daarin kondigt de minister van

Economische Zaken aan voorbereidingen te treffen 'om grootschalige warmtenetten op termijn op vergelijkbare wijze te reguleren als elektriciteits- en gasnetten, waardoor een meer integrale afweging tussen deze energie-infrastructuren kan plaatsvinden' (EZ 2016b: 11).

Het Rijk kan aansluiting op warmtenetten aantrekkelijker maken voor afnemers

Het is al even aangetipt: de overheid kan het gebruik van warmtenetten aantrekkelijker maken voor afnemers (zoals huishoudens en bedrijven) door de regels voor de vaste en variabele tarieven van warmtelevering aan te passen. Hierbij gaat het vooral om een andere verdeling van de kosten, waarbij andere partijen bereid gevonden moeten worden om kosten te dragen die niet bij de afnemer in rekening worden gebracht. Dat kan op verschillende manieren:

a Baseer de warmteprijs op werkelijke kosten

Het NMDA-principe, dat de warmteprijs nu koppelt aan de gasprijs, zou op termijn vervangen kunnen worden door een prijssysteem dat is gebaseerd op de werkelijke kosten van warmtelevering en dat de jaarlijkse prijsontwikkeling koppelt aan de inflatie. Dit biedt afnemers (en producenten) meer zekerheid over de hoogte van energiekosten omdat de invloed van schommelende gasprijzen verdwijnt. Op termijn is koppeling aan de gasprijs niet houdbaar omdat verbranden van aardgas niet past in een klimaatneutraal energiesysteem en groen gas geen vanzelfsprekende vervanger is.

b Reduceer het investeringsrisico van warmtenetten

De huidige investeringsrisico's resulteren in hoge kapitaalkosten, die doorberekend worden in de tarieven voor warmtelevering. Warmtepreizen kunnen dus omlaag als de risico's voor investeerders afnemen. Dat kan het Rijk op verschillende manieren bewerkstelligen, zie hierna.

c Bereken investeringskosten van warmtenetten niet (volledig) door aan afnemers

Door investeringskosten in warmtenetten niet door te berekenen in de warmteprijs of het vastrecht, wordt warmteafname financieel aantrekkelijker. Die investeringskosten zouden dan betaald moeten worden door andere partijen, zoals een gemeentelijke, provinciale of nationale overheid. Dit 'socialiseren' van de kosten van de warmte-infrastructuur is vroeger ook gedaan bij de aanleg van de elektriciteits- en gas-infrastructuur. Op die manier zou een 'gelijk speelveld' gecreëerd worden voor de concurrentie tussen stroom, gas en warmte. Dit argument gaat voorbij aan de ongelijkheid in de manier waarop de energiebelasting nu op stroom, gas en warmte wordt geheven, maar kan ook gezien worden als een impliciete uitnodiging om die verschillen weg te nemen.

d Maak aardgas voor ruimteverwarming duurder

Als aardgas duurder wordt, bijvoorbeeld door de energiebelasting op gas te verhogen, wordt warmte – ná afschaffing van het NMDA-principe – *relatief* goedkoper en aantrekkelijker. Op plaatsen waar warmtenetten aangelegd (kunnen) worden, zal dat leiden tot extra aansluitingen op een warmtenet. Op andere plaatsen zal dat extra energiebesparing en overstappen op een elektrische warmtepomp (al dan niet in combinatie met WKO) aantrekkelijker maken. Uit oogpunt van betaalbaarheid van energie zitten er beperkingen aan verhoging van de gasprijs. Mensen met lage inkomens zouden gecompenseerd kunnen worden om verwarming van hun woningen ook voor hen betaalbaar te houden. Ook kan de belasting op elektriciteit verder worden verlaagd naarmate deze schoner wordt opgewekt.

e Creëer een modern, groen imago voor warmtenetten

Burgers en bedrijven zijn vermoedelijk eerder bereid om hun gasaansluiting te verruilen voor een warmteaansluiting als ze zeker weten dat ze daardoor meebouwen aan een toekomstbestendig energiesysteem. Dat impliceert dat de warmte die ze afnemen in toenemende mate wordt opgewekt met klimaatneutrale energiebronnen. Het Rijk kan die ontwikkeling stimuleren door te regelen dat levering van groene warmte aantrekkelijker wordt dan fossiele (rest)warmte en dat productie van fossiele restwarmte op termijn wordt afgebouwd.

Het Rijk kan risico's van investering in open warmtenetten reduceren

Investeringen in warmtenetten zijn risicovol omdat er bij de aanleg grote onzekerheden zijn over de hoeveelheid warmte die (op termijn) kan worden getransporteerd en verhandeld. Bij de bestaande, gesloten warmtenetten waren die risico's kleiner omdat de investeerder vaak invloed had op het warmteaanbod of op de afzet. Bij nieuwe, open warmtenetten ontbreekt die invloed. Daar is de toekomstige afzet sterk afhankelijk van lokale besluiten over de aanleg van distributienetten en van het aanbod van restwarmte door bedrijven. Met overheidsbeleid kunnen die beslissingen worden beïnvloed.

a Stimuleer de vraag naar warmte, bijvoorbeeld door:

- Maatregelen (zoals hierboven genoemd) die ervoor zorgen dat warmte-energie voor eindgebruikers een financieel en moreel aantrekkelijke optie wordt.
- Ontwikkelen van een samenhangend maatschappelijk afwegingskader voor het maken van een integraal warmtetransitieplan per gebied, waarin álle warmteopties inclusief energiebesparing, gas en elektriciteit worden afgewogen.
- Zorgen voor afstemming van regionale warmteplannen en voor dynamische koppelingen tussen de

nationale infrastructuur voor gas, warmte en elektriciteit.

- Ontwerpen van een wettelijk kader voor warmtetransitieplannen binnen de Omgevingswet.
- Stroomlijnen van het lokale besluitvormingsproces met participatie van alle stakeholders.
- Ondersteunen van de isolatie van gebouwen en de omschakeling op lage-temperatuur-verwarmingssystemen.

b Stimuleer het aanbod van (rest)warmte, bijvoorbeeld door:

- Onaantrekkelijk maken van lozen van restwarmte in lucht en water door middel van strengere eisen aan lozingsvergunningen, heffingen of verboden. De mogelijkheden hiervoor volgens artikel 43 van de Warmtewet worden nog niet benut (Ecorys 2016: 77).
- Bedrijven belonen voor uitkoppeling van restwarmte.
- Ontwikkeling van geothermie stimuleren met extra onderzoek, voortzetting van de garantieregeling voor boringen en regulering van het gebruik van de ondergrond.

c Bied een juridisch kader voor eigenaren van grote warmtenetten, onder andere door te regelen dat de

exploitatie van bestaande warmtenetten kan worden afgesplitst van die van de warmteproducent. Dat is een voorwaarde voor goede contracten met verschillende producenten die aan één warmtenet leveren.

d Verlaag het investeringsrisico in warmtenetten,

bijvoorbeeld door te overwegen als overheid zelf expliciet (een deel van) het investeringsrisico te dragen. Dat kan door garantstellingen of instelling van een investeringsfonds voor warmtenetten, of door warmtenetten door het rijk te laten aanleggen en financieren, zoals dat met stroom- en gasnetten is gebeurd.

Welke acties hebben anno 2017 prioriteit?

In het voorafgaande zijn veel acties en maatregelen genoemd die de aanleg van open warmtenetten in Nederland zouden kunnen stimuleren. Voor alle betrokken partijen is er werk aan de winkel. Maar zij nemen vaak een afwachtende houding aan omdat ze niet zeker weten of hun inspanningen beloond worden en anderen ook hun bijdrage leveren. Hier is sprake van een welhaast klassiek 'prisoner's dilemma', dat alleen door coördinatie en leiderschap doorbroken kan worden.

Grootschalige warmtenetten met geothermie hebben de potentie een substantieel aandeel van de energiebehoefte te leveren, zonder uitstoot van broeikasgassen en tegen relatief lage (extra) kosten. Gezien dit grote maatschappelijke belang, en gezien de persistentie van het gebrek aan coördinatie, ligt het voor de hand dat de Rijksoverheid de regie op de ontwikkeling van warmtenetten gaat

organiseren en de beleid-gerelateerde onzekerheden bij alle betrokken partijen wegneemt.

Er is – ook in het buitenland – nog weinig ervaring met het exploiteren van open warmtenetten. Daarom is het raadzaam ervaring op te doen met de aanleg van één open warmtenet en daarvoor de bestaande wettelijke experimenteerruimte te benutten. Gezien het experimentele karakter, én gezien de grote invloed van rijksbeleid op de exploitatie van open warmtenetten, lijkt het logisch dat het Rijk ten minste een deel van het investeringsrisico afdekt.

Ten slotte is het verstandig om ervoor te zorgen dat ervaring wordt opgedaan met de toepassing van geothermie in Nederland, zodat de warmtenetten op termijn gevoed kunnen worden uit volledig klimaatneutrale energiebronnen.

Noten

- 1 Lage temperatuurwarmte (LT) is (in deze notitie) alle warmte met een temperatuur lager dan 100 graden Celsius.
- 2 Dit onderscheid is enigszins theoretisch. Het betekent niet dat alle onderscheiden soorten partijen in de praktijk altijd herkenbaar zijn als zelfstandig functionerende bedrijven. Grote energiebedrijven verenigen vaak verschillende 'partijen' in zich, bijvoorbeeld a, c en e in tabel 2.
- 3 In het kader van het Energieakkoord zou zijn afgesproken dat uitkoppeling van restwarmte wél meetelt als energiebesparing bij bedrijven die aan ETS, MEE en MJA3 deelnemen, met uitzondering van elektriciteitscentrales (uit persoonlijke bron 2016). Het is onduidelijk of bedrijven op de hoogte zijn van deze afspraken. Het is ook onduidelijk of deze afspraken ook gelden voor toetsing van de Europese doelstelling voor energiebesparing.
- 4 LT staat voor 'lage temperatuur' en heeft in de energiestatistieken betrekking op temperaturen lager dan 100 graden Celsius. In de wereld van de installateurs (ISSO-handboek) staat LT echter voor een temperatuurbereik van 55 graden en lager, en horen de gangbare warmtenetten (met water van 100-70 graden) tot de categorie hoge temperatuur (HT). Om verwarring te voorkomen, volgen we in dit rapport de terminologie van de energiestatistieken en duiden we de gangbare netten aan met LT-netten. Warmtenetten met water van 55 graden en lager noemen we ZLT-(zeer lage temperatuur)-netten.

VERDIEPING

VERDIEPING

Inleiding

De Nederlandse energievoorziening zal de komende decennia ingrijpend moeten worden veranderd om uitvoering te geven aan het Klimaatakkoord van Parijs. De afspraak om de temperatuurstijging ruim beneden de 2 graden te houden impliceert dat de mondiale uitstoot van broeikasgassen tot 2050 met circa 90 procent moet worden gereduceerd. In het Energierapport 2015 had het kabinet al aangekondigd dat de ruimteverwarming in 2050 CO₂-vrij moet zijn (EZ 2016). 2050 lijkt nog ver weg, maar gezien de lange levensduur (en afschrijftermijnen) van energievoorzieningen is het verstandig zo snel mogelijk met de omschakeling te beginnen.

In het project 'Vormgeving van de energietransitie' verkent het PBL sinds 2015 door middel van *backcasting* diverse mogelijkheden voor die ingrijpende verandering. Voor de Nederlandse energievoorziening als geheel is eerder bekeken welke nieuwe deelsystemen nodig zijn voor de energievoorziening in 2050 onder de randvoorwaarde van 80 procent minder uitstoot van broeikasgassen (PBL en ECN 2011). In die studie concludeerden we dat fossiele brandstoffen grotendeels vervangen moeten worden door hernieuwbare energiedragers, dat energiebesparing en CO₂-opslag (CCS) onmisbare ingrediënten zijn van het nieuwe energiesysteem en dat veel nieuwe technieken (deelsystemen) verder ontwikkeld moeten worden om een betekenisvolle bijdrage te kunnen leveren aan een klimaatneutrale energievoorziening. In het nieuwe project 'Vormgeving ...' bestudeert het PBL de potentie van een aantal kansrijke nieuwe deelsystemen en worden stappen geïdentificeerd die op korte termijn genomen moeten worden om de potentie van de betreffende deelsystemen te kunnen realiseren. Tot nu toe heeft het PBL over twee deelsystemen gerapporteerd: over grootschalige productie van groen gas en biobrandstoffen

uit biomassa en over elektriciteit voor warmtevoorziening en processen in de industrie (power to X) (Ros & Schure 2016).

In deze notitie behandelen we een derde deelsysteem: collectieve warmtevoorziening voor gebouwen (zoals woningen, kantoren, zorginstellingen) en productieprocessen (kassen en industrieën). Ten aanzien van de industriële warmtebehoefte beperken we ons tot de zogenoemde lage temperatuurwarmte (LT-warmte), tot circa 100 graden Celsius.

De opbouw van het rapport is als volgt. In hoofdstuk 2 wordt geschetst hoe de collectieve warmtevoorziening in Nederland er in 2050 op hoofdlijnen uit zou kunnen zien, zowel in technische als organisatorische zin. Ook wordt een schatting gemaakt van de potentiële bijdrage van dit deelsysteem aan de totale Nederlandse energievoorziening in 2050. Vervolgens worden onderdelen van dit deelsysteem nader uitgewerkt: geothermie in hoofdstuk 3, verwarming van gebouwen in hoofdstuk 4, de potentie van warmtenetten voor de industrie in hoofdstuk 5, de warmtevoorziening van de glastuinbouw in hoofdstuk 6 en de ontwikkeling van warmtenetten in hoofdstuk 7. Elk van deze hoofdstukken geeft eerst een schatting van het potentieel, beschrijft vervolgens hoe de huidige collectieve warmtevoorziening ervoor staat en identificeert tot slot de belemmeringen voor een verdere groei. In hoofdstuk 7 wordt beschreven hoe warmtenetten de potentiële LT-warmtevraag kunnen verbinden met het potentiële warmteaanbod. Vervolgens worden de voorgaande analyses geïntegreerd tot een overzicht van de belangrijkste huidige barrières die geslecht moeten worden om het in hoofdstuk 2 geschetste toekomstbeeld te kunnen realiseren.

Mogelijke toekomstbeelden

2.1 De betekenis van collectieve warmtevoorziening in Nederland

In Nederland wordt jaarlijks 790 petajoule *primaire* energie benut voor het verwarmen van gebouwen (zoals woningen en kantoren) en productieprocessen bij lage temperatuur (onder de 100-120 graden Celsius). Voor industriële processen bij hoge temperatuur is jaarlijks 670 petajoule nodig (zie tabel 2.1). Met 44 procent van het totale primaire energieverbruik (inclusief 680 petajoule voor industriële grondstoffen) is verwarming veruit de belangrijkste toepassing van energie, naast transport (500 petajoule) en elektriciteit (700 petajoule). Meer dan 95 procent van die energie voor verwarming is afkomstig uit fossiele bronnen, circa 80 procent komt uit aardgas.

Het energieverbruik voor warmteproductie veroorzaakte in 1990 (het referentiejaar voor reductiedoelen voor broeikasgasemissies) 88 megaton CO₂ ofwel 41 procent van de nationale uitstoot van broeikasgassen. Tussen 1990 en 2012 is die uitstoot gelijk gebleven (zie tabel 2.1: 43 plus 45 megaton), terwijl een nationale reductie met 80-95 procent tot 2050 nodig lijkt om het klimaatakkoord van Parijs uit te voeren. Dat betekent dat de energievoorziening ten behoeve van verwarming drastisch zal moeten worden aangepast om het nationale klimaatdoel te kunnen halen (zie ook <http://themasites.pbl.nl/energietransitie/>).

De gewenste omschakeling zal op vier fronten moeten plaatsvinden: a) reduceren van de finale vraag naar warmte, b) efficiënter produceren van de benodigde warmte, c) overschakelen op hernieuwbare, koolstofarme energiebronnen voor verwarming en d) beperken van de broeikasgasemissies van het resterende gebruik van fossiele energiebronnen, bijvoorbeeld door afvang en opslag of benutting van broeikasgassen. Warmtenetten passen in onderdeel b) en bieden bovendien de infrastructuur die stap c) gemakkelijker kan laten verlopen.

Deze indeling wijkt enigszins af van de 'Trias Energetica' (BOOM-SI 2006) waarin b) en c) zijn omgedraaid en d) ontbreekt. De volgorde in de Trias Energetica geeft aan welk type maatregelen de voorkeur hebben boven andere typen. Dat zou impliceren dat warmtenetten pas overwogen moeten worden nadat de mogelijkheden voor omschakeling op hernieuwbare energiebronnen zijn uitgeput. Zo'n volgorde is nuttig voor het ontwerpen van gebouwen, waar de Trias Energetica voor ontwikkeld is, maar voor de ontwikkeling van warmtenetten is dat contraproductief. Warmtenetten die gevoed worden met fossiele warmte dragen namelijk ook bij aan een efficiëntere warmteproductie, evenals netten met hernieuwbare warmte. De aanleg van warmtenetten kan de overgang op hernieuwbare bronnen (zoals geothermie) zelfs faciliteren. Om te voorkomen dat warmtenetten om de verkeerde redenen niet aan bod komen, hebben wij de volgorde uit de Trias Energetica gewijzigd.

2.1.1 Reductie van het finale energieverbruik voor verwarming

Om de potentiële betekenis van warmtenetten te kunnen aangeven, is het nodig een beeld te hebben van de toekomstige warmtevraag in verschillende sectoren van de samenleving.

Volgens prognoses uit de Nationale Energieverkenning 2015 zal het finale energieverbruik voor verwarming tot 2030 vooral dalen (met circa 10 procent) door besparingsmaatregelen in de gebouwde omgeving. Ook de in 2015 ontwikkelde scenario's 'Laag' en 'Hoog' voor 2050 (PBL en CPB 2015) laten een daling zien van het finale energieverbruik voor verwarming. De geschetste reductie is het gecombineerde resultaat van energiebesparende maatregelen en verdere groei van het aantal woningen en bedrijven, afhankelijk van het toekomstige tempo van bevolkingsgroei en economische groei en van het gevoerde energiebeleid. De genoemde scenario's schetsen een bandbreedte voor 2030 en 2050. In die scenario's neemt de warmtevraag van woningen tussen 2013 en 2050 met 13-16 procent af en daalt de

Tabel 2.1

Primair energieverbruik in Nederland in 1990 en 2012 (afgerond, exclusief industriële grondstoffen en bunkers) en bijbehorende CO₂-emissies, naar sector en toepassing

Toepassing Sector	Totaal in 1990	Totaal in 2012	Licht en apparaten	Transport mobiliteit	Hoge temperatuur-warmte	Lage temperatuur-warmte
eenheid	(PJ/j)					
Transport	370	500	0	500	0	0
Industrie en centrales	990	970	260	0	670	40
Huishoudens, utiliteit en landbouw*)	950	1190 (108)*	440	0	0	750 (79)*
Totaal		2660	700	500	670	790
Totaal 1990	2310		520	370	700	720
CO ₂ -emissie in Mton/j		166	42	37	43	45
CO ₂ in 1990	155		36	31	47	41

Bron: CE 2015c

* De glastuinbouwsector verbruikte 111,7 petajoule (hiervan was 3,4 petajoule industriële restwarmte en 1,1 petajoule was WKK-warmte van energiebedrijven. Dus netto 108 petajoule primaire energie) voor de productie van warmte en elektriciteit die deels werd verkocht buiten de sector. Het primaire energiegebruik voor warmte (gecorrigeerd voor de netto verkoop van stroom) bedroeg 2,532 miljard kubieke meter aardgas-equivalenten (LEI 2015:51), ofwel circa 79 petajoule.

warmtevraag in de utiliteitsector met 12-31 procent (Matthijsen et al. 2016: 24). De ontwikkeling van de warmtevraag in de industrie verschilt per temperatuurklasse en is het gecombineerde resultaat van uitbreiding in productie en voortgaande energiebesparing met 1-1,5 procent per jaar. Er zijn geen veronderstellingen gemaakt over een verschuiving naar productieprocessen met lagere temperaturen. De warmtevraag van de industrie als geheel daalt in de scenario's met 6-16 procent. De warmtevraag van de glastuinbouw daalt door krimp van het areaal en door verbetering van kasontwerp en teeltmethoden tot 2050 met 25-32 procent. Het effect van al deze ontwikkelingen tezamen resulteert in een daling van de finale warmtevraag tot 2050 in beide scenario's met 16 procent tot circa 770 petajoule per jaar, zie tabel 2.2.

Naast een daling van de finale warmtevraag beschrijven de scenario's ook manieren waarop die warmte geproduceerd kan worden en hoeveel broeikasgassen daarbij vrijkomen. Er zijn scenariovarianten gemaakt met 80 procent emissiereductie (voor heel Nederland) bij hoge economische groei. Die emissiereductie wordt onder andere bereikt door de finale warmtevraag verder te reduceren naar 600-700 petajoule (zie de twee rechter kolommen in tabel 2.2) en door het aandeel hernieuwbare energie te verhogen van 5 procent in 2013 naar 50-60 procent in 2050. Die scenario's geven vooral een *illustratie* van de aanpassingen in het energiesysteem die op termijn mogelijk zijn. Welke mogelijkheden uiteindelijk gekozen worden, is afhankelijk van allerlei beslissingen die de komende jaren genomen gaan worden, en waar warmtenetten een rol in kunnen hebben.

2.1.2 Koolstofarme energiebronnen kunnen aardgas vervangen

Voor verwarming zijn verschillende technieken en energiebronnen beschikbaar. De momenteel dominante techniek, die berust op verbranden van aardgas in cv-ketels in afzonderlijke gebouwen, gaat steeds meer nadelen vertonen. De noodzaak om het gebruik van aardgas te beperken wordt dan ook steeds breder onderkend (zie o.a. EZ 2015, 2016 en Anon. 2016). In de context van deze studie is het veroorzaken van broeikasgassen het voornaamste nadeel. Bij gas is dat per eenheid energie weliswaar minder dan bij andere fossiele brandstoffen, maar om een klimaatneutraal energiesysteem te bereiken, zal ook het verbruik van aardgas drastisch omlaag moeten. Een ander nadeel is verstoring van de stabiliteit van de ondergrond door gaswinning, wat in 2015 heeft geleid tot extra verlaging van de hoeveelheid gas die jaarlijks wordt gewonnen. Desondanks zal de binnenlandse aardgasvoorraad binnen enkele decennia zijn uitgeput, waardoor het importeren van aardgas Nederland afhankelijker kan maken van buitenlandse regimes die dat als geopolitiek pressiemiddel kunnen gebruiken.

Ruimteverwarming zonder aardgas is technisch goed mogelijk, maar financieel vaak nog niet aantrekkelijk. Voor een selectie van de technieken die verder ontwikkeld moeten worden, is het relevant om rekening te houden met de toekomstige fysieke beschikbaarheid van de benodigde energiebronnen. Voor ruimteverwarming zijn al veel alternatieve en schone energiebronnen beschikbaar, zoals biogas, biobrandstoffen, elektriciteit, restwarmte, omgevingswarmte en aardwarmte, met elk

Tabel 2.2

Ontwikkeling van de warmtevraag tussen 2013 en 2050 volgens twee scenario's

Sector	2013	2050 LAAG	2050 HOOG		2050 HG-80% centraal	2050 HG-80% decentraal
	(PJ/j)	(PJ/j)	(red.%)	(PJ/j)	(red.%)	(PJ/j)
Woningen	345	300	13	290	16	262
Utiliteit	170	150	12	117	31	117
Industrie >500°C*)	90	63	30	72	20	76
Industrie 100-500°C	95	71	25	82	14	81
Industrie <100°C	125	125	0	138	-10	104
Subtotaal industrie*)	310	259	16	292	6	261
Glastuinbouw	95	65	32	71	25	65
Totaal*)	920	774	16	770	16	705
waarvan < 100°C	735	640	13	616	16	548

Bron: Matthijsen et al. 2016

*) Exclusief warmtevraag voor staal-, kunstmest- en plastics-productie; 257 petajoule in 2013 (>100°C).

een bijbehorende set van technieken. Elk van deze energiebronnen heeft zijn specifieke voor- en nadelen bij toepassing voor verwarmingsdoeleinden. Die zetten we hieronder kort op een rij, om toe te lichten waarom deze analyse zich toespitst op warmtenetten.

Biogas

Biogas inzetten voor verwarming van ruimten en productieprocessen sluit erg goed aan bij de huidige praktijk op basis van aardgas. Omdat de productiekosten van biogas (uit biomassa) voorlopig nog hoog blijven en omdat het toekomstige aanbod van duurzaam geproduceerde biomassa in Nederland beperkt is (PBL 2014), verdient het de voorkeur biogas vooral te gebruiken voor hoge-temperatuurtoepassingen (HT-warmte) in de industrie en voor transport over lange afstanden en niet voor ruimteverwarming. Daarom verkennen we in deze notitie hoe zonder biogas kan worden voorzien in de toekomstige behoefte aan warmte.

Biomassa

Ruimteverwarming met afvalhout en houtpallets in houtkachels heeft een laag energetisch rendement en dekt momenteel één procent van de warmtevraag. Andere biologische afvalstromen en biomassa zouden bewerkt kunnen worden ten behoeve van verbranding in kachels. De huidige én toekomstige beschikbaarheid van duurzaam geproduceerde biomassa is echter beperkt en het is energetisch aantrekkelijker deze biomassa te benutten voor grootschalige productie van transportbrandstoffen, methaan en chemicaliën (Ros & Schure 2016). Bovendien leidt kleinschalig verbranden van biomassa vaak tot lokaal verhoogde concentraties van fijnstof in de buitenlucht, wat lokaal voor veel overlast kan zorgen en nadelig is voor de volksgezondheid.

Elektrisch verwarmen

Elektrisch verwarmen gebeurt in Nederland nog erg weinig omdat verwarmen met aardgas veel goedkoper is, maar in andere landen is elektrisch verwarmen vrij gebruikelijk. Deze energiebron is vooral geschikt voor gebieden waar woningen alleen zijn aangesloten op een stroomnet. Elektrisch verwarmen gebruikt technieken, die elke gebruiker naar eigen inzicht kan kiezen en toepassen. Traditionele technieken met gloeidraden zijn weinig efficiënt. Modernere technieken met infraroodinstallaties en warmtepompen zijn veel efficiënter en worden daarom steeds vaker toegepast.

Warmtepompen kunnen warmte uit de buitenlucht of uit grond- en oppervlaktewater opwaarderen tot temperatuurniveaus die bruikbaar zijn voor ruimteverwarming en verwarming van productieprocessen. Ze kunnen individueel (per gebouw) en collectief worden ingezet.

Elektriciteit lijkt een aantrekkelijke, flexibele, klimaatneutrale energiebron voor verwarming mits die uit fossielvrije energiedragers is opgewekt. De beschikbaarheid van betaalbare opslagmethoden voor stroom en/of warmte en de kosten van de benodigde netverzwaring zullen bepalend zijn voor de mate waarin elektrisch verwarmen kan worden toegepast.

Restwarmte

Restwarmte is warmte die geen nuttige toepassing heeft binnen het productieproces waarvoor het is opgewekt. Restwarmte kent zowel individuele als collectieve toepassingen. Individuele toepassingen vinden plaats binnen de bedrijfslocatie waar de restwarmte vrijkomt. Een goed voorbeeld is de warmte die (bij de productie van

elektriciteit) vrijkomt uit WKK-installaties van tuinders, die gebruikt wordt voor de verwarming van kassen. Restwarmte kent ook collectieve toepassingen. Daarbij wordt restwarmte benut met behulp van een distributienetwerk dat producenten en groepen afnemers met elkaar verbindt. Veel vormen van stadsverwarming behoren tot deze categorie, waarbij restwarmte van elektriciteitscentrales en AVI's wordt gebruikt voor verwarming van woningen.

Verwarmen met restwarmte past alleen in een koolstofarm energiesysteem wanneer die restwarmte afkomstig is van niet-fossiele bronnen of van fossiele bronnen waarbij de broeikasgassen zijn afgevangen. We mogen verwachten dat een klimaatgerichte energietransitie de komende jaren aan deze voorwaarden zal gaan voldoen. Daarnaast zal die transitie vermoedelijk leiden tot minder energieverlies in productieprocessen en daardoor tot een kleiner potentieel aanbod van restwarmte. Desondanks blijft het benutten van restwarmte een effectieve manier om de uitstoot van broeikasgassen te verlagen en de efficiëntie van het energiesysteem te verhogen. Dat vereist echter wel een goede afstemming van (rest) warmteaanbod en -vraag en een goede planning van investeringen in warmtedistributienetten. Dat wordt in de hoofdstukken 5 en 7 nader uitgewerkt.

Omgevingswarmte

Omgevingswarmte bevindt zich in lucht, water en bodem (tot 500 meter onder het maaiveld). Onttrekken van warmte aan de lucht gebeurt met warmtewisselaars en -pompen en scharen we onder individuele vormen van elektrisch verwarmen. Onttrekken van warmte aan afvalwater gebeurt met warmtewisselaars, zowel individueel (in badkamers) als collectief (in rioolstelsels). Gezien het experimentele stadium van deze collectieve toepassing laten we die in deze notitie verder buiten beschouwing.

Onttrekking van warmte aan oppervlaktewater is momenteel onderwerp van onderzoek. Volgens inventarisaties voor Rijkswaterstaat en voor de Unie van Waterschappen (UvW) zou warmtewinning uit waterlopen, plassen, gemalen en kunstwerken een economisch potentieel hebben van 42-182 petajoule per jaar (IF-Technologies 2016a en b). Binnen de aangegeven marge kan het potentieel toenemen wanneer warmtenetten aanwezig zijn om de gewonnen warmte te transporteren naar gebouwen. Beide studies kwantificeren ook de potentiële koudelevering aan gebouwen. De gevolgen voor ecosystemen zijn vermoedelijk beperkt; koeling van oppervlaktewater in de zomer met enkele graden zou zelfs kunnen bijdragen aan het tegengaan van ongewenste effecten zoals algenbloei.

Omgevingswarmte uit grondwater en bodem kan worden benut met warmtepompen, en is toe te passen in individuele gebouwen en collectieve systemen.

We maken hier geen onderscheid tussen grondwater en bodem omdat grondwater het medium is waarmee de bodemwarmte wordt getransporteerd om geoogst te worden via gesloten of open systemen. De bodem (tot 500 meter diepte) wordt in veel studies gezien als zelfstandige warmtebron, maar die bron kan alleen in stand blijven wanneer die periodiek weer wordt opgewarmd, bijvoorbeeld door horizontale grondwaterstromen uit aangrenzende gebieden of door opwarming met behulp van bovengrondse koelinstallaties.

Op lange termijn, wanneer op veel plaatsen grondwarmte wordt gewonnen, zal de bodem dus vooral gebruikt kunnen worden als een opslag van warmte en koude (WKO) en niet zozeer als zelfstandige energiebron. Dat maakt WKO minder geschikt voor toepassing bij goed geïsoleerde gebouwen omdat die (in het Nederlandse klimaat) vrijwel niet gekoeld hoeven worden. De behoefte aan koeling kan wel toenemen als door klimaatverandering de buitentemperatuur in de zomer stijgt. WKO kan vooral nuttig zijn voor combinaties van goed geïsoleerde woningen met bedrijfsmatige koeling, zoals in kantoren, datacenters of voor voedselconservering, en als seizoensopslag in combinatie met geothermie. De bijdrage van WKO aan warmtelevering op lange termijn is dus afhankelijk van de behoefte aan koeling in een gebied.

Aardwarmte

Aardwarmte of geothermie bevindt zich meer dan 500 meter onder het maaiveld en wordt meestal in collectieve systemen toegepast. De collectieve toepassing van geothermie komt voort uit de hoge investeringskosten, die de draagkracht van particulieren vaak te boven gaat, en de wens om verschillende warmtevraagprofielen van verschillende afnemers te combineren zodat de warmteafname beter aansluit bij het – vrij constante – warmteaanbod van een geothermiebron.

Geothermie lijkt een ideale energiebron: ze kan benut worden zonder uitstoot van broeikasgassen en is in grote hoeveelheden en vrijwel continu aanwezig in de Nederlandse ondergrond. Met elke kilometer dieper in de ondergrond, stijgt de temperatuur gemiddeld met 31 graden Celsius. Dat betekent dat op 3-4 kilometer diepte water beschikbaar is van circa 100 °C, dat zeer geschikt is voor verwarming van gebouwen. Dat is echter niet *overal* in Nederland het geval en het is bovendien onzeker of op die diepten overal voldoende water aanwezig is (of aangevoerd kan worden) om de aanwezige warmte naar het oppervlak te transporteren. In sommige

Tabel 2.3
Kenmerken van energiedragers voor koolstofarme warmtesystemen

Energiedrager	Individueel ¹⁾	Collectief ²⁾	Voordelen collectief toepassen	Nadelen collectief toepassen
Biogas	ja	kan	Past bij huidige infra	Bron beperkt beschikbaar
Biomassa	ja	kan	Past bij huidige infra	Bron beperkt beschikbaar
Groene stroom	ja	ja?*	Flexibel	Vergt etmaal/seizoenopslag
Restwarmte	ja	ja	Hogere energie-efficiëntie	Onzeker aanbod
Warmte-koude-opslag (WKO)	ja	kan	Als buffer in warmtenetten	Vergt lokale balans in warmte-koudevraag
Geothermie	kan	ja	Groot potentieel	Niet overal beschikbaar

1) Individueel wil hier zeggen dat grote of kleine afnemers (variërend van industriële bedrijven tot woningeigenaren) zelf kunnen bepalen of ze een energiebron gebruiken, zonder (veel) afstemming met partijen anders dan de leverancier.

2) Collectief betekent dat vormgeving en gebruik van systemen afstemming vereist tussen aanbieders en (veel) afnemers.

*) Elektrisch verwarmen (al dan niet met warmtepomp) kan individueel worden vormgegeven. Als in een gebied heel veel gebouwen elektrisch worden verwarmd, zal de stroomvoorziening hierop moeten worden aangepast, waardoor het toch kenmerken krijgt van een collectief (warmte)systeem.

delen van Nederland is de aanwezigheid van oogstbare geothermie echter al wel bewezen (zie hoofdstuk 3). Dat maakt het interessant te verkennen welke rol geothermie zou kunnen vervullen in systemen van collectieve warmtevoorziening zonder uitstoot van broeikasgassen.

2.1.3 Zijn warmtenetten nodig?

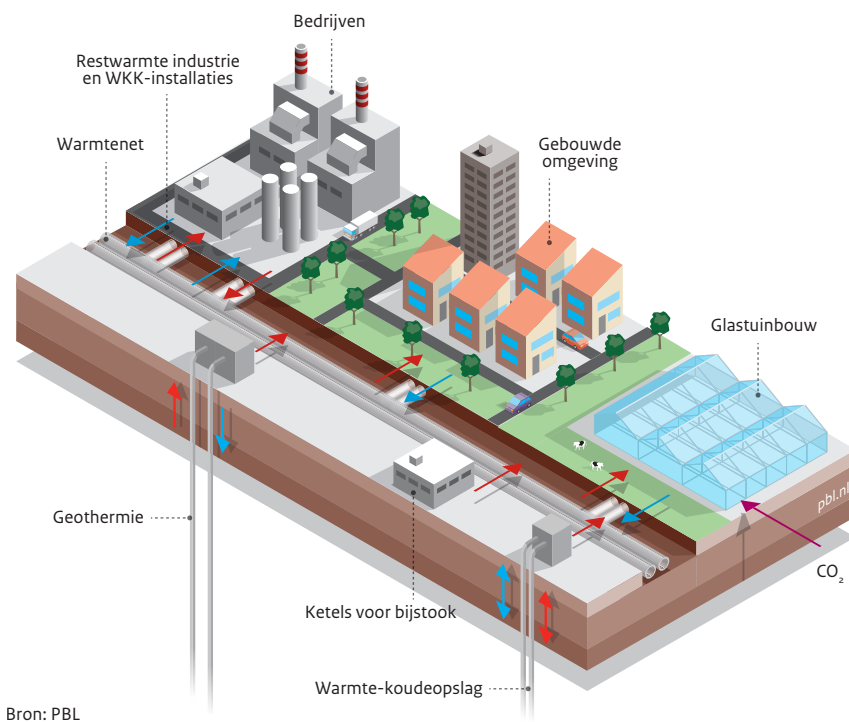
In voorgaande paragraaf is kort aangegeven dat verschillende koolstofarme energiedragers zich lenen als energiebron voor zowel individuele als collectieve warmtesystemen. Daarbij zijn individuele warmtesystemen losjes gedefinieerd als systemen die door één of enkele gebruikers (kunnen) worden vormgegeven, terwijl collectieve systemen grotere aantallen gebruikers bedienen, waardoor de vormgeving ervan tot stand moet komen door (uitvoerig) overleg en afstemming tussen (potentiële) gebruikers. In allerlei onderdelen van de samenleving worden collectieve voorzieningen vervangen door geïndividualiseerde voorzieningen. Ook in de energiewereld is die tendens zichtbaar, zoals bij het groeiend aantal huishoudens dat zelf stroom opwekt met PV-panelen en bij de vervanging van blokverwarming door afzonderlijke cv-ketels (verketeling) bij renovatie van flatgebouwen. Vanuit deze trend bezien zou de ontwikkeling van individuele koolstofarme warmtesystemen (zie tabel 2.3) de voorkeur verdienen boven collectieve, op voorwaarde dat individuele systemen op andere criteria (zoals kosten en betrouwbaarheid) niet veel slechter scoren.

Tabel 2.3 laat zien dat elke genoemde koolstofarme energiedrager geschikt is voor zowel individuele als collectieve toepassing. De meeste energiedragers die geschikt zijn voor individuele toepassing hebben echter

een beperkt groeipotentieel. Vanwege de beperkte (toekomstige) beschikbaarheid van biogas en vaste biobrandstoffen is het verstandig deze schone energiebronnen te reserveren voor toepassingen met weinig alternatieve schone brandstoffen (Ros & Schure 2016) en dus zo min mogelijk te gebruiken voor verwarming van gebouwen. Individuele toepassing van restwarmte zal – gezien de definitie – beperkt blijven tot bedrijven die zelf warmte opwekken (of inkopen) en proberen de restwarmte binnen het eigen bedrijf (beter) te benutten. Warmtepompen kunnen daarbij een nuttig hulpmiddel zijn, evenals herontwerp van het productieproces. Deze vorm van restwarmtegebruik heeft naar verwachting beperkte groeipotenties en zal overigens moeilijk onderscheiden kunnen worden van gewone energiebesparing. De individuele toepasbaarheid van WKO zal om technische redenen beperkt blijven tot toepassingen die op jaarbasis evenveel afkoeling als opwarming van de ondergrondse warmtebuffer kunnen realiseren. Dat maakt WKO minder geschikt voor toepassing in woningen.

Uit bovenstaande opsomming blijkt dat het groeipotentieel van individuele koolstofarme warmtesystemen vrij beperkt is. Er is wél groeipotentieel aanwezig bij collectieve systemen met geothermie en bij elektrisch verwarmen. Dat laatste is te beschouwen als een individueel warmtesysteem, maar bij grootschalige toepassing gaat het ook kenmerken van een collectief systeem vertonen omdat de stroomproductie en -netwerken er op moeten worden afgestemd. Dit betekent dat het interessant is om de potentie van twee collectieve warmtesystemen nader te onderzoeken: systemen met warmtenetten die gevoed worden met restwarmte en geothermie en warmtesystemen gevoed

Figuur 2.1
Open warmtenet met 'third party access'



Bron: PBL

met groene stroom. Beide systemen kunnen in beginsel naast elkaar bestaan, maar uit oogpunt van kostenminimalisatie is het raadzaam om per gebied voor een van beide te kiezen. In paragraaf 4.1 wordt dit nader uitgewerkt.

2.2 Mogelijke warmtesystemen van de toekomst

Toekomstige warmtesystemen zullen in de praktijk vele varianten krijgen, afgestemd op lokale omstandigheden die sterk kunnen variëren. Om de gedachten hierover te helpen vormen, beperken we ons hier tot enkele hoofdvarianten die uit de literatuur zijn gedestilleerd. We beschrijven vooral de technische en organisatorische kenmerken van toekomstige warmtenetten. Om die netten te kunnen realiseren, zal het gebruik ervan natuurlijk ook economisch interessant moeten zijn voor betrokkenen. Dat aspect komt in hoofdstuk 3 tot en met 7 aan bod.

2.2.1 Warmtenetten met geothermie en restwarmte

Toekomstige warmtenetten zullen een aantal overeenkomsten vertonen met de huidige warmtenetten. Transportleidingen zullen warmtebronnen verbinden met

lokale distributienetten die het warme water bij de verbruikers brengen en het afgekoelde water terugvoeren naar de bron. Met pompen, hulpketels en buffers wordt gezorgd voor een goed functionerende warmtevoorziening die te allen tijde kan voorzien in de gewenste warmtevraag.

Fossiele warmte alleen klimaatneutraal in combinatie met CCS

Net als nu zouden warmtenetten gevoed kunnen worden met warmte van fossiele bronnen, maar dan alleen onder de voorwaarde dat de daarbij vrijkomende broeikasgassen worden afgevangen en worden opgeslagen (CCS) of nuttig worden toegepast (CCU). Om de beschrijving van het toekomstbeeld overzichtelijk te houden, laten we deze mogelijkheden hier verder onbesproken.

Van gesloten naar open warmtenetten

De huidige (gesloten) warmtenetten, die worden gevoed door één warmteaanbieder, zullen op termijn overgaan in open warmtenetten waarop verschillende aanbieders actief zijn. Dat open stellen voor andere warmteaanbieders is nodig om het potentieel aan restwarmte te kunnen benutten (Berenschot 2015). Op die manier kunnen bedrijven met fluctuerende hoeveelheden restwarmte namelijk ook leverancier worden zonder dat de warmteafnemers tijdelijk in de kou komen te zitten. Ook kunnen zo relatief kleine hoeveelheden restwarmte worden gebundeld, waardoor benutting economisch

aantrekkelijker wordt. Dat past bij de beoogde toename van energiebesparing, die het toekomstige aanbod van restwarmte zal reduceren.

Nieuwe open warmtenetten zullen waarschijnlijk op een lagere temperatuur worden ingesteld (40-55 graden) dan de huidige warmtenetten (90 graden) omdat het toekomstig warmteaanbod waarschijnlijk een lagere temperatuur zal hebben (Ecofys & Greenvis 2016). Bovendien zijn de energieverliezen bij transport dan lager, wat de efficiëntie van warmtenetten vergroot.

Ook geothermie kan beter worden benut door aansluiting op een open warmtenet. De Nederlandse ondergrond vertoont namelijk grote regionale verschillen in de toegankelijkheid van geothermie. Ook de warmtebehoefte is in Nederland ongelijk verdeeld over regio's. Warmtenetten kunnen plaatsen met veel geothermie verbinden met plaatsen met grote warmtebehoefte, mits het warmteverlies door transport beperkt blijft tot acceptabele niveaus. Ook bij kleine afstanden tussen bron en afnemer zijn open warmtenetten nuttig omdat ze profielverschillen tussen aanbod en vraag kunnen dempen door middel van koppeling met ondiepe ondergrondse buffers.

Pompen en hulpketels op groene stroom, groen gas of biomassa

Geothermie en restwarmte zullen de meeste warmte aan het net leveren, maar deze bronnen zijn minder geschikt voor pompen en hulpketels, die – vaak dicht bij de afnemers – zorgen voor aanpassing van het warmteaanbod aan specifieke wensen van de gebruikers. Hulpketels zijn ook nodig om perioden van extreme koude te overbruggen. Voor de productie van warm tapwater zijn vaak ook aanvullende voorzieningen nodig (zoals zonneboilers, warmtepomp- of elektrische boilers), zeker in gebouwen met lage temperatuurverwarming.

In een klimaatneutraal warmtesysteem moeten deze apparaten natuurlijk aangedreven worden met klimaatneutrale energiebronnen, zoals groene stroom of groen gas. Inzetten van wijk-WKK's met biobrandstoffen (en CCS) kan ook een optie zijn. We werken de energievoorziening van pompen en hulpketels in deze notitie niet verder uit omdat deze energiebehoefte *relatief* beperkt is, én omdat in een klimaatneutraal energiesysteem waarschijnlijk voldoende groene stroom beschikbaar zal zijn.

Cascadering

Aan de gebruikerskant zal ook het nodige veranderen. Om de efficiëntie van het systeem te vergroten, is het nodig gebruikers met een verschillend 'type' warmtebehoefte aan elkaar te koppelen door middel van

warmteascadering. Dat betekent dat gebruikers die warmte van een hoge temperatuur nodig hebben als eerste worden beleverd en dat hun 'restwarmte' vervolgens wordt geleverd aan gebruikers die met een lagere temperatuur tevreden zijn. Om de efficiëntiewinst van cascadering maximaal te benutten, wordt het dus wenselijk om de ruimtelijke configuratie van verschillende typen warmtevragers te gaan afstemmen op de configuratie van het warmtenet (en vice versa). Dat kan bijvoorbeeld door in woonwijken goed geïsoleerde woningen te combineren met 'slecht' geïsoleerde gebouwen (zoals monumentale panden) of door kantoren en bedrijven (die vooral overdag verwarmd moeten worden) te combineren met woningen (die vooral warmte nodig hebben aan de randen van de dag). Ook het combineren van woningen en kassen biedt goede mogelijkheden voor cascadering van warmte. De grootste efficiëntie wordt bereikt als een gebied een evenwichtige verdeling kent van warmteafnemers die warmte van verschillende temperaturen nodig hebben, zodanig verdeeld in de tijd dat het profiel van de collectieve vraag overeenkomt met het dag- en seizoenprofiel van het warmteaanbod.

Marktplaats

Een open warmtenet zal een toegesneden systeem nodig hebben om de kosten van het netwerk te verdelen over zijn gebruikers, om een redelijke beloning vast te stellen voor de producenten van warmte, en om een redelijke prijs te bepalen voor de leveranciers die de afnemers bedienen. De waarde van warmte is van veel factoren afhankelijk, zoals de temperatuur, het aangeboden volume, de plaats, het tijdstip waarop en de periode waarin het aangeboden wordt, de betrouwbaarheid van de levering en de betalingsbereidheid van de afnemer, gerelateerd aan het type toepassing. Op een handelsplatform kunnen alle wensen en mogelijkheden van aanbieders en afnemers vertaald worden in een prijs voor warmte waarmee leveringen onderling verrekend kunnen worden. Een dergelijk platform bestaat nog niet, maar zou gemodelleerd kunnen worden naar bestaande handelsplatforms voor elektriciteit (Berenschot 2015, Ecofys 2015, Werkgroep MWZH 2015).

Zelfstandige systeem operator

Op een gesloten warmtenet fungeert de warmteleverancier nu meestal als netwerkbeheerder maar in een open warmtenet (met meerdere producenten en leveranciers²⁾ kan het beheer beter in handen van een onafhankelijke partij worden gelegd. Dat biedt warmteleveranciers en -producenten meer ruimte voor concurrentie. Een zelfstandig netbedrijf kan eigenaar zijn van het netwerk en heeft betere toegang tot de kapitaalmarkt voor de toekomstige uitbreidingen van de warmtenetten (Berenschot 2015:15). Splitsing tussen netwerk en

leveranciers is ook een voorwaarde om warmtenetten op een vergelijkbare manier te reguleren als de elektriciteits- en gasnetten, waardoor een integrale, gelijkwaardige afweging tussen gas, stroom en warmte mogelijk wordt (Ecofys 2015:2).

2.2.2 Grootchalig verwarmen met groene stroom

Elektrisch verwarmen kan met weerstandsverwarming (zoals E-radiatoren, infraroodpanelen) of met behulp van elektrische warmtepompen. Weerstandsverwarming is doorgaans minder efficiënt en vereist relatief weinig afstemming met de omgeving; daarom werken we die hier niet verder uit. Groene stroom kan ook gebruikt worden om water te verwarmen in goed geïsoleerde boilers. Dit kan een aantrekkelijke methode voor energieopslag zijn (*power to heat*, P2H) in periodes dat de productie van groene stroom groter is dan het nuttige gebruik ervan, bijvoorbeeld als het lang hard waait. Omdat die periodes onvoorspelbaar zijn en incidenteel zullen voorkomen, is P2H niet geschikt om in de structurele warmtevraag te voorzien.

Warmtepompen benutten omgevingswarmte (in de buitenlucht of in grondwater of zelfs rioolwater) om een verwarmingsmedium (zoals water) te verwarmen tot temperaturen die nodig zijn voor gewenste toepassingen: ruimteverwarming, tapwater of verwarmen van productieprocessen. Warmtepompen kunnen met stroom of met gas worden aangedreven; voor de overzichtelijkheid beperken we ons hier tot de elektrische variant. Met een WKO-installatie kan langdurig warmte aan grondwater worden onttrokken, mits de ondergrond daarvoor geschikt is en mits de ondergrondse warmtevoorraad periodiek weer wordt aangevuld. Die aanvulling kan langs natuurlijke weg plaatsvinden door ondergrondse stroming, zolang die aanvoer niet door andere WKO-installaties wordt onderschept. Bij veel WKO-installaties in een gebied moet bovengronds op jaarbasis een evenwichtige behoefte bestaan aan verwarming en koeling zodat de bovengrondse restwarmte van koelapparatuur de ondergrond kan opwarmen.

Warmtepompen worden momenteel in circa 1 procent van alle Nederlandse woningen toegepast en het aantal groeit. Ze zijn echter nog vrij duur in aanschaf en in gebruik. Financieel interessant zijn ze vooral in goed geïsoleerde gebouwen met lage temperatuurverwarming, zoals vloer- en muurverwarming (Elzenga & Ros 2014). Of verwarmen met elektrische warmtepompen (op termijn) duurder of goedkoper zal zijn dan verwarmen met warmtenetten, zal vooral afhankelijk zijn van lokale omstandigheden, zoals de aanwezigheid van geschikte warmtebronnen voor warmtenetten en de dichtheid van de bebouwing. Over het algemeen zal de inzet van

warmtepompen goedkoper zijn in landelijke gebieden en in woonwijken met verspreide bebouwing, zie paragraaf 4.1.

2.2.3 Koppeling van warmtesystemen en stroomnetten

Koppeling van het elektriciteitssysteem aan warmtesystemen biedt mogelijkheden om de onbalans die in beide systemen kan optreden beter te bufferen. Door groei van de (wisselvallige) productie van stroom uit windturbines en PV-panelen zullen op termijn tijdelijke stroomoverschotten ontstaan, die (tegen zeer lage marginale kosten) benut kunnen worden voor productie van warmte. Dat is nu (op kleine schaal) al rendabel en wordt reeds ingezet om dag/nacht-patronen in stroomproductie en -vraag beter op elkaar af te stemmen. Misschien kunnen op termijn ook seizoenfluctuaties overbrugd worden door met goedkope stroom ondiepe ondergrondse aquifers op te warmen. Warmtenetten kunnen zelf ook dienen als energieopslagmedium doordat de temperaturen in een net (binnen grenzen) kunnen fluctueren, zonder de kwaliteit van de geleverde warmte nadelig te beïnvloeden (Energy Storage NL 2016: 9).

Een andere koppeling tussen beide systemen zou kunnen ontstaan als op termijn ultradiepe geothermie tot ontwikkeling komt, die kan worden ingezet voor de productie van elektriciteit in combinatie met levering van de restwarmte aan een warmtenet (geo-WKK). In het buitenland wordt dit al toegepast, onder andere in IJsland en de Verenigde Staten.

2.3 Selectie van kansrijke collectieve warmtesystemen op lange termijn

Om de potentiële bijdrage van collectieve warmtesystemen aan de nationale warmtebehoefte te kunnen bepalen, moet zowel de vraag- als de aanbodkant in beschouwing worden genomen. Aan de aanbodkant moet verkend worden hoeveel restwarmte en geothermie op termijn beschikbaar kan komen. Ook de beschikbaarheid van elektriciteit voor verwarming moet worden verkend. Aan de vraagkant moet geïnventariseerd worden welke gebouwen en productieprocessen zich lenen voor verwarming met warmte of met elektriciteit en hoeveel warmte daarvoor nodig is. Diverse partijen zijn momenteel bezig die vraag- en aanbodkant te inventariseren en RVO maakt de geanonimiseerde gegevens openbaar in de Warmteatlas Nederland (<http://agentschapnl.kaartenbalie.nl/gisviewer/>).

Om de kansrijke warmtesystemen op het spoor te komen, is het raadzaam de systemen te herkennen die

zowel technisch realiseerbaar zijn als op economisch rendabele manier geëxploiteerd kunnen worden. Zowel technische als economische ontwikkelingen zijn echter moeilijk te voorspellen, wat maakt dat schattingen van het potentieel van warmtesystemen met grote onzekerheden zijn behept. Bovendien zijn potentiële nog geen voorspellers van de toepassing, omdat ook maatschappelijke acceptatie van verschillende warmtesystemen een rol zal spelen. Die maatschappelijke acceptatie zal voor een deel worden bepaald door de manier waarop de kosten van de omschakeling naar de nieuwe, klimaatneutrale systemen worden verdeeld over de verschillende actoren in de samenleving.

Bij een analyse van de economische implicaties van de hier bestudeerde transitie is het belangrijk een scherp onderscheid te maken tussen de *kosten* van de transitie en de *verdeling* van die kosten. Door bestaande regelingen aan te passen, heeft de overheid invloed op zowel de hoogte als de verdeling van deze kosten. Een rationele keuze van de meest aantrekkelijke technische opties zou gebaseerd moeten worden op de volgende drie stappen:

- a Met welke set van technische maatregelen kan het doel (80-95 procent reductie van broeikasgassen) op de goedkoopste manier bereikt worden? Zijn die maatregelen acceptabel, ook in het licht van neveneffecten?
- b Vindt de samenleving de totale kosten van dat maatregelenpakket opwegen tegen de voordelen van het bereiken van het gestelde doel?
- c Zo ja, wat is een acceptabele manier om de kosten van dat pakket te verdelen over partijen in de samenleving? Welke (aanpassingen van) regelingen zijn daarvoor nodig?

In de praktijk zal de besluitvorming niet langs deze lijnen verlopen, al was het maar omdat 'grand designs' altijd worden ingehaald door onvoorziene veranderingen in de omgeving en omdat er geen mechanismen zijn om de uitvoering van zo'n plan te garanderen. Desondanks is het nuttig om zo'n visionair plan te maken. Het opstellen helpt alle deelnemers namelijk om te ontdekken wat zij belangrijk vinden en het biedt een richtsnoer bij beslissingen over de eerstvolgende stappen die gezet worden om de gewenste verandering in gang te zetten.

Noten

- 1 Berekend als $(790+670)/(2.660+680) = 43,7\%$.
- 2 Deze termen kunnen voor buitenstaanders verwarrend zijn. Warmteproducenten wekken de warmte op en leveren die aan het net, terwijl warmteleveranciers zorgen voor de levering aan eindgebruikers.

Toekomstbeeld geothermie in Nederland

3.1 Potentiële beschikbaarheid van geothermie

3.1.1. Geothermie grote belofte voor de energietransitie

Geothermie (ofwel aardwarmte) is een bron van hernieuwbare energie die in potentie een grote rol zou kunnen spelen in een klimaatneutraal energiesysteem in Nederland. Geothermie heeft niet de nadelen van energie uit zon en wind (waarvan de productie sterk kan fluctueren) of van biomassa (die kan concurreren met voedselproductie en met bescherming van de biodiversiteit). Omdat de kosten van geothermie vooral bestaan uit investeringskosten, zijn ze beter voorspelbaar dan de kosten van fossiele energiedragers.

Sinds 2008 zijn in Nederland geothermieprojecten gerealiseerd die warmte winnen op 1,5 tot 2,5 kilometer diepte. In het buitenland (vooral in IJsland en Hongarije) wordt geothermie al langer toegepast, vooral voor stadsverwarming (212 systemen in 2011) maar ook voor productie van elektriciteit (48 installaties in 2016; GeoElec 2013). In 2011 concludeerden IF, Ecofys en TNO: 'een groot deel van de warmtevraag en elektriciteitsbehoefte kan met diepe geothermie (> 4 kilometer) worden ingevuld. De combinatie van een groot potentieel en een redelijk gunstige kostprijs maken diepe geothermie een aantrekkelijke kandidaat als onderdeel van een grootschalige transitie naar duurzame energie' (IF 2011).

In dit hoofdstuk verkennen we de huidige barrières voor benutting van geothermie in Nederland. We starten met een schets van een toekomstige situatie (zichtjaar 2050) waarin het technisch potentieel van geothermie zoveel mogelijk wordt benut. Daarna volgt een beknopt overzicht van de huidige stand van zaken met betrekking tot de ontsluiting van geothermie in Nederland. Door vergelijking van de huidige situatie met het geschetste toekomstbeeld ontstaat een beeld van de activiteiten en ontwikkelingen

die de komende jaren nodig zijn om de potenties van geothermie beter te benutten.

3.1.2 Locatie en winbare hoeveelheid geothermie

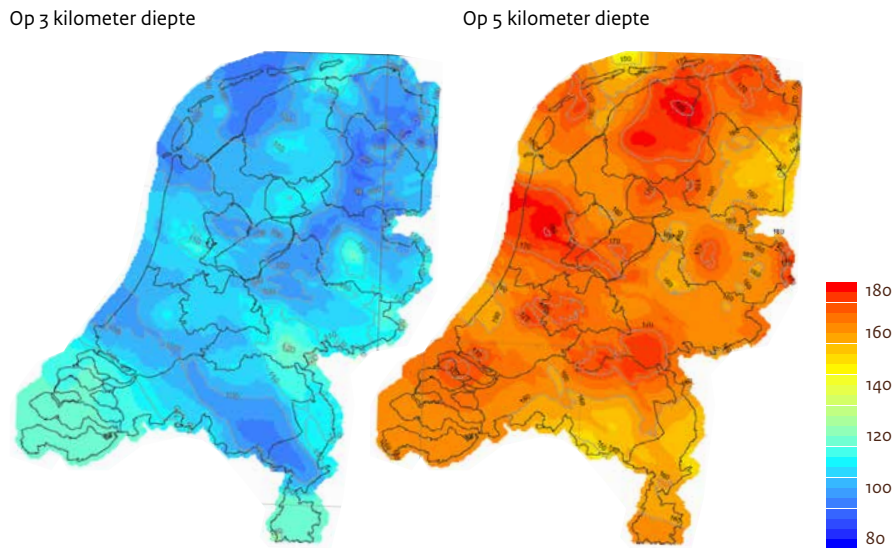
Dichter bij de aardkern wordt de aarde steeds warmer; in Nederland stijgt de temperatuur vanaf het aardoppervlak met gemiddeld 31 graden Celsius per kilometer diepte. Door grote verschillen in geologische kenmerken van de ondergrond zijn er binnen Nederland wel grote verschillen in de hoeveelheid warmte die in de ondergrond aanwezig is (zie figuur 3.1).

In 2012 heeft TNO (Kramers et al. 2012) berekend dat onder het Nederlandse landterritorium circa 820.000 petajoule thermische energie aanwezig is (HIP, *heat in place*) in afzettingen¹ tot circa 4 kilometer diepte (zie figuur 3.2).

De *winbare* hoeveelheid aardwarmte is afhankelijk van geologische, technische en economische factoren. Op grond van een aantal criteria² schatte TNO dat in Nederland tot diepten van circa 3 kilometer minimaal 85.000 petajoule rendabel winbare conventionele aardwarmte (*recoverable heat*) aanwezig is (Kramers et al. 2012). Als de gasprijs stijgt en als boren goedkoper wordt, stijgt de hoeveelheid rendabel winbare warmte. Dat geldt ook als bovengronds transport van warmte via warmtenetten mogelijk is (wat in deze berekening buiten beschouwing is gelaten).

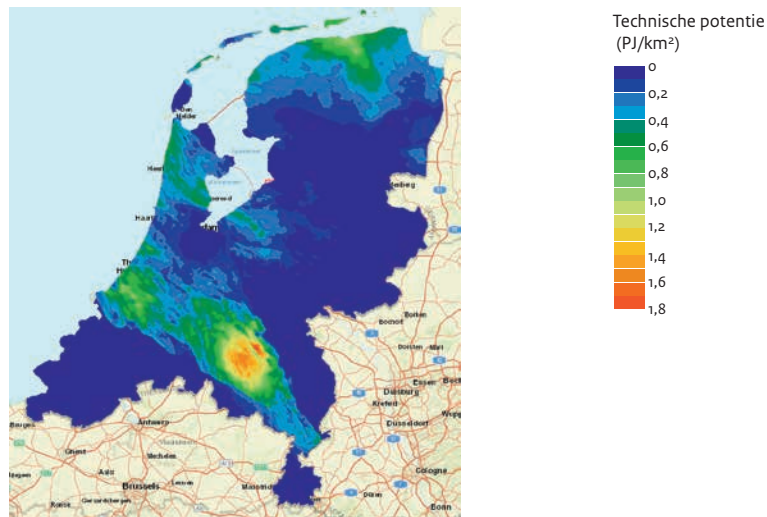
De *jaarlijks* winbare hoeveelheid geothermie is mede afhankelijk van het tempo waarin de voorraad wordt aangesproken. Bij een verdeling over duizend jaar zou er jaarlijks minimaal 85 petajoule beschikbaar zijn. Ter vergelijking: in Nederland kost het verwarmen van gebouwen nu circa 670 petajoule per jaar (zie tabel 2.1) en rond 2050 is daarvoor naar schatting nog 350 petajoule nodig (zie tabel 1). Daarbij zou nog eens 80 petajoule per jaar kunnen worden opgeteld als de warmteflux uit de aardkern (ongeveer 0,063 watt per vierkante meter; Platform Geothermie 2015) door het Nederlands

Figuur 3.1
Temperatuur van de ondergrond



Bron: TNO

Figuur 3.2
Thermisch vermogen van de ondergrond tot 4 km diepte



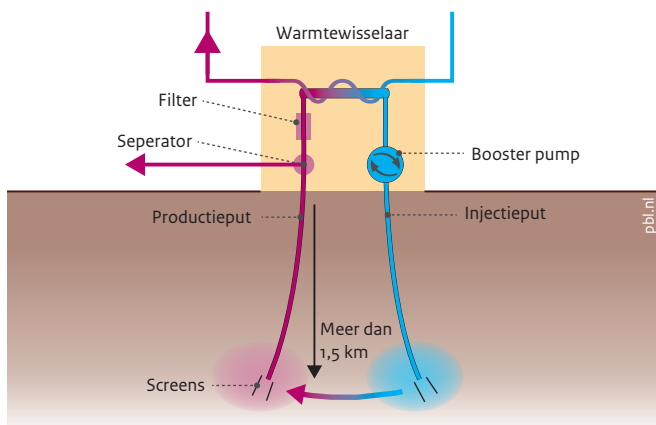
Bron: TNO 2016

grondgebied wordt meegerekend. Dat zou er op wijzen dat jaarlijks 80 petajoule warmte onttrokken kan worden aan de ondergrond zonder de voorraden aan te tasten en dat de komende duizend jaar minimaal de dubbele hoeveelheid winbaar is.

Op grotere diepten is meer energie aanwezig bij hogere temperaturen. Op 5,5 kilometer diepte zou 9.100.000 petajoule aan warmte beschikbaar zijn en op 7,5 kilometer

diepte 13.000.000 petajoule (IF 2011: 24). Met zogenoemde ultradiepe geothermie (UDG, dieper dan 4 kilometer) kan warmte geproduceerd worden die geschikt is voor industriële processen en voor elektriciteitsproductie. Een typische UDG-installatie levert een vermogen van 1-2 petajoule per jaar aan duurzame warmte. Een studie van IF-technologies schatte³ in 2011 het winbare potentieel op 430.000 petajoule voor productie van elektriciteit en warmte uit bronnen tot 5,5 kilometer

Figuur 3.3
Geothermal flow



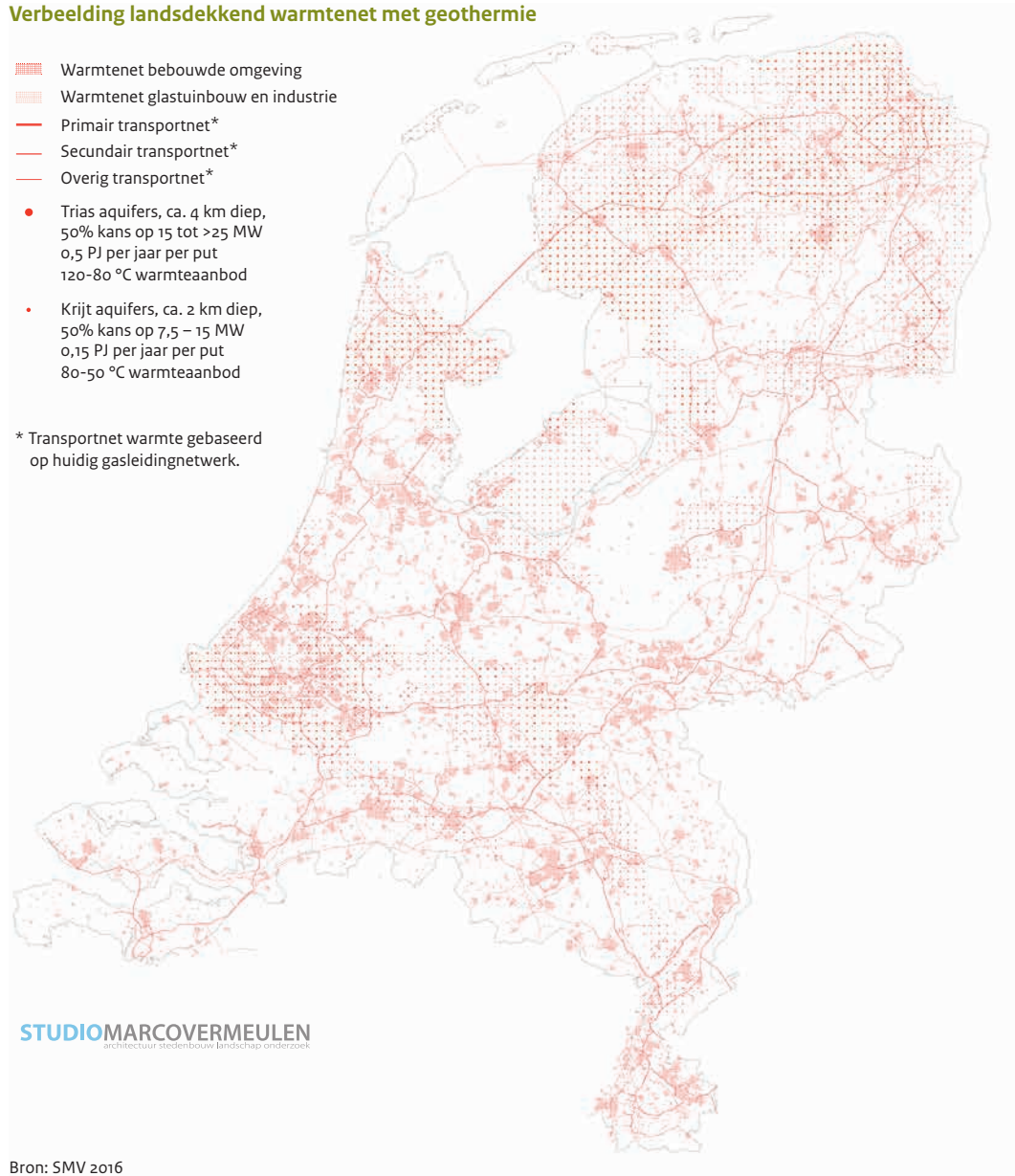
Bron: PBL

Figuur 3.4
Impressie van landschap met winningsinstallatie voor geothermie



Figuur 3.5

Verbeelding landsdekkend warmtenet met geothermie



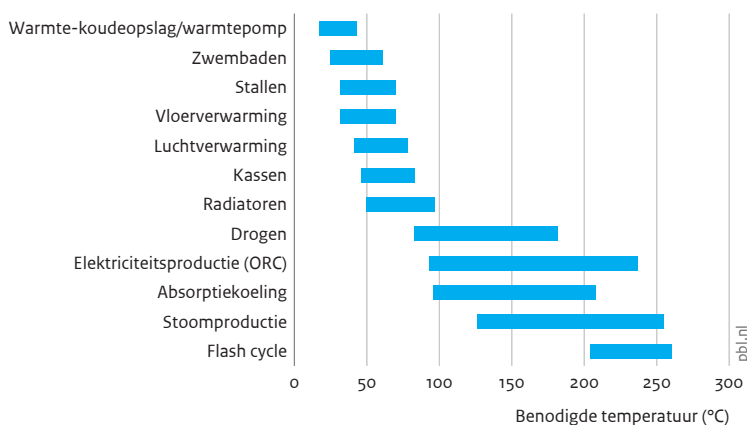
Bron: SMV 2016

diepte en 608.000 petajoule uit bronnen tot 7,5 kilometer diep (IF 2011:24). Dit is exclusief de warmte die onder het Nederlandse deel van de Noordzee ligt opgeslagen.

De grootste vraag over geothermie is in welke mate het geschatte potentieel op economisch verantwoorde wijze gewonnen kan worden. Vooral de doorlatendheid van de ondergrond en de dikte van het ondergronds watervoerend pakket (de aquifer) zijn bepalend voor de hoeveelheid (potentieel) winbare warmte. Deze parameters bepalen

samen in belangrijke mate het debiet (het aantal liters per seconde dat kan worden opgepompt), wat op zijn beurt de belangrijkste factor is voor de bepaling van het maximaal te behalen vermogen van een geothermische installatie. De doorlatendheid kan alleen via boringen definitief worden vastgesteld. Vervolgens kan die, indien noodzakelijk of wenselijk, via ondergrondse stimuleringsmaatregelen worden vergroot waardoor het maximale vermogen en dus de rentabiliteit van een put toeneemt.

Figuur 3.6
Temperatuurniveaus van toepassingen geothermie



Bron: TNO

3.1.3 Winnen van geothermie

Conventionele winning van geothermie vindt plaats door warm water uit de diepe ondergrond op te pompen uit een productieput, vervolgens bovengronds met een warmtewisselaar af te koelen (uit te nutten) en weer terug te pompen in een injectieput. Productie- en injectieput vormen samen een doublet, twee putten die bovengronds dicht bij elkaar staan en ondergronds bij de aangeboorde aquifer 1-2 kilometer van elkaar verwijderd zijn. Soms is een separator nodig om de bijvangst van gas of aardolie te scheiden van het grondwater (zie figuur 3.3).

Voor de aanleg van geothermieputten zijn tijdelijk grote boorinstallaties nodig die na enkele maanden boren weer verdwijnen. De warmtewisselaar voor de exploitatie van een doublet kan in relatief kleine permanente constructies (van circa 100 vierkante meter) worden ondergebracht die op het land relatief weinig ruimte innemen en daardoor goed inpasbaar zijn in het landschap (zie figuur 3.4).

Het is nog onduidelijk hoeveel doubletten nodig zijn om de beschikbare geothermie volledig te winnen; die hoeveelheid hangt onder andere af van de gekozen dimensionering van putten en van eventuele beperkingen bij de ruimtelijke inpassing. SMV heeft een kaart gemaakt van een mogelijk thermisch grid, ervan uitgaande dat het geothermisch potentieel in de krijt- en trias-laag volledig zou worden benut (zie figuur 3.5). Daarbij is verondersteld dat putten minimaal 1500 meter uit elkaar liggen en dat elk doublet (bovengronds) een vak van 1,5x3 kilometer in beslag neemt. Met goed geïsoleerde 'warmtesnelwegen' zou gewonnen geothermie ondergronds, gebundeld met het huidige hoofdtransportnet van de Gasunie, over grote afstanden getransporteerd kunnen worden naar regionale

en lokale distributienetten. In dit beeld wordt, naast 242 petajoule restwarmte, jaarlijks circa 1000 petajoule geothermie ingezet: 1250 doubletten van 0,5 petajoule van 120 graden en 2600 doubletten van 0,15 petajoule van 80 graden (SMV 2016). Het betekent ook dat in totaal 7700 putten worden geboord in 35 jaar tijd. Dit plan levert echter meer warmte op (circa 1250 petajoule) dan wat er volgens de WLO-scenario's in 2050 in heel Nederland jaarlijks nodig is (850 - 960 petajoule). Misschien is de helft van het getekende aantal putten wel toereikend. Vergeleken met de 4000 putten die sinds 1960 in Nederland op land zijn geboord voor olie- en gaswinning, is dat nog steeds een forse opgave.

Geothermie kan voor verschillende toepassingen worden benut, zoals ruimteverwarming, drogen, stoomproductie en productie van elektriciteit (via Flash of ORC Cycle-technieken). Voor toepassingen die hogere temperaturen vereisen, moet de aardwarmte op grotere diepten worden gewonnen (zie figuur 3.6).

3.1.4 Potenties van geothermie voor ruimteverwarming

Momenteel wordt jaarlijks circa 750 petajoule primaire energie gebruikt voor verwarming van woningen, utiliteitgebouwen en kassen. Door extra isolatie van gebouwen kan dat de komende decennia, bij voortzetting van het huidige energiebeleid, met 10-30 procent dalen zodat op termijn jaarlijks circa 500 petajoule nodig blijft voor ruimteverwarming. Met aanvullende stimulansen zou dat verder kunnen dalen tot 365-445 petajoule per jaar in 2050 (Matthijsen et al. 2016). De vraag is welk deel hiervan uit geothermie gedekt kan worden. Het antwoord hierop is erg afhankelijk van de vraag of de geografische verdeling van deze behoefte in overeenstemming is (te

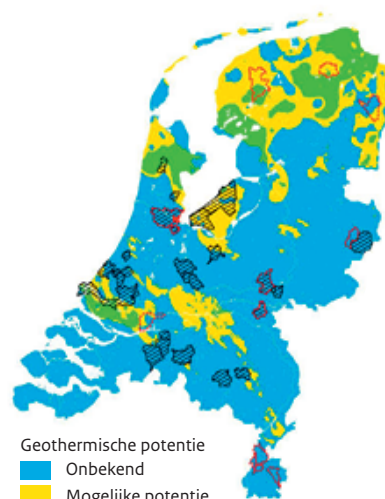
Figuur 3.7
Potentieel voor geothermische stadsverwarming

Volgens GeoDH 2015



Warmte van 60 – 100°C
 ■ Op 1 km diepte
 ■ Op 2 km diepte

Volgens CE Delft 2016



Geothermische potentie
 ■ Onbekend
 ■ Mogelijke potentie
 ■ Goede potentie

Gemeenten met grootschalige warmtenetten
 ▨ Bestaand
 ▨ Toekomstig

Bron: GeoDH 2015 (links); CE Delft 2016 (rechts)

brennen) met de geografische verdeling van het potentiële aanbod van geothermie.

Voor toepassing van geothermie in ruimteverwarming is grondwater nodig van bij voorkeur⁴ minimaal 60 graden. Dat zit in Nederland gemiddeld op 2 kilometer diepte, maar volgens GeoDH komt dat ook voor op 1 kilometer diepte (zie figuur 3.7). Een studie naar het Europese potentieel voor *geothermal district heating* (GeoDH 2015) komt voor Nederland tot de conclusie dat 30 procent van de bevolking woont in gebieden met voldoende potentieel; dat wil zeggen warmte van meer dan 60 graden op diepten van 1 en 2 kilometer. Een korte studie van CE Delft (2016) concludeert dat met de huidige en geplande grootschalige warmtenetten, die liggen in of grenzen aan gebieden met (volgens TNO) goede en mogelijke potentie voor geothermie, op termijn circa 930.000 woningen en 5.000 utiliteitsgebouwen verwarmd kunnen worden met geothermie. Dat is circa 12 procent van de woningvoorraad (zie ook figuur 3.7). Dat aandeel kan toenemen als het economisch interessant wordt om warmte over grotere afstanden te transporteren.

Er is nog veel onzekerheid over de aanwezigheid van winbare aardwarmte in de Nederlandse ondergrond. Zo betitelt CE de warmtenetten in het blauwe gebied (rechter kaart) als ongeschikt voor voeding met

geothermie, terwijl die volgens de linker kaart in een gebied liggen met warmte op 1 kilometer diepte.

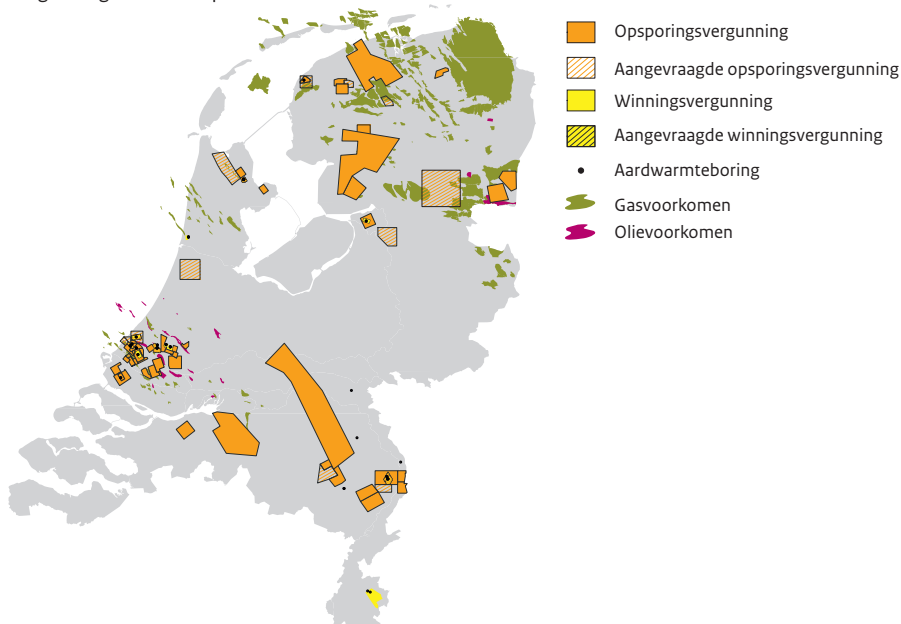
In de praktijk zal geothermie gaan concurreren met andere energiebronnen om in de warmtevraag te voorzien. Voorlopige berekeningen met het Vesta-MAIS-model wijzen uit dat de inzet van geothermie (in de context van de WLO-scenario's) varieert van 15 tot 84 petajoule per jaar, afhankelijk van veronderstellingen over kosten en belastingen (PBL, in prep.). Bij deze berekeningen is geen rekening gehouden met interregionaal transport van geothermie.

3.1.5 Potenties van geothermie voor elektriciteitsproductie

Wereldwijd wordt de meeste geothermie gebruikt voor productie van elektriciteit (geo-WKK). Daarvoor is grondwater nodig van 100 graden of meer, dat in Nederland minimaal op 3 kilometer diepte zit. Bij 100 graden is het nettorendement echter bijzonder laag (circa 3 procent), waardoor stroomproductie met geothermie (geo-WKK) in Nederland pas interessant wordt bij grotere diepten. De locatiekeuze van geothermische centrales zal worden bepaald door de beschikbaarheid van aardwarmte en de afzetmogelijkheden van restwarmte omdat stroomproductie zonder benutting van restwarmte twee keer zo duur is per kilowattuur. Geothermische centrales zijn aanmerkelijk kleiner (400 vierkante meter per gigawattuur) dan fossiele centrales (IF 2011). Ze lenen zich

Figuur 3.8
Aardwarmte in Nederland

Vergunningensituatie op 1 oktober 2016



Bron: Nlog.nl

goed voor vollastproductie omdat hun output, anders dan bij PV-panelen en windturbines, niet onderhevig is aan fluctuerende weersinvloeden.

Op 5,5 en 7,5 kilometer diepte is voldoende warmte beschikbaar voor productie van 34 respectievelijk 65 petajoule elektriciteit per jaar gedurende duizend jaar (IF 2011). Daar is jaarlijks 228 respectievelijk 325 petajoule aardwarmte voor nodig, waarvan 15 respectievelijk 20 procent wordt omgezet in stroom (waarvan een deel nodig is voor de pompen). De resterende 80-85 procent aardwarmte blijft over als restwarmte voor overige toepassing. De productiekosten van geothermische stroom schat IF (na overwinning van huidige technische barrières) op 179 euro per megawattuur bij benutting van de warmte op 5,5 kilometer diepte en 122 euro per megawattuur bij 7,5 kilometer diepte⁵; in combinatie met restwarmtelevering daalt dat tot 52 respectievelijk 63 euro per megawattuur (IF 2011: 51).

Dit soort kostenramingen zijn erg afhankelijk van lokale geologische omstandigheden en van de mate waarin de gewonnen aardwarmte bovengronds nuttig kan worden toegepast. In een recente studie (Kalkman et al. 2016) zijn de mogelijkheden verkend van geo-WKK in Barendrecht: ultradiepe geothermie (UDG) (6-7 kilometer diep) voor 80 gigawattuur elektriciteitsproductie gecombineerd met restwarmtebenutting via een zeerlagetemperatuur-warmtenet (ZLT) (aanvoer 50 graden en retour 30 graden).

De gemiddelde kostprijs is in die studie niet berekend omdat de warmtebehoefte van Barendrecht niet groot genoeg is om de aangesloten elektriciteitscentrale optimaal te laten functioneren. Door te veronderstellen dat die warmtebehoefte op termijn wordt uitgebreid tot het beschikbare aanbod, kan wel een indicatieve kostprijs worden berekend. Met een investering van 110 miljoen euro zou dan jaarlijks 38 gigawatt elektriciteit en 1,2 petajoule warmte geleverd kunnen worden (bij 7.000 draaiuren). Als die installatie 30 jaar meegaat, en als de jaarlijkse vaste onderhoudskosten 4 procent van de investeringen bedragen (conform de methode van SDE+-kostprijsberekeningen voor putten van 3,5 kilometer diepte), dan kost die energie gemiddeld 40 euro per megawattuur (exclusief subsidies), uiteenlopend van 34 euro in een optimistisch scenario tot 50 euro per megawattuur in een pessimistisch scenario. Vergeleken met eerder genoemde berekeningen zijn dit erg lage kostprijzen. Voor de onderbouwing van SDE+-adviezen 2016 werd berekend dat geo-WKK met hogere temperatuur stadsverwarming (aanvoer 90 graden, retour 70 graden) gemiddeld 112 euro per megawattuur kost. Die kosten kunnen verder omlaag als afnemers worden aangesloten die de retourwarmte nog verder uitnuttten (ECN et al. 2015: 42).

Volgens de GEOELEC Resource Assessment wordt geothermische elektriciteit in Nederland rond 2030 economisch aantrekkelijk. Dan zou 0,23 terrawattuur

geproduceerd kunnen worden tegen productiekosten die dan gedaald zijn tot 150 euro per megawattuur door technische innovaties en toepassing van EGS (Enhanced Geothermal Systems). Tegen 2050 kan de productie groeien tot 51,76 terrawattuur (circa 186 petajoule), oftewel een derde deel van het nationale stroomverbruik, tegen kosten lager dan 100 euro per megawattuur. Daarvoor zou een geïnstalleerd vermogen nodig zijn van 6.565 megawatt elektriciteit (Goeleec 2013b:79).

3.1.6 Potenties van geothermie voor industriële HT-proceswarmte

De industrie heeft hoofdzakelijk een hoge temperatuur-warmtevraag (HT) (tussen 100 en 1000 °C) en relatief hoge retourtemperaturen. Uit scenariostudies ontstaat het beeld dat de finale warmtevraag van de industrie (exclusief staal-, kunstmest- en plasticproductie) de komende decennia licht zou kunnen dalen van 310 petajoule nu naar 230-290 petajoule in 2050 en dat een verschuiving optreedt naar productie bij lagere temperaturen (Matthijssen et al. 2016). Daarmee zou in 2050 een industriële LT-warmtevraag van 90-140 petajoule kunnen ontstaan.

Geothermie is niet geschikt voor het opwekken van superhoge temperaturen. Stoom van 230 graden kan geproduceerd worden met geothermie uit bronnen van 7,5 kilometer diepte, tegen een kostprijs van 8,6 euro per gigajoule, mits uitkoeling tot 150 graden mogelijk is. Van de overgebleven warmte kan nog elektriciteit worden gemaakt. Als dat gebeurt daalt de kostprijs voor stoom naar 8,0 euro per gigajoule en die stoom is dan goedkoper dan bij stoomproductie met aardgas (IF 2011: 52). De overgebleven warmte kan ook aan een warmtenet geleverd worden voor toepassingen elders.

Een voorwaarde voor benutting van diepe geothermie in de industrie is dat de warmtebron ter plekke kan worden aangeboord. Het is niet onmogelijk dat aan deze voorwaarde kan worden voldaan, gezien de huidige locatie van veel industriële complexen in Rijnmond. Ook Noord-Groningen lijkt in dit opzicht een aantrekkelijke locatie voor industriële activiteiten die met hoge temperaturen werken.

3.2 Huidige ontwikkelingen bij geothermie

3.2.1 Snelle groei sinds 2008

Het eerste succesvolle Nederlandse geothermieproject dateert uit 2008 en leverde 0,1 petajoule per jaar aan warmte. In 2014 was de productie uitgegroeid tot twaalf geothermieprojecten (waarvan twee tijdelijk niet operationeel) die samen 1,5 petajoule warmte

produceerden. De putten zijn tussen 1,5 en 2,5 kilometer diep. De warmte van tien projecten werd gebruikt in kassen, één project verwarmde alleen woningen en één project verwarmde kassen, nutsvoorzieningen én gebouwen (TNO 2015: 60). De snelle groei werd mede mogelijk gemaakt door de SDE+-subsidie die vanaf 2012 beschikbaar was. In 2015 werd 2,5 petajoule aardwarmte geproduceerd. Met uitvoering van het voorgenomen energiebeleid kan dat toenemen tot 6,8 petajoule in 2020 en ruim 9 petajoule in 2023 (PBL en ECN 2016: 75).

De overheid wil in 2020 11 petajoule produceren uit aardwarmte. In het Actieplan Aardwarmte (ELenI 2011) staan hierover afspraken. De overheid stimuleert de winning van geothermie onder andere met SDE+-subsidie op levering van aardwarmte, met een garantieregeling voor boringen naar geothermie en met steun aan onderzoeksprogramma's.

Er wordt op ruime schaal gezocht naar geschikte locaties voor de winning van aardwarmte (zie figuur 3.8). In 2014 is er een groot aantal wijzigingen opgetreden in de opsporingsvergunningen voor aardwarmte: twee nieuwe vergunningen zijn aangevraagd, zes vergunningen zijn verleend (voor 206 vierkante kilometer), twee zijn er afgewezen, twee vergunningen zijn gesplitst, één vergunning is samengevoegd, drie vergunningen zijn beperkt in het betreffende gebied, achtentwintig vergunningen zijn verlengd (507 vierkante kilometer), acht vergunningen zijn vervallen/ingetrokken of er is afstand van gedaan (196 vierkante kilometer). Er zijn in 2014 geen nieuwe aanvragen voor een winningsvergunning voor aardwarmte ingediend. Eén nieuwe winningsvergunning voor aardwarmte is verleend (TNO 2015).

3.2.2 Geothermie is relatief goedkope hernieuwbare energiebron

Sinds 2012 komen geothermieprojecten in aanmerking voor SDE+-subsidie. Die subsidie vergoedt gedurende 15 jaar het verschil tussen de gestandaardiseerde kostprijs (basisbedrag) en de kosten van warmte uit een gasgestookte WKK-installatie (de basisprijs). De gestandaardiseerde kosten worden jaarlijks berekend door ECN en DNV GL (zie tabel 3.1). De kosten zijn de laatste jaren toegenomen doordat meer voorzieningen worden getroffen om de risico's op slechte prestaties te reduceren en de veiligheid te garanderen. Geothermie (uit bronnen tot 3,5 kilometer) had in 2014 de minste subsidie nodig van alle hernieuwbare energiebronnen die voor SDE+ in aanmerking kwamen. Sindsdien is de productie van sommige andere typen hernieuwbare energie goedkoper geworden (zie ook tabel 3.1), maar geothermie blijft een van de goedkoopste hernieuwbare energiebronnen.

Tabel 3.1
Gestandaardiseerde kostprijs van hernieuwbare energie in Nederland

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
	(€/GJ)	(€/GJ)	(€/GJ)	(€/GJ)	(€/GJ)	(€/GJ)	(€/GJ)
Wind op zee ¹⁾	0,0	44,4	44,4	43,6	n.a.	20,3	15,1
Wind op land > 8m/s	26,7	24,2	19,4	19,4	20,6	19,4	17,8
Zon-PV	0,0	59,2	41,1	40,8	39,2	35,6	34,7
Zonnewarmte > 100m ²	0,0	36,1	33,3	38,2	38,1	28,6	26,4
Warmtevergisting dierlijke mest	0,0	0,0	23,1	27,4	29,4	30,3	28,3
Allesvergister groen gas	0,0	28,2	28,3	28,6	17,5	16,7	16,9
Ketel vaste biomassa >5MW	0,0	10,9	11,5	11,8	11,9	11,9	12,2
Ketel vaste biomassa <5MW	0,0	n.a.	n.a.	14,2	14,2	14,4	15,6
Geothermie warmte >3,5km		0,0	12,8	14,4	15,3	17,2	15,8
Geothermie warmte >500m	0,0	10,9	11,8	11,9	14,4	15,6	14,7
Geo-WKK	0,0	18,9	24,0	25,8	n.a.	n.a.	n.a.

1) De kostprijs van wind op zee 2016 is gelijkgesteld aan de prijs die DONG, de winnaar van de tender voor de kavels Borssele I en II in mei 2016, offereerde. Voor 2017 is de prijs voor de kavels Borssele III en IV gehanteerd die op 12 december 2016 werd bekend gemaakt (RVO 2016b).
 Bron: ECN 2015; ECN & DNV GL 2015 en 2016.

De kosten van ultradiepe geothermie (UDG, meer dan 4 kilometer diep) zijn mogelijk lager. Een recente verkennende studie (Kalkman et al. 2016) naar de mogelijkheden van UDG in Almere komt tot een gemiddelde netto kostprijs (inclusief SDE+-subsidie) van 2-3 euro per gigajoule, variërend tussen -2 euro per gigajoule voor een optimistisch scenario (4,8 kilometer diep, 160 graden putbasistemperatuur) en 20 euro per gigajoule voor een pessimistisch scenario (6,4 kilometer diep, 210 graden in putbasis). Commerciële toepassing van UDG vereist wel dat eerst de technische risico's beheersbaar worden.

3.2.3 Boren naar geothermie is (nog) duur en risicovol

Voor berekening van SDE+-subsidies hanteert men netto boorkosten van 5,7 miljoen euro voor een put van 2,3 kilometer diep; 11 miljoen euro bij 3 kilometer en 16,5 miljoen euro bij 4 kilometer diepe putten (Mijnlieff 2013). Dieper boren is duurder. Uit historische data blijkt dat een boring naar 5-7 kilometer diepte doorgaans 200 tot 300 dagen in beslag neemt, wat overeenkomt met een investering tussen de 15 en 35 miljoen euro per put (NAM 2001, genoemd in Boxem et al. 2015). Het boren van putten tot 3 kilometer is in de olie- en gasector al redelijk ver uitontwikkeld en zal dus op termijn vermoedelijk niet veel goedkoper worden. De kosten van dieper boren kunnen nog wel dalen, waardoor de kosten van gewonnen aardwarmte kunnen dalen. Grotere kostendalingen zijn echter te bereiken door technieken te ontwikkelen om per put meer energie te winnen.

Bij genoemde grote investeringen in putten willen investeerders wel zeker weten dat een geboorde put voldoende winbare warmte gaat opleveren. Op basis van beschikbare geologische kennis van de ondergrond worden schattingen gemaakt van het winbare vermogen. TNO heeft daarvoor het computermodel DoubletCalc ontwikkeld, waarmee investeerders het verwachte vermogen van een put kunnen berekenen dat met 50 procent kans minimaal gerealiseerd kan worden. LTO-Glaskracht gebruikt deze en andere gegevens in een *Quickscan geothermie glastuinbouw* waarmee hun leden online kunnen bekijken wat de mogelijkheden zijn van aardwarmte tot 3 kilometer diepte op hun locatie (LTO-Glaskracht 2016).

Geologisch onderzoek naar de geschiktheid van de ondergrond voor geothermie is er op gericht de risico's van misboren verder te verkleinen. Om risico's (gedeeltelijk) af te dekken is de Garantieregeling geothermie (RNES Risico's Dekken voor Aardwarmte) opgezet, die periodiek wordt opengesteld om aanvragen in te dienen (zie <http://www.nlog.nl/geothermalEnergy/geothermalEnergy.html>).

3.2.4 Omgaan met bijvangst is technisch goed mogelijk

Bij de productie van aardwarmte komen soms beperkte hoeveelheden koolwaterstoffen mee. In zes van de twaalf operationele installaties is dat gas, bij één installatie komt ook olie mee. De zes overige projecten die anno 2015 in gebruik waren hadden geen bijvangst. Met scheidings-

installaties kunnen gas en olie van het grondwater worden gescheiden. Die installaties kosten gemiddeld een miljoen euro per doublet.

3.2.5 Onderzoek naar verbeterde boortechnieken nodig

Er is redelijk veel ervaring met boren tot 2 kilometer diepte, met name voor olie- en gaswinning. Momenteel wordt geëxperimenteerd met boren tot 3,5 kilometer diepte, met financiële steun uit het EU Horizon 2020 programma. Een voorbeeld is het DESCRAMBLE project waarin een bestaande put in Larderello (Toscane, Italië), Venelle_2, van 2,2 kilometer wordt uitgediept tot 3-3,5 kilometer. Het project is bedoeld om de chemische en thermo-fysische karakterisering van het stoomreservoir te verbeteren. Hiervoor moeten nieuwe materialen, nieuwe meetapparatuur en boorprocedures ontwikkeld worden die bestand zijn tegen extreme omstandigheden (450 graden en 250 bar) (ENEL 2015). In Nederland worden voorbereidingen getroffen voor een eerste boring in de triasformatie op circa 4 kilometer diepte in Poeldijk (Zuid-Holland).

3.3 Ontsluiting van het potentieel van geothermie

3.3.1 Geologisch onderzoek voor ultradiepe geothermie

Bij exploratie tot 2-3 kilometer diepte is de geologie relatief goed bekend dankzij eerdere exploratie-inspanningen van zowel de olie- en gasindustrie als de geothermiesector. Daar zijn knelpunten vooral gerelateerd aan financiering. Mogelijke innovatie valt daar te behalen bij het stimuleren van de doorlatendheid van de ondergrond rond de putten, zodat het vermogen per installatie hoger wordt, en het beter en breder benutten van de opgepompte warmte door cascadering en door aansluiting op warmtenetten (Boxem et al. 2015).

Bij exploratie dieper dan 3 kilometer vormt de gebrekkige geologische kennis een van de belangrijkste knelpunten. Niet alleen de kosten van dieper boren zijn hoger; ook de onzekerheid over het aantreffen van voldoende warm water is daar erg groot. Extra onderzoek is nodig om die onzekerheden te reduceren en om een optimum te vinden tussen hoge temperatuur, voldoende debiet (flow) en lage boorkosten, die aansluiten bij bovengrondse energiebehoeften. Er zijn technieken in ontwikkeling die de inzichten in de ultradiepe ondergrond kunnen vergroten, waaronder de ontwikkeling van innovatieve seismische dataprocessingtechnieken en filters en de verbetering van temperatuurmodellen, om de platformen beter in kaart te kunnen brengen en het exploratierisico

te verkleinen. Eveneens wordt in Europees verband onderzoek gedaan naar stimuleringstechnieken die geen (merk- en meetbare) ongewenste bijeffecten vertonen, maar wel in staat zijn om het gewenste debiet te bewerkstelligen. Het lijkt er op dat de gesteentes van Dinantienouderdom in de ultradiepe ondergrond de eerste interessante kandidaat zijn voor de *next generation geothermal* in Nederland. Daar zijn indicaties van secundaire doorlatendheid aanwezig die convectie mogelijk zou kunnen maken en daarmee hogere temperaturen op geringere diepte oplevert (Boxem et al. 2015).

3.3.2 Leren van bestaande projecten

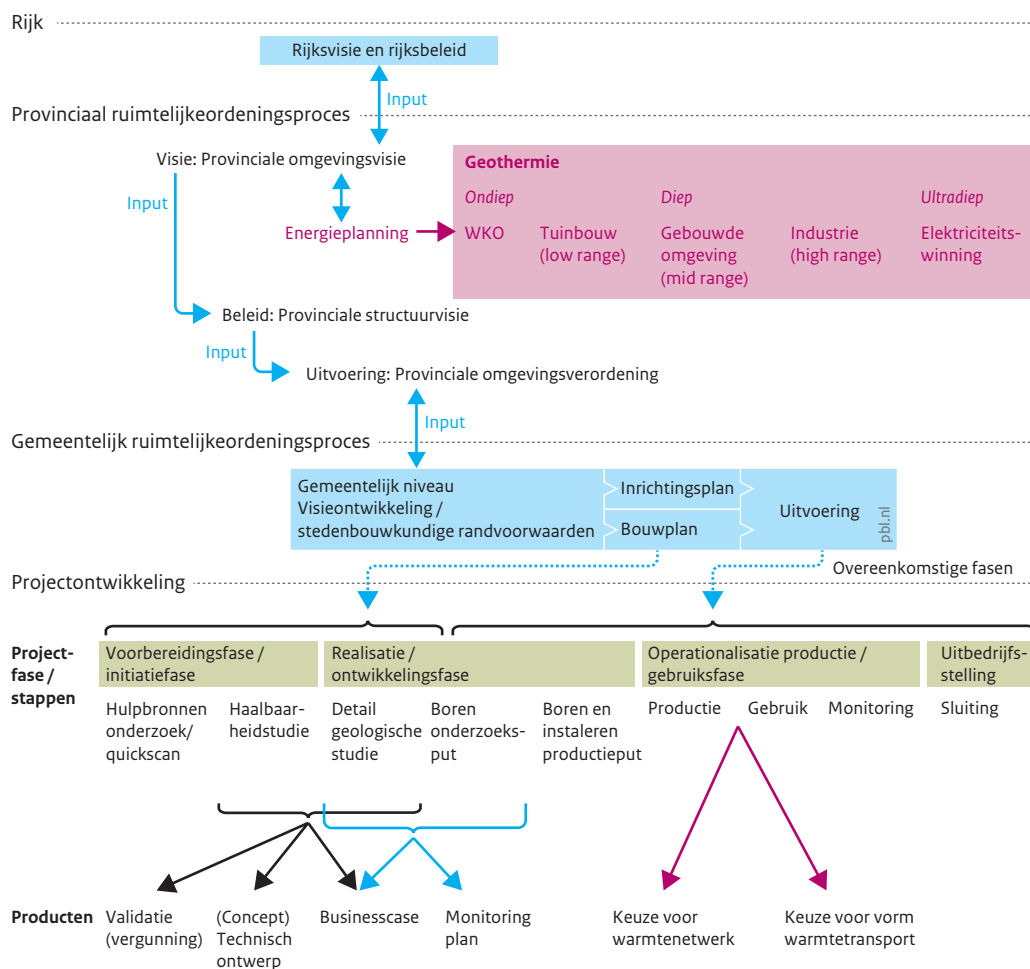
Uit een analyse van tegenvallende prestaties van zes bestaande Nederlandse projecten werd geconcludeerd dat veel problemen waren toe te schrijven aan het ontwerp en aan het gebruik van putten. Er is grote behoefte aan betere dataverzameling, minder nadruk op kostenminimalisatie en meer op risicoreductie, betere uitwisseling van 'best practices' en leren van ervaringen in de olie- en gaswinning (Degens 2012). De brancheorganisatie BodemenergieNL pleit daarnaast voor opleiding van meer vakmensen, eerder openbaar maken van meer data over kenmerken van de ondergrond die nu reeds aanwezig zijn bij de olie- en gasindustrie, en bundeling van geothermieprojecten ten behoeve van soepeler financiering (BodemenergieNL 2014).

3.3.3 Organisatie van geothermieprojecten en maatschappelijk draagvlak

Bij de ontwikkeling en implementatie van een nieuw geothermieproject wordt vaak geredeneerd vanuit de technische ontwikkelstappen. De kans van slagen wordt echter groter als een geothermieproject zoveel mogelijk aansluit bij andere ruimtelijke ontwikkelingen en/of de energieplanning van bijvoorbeeld een provincie of gemeente (zie figuur 3.9).

Daarnaast is het belangrijk rekening te houden met maatschappelijke opinies over werkzaamheden in de ondergrond. Een reeks van 'incidenten' in de afgelopen jaren toont aan dat delen van de bevolking bezorgd zijn over negatieve gevolgen van technische ingrepen in de ondergrond; denk maar aan de commotie over een proefproject voor CO₂-opslag onder een woonwijk in Barendrecht vanaf 2009, de protesten tegen proefboringen voor schaliegaswinning in Brabant rond 2013, controverses over compensatie van aardbevingsschade door gaswinning in Groningen vanaf 2014 en de rechtszaak tegen de NAM over opslag van vervuild boorwater uit olievelden bij Schoonenbeek (Drenthe) in lege gasvelden in Twente. Vaak zijn mensen bang voor vervuiling van grondwater of voor opwekking van aardbevingen, ook als technische studies en MER-procedures aangeven dat de kans daarop bijzonder klein is. De ervaring leert dat technisch-

Figuur 3.9
Workflow projectontwikkeling geothermie



Bron: Boxem et al. 2015

rationele overwegingen niet altijd doorslaggevend zijn in de publieke discussie en de daarop volgende besluitvorming (Hagendoorn et al. 2011).

Boringen van geothermieputten hebben dergelijke reacties tot nu toe nog niet opgeroepen in Nederland. Dat heeft mogelijk te maken met het kleine aantal putten, met de nu nog beperkte diepte (1,5 tot 2,5 kilometer) en met het feit dat geothermie niet leidt tot onttrekking van vloeistof aan de bodem maar tot circulatie van vloeistof, zodat er geen lege ruimten ontstaan die kunnen instorten, zoals bij winning van gas en olie. Om de winning van aardwarmte uit ultradiepe putten rendabel te maken, is het waarschijnlijk nodig ondergrondse stimulatie toe te passen, ofwel technieken die erg lijken op het controversiële *fracken* dat bij de winning van schaliegas wordt toegepast. Als dat bekend wordt bij een groter publiek, kan ook hier maatschappelijke weerstand

ontstaan. Om dat te voorkomen, lijkt het raadzaam burgers in een vroeg stadium te betrekken bij planontwikkeling (Boxem et al. 2015), duidelijkheid te verschaffen over verwachte voordelen en risico's van het project en vooraf toetsbare afspraken te maken over de eisen waar geothermieprojecten aan moeten voldoen.

Noten

- 1 Het gaat om de volgende geologische formaties: North Sea, Lower Creta, Jura, Trias, Perm (Rotliegend).
- 2 De berekende winningskosten (LCOE) moesten lager zijn dan 6 €/GJ en het grondwater moest minimaal 40 °C zijn. Ook is gerekend met stroomprijzen, belastingen en subsidies die in 2012 gangbaar waren.
- 3 Omdat informatie over de aanwezige typen gesteentes (en grondwater) op die diepten ontbreekt, hanteerde IF conservatieve aannames over het aandeel winbare warmte: 5 in plaats van de gebruikelijke 25-33 procent voor watervoerende lagen.
- 4 Met warmtepompen of bijstookketels kan water van lagere temperaturen ook wel gebruikt worden voor ruimteverwarming, maar dat maakt het systeem minder efficiënt en dus duurder. In gebouwen met LT-warmteafgiftesystemen kan 40 graden voldoende zijn, maar dat vergt investeringen in speciale radiatoren.
- 5 Ter vergelijking: anno 2015 betalen consumenten 120-140 euro per megawattuur voor elektriciteit; bedrijven betalen 70-80 euro per megawattuur excl. btw en belastingen (CBS 2016). Groothandelsprijzen lagen in 2015 gemiddeld op 42 euro per megawattuur (NEV-2015: 65).

Warmtevoorziening voor gebouwen

4.1 De potentie van warmtenetten voor gebouwen

Bij het schatten van de potentiële toepasbaarheid van warmtenetten in Nederland worden zowel technische als economische maatstaven gehanteerd, maar een scherp onderscheid is eigenlijk niet te maken. In theorie kan vrijwel elk gebouw middels een warmtenet worden verwarmd en dat geldt ook voor kassen en industriële processen die tot circa 100 graden worden opgewarmd.

Soms worden technische maatstaven gehanteerd om een eerste indicatie te krijgen van de omvang van rendabele projecten, zoals een minimale omvang van de jaarlijkse warmtevraag per netwerk (bijvoorbeeld 20 terrajoule per jaar) en een minimale ruimtelijke dichtheid van de vraag (bijvoorbeeld 0,5 gigajoule per hectare per jaar). Met deze technische criteria zou in 2006 ruim 220 petajoule van de jaarlijkse warmtevraag van woningen geschikt zijn voor levering via warmtenetten (CE 2011).

260 petajoule potentieel aan warmtenetten voor de gebouwde omgeving

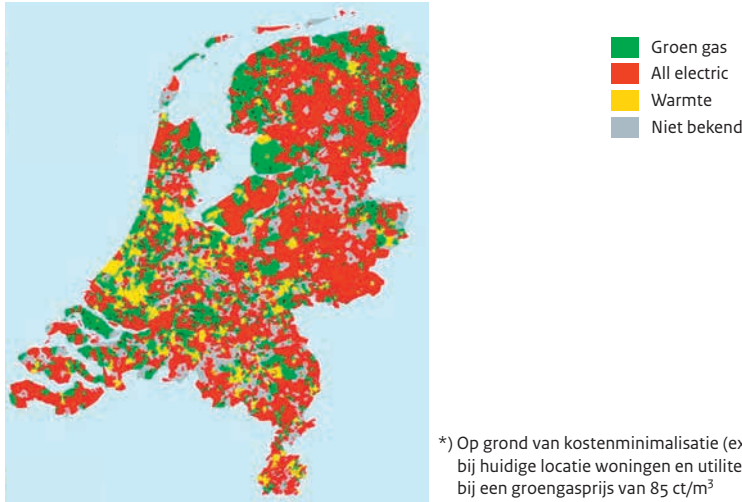
Aansluiten op een warmtenet is één van de vele opties voor ruimteverwarming. In schattingen van het potentieel voor warmtenetten wordt meestal gezocht naar situaties waarin een warmtenet de goedkoopste optie is. CE Delft heeft zo'n analyse gemaakt door voor vijftien verschillende buurttypen te berekenen welke technieken in 2050 de goedkoopste invulling van de warmtebehoefte kunnen leveren zonder broeikasgassen uit te stoten. Daarbij werd ook een optimale isolatiegraad van woningen én utiliteitsgebouwen bepaald door kosten van extra isolatie af te wegen tegen baten van minder inkoop van groen gas, elektriciteit of warmte. CE Delft concludeerde dat verwarming van gebouwen het goedkoopst klimaatneutraal gemaakt kan worden door met isolatie van gebouwen de energiebehoefte met 156 petajoule te verlagen (zie tabel 3.2) en door de resterende netto

warmtebehoefte van 420 petajoule per jaar (na isolatie) voor ruim 60 procent (ofwel 260 petajoule per jaar) te dekken uit restwarmte, geothermie of wijk-WKK. Daarbij deed CE geen uitspraken over de lokale beschikbaarheid van deze bronnen. De berekende inzet van groen gas werd begrensd door de veronderstelling dat in 2050 slechts 2 miljard kubieke meter (bcm) groen gas beschikbaar zal zijn tegen een prijs van 85 eurocent per kubieke meter. Bij hogere energieprijzen wordt extra isoleren financieel aantrekkelijker en zal de netto warmtevraag dalen. De geschatte afzet van 260 petajoule moet dus beschouwd worden als een grove indicatie van de potentiële toepasbaarheid van warmtenetten.

Uit figuur 4.1 kan worden opgemaakt dat de warmte-inzet vooral in dichtbevolkte gebieden de goedkoopste optie lijkt te worden. Daarbij is geen rekening gehouden met prijsverschillen voor warmte tussen regio's.

Onlangs heeft CE deze studie uit 2015 geactualiseerd (CE 2016b). In plaats van de vijftien voorbeeldbuurten in de vorige studie wordt met het geactualiseerde model CEGOIA voor alle 12.000 buurten in Nederland het potentieel van warmtenetten berekend. Door de verbeterde ruimtelijke detaillering kon de beschikbaarheid van industriële restwarmte nu worden meegenomen in de berekeningen. Ook is in de nieuwe berekeningen 3-8 miljard kubieke meter hernieuwbaar gas beschikbaar voor de piekvoorziening van collectieve systemen, zoals warmtenetten. De effecten van isolatie van woningen (schillabelstappen) worden nu lager ingeschat, doordat wordt uitgegaan van geobserveerde (in plaats van theoretische) energiebesparing. Ook worden de kosten van verzwaring van het elektriciteitsnet nu hoger ingeschat dan in de vorige studie. Als gevolg van deze aanpassingen wordt het op termijn (ten opzichte van de vorige studie) goedkoper om woningen minder vergaand te isoleren en meer WKO (69 petajoule), restwarmte (60 petajoule) en geothermie (162 petajoule) te gebruiken. Daardoor worden in het eindbeeld meer dan de helft van

Figuur 4.1
Voorziening in de warmtevraag van woningen en utiliteit, 2050*



Bron: CE 2015

Tabel 4.1
Warmtebehoefte en -voorziening voor woningen en utiliteitsgebouwen op lange termijn bij maximaal 2 bcm groen gas en een gasprijs van 85 cent/m³

	Update Woningen	Woningen (PJ/jaar)	Utiliteitsgebouwen
Bruto warmtebehoefte in 2012	386	386	198
Effect van isolatie	24	121	43
Netto warmtebehoefte	362	265	155
Groen (+ hernieuwbaar) gas	20 (+46)	36	32
Elektriciteit	4	73	17
Collectieve WKO	69		
Warmte ^{a)}	222	156	105
Biomassa	0	0	0

Bron: CE 2015a en 2016b: 27

a) Onder warmte verstaat CE in deze studie geothermie, restwarmte en wijk-WKK (CE 2015a: 92).

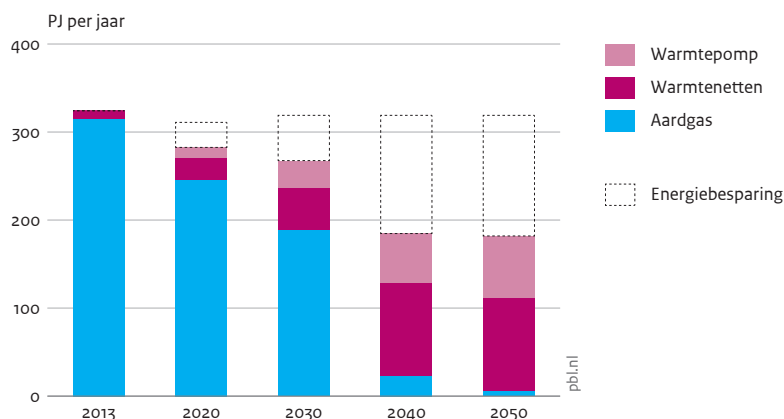
de woningen aangesloten op deze collectieve warmteopties. De *all-electric*-opties zijn relatief duur vergeleken met andere opties omdat netverzwaring meer kost dan de aanleg van warmtenetten (CE 2016b: 25). Verwarmen met een gasgestookte HR-ketel of hybride warmtepomp (op ventilatielucht of buitenlucht) blijft volgens deze berekeningen op termijn voor veel woningen goedkoper dan met een *all-electric*-warmtepomp. Uit de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse blijkt onder andere, dat een ongelimiteerde beschikbaarheid van groen gas leidt tot minder isolatie en minder gebruik van warmtepompen en WKO, terwijl het gebruik van restwarmte (58 petajoule) en geothermie (146 petajoule) maar weinig afneemt (CE 2016b: 34). Daaruit kan worden

afgeleid dat collectieve warmtesystemen uit kostenoverwegingen waarschijnlijk een vrij robuuste klimaatneutrale optie zijn.

Voor ruimtelijk gedetailleerde analyses van potentiële effecten van beleidsmaatregelen wordt momenteel bij het PBL het model Vesta-MAIS ontwikkeld. Dat model bevat alle bestaande gebouwen in Nederland met hun energie-gerelateerde karakteristieken, en kan toekomstige ontwikkelingen in sloop, renovatie en nieuwbouw meenemen. Ook gebruikt het model informatie over de beschikbaarheid van restwarmte, geothermie en WKO op het niveau van buurten. Het model kan voor elk gebouw berekenen met welke

Figuur 4.2
Warmtevoorziening per energiedrager voor woningen

Bij stapsgewijze verhoging van energiebelasting op aardgas tot 1,50 euro/m³ in 2050



Bron: PBL

technieken voor isolatie en energievoorziening de uitstoot van broeikasgassen het goedkoopst kan worden gereduceerd. Het kan de effecten van beleidsmaatregelen (zoals verplichtingen, belastingen en subsidies) doorrekenen en berekent ook de kosten voor eindgebruikers, intermediairs en overheden.

Het model berekent bijvoorbeeld dat een verhoging van de eindgebruikersprijs van aardgas ervoor zorgt dat energiebesparing en overstappen op elektrisch verwarmen en op warmtenetten voor de meeste gebouwen goedkoper wordt dan verwarmen met aardgas (zie figuur 4.2). Bij een gasprijs voor eindverbruikers van 2,25 euro per kubieke meter in 2050, bijvoorbeeld als gevolg van een stapsgewijze belastingverhoging met 1,50 euro per kubieke meter, volgt uit berekeningen dat alle Nederlandse woningen in 2050 netto 200 petajoule energie nodig zouden hebben voor verwarming en daarvan circa 106 petajoule per jaar warmte uit warmtenetten betrekken. Dat is minder dan wat CE in 2015 berekende, maar dat komt onder andere doordat Vesta (in tegenstelling tot het model van CE) rekening houdt met sloop en nieuwbouw en met een hogere gasprijs rekent waardoor huizen beter geïsoleerd worden. Bovendien is in de getoonde berekening met Vesta verondersteld dat huiseigenaren niet alleen isoleren om energie te besparen (zoals CE veronderstelde) maar ook om extra wooncomfort te realiseren.

Figuur 4.3 laat zien in welke gebieden warmtenetten met restwarmte en geothermie in 2050 de goedkoopste vorm van warmtevoorziening wordt bij een gasprijs voor eindgebruikers van bijvoorbeeld 2,25 euro per kubieke meter. Dat beeld komt aardig overeen met de kaart die

CE produceerde (zie figuur 4.1), zeker als men in overweging neemt dat CE de beschikbaarheid van groen gas limiteerde tot 2 miljard kubieke meter en het gebruik van aardgas helemaal uitsloot.

Omdat de analyse van CE uit 2015 naast de warmtevoorziening van woningen ook die van utiliteitgebouwen presenteert, hanteren we die CE-cijfers als eerste indicatie voor de bijdrage die warmtenetten (bij minimalisatie van nationale kosten) op termijn kunnen leveren aan de klimaatneutrale warmtevoorziening van woningen en utiliteitgebouwen. De analyses met Vesta-MAIS (van PBL) en CEGOIA (van CE) uit 2016 komen weliswaar tot hogere schattingen van de potentiële warmteafzet in woningen, maar gezien het voorlopige karakter van deze analyses, met uitkomsten die erg afhankelijk zijn van de gehanteerde veronderstellingen en rekenregels, lijkt enige terughoudendheid geboden. Het is wel wenselijk om met aanvullende analyses (bijvoorbeeld met het Vesta-MAIS-model) de macro-economische analyses verder te detailleren.

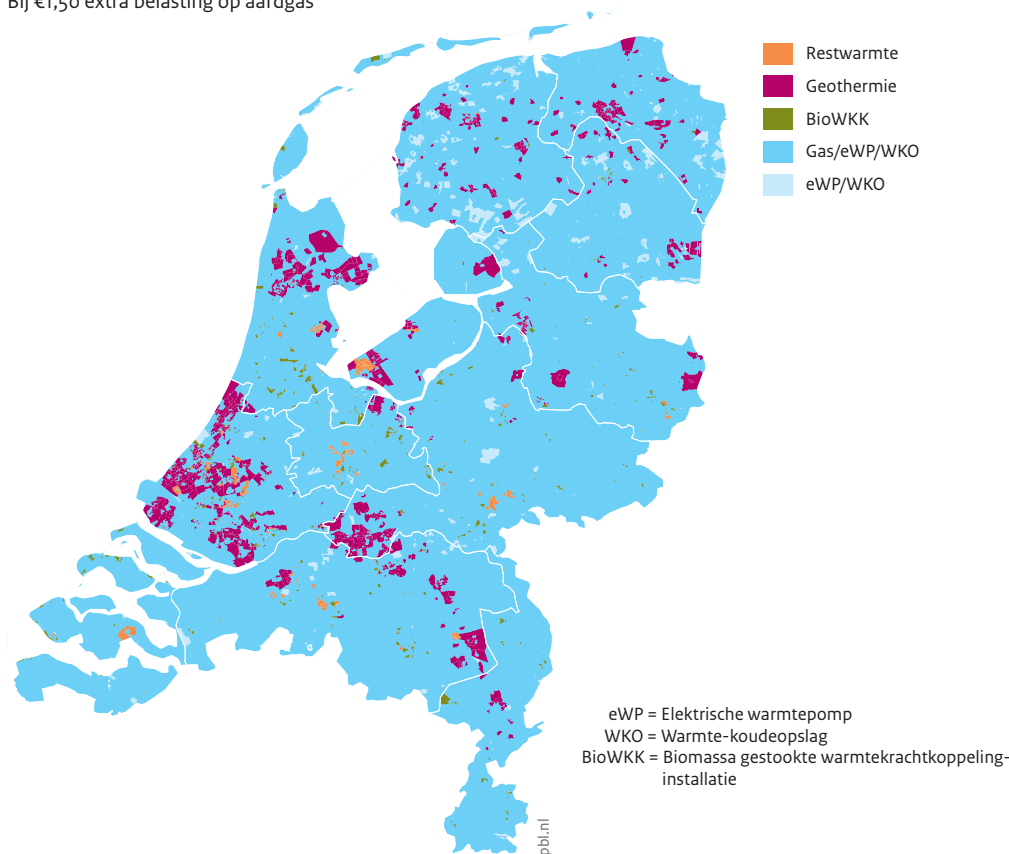
4.2 Huidige collectieve warmtevoorziening voor gebouwen

4.2.1 Drie procent van het totale warmtegebruik

Er zijn (nog) onvoldoende gegevens beschikbaar om een helder beeld te schetsen van de huidige bijdrage van collectieve warmtevoorziening aan de verwarming van gebouwen. Ecorys heeft onlangs alle beschikbare data gecombineerd en construeerde daarmee het overzicht in figuur 4.4 (Ecorys 2016: 42). Daaruit blijkt dat 88 procent

Figuur 4.3
Dominante energiebron voor de warmtevoorziening van gebouwen, 2050

Bij €1,50 extra belasting op aardgas



van de benodigde warmte op locatie wordt geproduceerd en dat 12 procent van de benodigde warmte wordt geleverd door ‘getransporteerde warmte’, dus met behulp van collectieve voorzieningen. Daarbij is helaas geen scherp onderscheid gemaakt naar de aandelen van verschillende typen verbruikers: woningen, utiliteit, industrie en landbouw. De industriële netten leveren hoofdzakelijk aan industriële bedrijven, maar soms ook aan utiliteitsgebouwen (zoals zwembaden) en aan glastuinders. De meeste gebouwen die getransporteerde warmte gebruiken, zijn waarschijnlijk op niet-industriële netten aangesloten en zouden dan (volgens de analyse van Ecorys) jaarlijks 26-45 petajoule aan warmte verbruiken. Dat is circa 25 procent van alle getransporteerde warmte en slechts 3 procent van het totale nationale warmtegebruik. De helft van deze warmte wordt geleverd door woningcorporaties en Verenigingen van Eigenaren (VvE’s) via blokverwarming van wooncomplexen met gemiddeld 40-50 aansluitingen en veelal opgewekt met gasgestookte cv-ketels. De andere helft van de getransporteerde warmte via niet-industriële netten (jaarlijks 28 petajoule volgens het CBS,

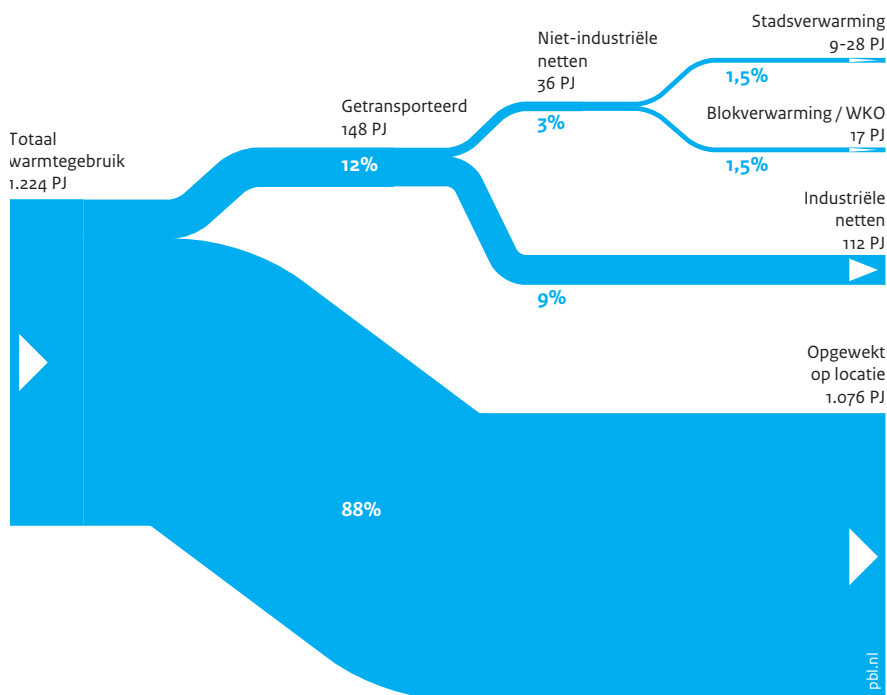
waarvan 3,5 petajoule distributieverliezen) is veelal afkomstig uit restwarmte en wordt door (voornamelijk) grote leveranciers via stadsverwarming geleverd aan duizenden kleinverbruikers (14 petajoule per jaar), maar ook aan tuinders (4 petajoule per jaar) en utiliteitsgebouwen (5 petajoule jaarlijks).

4.2.2 Stads- en blokverwarming niet populair bij verbruikers

Het is onduidelijk hoeveel huishoudens en bedrijven zijn aangesloten op warmtenetten. Ecorys heeft voor zijn evaluatie van de Warmtewet ruim 760.000 aansluitingen van kleinverbruikers in kaart gebracht (Ecorys 2016:38). Uit de verplichte registratie van warmtenetten bij de ACM blijkt dat slechts 471.000 aansluitingen zijn geregistreerd. Het grootste verschil zit vermoedelijk bij de categorie blokverwarming, waarvan circa 200.000 aansluitingen niet zijn aangemeld, zie tabel 4.2.

Er zijn geen registraties die zicht geven op de historische ontwikkeling in het aantal aansluitingen. Vermoedelijk daalt het aantal aansluitingen met blokverwarming en

Figuur 4.4
Opbouw warmteverbruik in Nederland 2015



Stadsverwarming = 8,7 PJ (ACM) tot 28 PJ (CBS)
Percentage stadsverwarming gebaseerd op gemiddelde (18,35 PJ)

Bron: Ecorys 2016

groeit het aantal aansluitingen op stadsverwarming, voornamelijk door het aansluiten van nieuwbouwwijken. Van de bestaande woningen is ruim 3 procent aangesloten op stadswarmtenetten terwijl dat bij nieuwbouwwoningen bijna 16 procent is.

De afnemers van collectieve warmtevoorzieningen hebben doorgaans geen andere keus dan hun warmte te betrekken van de lokale leverancier. Dat komt doordat er vaak geen aansluiting op het gasnet aanwezig is en het alternatief van elektrisch verwarmen doorgaans veel duurder is. Dat betekent dat leveranciers van warmte lokale monopolisten zijn die hun macht zouden kunnen gebruiken om hoge tarieven in rekening te brengen, als de Warmtewet ze daarin niet zou hinderen. De officiële evaluatie van de Warmtewet concludeert 'dat gebonden warmteafnemers met een aansluiting van maximaal 100 kilowatt sinds de inwerkingtreding van de Warmtewet aanzienlijk beter worden beschermd dan voor de inwerkingtreding van de Warmtewet' (Ecorys 2016: 10). De afnemers zijn over het algemeen wel positief over het gebruiksgemak en het comfort dat hun warmtevoorziening biedt. Desondanks zijn veel warmteafnemers niet tevreden met de huidige situatie. Hun belangrijkste bezwaren zijn:

- het tarief voor warmtelevering vinden afnemers te hoog. Dit komt onder andere doordat het tarief dat zij betalen gebaseerd is op het verbruik van een gemiddelde gasafnemer en niet op hun eigen specifieke situatie.
- sommige aspecten rondom de warmtelevering zijn niet (of niet expliciet genoeg) gereguleerd, zoals koudelevering en de verhuur van afleversets². Warmteleveranciers bepalen nu eenzijdig welke afleverset afnemers moeten huren, waardoor afnemers vermoeden dat ze onnodig dure sets moeten gebruiken.
- het is vervelend om afhankelijk te zijn van een monopolist en geen alternatieve leverancier te kunnen kiezen. Dit is inherent aan het gebruik van warmtenetten, maar door transparant te zijn over gemaakte kosten en berekende tarieven en door goede service te bieden kan de behoefte aan een andere leverancier wel afnemen.

Deze bevindingen sporen met die van andere onderzoekers. Zo heeft Janssen (2015) uitgebreid onderzoek gedaan naar de consument en de collectieve warmtevoorziening. De subtitel van zijn rapport 'een moeizaam verstandshuwelijk' is veelzeggend. Meest prominent is de mening van afnemers dat warmtetarieven

Tabel 4.2

Diverse schattingen van het aantal aansluitingen op warmtenetten

Bron	Jaar	Blokverwarming	Stadsverwarming	WKO	Totaal
Ecorys 2016	2015	400.000	330.000	10.000	760.000
		Kleinschalige warmtenetten	Grootschalige warmtenetten		
CE Delft 2009	2008	336.000	224.000		560.000
ECN 2015	2013	47.000	316.000		363.000
ACM in Ecorys 2016	2015	191.799	279.085		470.884

Tabel 4.3

Bij ACM aangemelde warmtenetten in 2015

Leveranciers ¹⁾	Aantal netten	Aantal aansluitingen	Aandeel (%) aansluitingen
Grote leveranciers			
1 Nuon	34	69.225	15
2 EnNatuurlijk	49	62.653	13
3 Eneco	70	116.890	25
4 SV Purmerend	1	24.850	5
5 HVC	5	5.467	1
Subtotaal grote leveranciers	159	279.085	59
Kleine leveranciers			
1 Woningcorporaties	3.002	162.119	34
2 Overige	665	29.680	6
Subtotaal kleine leveranciers	3.667	191.799	41
Totaal	4.160	470.884	100

Bron: Ecorys 2016: 15

in vergelijking met gas te hoog zijn. Daarnaast wordt het vastzitten aan één leverancier als knellend ervaren en is er een algemeen wantrouwen jegens de warmteleverancier.

Het uitgebreide onderzoek is gebaseerd op i) gesprekken met vertegenwoordigers van een achttal bewonerscollectieven die vinden dat de warmteconsument onrecht wordt aangedaan, ii) analyse van de Warmtenetmeldpunten van de Vereniging Eigen Huis (VEH) en de Woonbond, iii) een casestudie in Amsterdam en ten slotte iv) een enquête onder 15.000 panelleden van de VEH (zijnde niet specifiek panelleden met negatieve ervaringen). Ook in onze PBL-interviews werd de noodzaak om het imago van stadswarmte te verbeteren bevestigd en werd aangegeven dat het verbeteren van de klantrelatie momenteel prioriteit heeft. In Purmerend gaf de geïnterviewde aan dat het imago de afgelopen jaren sterk verbeterd is, met name door de klantenservice en de berichtgeving te verbeteren.

CE Delft (2015) onderzocht de ervaringen met kleine warmtenetwerken in een twintigtal gasloze nieuwbouwwijken. Het ging daarbij om wijken met individuele of

collectieve warmteoplossingen. Bij individuele systemen wordt gebruikgemaakt van een decentrale warmtepomp, terwijl het bij collectieve systemen kan gaan om een WKO-installatie, een installatie op bio-energie of een aansluiting op een warmtenet. De bewonerservaringen waren over het algemeen positief.

Volgens de Warmtewet zijn leveranciers van warmte verplicht zich bij de ACM te melden. Waarschijnlijk zijn niet alle netten van woningcorporaties en overige kleine leveranciers bij de ACM aangemeld.

4.2.3 Warmtelevering financieel niet aantrekkelijk

In Nederland zijn circa vijf grote warmteleveranciers actief met ieder meer dan 5.000 klanten (zie tabel 4.3). Deze leveranciers zijn vaak ook producent van de geleverde warmte en eigenaar van de transport- en distributienetten die de producenten met de afnemers verbinden. Naast de grote zijn veel kleine warmteleveranciers actief, met veertig tot zestig klanten, die ofwel warmte van derden betrekken (zoals bij stadsverwarming) ofwel zelf warmte produceren met gasgestookte ketels (blokverwarming). De grote

Tabel 4.4
Gemiddeld rendement van warmtelevering door Nederlandse leveranciers

	Rendement in 2008 (ACM) ¹	Rendement in 2013	Rendement in 2014
	(%)		
Redelijk rendement ²	6,3	6,8 - 8,0	5,5 - 7,5
5 leveranciers met vastgoed	n.b.	n.b.	-0,5
11/13 leveranciers zonder vastgoed	1,9	7,8	3,1

Bron: Ecorys 2015

1) De ACM-studie uit 2010 hanteerde andere definities van rendement dan de Ecorys-studie uit 2015 en onderzocht slechts 4 leveranciers.

2) Rendement op geïnvesteerd vermogen, vóór belasting en rentebetaling.

leveranciers zijn vaak commercieel, maar niet altijd, en veel kleine leveranciers zijn niet-commercieel, zoals woningcorporaties en VvE's, maar ook niet altijd. Commerciële leveranciers proberen veelal geld te verdienen aan de restwarmte die vrijkomt bij hun primaire productieproces (zoals elektriciteitsproductie of afvalverbranding), terwijl niet-commerciële leveranciers (zoals woningcorporaties of VvE's) vaak tot doel hebben de energielasten van hun afnemers te beperken. Beide typen leveranciers hebben, ondanks hun verschillende motieven, een redelijk financieel rendement op warmtelevering nodig om hun leveringen op lange termijn te kunnen blijven voortzetten.

Uit de 'Rendementsmonitor warmteleveranciers' blijkt echter dat de behaalde rendementen in 2013 en 2014 gemiddeld geen redelijk minimumniveau weten te halen, zie tabel 4.4 (Ecorys 2015). Een eerdere studie van ACM gaf een soortgelijk beeld. Beide studies concludeerden ook dat veel leveranciers onvoldoende gegevens beschikbaar hebben om goede rendementsberekeningen te kunnen uitvoeren; met name over activa-waarde en afschrijvingen ontbreekt vaak informatie.

De berekende rendementen kunnen van jaar tot jaar sterk variëren, met name door variaties in de inkomsten. De hoeveelheid verkochte warmte is afhankelijk van de gemiddelde temperatuur. Het lagere rendement in 2014 wordt voor een deel verklaard door de relatief warme winter. De prijs van de verkochte warmte is gemaximeerd door de gasprijs, zodat schommelingen in de gasprijs doorwerken in het rendement van warmtelevering. Dat de gasprijs in 2014 circa 20 procent lager was dan in 2013 heeft waarschijnlijk ook bijgedragen aan het lagere rendement in 2014. Veel warmteleveranciers produceren echter een deel van hun warmte met behulp van aardgas, waardoor een lagere gasprijs ook leidt tot lagere kosten.

Commerciële warmteleveranciers (zonder vastgoed) hebben de laatste jaren in toenemende mate warmte van gasgestookte warmtekrachtcentrales (WKC's) vervangen

door warmte van afvalverwerkers of biomassa (Rotterdam, Purmerend, Utrecht – in stapjes – en waarschijnlijk in 2017 Den Haag). Dat is mogelijk een reactie op een langjarige trend van stijgende gasprijzen. Essent heeft haar warmtenetten verkocht.

Warmteleveranciers met vastgoed, zoals wooncorporaties, nemen mogelijk genoegen met lagere rendementen dan commerciële leveranciers omdat ze andere doelstellingen hanteren, zoals het beperken van de totale woonlasten voor huurders. Niettemin daalt in deze categorie het aantal aansluitingen. Bij renovatie van wooncomplexen wordt namelijk de blokverwarming vaak vervangen door individuele cv-ketels per woning. Dat verhoogt de aantrekkelijkheid van (huur)woningen, vooral doordat de stookkosten per woning dan niet langer afhankelijk zijn van het stookgedrag van andere bewoners in hetzelfde pand, maar alleen van het eigen stookgedrag. Zuinigheid wordt dan beloond met een lagere energierekening. Dat is ook mét blokverwarming te bereiken door het warmteverbruik per woning apart te meten en in rekening te brengen, maar de verbouwingskosten daarvan zijn vaak hoger dan van het aansluiten van woningen op het gasnet.

4.3 Mogelijkheden voor warmtelevering aan gebouwen beter benutten

Momenteel wordt jaarlijks via warmtenetten 26-45 PJ warmte geleverd aan gebouwen (zie paragraaf 4.2) terwijl het potentieel wordt geschat op minstens 260 PJ per jaar (zie paragraaf 4.1). Er lijkt dus ruimte om de huidige warmteafzet in gebouwen met een factor vijf tot tien te laten groeien en dus voor een vijf- tot tienvoudige bijdrage aan CO₂-reductie in de gebouwde omgeving. Dit potentieel zal alleen benut worden als het voor zowel afnemers als leveranciers aantrekkelijk wordt om die uitbreiding te realiseren. Daarnaast moet het fysieke

warmteaanbod natuurlijk meegroeien met de afzetgroei, maar dat wordt in andere hoofdstukken behandeld. Hier gaan we na hoe de huidige beperkingen op verdere afzetgroei zouden kunnen worden opgeheven.

4.3.1 Stadsverwarming aantrekkelijk maken voor consumenten

Collectieve warmtevoorziening (of standsverwarming in brede zin) heeft een imagoprobleem. Veel afnemers denken dat het duurder is dan verwarmen met een eigen gasgestookte cv-ketel, voelen zich onprettig bij hun afhankelijkheid van één leverancier die vaak niet transparant is en soms slechte service levert en zouden liever meer invloed hebben op hun eigen stookkosten. Ook de geboden kostenbescherming door de overheid wordt gewantrouwd.

Warmteafname zou aan populariteit kunnen winnen wanneer algemeen bekend zou worden dat het goedkoper is (gemaakt) dan verwarming met fossiele energie. Waar de warmtewet nu voorschrijft dat warmte niet duurder mag zijn dan warmte uit aardgas, zou de wet ook kunnen voorschrijven dat het minimaal x procent goedkoper moet zijn. Dat zou echter de rentabiliteit van warmteleveranties nog verder onder druk zetten en de afzet van warmte eerder schaden dan stimuleren, zeker op korte termijn. Een alternatieve aanpak zou via de energiebelasting de kleinverbruikerstarieven voor aardgas kunnen verhogen (en die verhoging niet doorberekenen in de warmtetarieven). Het huidige tarief van de energiebelasting (per energie-eenheid) voor kleinverbruikers is bij elektriciteit zes maal hoger dan bij aardgas (Berenschot 2015, Vollebergh et al. 2016: 57). Deze fiscale verstoring bevordert het gebruik van aardgas en benadeelt de toepassing van duurzame bronnen zoals elektrische warmtepompen en warmtenetten. De tariefaanpassingen die begin 2016 zijn doorgevoerd (bij elektriciteit 2 cent per kilowattuur eraf en bij aardgas 6 cent per kubieke meter erbij voor de eerste schijf) zijn een kleine stap in deze richting. Er zijn ook andere opties om stadsverwarming goedkoper te maken, zie paragraaf 4.3.3.

Prijsstabiliteit zou ook een goed verkoopargument kunnen zijn. Dat zou gerealiseerd kunnen worden door de warmteprijs te baseren op de werkelijke leveringskosten en niet op de (fluctuerende) gasprijs, zoals nu is voorgeschreven. De kosten van warmtelevering worden namelijk voor het overgrote deel bepaald door de kosten van afschrijving en rente op de investeringen in transport- en distributienetten, afleversets en hulpketels. Die kosten zijn bij de aanleg van een warmtenet bekend en voor de gehele levensduur van de installaties te berekenen. Dat geeft stabiliteit. Door maatstafconcurrentie toe te passen kan de overheid ervoor zorgen dat warmtenetten

niet te duur (en niet te goedkoop en ondeugdelijk) worden aangelegd. Diverse adviseurs hebben voor een dergelijke aanpassing van het prijsmechanisme voor warmtelevering gepleit, zie onder andere Ecorys 2016.

Om een collectieve nutsvoorziening aantrekkelijk te maken in een tijdperk van individualisering, zijn grote inspanningen nodig. Dat geldt eigenlijk voor elke verandering die radicaal wil breken met bestaande gewoonten en dat geldt nog sterker wanneer de voordelen niet direct tastbaar zijn. Het zal helpen als collectieve verwarming duidelijk goedkoper is dan individuele verwarming, maar een kostenvoordeel alleen zal niet voldoende zijn om de afnemers te overtuigen. Daarvoor is ook transparantie en goede service nodig evenals duidelijke informatie, die gebruikers uitlegt dat collectieve verwarming een bijdrage levert aan de oplossing van het klimaatprobleem en aan vermindering van de afhankelijkheid van buitenlandse energieleveranciers. Overschakeling op warmtelevering kan ook tastbare verbeteringen voor de afnemers opleveren als het resulteert in extra comfort en een prettiger binnenklimaat. Dat kan als het gepaard gaat met extra isolatie van het gebouw en met aanleg van lage temperatuurverwarming die ook geschikt is voor koeling (in de zomer) en radiatoren overbodig maakt.

4.3.2 Verbruikers betrekken bij besluitvorming over aansluiten op warmtenetten

De aanleg van een warmtenet in een bestaande woonwijk zal betekenen dat het plaatselijke gasnet (binnen afzienbare tijd of misschien wel gelijktijdig) verdwijnt. Exploitatie van twee energienetten in een wijk – naast het elektriciteitsnet – is namelijk niet rendabel. Veel bestaande gasdistributienetten zijn inmiddels vijftig jaar oud en aan vervanging toe. Dat betekent dat bij de aanstaande beslissingen over vervanging van gasnetten ook besloten zou kunnen worden tot een ander type energienet dat de komende decennia in wijken beschikbaar zal zijn.

Het is voor wijkbewoners van belang ruim van tevoren te weten of en wanneer het gasnet wordt vervangen door een warmtenet. Daar kunnen ze dan allerlei beslissingen op afstemmen, zoals over isolatie van de woning, over vervanging van een cv-ketel (wat te doen als hij eerder kapot gaat dan het moment waarop het warmtenet beschikbaar komt?), over de keuze van een ander type kooktoestel of tapwatervoorziening of eventueel over verhuizen. Betrokkenheid van bewoners bij de besluitvorming over de aanleg van een warmtenet kan het draagvlak ervoor vergroten. Voor een beslissing kan worden genomen, is het dan ook belangrijk bewoners en andere lokale partijen goed te informeren en mee te laten praten. Op die manier kan er een integrale maatschap-

pelijke afweging worden gemaakt tussen diverse warmteopties. Wat die opties zijn, wordt vooral bepaald door de beschikbaarheid van verschillende typen warmtebronnen, naast schattingen van de kosten van verwarming met verschillende (klimaatneutrale) systemen, in combinatie met isolatie van gebouwen.

Die integrale afweging voor de besluitvorming is er nu nog niet (Ecorys 2016: 13). Wijkbesturen en gemeenten kunnen een belangrijke rol gaan spelen door het besluitvormingsproces te organiseren. Aandachtspunt daarbij is niet alleen dat bewoners kunnen meepraten, maar ook dat hun belangen worden gewaarborgd. Partijen die aardgas en warmte aanbieden zijn doorgaans beter in staat de voor- en nadelen voor henzelf in kaart te brengen en hun belangen te behartigen dan wijkbewoners, al was het maar omdat zij vaker met dit type besluitvorming te maken hebben en dus kunnen putten uit ervaringen in andere wijken. Hier ligt mogelijk een taak voor de VNG om ervaringen tussen gemeentes te delen of voor het Rijk om procedures voor eerlijke besluitvorming vast te stellen. Een meerderheid in de Tweede Kamer vond begin november 2016 dat gemeenten de regie moeten krijgen ‘om te komen tot plannen voor het gasvrij maken van bestaande wijken’ (motie 55, Van Tongeren & Vos 2016) en wil dat ‘de gasaansluitplicht op korte termijn geschrapt gaat worden uit de relevante wet- en regelgeving’ (motie 54, Van Tongeren & Vos 2016), zowel in nieuwe als bestaande wijken.

4.3.3 Warmtelevering (financieel) aantrekkelijk maken

Om de toepassing van restwarmte te laten groeien, moet het niet alleen voor afnemers aantrekkelijk worden, maar ook voor leveranciers. In de evaluatie van de Warmtewet constateert Ecorys: ‘De prikkels voor zowel afnemers als aanbieders van (duurzame) warmte zijn nog niet optimaal’ (2016: 13). Uit voorgaande paragraaf blijkt dat warmtelevering momenteel financieel niet erg aantrekkelijk is. Het simpelweg verhogen van de warmteprijs zou de rentabiliteit van leveranciers kunnen verhogen, maar maakt het voor de afnemers minder aantrekkelijk en kan een groei van warmteafzet ernstig hinderen. Dat wil niet zeggen dat verhoging van warmtetarieven uitgesloten moet worden. Klimaatneutrale energievoorziening zal vermoedelijk duurder zijn dan de huidige, omdat extra voorzieningen getroffen moeten worden om de uitstoot van broeikasgassen te beperken. Zolang de aardgasprijs nog als referentie voor de warmteprijs wordt gebruikt, kan verhoging van de energielast op gas binnen de NMDA-systematiek de leveranciers ruimte geven om hun financiële marges te verbeteren zonder hun afnemers het

gevoel te geven dat ze meer betalen dan bewoners met een gasgestookte cv-ketel. Op langere termijn zijn leveranciers echter gebaat bij een prijsvormingssysteem (of marktmodel) waarmee ze hun kosten kunnen terugverdienen en een redelijke beloning krijgen voor hun diensten.

Concurrentie tussen leveranciers organiseren?

Er lijkt ruimte voor professionalisering van de warmtelevering, wat de rendementen ten goede kan komen. Veel leveranciers die warmte leveren in combinatie met verhuur van vastgoed verzamelen nu onvoldoende informatie om hun rendement op warmtelevering te kunnen vaststellen (Ecorys 2016: 73). Doordat huidige leveranciers vrijwel altijd eigenaar zijn van hun distributienet, is er geen concurrentie tussen leveranciers mogelijk. Om de kwaliteit en de efficiëntie van warmtelevering te verhogen, zou het wenselijk kunnen zijn om vormen van concurrentie tussen leveranciers mogelijk te maken. Dat vereist dat het juridisch eigendom van een distributienet wordt gesplitst van de organisatie die de warmtelevering verzorgt. Leveranciers zouden dan kunnen concurreren om een concessie voor de levering van warmte op een bepaald distributienet gedurende enkele jaren. Lokale overheden zouden eigenaar van lokale distributienetten kunnen worden of het toezicht kunnen uitoefenen op het beheer van distributienetten door private partijen. Lokale overheden zouden ook periodiek de concessie voor het leveren van warmte kunnen veilen onder gegadigde partijen.

Hogere rendementen met behulp van cascadering

Het technisch rendement op warmtebenutting kan worden verhoogd door het warme water dat van een warmtenet wordt afgenomen zo ver mogelijk af te koelen voordat het aan het net wordt terug geleverd. De mate waarin verwarmingswater afkoelt verschilt per toepassing. Bij verwarming van woningen bijvoorbeeld koelt het verwarmingswater van 80 graden af tot 60 graden. Vervolgens kan dat water nog gebruikt worden voor verwarming van kassen of zwembaden. Door warmtelevering te cascaderen van woningen via kassen naar zwembaden, kan de gewonnen energie – en daarmee ook het financiële rendement – uit een warmtenet dus worden gemaximaliseerd. Cascadering is echter alleen mogelijk als het distributienet dat fysiek mogelijk maakt. Leveranciers die willen cascaderen moeten dus invloed kunnen hebben op de inrichting van het distributienet. Het is de vraag of dat ook mogelijk is als het netbeheer is losgekoppeld van de organisatie die de warmtelevering regelt met een concessie van enkele jaren.

Nieuwe organisatiemodellen voor warmteleveranciers?

Bij veel huidige leveranciers is warmteproductie, -transport, -distributie en -levering in één hand. Deze sterke vorm van verticale integratie lijkt niet goed te passen bij een toekomstbeeld van open warmtetransportnetten. Een (juridische) splitsing tussen producenten, netwerkeigenaren/-beheerders en leveranciers, analoog aan die in de stroom- en gaswereld, ligt meer voor de hand (zie hoofdstuk 7). Of het wenselijk is om het eigendom en beheer van distributienetten te splitsen van de levering van warmte, valt nog te bezien. Versterking van concurrentie tussen leveranciers zou daar voor pleiten, terwijl het toepassen van cascadering daar juist tegen pleit. Op dit punt is nadere gedachtevorming gewenst.

Noten

- 1 Een CE-studie laat cijfers van Senter-Novem zien die aangeven dat het aantal woningen met blok-/wijk-verwarming daalde van 369.000 in 2006 naar 278.000 in 2008 (CE Delft 2009). Het aantal woningen met stadsverwarming groeide toen van 260.000 naar 280.000.
- 2 Een afleverset is een technische voorziening waarmee het verwarmingssysteem van een gebouw wordt gekoppeld aan het externe warmtedistributienet.

Warmtevoorziening voor de industrie

5.1 Potentie van warmtenetten voor de industrie

De industrie is een grote gebruiker van warmte en heeft daardoor de potentie om (op termijn) zowel een grote klant van warmtenetten te worden als een grote leverancier van restwarmte aan warmtenetten. Voor beide posities schetsen we hierna de mogelijkheden.

5.1.1 Toekomstige behoefte aan warmte in de industrie

Onder invloed van allerlei ontwikkelingen wordt verwacht dat de industriële warmtevraag de komende jaren zal dalen en verder zal verschuiven van hoge temperatuur (HT) naar lage temperatuurwarmte (LT). De recente WLO-studie schetst een vraagreductie met 15-25 procent in scenario's die leiden tot 80 procent reductie van CO₂-emissies (Matthijssen et al. 2016). De energie-intensieve industrie denkt dat 80-95 procent emissiereductie mogelijk is. Met voortgaande optimalisatie van de huidige productieprocessen in de komende tien jaar zou 4 procent emissiereductie te behalen zijn (VEMW 2016: 13). Er is volgens de sector dus een trendbreuk nodig om 80 procent reductie te halen. De helft van de resterende opgave zou gerealiseerd moeten worden met *end-of-pipe*-maatregelen zoals afvang, opslag en benutting van CO₂. De andere helft zou bereikt kunnen worden door geïntegreerde maatregelen voor een schonere energievoorziening (biomassa, geothermie en flexibilisering) en door beter energiebenutting, te bereiken met integrale warmtebenutting, procesintensivering en procesintegratie (VEMW 2016: 21). 'Met procesintensivering en procesintegratie kunnen disruptieve stappen gezet worden.' Meest interessant zijn het vermijden van achtereenvolgende verwarmings- en koelstappen en sprongen in zuurgraad in de fijnchemie (medicijnen, gewasbeschermingsmiddelen, coatings); dat kan tientallen petajoules energie besparen. Er is ook energie te besparen (1-5 petajoule) door koppeling met productieprocessen buiten de bedrijfspoot en door

samenvoeging van productielocaties (VEMW 2016: 23). Bedrijven kunnen ook hun restwarmte opwerken en zelf weer gebruiken en zo emissies reduceren en besparen op gebruik van primaire energie.

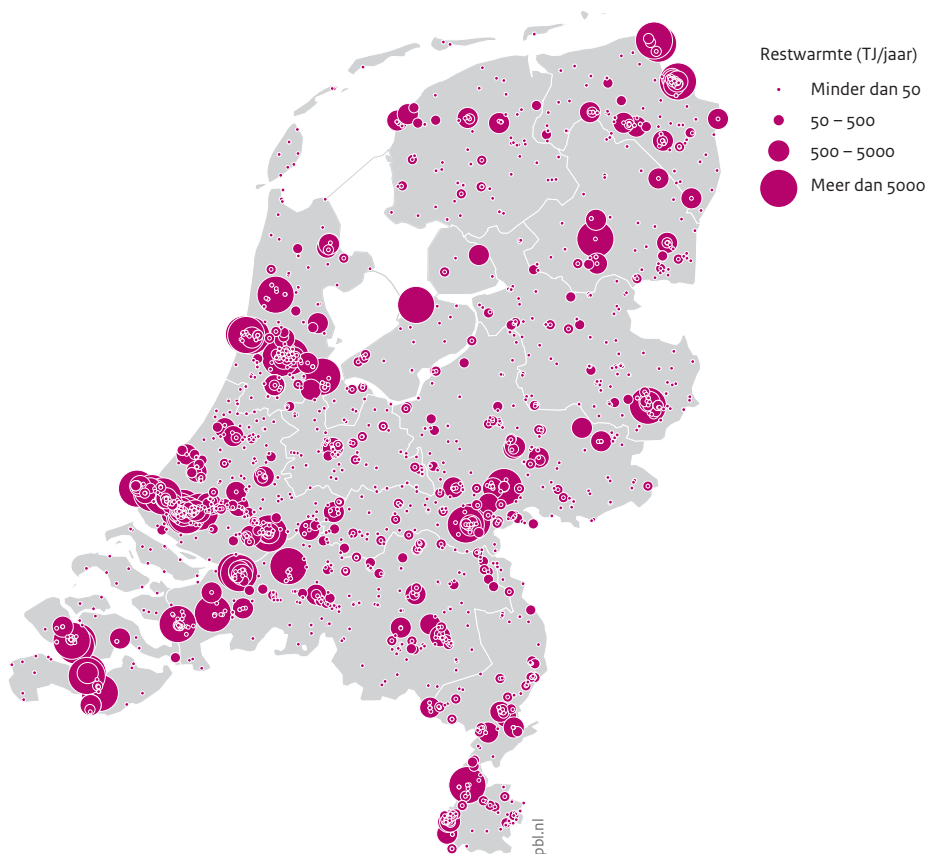
5.1.2 Het potentieel voor inkoop van warmte uit warmtenetten

Grootschalige (open) warmtenetten zullen vermoedelijk alleen LT-warmte leveren en zijn voor de industrie dus alleen geschikt om in de behoefte aan LT-warmte te voorzien. Die behoefte bedraagt op termijn 90-100 petajoule per jaar (Matthijssen et al. 2016; zie ook tabel 2.1) en zal voor een deel geleverd kunnen worden door naburige bedrijven, ook zonder tussenkomst van een warmtenet. Levering via een open warmtenet heeft echter het voordeel dat er meer zekerheid is over een continue beschikbaarheid van voldoende warmte tegen een marktconforme prijs. Bedrijven die geen warmtenet in de buurt hebben, kunnen hun warmtebehoefte klimaatneutraal dekken door middel van groene stroom of met een bio-WKK. Er zijn geen uitgewerkte ramingen bekend van de toekomstige industriële vraag naar LT-warmte uit warmtenetten. Als eerste indicatie zou een schatting van 50 petajoule (de helft van de verwachte nationale industriële vraag) gehanteerd kunnen worden.

5.1.3 Het potentieel voor levering van restwarmte aan warmtenetten

Volgens de 'IPO nationale routekaart restwarmte' zou de industrie nu (in aanvulling op bestaande leveringen) potentieel 100 PJ restwarmte aan derden kunnen leveren, waarvan 57 PJ geschikt zou zijn voor gebruik in huishoudens (CE 2011). Volgens de energie-intensieve bedrijven kan de industrie zijn potentieel aan restwarmte beter in de eigen processen opnieuw benutten en zo tientallen petajoules besparen op de inzet van aardgas (VEMW 2016: 22). Daarvoor zijn allerlei technieken in ontwikkeling, zoals stoomcompressie (voor opwaardering van lagedrukstoom), integratie van systemen voor warmtekoeling-conversie en verbetering van warmteopslag, bijvoorbeeld met behulp van *phase-change*-materialen

Figuur 5.1
Industriële restwarmte, 2013



Bron: Warmteatlas Nederland, AgentschapNL 2016

(PCM), thermochemische materialen, en de magneto-calorische warmtepomp. De warmte die de industrie na toepassing van de genoemde interne maatregelen niet nuttig kan gebruiken, kan worden geleverd aan openbare warmtenetten (VEMW 2016: 23). De brancheorganisatie geeft geen kwantitatieve schatting van de potentiële omvang van leveringen aan warmtenetten. De bovengenoemde 100 petajoule uit de IPO-routekaart zou als globale indicatie kunnen dienen.

5.2 Huidige industriële warmtevoorziening

Voor de verwarming van industriële processen gebruikt de industrie volgens RVO jaarlijks circa 542 petajoule (Ecorys 2016: 41). Daarvan wordt ongeveer de helft geloosd via koelwater, koeltoren en rookgassen. Een deel hiervan zou nuttig kunnen worden toegepast door invoeding op een warmtenet of door opwaardering met warmtepompen tot proceswarmte. Van die 542 petajoule

wordt circa 25 procent als warme stoom geleverd via warmtetransportleidingen (112 petajoule). Daarvan is 25 procent (28 petajoule) afkomstig uit reststoom en stoom uit restgassen en 12 procent (14 petajoule) uit WKK's op basis van huishoudelijk afval. De rest (68 petajoule) is afkomstig van restwarmte uit WKK's op aardgas.

Bedrijven die deelnemen aan het *emission trade system* (ETS) en aan de meerjarenafspraken energie-efficiëntie (MJA's) zijn verplicht jaarlijks een elektronisch milieujaarverslag (e-MJV) te produceren met informatie over hun warmtevraag en restwarmteproductie. Deze informatie wordt gebruikt in de warmteatlas van RVO (voorheen AgentschapNL) maar, net als bij CBS-data, zijn ook daarin de warmtedata geanonimiseerd en in klassen ingedeeld (minder dan 50 terrajoule per jaar, 50-500 terrajoule per jaar en meer dan 500 terrajoule per jaar). Daarom is er dus weinig openbare informatie over hoeveel restwarmte individuele bedrijven potentieel beschikbaar zouden hebben voor levering aan een warmtenet. Figuur 5.1 geeft hiervan alleen een globaal beeld. Er is ook weinig bekend over wie de belangrijkste

Tabel 5.1

Voorbeelden van industriële warmtenetten in Nederland volgens RVO

Industriële multi-user warmtenetten	Industriële single-user warmtenetten	Industriële WKC's	Afvalverbrandings-installaties
Geleen: Chemelot (DSM)	Eijsden: PQSilicas en Umicore	Geleen: Chemelot	Wijster: Attero Nobless
Terneuzen: Dow	Sas van Gent: Nedalco - Cerester	Ter Apelkanaal: Avebe, Ten Kate	Moerdijk: Attero, Shell, ea
Slogebied: (vm) Hoescht	Monster: NAM-zwembad	Hellendoorn: KTC	Harlingen: Omrin-Frisia
Delfzijl: Akzo	Meppel: Xella recreatiebad+kantoor	Delfzijl: chemiepark	Delfzijl: AVI-chemiepark, BMC-chemiepark
IJmuiden: Tatasteel	Beilen: Zuivel en zwembad	Arnhem: Kleefse Waard	Rotterdam: AVR, EKC en SV-Rotterdam
	Sluiskil: Yara en kassen	Emmen: Emmtec	Dordrecht: HVC du Pont
	Leeuwarden: RWZI en verzorgingshuis	Bergen op Zoom: Sabic ea	Roosendaal: Sita en tuinder
	Vlissingen: ZR-Martens	Moerdijk: Chemiepark	Hengelo: AKZO
		Rotterdam: Botlek	Weurt: ARN-rwzi
		Maastricht: Sappi e.o.	Coevorden: EVI-IAMS

afnemers en leveranciers op bestaande industriële warmtenetten zijn. RVO heeft wel een overzicht gemaakt van bestaande industriële warmtenetten in Nederland, zie tabel 5.1.

Een aantal bedrijven oriënteert zich op mogelijkheden hun restwarmte nuttig te laten gebruiken door andere bedrijven. Het nationaal expertisecentrum warmte (NEW) begeleidt sinds 2011 bedrijven bij het benutten van restwarmte. In de Rotterdamse haven bundelt een aantal bedrijven hun inspanningen in het Deltalinqs Energy Forum. Een inventarisatie bij acht bedrijven in de Botlek in 2012 leerde dat daar interesse bestond voor warmtelevering van enkele tientallen megawatts en voor potentieel 12 megawatt warmteafname (CE 2012). Deltalinqs kwam in 2014 tot de conclusie dat potentieel door een aantal deelnemende bedrijven in de haven van Rotterdam jaarlijks 17,7 petajoule en 723 megawatt warmte geleverd kan worden. Vanuit de elektriciteitssector is jaarlijks ongeveer 12 petajoule en vanuit de industrie is ruim 5 petajoule potentieel aan warmte beschikbaar. Daarvan is 7-12 petajoule een realistisch potentieel richting 2020, rekening houdend met verschillen in vraag- en aanbodprofielen. Om dit potentieel te realiseren moet wel een oplossing gevonden worden voor de financiering, aldus Deltalinqs. De benodigde investeringen in de industrie zijn hoog, zodat het voor een bedrijf doorgaans niet mogelijk is aan de interne rentabiliteitseisen te voldoen (Deltalinqs 2014).

Anno 2016 zijn plannen bekend van Shell, die restwarmte gaat leveren aan 16.000 huishoudens. De Heinekenfabriek in Hazerswoude verlaagt zijn procestemperatuur en gaat warmte afnemen van een warmtetransportleiding die tussen Rotterdam en Leiden wordt aangelegd

5.3 Mogelijkheden voor industriële warmte beter benutten

De Nederlandse industrie is in internationaal perspectief energie-intensief en heeft afzetmarkten over de hele wereld. Dat betekent dat energiekosten invloed hebben op de concurrentiepositie, met name van de Nederlandse zware industrie en dat deze sector terughoudend is met het nemen van maatregelen die de energietransitie bevorderen. Zo lukt het de zware industrie nog niet om afspraken uit het Energieakkoord na te komen over 9 petajoule energiebesparing omdat investeringen met een terugverdientijd van meer dan 2,5 jaar worden uitgesteld (De Ronde 2016). Om de energietransitie te laten slagen, is het nodig maatregelen te ontwikkelen die de concurrentiepositie zo min mogelijk nadelig beïnvloeden.

De energietransitie bestaat uit drie onderdelen: 1) reductie van de finale energiebehoefte, 2) efficiënter omzetten van primaire in finale energie, en 3) vervangen van fossiele primaire energiebronnen door hernieuwbare bronnen. Beter benutten van restwarmte via warmtenetten past bij uitstek in onderdeel 2 omdat het de huidige verspilling van restwarmte tegengaat. Om deze mogelijkheden te benutten, moet het voor bedrijven aantrekkelijker worden om hun restwarmte aan warmtenetten te leveren (zie volgende paragraaf) en warmte van warmtenetten te betrekken.

5.3.1 Stimuleren industriële warmteafname door industriële bedrijven

De industriële warmtebehoefte is erg divers en varieert van LT-warmte (tot 120 graden Celsius) tot ZHT-warmte (meer dan 1000 graden Celsius). Warmtenetten zijn vooral

geschikt voor transport van LT-warmte, onder andere omdat de energieverliezen van transport bij lagere temperaturen lager zijn. Dat betekent dat warmtenetten aantrekkelijker zijn voor bedrijven met een LT-warmtevraag. Daarnaast kunnen stoomnetten interessant zijn voor bedrijven die HT-warmte uitwisselen.

Bij veel industriële productieprocessen kan de procestemperatuur worden verlaagd door herontwerp van de productieprocessen, onder meer in de chemie, de olie- en gasindustrie, de voedingsmiddelenindustrie, de farmaceutische industrie en de biotechnologie. Dit vergt nog veel onderzoek dat onder andere in de Topsectoren Energie en Chemie (RVO 2016) en door kennisuitwisseling tussen bedrijven (zie bijvoorbeeld SPICE³ 2016) wordt gestimuleerd.

Locatiekeuze

Bedrijven met LT-processen hebben voordeel van aansluiting op een warmtenet als zelf opwekken duurder is of wordt. Uitwisseling van restwarmte tussen bedrijven wordt eenvoudiger wanneer bedrijven ruimtelijk zijn geclusterd. Op enkele plaatsen in het land lukt dat. In de Botlek bijvoorbeeld beheert Stedin een stoomnetwerk dat stoom transporteert van de AVR naar Emerald Kalama Chemicals en waar meer bedrijven op kunnen worden aangesloten. Empyro in Hengelo produceert pyrolyseolie uit houtresten en levert de daarbij vrijkomende stoom aan 'buurman' AkzoNobel (Berenschot 2016).

De afwezigheid van een kapitaalintensieve infrastructuur met lange afschrijvingstermijnen is vaak nog een onneembare barrière voor een efficiënte uitwisseling van energiestromen, zoals warmte en stoom, procesgassen (H₂, CO), en CO₂. Welke partij neemt de regisseursrol op zich om ervoor te zorgen dat die infrastructuur wordt aangelegd? Deltalinqs en het Havenbedrijf Rotterdam ontplooiën initiatieven in die richting, maar zijn niet krachtig genoeg om grote successen te boeken.

5.3.2 Stimuleren van aanbod restwarmte aan warmtenetten

Vrijwel alle huidige warmtenetten worden gevoed door één (grote) warmteproducent. Daarmee zijn de afnemers afhankelijk van het voortbestaan van die warmteproducent. Een vermindering van de afhankelijkheid van één specifieke producent zou kunnen bijdragen aan een grotere leveringszekerheid, meer vertrouwen van afnemers in een eerlijk systeem en ook aan meer vertrouwen van investeerders in warmtenetten, die immers meer financieel risico lopen bij afhankelijkheid van een enkele warmtebron. Om in de toekomst ook de restwarmte van kleine producenten te kunnen benutten, zijn warmtenetten nodig die vanuit verschillende bronnen gevoed worden. Het is namelijk niet efficiënt om voor

elke kleine warmteproducent een apart warmtenet aan te leggen. Er zijn dus veel voordelen te behalen door te regelen dat verschillende producenten hun restwarmte op één warmtenet kunnen aanbieden: *third party access* ofwel TPA.

Toegang tot warmtenetten voor warmteproducenten mogelijk maken

Bij de gedachtevorming over TPA op warmtenetten verwijzen diverse auteurs naar de manier waarop TPA is georganiseerd op de gas- en stroomnetten (Ecofys 2015, Werkgroep MWZH 2015, Berenschot 2015). Er zijn echter grote technische verschillen tussen warmtenetten enerzijds en gas- en stroomnetten anderzijds waardoor de kosten van coördinatie en netbalancerings in warmtenetten hoger zijn (Ecorys 2016: 113). Om TPA aantrekkelijk te maken zouden die extra kosten volgens Ecorys moeten opwegen tegen de voordelen van extra concurrentie tussen warmteaanbieders, dus tegen de lagere warmteprijsen waar producenten genoeg mee nemen. Vanuit de optiek van de energietransitie is het echter relevanter te bezien of de benutting van extra restwarmte inclusief de coördinatiekosten goedkoper is dan andere vormen van klimaatneutrale energie. Als dat zo is, dan zijn er vervolgens regelingen nodig die ervoor zorgen dat deze optie voor alle betrokken partijen (financieel) aantrekkelijk wordt. De Elektriciteits- en Gaswet bevatten verplichtingen om producenten toe te laten tot een netwerk als ze aan bepaalde voorwaarden voldoen, maar de Warmtewet kent zo'n verplichting (nog) niet. Door de grote verscheidenheid aan warmteproducenten en warmtenetten is het raadzaam die voorwaarden niet uniform te bepalen (en wettelijk vast te leggen, zoals in de Elektriciteit- en Gaswetten is gedaan) maar van geval tot geval te bepalen in onderhandelingen tussen betrokkenen. Wel zou overwogen kunnen worden om wettelijk vast te leggen aan welke voorwaarden onderhandelingen tussen producenten en warmtenetexploitanten moeten voldoen om producenten toe te laten (Ecorys 2016:115). Het uitwerken van die voorwaarden behoeft nadere studie.

Mogelijkheden voor concurrentie op warmtenetten tussen warmteproducenten gering

Het introduceren van concurrentie op warmtenetten betekent voor bestaande producenten dat bij toetreding van nieuwe producenten de opbrengsten uit warmteverkoop waarschijnlijk dalen, tenzij tegelijk ook extra afnemers op het net worden aangesloten. Zonder planmatige uitbreiding van het aantal afnemers zullen bestaande warmteproducenten dus weinig belang hebben bij toelating van extra producenten op het net waar zij aan leveren. Ook potentiële nieuwe toetreders kunnen op hun beurt geconfronteerd worden met

dalende prijzen. Dit vooruitzicht van dalende warmteprijzen zal de animo voor aansluiten niet ten goede komen. Wellicht zijn er dus regelingen nodig die dit prijsrisico afdekken om toetreding tot een warmtenet aantrekkelijk te maken. Het is overigens de vraag of het mogelijk is om warmtenetten zo groot te maken dat voldoende producenten kunnen worden aangesloten om concurrentie mogelijk te maken. De relatief grote energieverliezen bij transport van warmte zetten namelijk, in combinatie met de geografische spreiding van warmtebronnen en afnemers, een rem op de maximale omvang van warmtenetten. Zeker in de groeifase van warmtenetten zal het aantal producenten gering zijn, wat de mogelijkheden voor concurrentie beperkt. Zolang de warmteprijs niet via concurrentie tot stand kan komen, zijn andere mechanismen nodig om tot een redelijke prijsbepaling te komen.

Ook niet-financiële stimulansen nodig voor benutting restwarmte

Warmteproductie en -levering aan warmtenetten is geen corebusiness voor bedrijven met restwarmte en krijgt daardoor nog nauwelijks prioriteit. Restwarmte direct lozen op het oppervlaktewater is veelal de goedkoopste manier om er van af te komen. Dat kan tot bepaalde hoeveelheden bovendien zonder vergunning. Het is de vraag of bedrijven verleid kunnen worden tot 'uitkoppeling' van warmte aan een warmtenet met hogere vergoedingen voor de geleverde restwarmte. Zolang de prijs die warmteverbruikers betalen wordt gemaximeerd door de gasprijs is er weinig ruimte voor verhoging van warmtevergoedingen.

Bovendien is bekend uit het energiebesparingsbeleid dat veel bedrijven de maatregelen die zich binnen vijf jaar terugverdienen toch niet nemen (PBL & ECN 2016: 146). Financieel rendement is blijkbaar onvoldoende om tot energiebesparing over te gaan en vermoedelijk geldt dat ook voor de uitkoppeling van warmte. Dat maakt het relevant na te denken over aanvullende stimulansen. In beginsel is een breed scala aan opties denkbaar, variërend van informatie openbaar maken over de lozing van restwarmte door bedrijven tot verbieden dat bedrijven restwarmte lozen (wat in Denemarken gebeurt) of verplichten dat ze die aan een warmtenet aanbieden.

Er zijn ook nog onbenutte mogelijkheden om bedrijven die restwarmte nuttig toepassen anders te belonen dan via een hoge financiële vergoeding. Zo valt te overwegen te verkennen hoe bedrijven die restwarmte nuttig toepassen, beloond kunnen worden voor de milieuwinst die daardoor bij de warmteafnemers wordt gerealiseerd in de vorm van verminderde uitstoot van CO₂, NO_x en andere vervuilende stoffen. Er zijn al regelingen voor bedrijven die restwarmte leveren aan andere (grote)

bedrijven die deelnemen aan het Europese CO₂-emissiehandelssysteem ETS (Ecofys 2013). Voor levering aan kleine bedrijven en aan huishoudens zou iets dergelijks ontwikkeld kunnen worden. Via de regeling van de Programmatische Aanpak Stikstof (PAS) kunnen bedrijven extra ontwikkelruimte krijgen wanneer ze hun uitstoot van NO_x-emissies reduceren. Als het mogelijk wordt om NO_x-reducties elders als gevolg van levering van restwarmte onder te brengen bij de PAS-regeling, krijgen bedrijven een extra stimulans voor uitkoppeling van restwarmte. Of dat in de ruimere context van de PAS-regeling wenselijk is, verdient nadere analyse.

Warmtevoorziening in de glastuinbouw

6.1 Potentie van warmtenetten voor de glastuinbouw

De glastuinbouw heeft warmte, elektriciteit en CO₂ (als meststof) nodig die elk uit verschillende energiebronnen kan worden betrokken. De benodigde hoeveelheden zijn afhankelijk van de verwachte ontwikkeling in areaal, teeltmethoden en gewaskeuze. In de *Visie 2030 Glastuinbouw* heeft CE Delft samen met vertegenwoordigers van de sector een beeld geschetst van een klimaatneutrale sector in 2050 (CE 2015b). Bij de teelt van *specialties* (op 2.500 hectare) wordt verwacht dat de energievoorziening volledig elektrisch is, waarbij de warmte wordt geleverd met warmtepompen. Voor de teelt van *commodities* (zoals groenten en snijbloemen, op 5.000 hectare) wordt een mix van energiebronnen verwacht, waarbij de (groen) gasopties (WKK en ketel), de geothermie en industriële restwarmte elk een derde van de voorziening voor hun rekening nemen. In het gecombineerde toekomstbeeld is in 2050 jaarlijks nog 40 petajoule nodig voor warmte naast 20 petajoule voor elektriciteit. Daarbij is rekening gehouden met een groei van het areaal belichte teelten. Van die warmte zou 30 procent oftewel 12 petajoule geleverd worden uit restwarmte en geothermie (CE Delft 2015b: 15), via warmtenetten dus. Bij deze schatting is geen rekening gehouden met de geografische verdeling van kassen en warmtebronnen. Naast warmte zou 8 petajoule gas nodig zijn voor ketels en WKK en 20 petajoule elektriciteit om warmtepompen aan te drijven. Wellicht zijn warmtepompen en -netten in dit scenario tot op zekere hoogte substitueerbaar en kunnen warmtenetten meer dan 12 petajoule leveren, mits ze in de buurt van kassen worden aangelegd.

Kassen kunnen bijdragen aan de stabiliteit van warmtenetten omdat ze (in beginsel) een bufferende functie kunnen vervullen. Zij kunnen hun warmteafname (binnen grenzen) namelijk afstemmen op fluctuaties in het aanbod en de vraag van andere aangesloten afnemers. Tuinders vervullen nu al een soortgelijke functie met hun

WKK-installatie op het elektriciteitsnet, waar ze stroom aanbieden in tijden van schaarste en inkopen in tijden van overvloed. Ze zijn dus in staat gebleken hun interne energiegebruik (binnen 1-2 dagen) af te stemmen op fluctuaties op de energiemarkt.

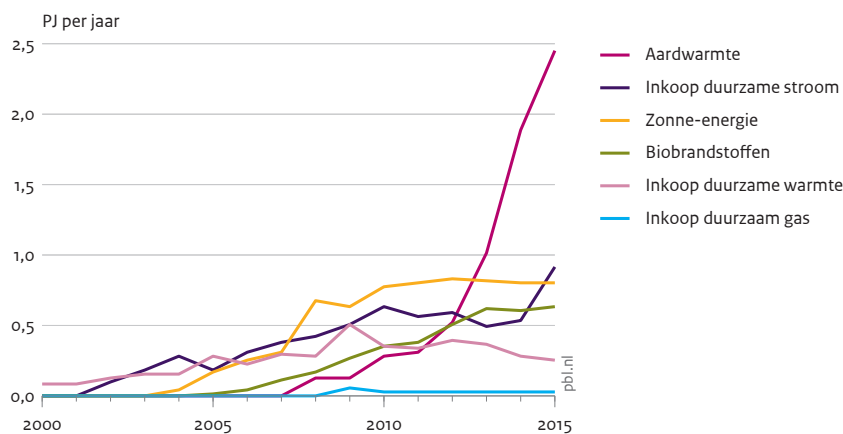
Omdat veel tuinders vrezen dat de gasprijs op termijn vermoedelijk verder zal stijgen en stroomprijzen verder zullen dalen, wordt de exploitatie van een eigen WKK-installatie voor veel tuinders minder lucratief. Overstappen op inkoop van stroom en warmte (uit een warmtenet) wordt dan aantrekkelijk, mits een externe leverancier gevonden kan worden voor CO₂, die als 'meststof' in kassen wordt gebruikt en nu vaak nog uit de eigen WKK-installatie wordt betrokken.

De toekomstige CO₂-behoefte van tuinders wordt geschat¹ op 1 megaton per jaar. In een klimaatneutraal energiesysteem zal een substantiële hoeveelheid CCS-capaciteit gerealiseerd moeten zijn, die ruim in die behoefte zou kunnen voorzien. Het is overigens de vraag of CO₂-bemesting past in een volledig klimaatneutrale glastuinbouw omdat slechts 10-20 procent van de toegediende CO₂ door gewassen wordt opgenomen.² De rest komt onbenut in de atmosfeer terecht en moet dus feitelijk als emissie worden beschouwd, tenzij die eerder aan de atmosfeer is onttrokken. Mogelijk kan de toepassing van luchtdichte kassen op termijn de CO₂-behoefte vergaand beperken.

6.2 Huidige warmtevoorziening voor kassen

De glastuinbouwsector is sinds 1993 actief bezig zijn energieverbruik te optimaliseren. Aanvankelijk lag de nadruk op vergroting van de energie-efficiëntie. Sinds 1990 is de hoeveelheid primaire energie per eenheid product gehalveerd, wat voornamelijk werd bereikt door verhoging van de fysieke productie per

Figuur 6.1
Toepassing van duurzame energie in glastuinbouw



Bron: Wageningen Economic Research 2016

hectare en door verwarmingsketels te vervangen door WKK-installaties voor de gecombineerde opwekking van warmte, elektriciteit en CO₂. Door extra isolatie (schermdoek, dubbel glas) is het energieverbruik per vierkante meter tussen 1990 en 2008 met 40 procent afgenomen en sindsdien stabiel gebleven (LEI 2015).

Begin deze eeuw ontwikkelde men het concept van de energieleverende kas, die op jaarbasis netto energie zou kunnen leveren. Dat resulteerde in nieuwe toepassingen van verbeterde warmtewisselaars en WKO-opslag maar bleek nadelig voor de gewassen en verhoogde de stroombehoefte. Daarom is dat concept weer verlaten en worden nu andere technieken verkend die het kasklimaat minder opwarmen³. Sinds 2004 wil de glastuinbouw (op termijn, doch uiterlijk in 2050) klimaatneutraal worden. De sector ziet dat als voorwaarde voor behoud van een duurzame en toekomstbestendige bedrijfstak. Vanaf 2005 werkt de sector samen met de Rijksoverheid in het publiek-private programma 'Kas als Energiebron' (KaE), dat door vraag-gestuurd onderzoek, pilots bij koplopers, kennisuitwisseling en gesubsidieerde marktintroductie innovaties wil ontwikkelen die nodig zijn om de klimaatneutrale ambitie te realiseren. In 2011 werd een convenant afgesloten om de CO₂-emissie te beperken tot 6,2 megaton in 2020, inclusief de emissies die samenhangen met de verkoop van elektriciteit uit WKK's. In 2014 is dit convenant uitgebreid met afspraken om de toepassing van aardwarmte en het nieuwe telen (HNT) te versnellen, gebiedsgerichte oplossingen te ontwikkelen en samenwerking te verbeteren (CE 2015b: 41).

Naar aanleiding van het KaE-programma zijn inmiddels enkele nieuwe energiezuinige kastypen ontwikkeld en in ontwikkeling: de VenlowEnergy/ID-kas, de 2SavenEnergy-

kas, de Daglichtkas, de Winterlichtkas. Daarin worden de lichtdoorlatendheid, de isolatie, en (in sommige types) de warmteterugwinning geoptimaliseerd. Daarmee kan de warmtebehoefte tot circa 10 kubieke meter aardgas-equivalenten worden teruggebracht, dus tot 25 procent van het huidig gemiddelde verbruik. Van de ID-kas en de daglichtkas staat er inmiddels elk 1 pilot; de eerste introductie in de praktijk is de komende jaren voorzien.⁴

De CO₂-emissie van de glastuinbouw fluctueert nogal. In 1990 was die 6,8 megaton, in 1996 en 2010 piekte die op ruim 8 megaton en in 2014 daalde die sterk van 7 naar 5,7 megaton. Die reductie kwam vooral door krimp van het glasareaal en door lagere stroomverkoop uit de WKK-installaties vanwege de situatie op de energiemarkt. In 2011 is afgesproken dat de CO₂-doelstelling nader bezien moet worden als dit gezamenlijke effect groter is dan 0,5 megaton. Tot 2010 groeide het WKK-vermogen sterk maar sindsdien vlakt de ontwikkeling af door verzadiging van het potentiële areaal waar een WKK-installatie bedrijfseconomisch toepasbaar is. In 2014 trad door krimp van het areaal een lichte daling op. Eind 2014 werd op 6.730 hectare, circa 70 procent van het totale areaal kassen, één of meerdere WKK's gebruikt. Het lijkt aannemelijk dat deze krimp de komende jaren doorzet.

Ondanks de krimp in areaal en WKK's groeide de toepassing van klimaatvriendelijke technieken. In 2014 daalde het energiegebruik per vierkante meter; de intensivering door toename van belichting werd méér dan gecompenseerd door de afname van het warmtegebruik via energiebesparing en extensivering. Ook is 50 procent meer duurzame energie gebruikt dan het jaar daarvoor, vooral door aardwarmteprojecten. Aardwarmte (WKO én

geothermie) werd eind 2014 (respectievelijk 2013) toegepast op 31 (21) bedrijven op 445 (134) hectare, biobrandstoffen voor warmte op 28 (32) bedrijven op 117 (114) hectare en zonne-energie voor warmtetoepassing op 62 (64) bedrijven op 221 (229) hectare. Zeven bedrijven (33 hectare) kopen duurzame warmte decentraal in (LEI 2015). De groei zat dus bij geothermie (zie figuur 6.1); de toepassing van overige hernieuwbare energiebronnen groeit ook, maar veel minder snel.

Een aantal innovatieve tuinders vervult een voortrekkersrol bij de ontwikkeling van geothermie in Nederland. Die ondernemers hebben grote bedrijven (gemiddeld meer dan 14 hectare) en zijn (dus) kapitaalkrchtig genoeg om de risico's te dragen die bij deze pioniersfase horen. Een belangrijke drijfveer ligt in het vinden van een alternatief voor aardgas met een gunstige maar vooral stabielere kostenstructuur (en die ook nog past binnen de klimaatneutrale toekomstvisie).

6.3 Opgaven voor een klimaatneutrale glastuinbouw

Het economisch perspectief in de glastuinbouw is de laatste jaren slecht geweest. Daarnaast nam de rentabiliteit van WKK-installaties af door dalende stroomprijzen en stijgende gasprijzen. Door deze omstandigheden is de nieuwbouw van kassen en de toepassing van klimaatvriendelijke technieken vertraagd. De tijd van warme sanering door de overheid is voorbij; de toekomstige vernieuwing zal de sector vermoedelijk grotendeels zelf moeten financieren. Een succesvolle energietransitie in de glastuinbouw is dus afhankelijk van een structurele verbetering van de huidige bedrijfsresultaten en financiële reserves.

Gegeven het cyclische karakter van de afzetmarkten in de glastuinbouw, zou dat herstel binnen nu en enkele jaren kunnen aanbreken. Het is dus goed mogelijk dat er een (uitgestelde) investeringsgolf voor de deur staat. Het is van groot belang die toekomstige investeringen te benutten voor technieken die passen bij (en nodig zijn voor) de transitie naar een klimaatneutrale glastuinbouw. Dergelijke investeringen gaan immers 15-25 jaar mee. Om in 2050 (over 35 jaar) klimaatneutraal te zijn, moeten in de komende investeringsronde dus grote stappen worden gezet. De vraag is: welke stappen zijn dat en wie gaan die stappen zetten?

Wie zijn de tuinders van morgen?

Bedrijven in de glastuinbouw zijn de afgelopen decennia steeds groter geworden. Vele zijn het karakter van gezinsbedrijf ontgroeid: er werd vreemd vermogen

aangetrokken, vreemde arbeidskrachten aangesteld, de handel in tuinbouwproducten werd aangevuld met handel in elektriciteit. In de voorliggende jaren moet de energievoorziening grondig worden herzien.

Alleen bedrijven met toekomstperspectief zullen die omslag kunnen maken. Over het algemeen zijn dat de grotere, financieel gezonde bedrijven die geleid worden door vakmensen met ondernemerschap. Gezien de leeftijdsopbouw van de huidige tuinders zullen de meesten tegen 2050 de sector hebben verlaten. Ruim 22 procent van de huidige bedrijven kan rekenen op een opvolger (AgriDirect 2016), wat overeenkomt met circa 1000 glastuinbouwbedrijven. Is dat voldoende om de sector te continueren?

Of is het denkbaar dat andere partijen, zoals – naar analogie van de intensieve veehouderij – de voedingsmiddelenindustrie, gaan investeren in de productie van kasgroenten of snijbloemen? Het is daarbij niet zo relevant wie kapitaal beschikbaar stelt; dat gebeurt nu ook al door externe partijen zoals de Rabobank. Waar het om gaat is wie de verantwoordelijkheid neemt voor de strategische beslissingen en de dagelijkse bedrijfsvoering. In de glastuinbouw is vakmanschap en motivatie van groot belang voor het financiële resultaat van bedrijven. Het is de vraag of externe financiers in staat zijn om voldoende kundige mensen aan te trekken die hun bedrijven gaan leiden.

Waar staan de klimaatneutrale kassen?

Het glasareaal zal vermoedelijk verder krimpen. De klimaatneutrale kassen van 2050 passen dus – in beginsel – op de huidige locaties. Maar zijn dat ook de meest geschikte locaties? Dat zal van veel factoren afhangen, zoals nu ook al het geval is. De beschikbaarheid van een toegesneden energieinfrastructuur zal echter van grotere invloed worden.

Het is de vraag in hoeverre de beschikbaarheid van geothermie een locatie-bepalende factor wordt. Mocht geothermie een plaatsbepalende factor worden, dan komen Friesland en de kop van Noord-Holland in beeld als interessante vestigingsplaatsen voor klimaatneutrale glastuinbouw. Daar zouden bestemmingsplannen op moeten worden aangepast.

Omdat geothermie zonder warmtenet suboptimaal werkt, zal dus ook een warmtenet aangelegd moeten worden. Kan de sector dat zelf doen of is het daarvoor afhankelijk van het initiatief van anderen? Op dit moment zijn de met geothermie pionierende tuinders al bezig met de aanleg van lokale warmtedistributienetten. Die zouden op termijn kunnen uitgroeien tot gekoppelde regionale warmtenetten (het kralen-rijgenmodel). Het is nog onduidelijk of via deze incrementele aanpak een

efficiënt warmtenet kan ontstaan met voldoende capaciteit voor warmtetransport over grotere afstanden. Dat vraagt om nader onderzoek naar de voor- en nadelen van een incrementele ontwikkeling van warmtenetten versus een grootschalig planmatig ontwerp. Mocht een planmatige aanpak aantrekkelijker blijken, dan rijst de vraag op welke wijze tuinders betrokken willen worden bij de formulering van regionale plannen voor warmtenetten; doen ze dat proactief of volgend?

Is de aanwezigheid van geothermie of een warmtenet toereikend om in de warmtevraag van de glastuinbouw te voorzien? Kan zo'n warmtenet zoveel leveringszekerheid bieden dat tuinders geen eigen back-upketels meer nodig hebben? Kan een eventuele piekvraag gedekt worden uit warmteopslag (WKO) met behulp van elektriciteit of blijft het nodig om (voor een beperkt deel van het jaar) over aardgas of groen gas te kunnen beschikken? En zal het rendabel blijven om voor een relatief beperkte gasafzet toch een uitgebreid gasnet te onderhouden?

Als elektrisch verwarmen een betaalbare optie wordt, dan lijkt de locatiekeuze niet erg afhankelijk van de beschikbare energie-infrastructuur. Lokale verzwaring van het elektriciteitsnet is weliswaar niet goedkoop, maar wel eenvoudiger te realiseren dan aanleg van een warmtenet. Omdat de dagelijkse behoefte aan warmte en elektriciteit voor verlichting in kassen (binnen zekere grenzen) kan worden aangepast aan de beschikbaarheid, kan de glastuinbouw profiteren van fluctuaties in stroomprijzen, waardoor elektrisch verwarmen best eens aantrekkelijk geprijsd zou kunnen worden.

Welke technieken zijn het investeren waard?

Uit bureaustudie en stakeholderconsultatie in 2015 concludeerde CE-Delft dat “de sector zonder principiële hindernissen kan doorgroeien naar klimaatneutraal in 2050” (CE 2015b:15). Daarvoor moeten nog wel nieuwe technieken, teeltwijzen en energieconcepten worden ontwikkeld en aangepast maar op hoofdlijnen lijkt duidelijk te worden welke ontwikkelingen dat zijn.

Allereerst is een verdergaande verlaging van de energievraag per vierkante meter onder alle omstandigheden relevant. Daarvoor zijn nieuwe technieken beschikbaar (en in ontwikkeling) zoals andere typen glas, (extra) energieschermen, LED-verlichting, gelijkstroom, lekken vermijden, andere klimaatregelsystemen en belichtingsmethoden.

Met energiezuinige glasdekken kan veel energie worden bespaard, maar de toepassing wordt vaak uitgesteld totdat bestaande kassen volledig zijn afgeschreven. Door kassen modulair te ontwerpen, zodat ze eenvoudig

(en goedkoper) tussentijds kunnen worden aangepast, zou de toepassing van energiebesparende technieken versneld kunnen worden.

Nieuwe teeltmethoden toepassen

Installeren van nieuwe technieken alleen is niet voldoende; ook aangeleerde routines moeten worden aangepast. Zo zal de ontvochtiging in lekvrije kassen op andere manieren moeten plaatsvinden dan via ‘luchten en droogstoken’. Onder de noemer ‘Het Nieuwe Telen’ (HNT) is een innovatieve energiezuinige regelstrategie voor het kasklimaat ontwikkeld. HNT maakt gebruik van natuurkundige kennis om de teelt optimaal te sturen met behulp van temperatuur, vocht, CO₂-dosering, licht en schermen. Kennisoverdracht vindt vooral sinds 2014 plaats, vanuit het programma ‘Kas als Energiebron’ (LEI 2015:23). Hiermee kan zonder (grote) investeringen al veel energie worden bespaard. Het is een grote uitdaging om HNT snel in te voeren; ingesleten routines laten zich namelijk maar moeilijk veranderen, ook bij tuinders.

Gewassen aanpassen

De warmtebehoefte wisselt sterk per gewas. Vooral bij vocht producerende gewassen wordt nog veel warmte gebruikt om overtollig vocht af te voeren. Naast het ontwikkelen van efficiëntere methoden van ontvochtiging kan ook gezocht worden naar gewassen die bij een hogere temperatuur en vochtigheid toch goed produceren, zodat minder energie nodig is voor koeling en vochtafvoer. Veel gewassen kunnen dit overigens al; met HNT leren tuinders daar steeds beter op in te spelen.

Ook door gewassen te ontwikkelen die bij lage temperatuur of bij grotere klimatologische bandbreedtes goed produceren, zou de energiebehoefte voor klimaatbeheersing kunnen afnemen. De ervaring is echter dat die gewassen bij hogere temperaturen meer produceren. Daardoor zal het overschakelen op dat type gewassen eerder leiden tot productieverhoging dan tot energiebesparing. Dat is natuurlijk belangrijk voor de sector (efficiencyverbetering is een economische drijfveer), maar geen grote gamechanger op weg naar klimaatneutraliteit⁶.

Overtollige energie tijdelijk opslaan

Het is technisch mogelijk om overtollige warmte uit de kas (vaak in de zomer) op te slaan en op een later tijdstip weer te benutten. Opslag kan in ondergrondse aquifers plaatsvinden – zolang de temperatuurverschillen binnen wettelijke grenzen blijven – of in afgesloten opslagtanken. Dat leidt tot energiebesparing op jaarbasis maar wordt nu nog niet toegepast omdat de kasconstructie en inrichting dat nog niet mogelijk maakt. Het lijkt zinvol te verkennen of technieken voor winning van overtollige kaswarmte

ontwikkeld kunnen worden die het kasklimaat niet nadelig beïnvloeden. Onder welke condities kan het winnen en opslaan van overtollige kaswarmte in de toekomst rendabel worden? Moet de uitgespaarde energie eerst nog duurder worden voordat warmteopslag voor eigen gebruik rendabel wordt? Zou rendabele afzet van overtollige warmte bij andere bedrijven of buiten de sector het 'oogsten' van overtollige warmte aantrekkelijk kunnen maken?

Elektrisch verwarmen of met warmtenetten?

Innoverende tuinders zullen moeten kiezen welke externe energiebron ze gaan gebruiken en hun installaties daarop moeten afstemmen. Zelf stroom opwekken met zonnepanelen (op bijgebouwen) of windmolens zal in een aantal gevallen wel mogelijk zijn of worden, maar zal toch maar een beperkt deel van de totale energiebehoefte kunnen leveren. Er zijn enkele externe, klimaatneutrale energiebronnen die voor inkoop in aanmerking komen: groene stroom, klimaatneutraal geproduceerde warmte en biomassa (of groen gas) voor een WKK-installatie. Omdat biomassa en groen gas in de toekomst naar verwachting beperkt beschikbaar (en dus relatief duur) zullen zijn, zal de bulk van de energiebehoefte voor kassen gedekt moeten worden door ingekochte elektriciteit en warmte. De keuze tussen die twee zal deels worden ingegeven door de lokale (aangekondigde) beschikbaarheid van een warmtenet, maar een bedrijf kan natuurlijk ook besluiten te verhuizen naar een plek waar de gewenste energiebron geleverd kan worden en de bestemmingsplannen vestiging toestaan. De sector houdt ook de optie van bio-WKK uitdrukkelijk open, met name voor belichte teelten. Het vergt nader onderzoek om te achterhalen onder welke omstandigheden (prijnsregimes) die optie voor tuinders aantrekkelijk kan worden.

De keuze van energiebron zal ook afhangen van het soort gewassen dat een bedrijf wil telen. Daarnaast zal het verschil in kostprijs van stroom en warmte (zeer) bepalend zijn voor de keuze⁶. Om meer zicht te krijgen op kosten van beide opties, zullen kostenprojecties voor groene stroom en warmte gemaakt moeten worden. Dergelijke projecties zijn met grote onzekerheden omgeven. De elektriciteitsmarkt is sterk in beweging en laat steeds grotere prijschommelingen zien. De warmtemarkt waar tuinders toegang toe hebben bestaat nog niet en kan dus geen houvast bieden bij de bepaling van een te verwachten warmteprijs. Daarnaast moet ook nog meer duidelijkheid komen over de benodigde hoeveelheden stroom en warmte en over de bijbehorende dag- en seizoenprofielen, om een enigszins onderbouwde schatting van energiekosten te kunnen maken. Voor gemiddelde situaties zijn dergelijke berekeningen al wel gemaakt. Dit moet echter concreet in deelprojecten

(kralen) verder worden uitgewerkt, om rekening te kunnen houden met de vele verschillen tussen bedrijven.

Forse uitdagingen voor de boeg

Uit bovenstaande belemmeringen en opgaven komt het beeld naar voren dat de glastuinbouw ingrijpende veranderingen voor de boeg heeft. Gezien de levensduur van kassen (25 jaar) en het eindbeeld voor 2050 (klimaatneutraal zijn) heeft de sector tot 2025 nog tijd voor introductie van energiezuinige kastypen, aanpassen van teeltmethoden, ervaring opdoen met nieuwe energiesystemen, enzovoort. Vanaf 2025 moet het hele kassenbestand (circa 7,500 hectare) op de schop. Daar zijn hoge investeringen mee gemoeid: een energiezuinige kas is 50-100 euro per vierkante meter duurder dan de huidige standaard kas; dat betekent 4-8 miljard euro extra investeren. De aanleg van warmtenetten en verzwaren van het elektriciteitsnet gaan ook miljarden kosten. Dat allemaal bij elkaar maakt het wel een forse opgave: technisch uitdagend, ruimtelijk complex (keuze vestigingsplaats en energie-infrastructuur) en kapitaalintensief.

Noten

- 1 Uit gesprek met Leo Oprel (EZ) dd 9 mei 2016.
- 2 10-20 procent komt uit mailwisseling d.d. 19-5-2016 met Leo Oprel (EZ) en Piet Broekharst (LTO-Glaskracht).
- 3 Persoonlijke mededeling van Leo Oprel (EZ) e-mail 19 mei 2016.
- 4 Persoonlijke mededeling van Piet Broekharst (LTO-Glaskracht), mei 2016.
- 5 Persoonlijke mededeling van Piet Broekharst (LTO-Glaskracht), mei 2016.
- 6 Energiekosten schommelen de laatste tien jaar tussen de 8 en 10 euro per vierkante meter (LEI 2015:24) en bepalen gemiddeld 20-25 procent van de totale bedrijfseconomische kosten in de glastuinbouw (LEI 2016).

Ontwikkeling van nieuwe warmtetransportnetten

7.1 Toekomstbeeld warmtetransportnetten

In de vorige hoofdstukken hebben we de hoeveelheden lage temperatuurwarmte¹ geïnventariseerd die op termijn in potentie van warmtenetten afgenomen en aan warmtenetten geleverd zouden kunnen worden (zie tabel 7.1). Daaruit blijkt dat het potentiële aanbod groter zou kunnen zijn dan de vraag – voornamelijk afhankelijk van de mate waarin de potenties van geothermie kunnen worden ontsloten. De toekomstige LT-warmtevraag wordt geschat op circa 350 petajoule per jaar. Om aan die vraag te kunnen voldoen, zijn nieuwe transportnetten nodig die warmteproducenten en nieuwe distributienetten (met hun leveranciers en afnemers) met elkaar verbinden.

Van de huidige afzet van warmte via warmtenetten (148 petajoule per jaar) valt naar schatting een derde deel (50 petajoule per jaar) in de categorie LT-warmte, waaronder de 36 petajoule die via niet-industriële netten wordt afgezet. Dat betekent dat de afzet van LT-warmte via warmtenetten de komende decennia met ongeveer een factor 7 kan groeien (van 50 naar 350 petajoule per jaar). Dat betekent ook dat de benodigde capaciteit van warmte distributienetten ongeveer verzevenvoudigd zou moeten worden om aan de potentiële vraag te kunnen voldoen. Het is op voorhand onduidelijk of de capaciteit van transportnetten even sterk zal moeten groeien; dat is afhankelijk van de specifieke locaties van warmteproducenten en afnemers, van de vraagprofielen en van de temperatuurregimes die gekozen worden.

De belangrijkste vraag op dit moment is: wie gaat die uitbreiding realiseren en welke belemmeringen moeten daarvoor worden overwonnen?

7.2 Huidige situatie bij warmtenetten

7.2.1 De huidige toestand

Het onderscheid dat we hierboven maakten tussen transportnetten en distributienetten wordt in de huidige praktijk zelden gemaakt. De grote stadverwarmingsnetten omvatten zowel transportleidingen als meerdere distributienetten, die vaak eigendom zijn van één bedrijf, dat het buizenstelsel als één fysiek, financieel en organisatorisch samenhangend geheel beschouwt (zie figuur 7.1). In een conventioneel warmtenet vervoert het transportnet water van circa 130 graden Celsius van de warmtebron naar warmteoverdrachtstations (WOS) die water van 90 graden leveren aan woningen en kantoren. Nieuwere netwerken kunnen op lagere temperaturen werken, maar voor de levering van warm tapwater is een minimale aflevertemperatuur vereist van 70 graden om de groei van legionellabacteriën te voorkomen.

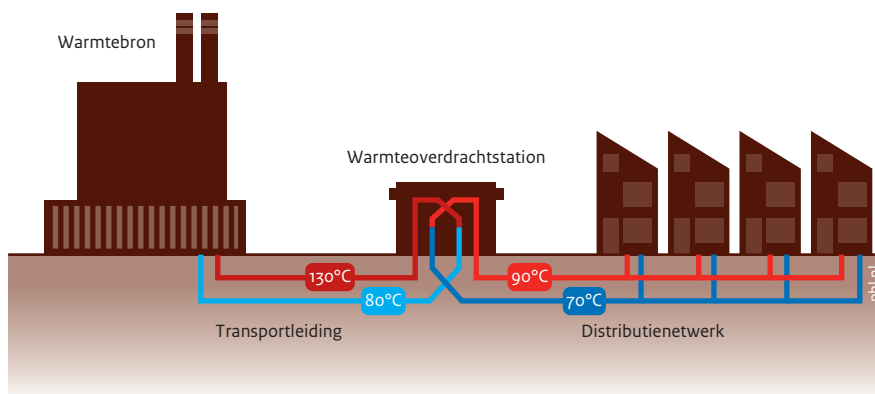
Uit een inventarisatie van warmtenetten in 2013 (ECN 2015a) bleek dat Nederland 13 grote warmtenetten (met ieder meer dan 5.000 aansluitingen) heeft en 5 middelgrote netten (met elk 3.000 tot 5.000 aansluitingen). De grootste netten liggen in Rotterdam (50.210 aansluitingen), Almere (45.900), Utrecht en Nieuwegein (40.400) en Amsterdam (29.200) (zie figuur 7.2). Soms wordt warmte over grote afstanden vervoerd. De Nieuwe Warmteweg, die de AVR sinds 2014 verbindt met woonwijken in Rotterdam, is 26 kilometer lang. Almere betreft warmte van de Diemencentrale via een pijplijn van 8,5 kilometer. Het Amernet verbindt de Amercentrale in Geertruidenberg met woonwijken in Breda, Tilburg en Oosterhout en met kassen in Made en Waspik middels een transportnet van circa 50 kilometer.

Tabel 7.1

Potentiële vraag en aanbod van LT-warmte voor warmtenetten op lange termijn

Potentiële afnemers	Potentiële vraag (PJ/j)	Potentiële aanbieders	Potentieel aanbod (PJ/j)
Woningen	165	Geothermie	85-1000
Utiliteitgebouwen	105	Industrie	100
Industrie	50	Glastuinbouw	?
Glastuinbouw	12-40	Aquathermie ²	42-182
		WKO ³	70
Totaal	Circa 350	Totaal	297-1352

Figuur 7.1

Conventioneel warmtenet

Bron: PBL

Ecorys (2016) telde, op basis van registraties in 2015 van warmtenetten bij de AFM 305 leveranciers met stadsverwarming, waarvan 154 netten in handen zijn van de 'Big five' die grote warmtenetten beheren met meer dan 5.000 aansluitingen: Eneco (85 netten), Nuon (34), ENNatuurlijk (49), SV Purmerend (1) en HVC (5). Dat betekent niet dat het aantal grote warmtenetten tussen 2013 en 2015 tien keer zo groot is geworden; Ecorys heeft in 2015 het aantal distributienetten geteld terwijl ECN in 2013 het aantal fysieke netwerken telde.

7.2.2 Verschuiving in energiebronnen van warmtenetten

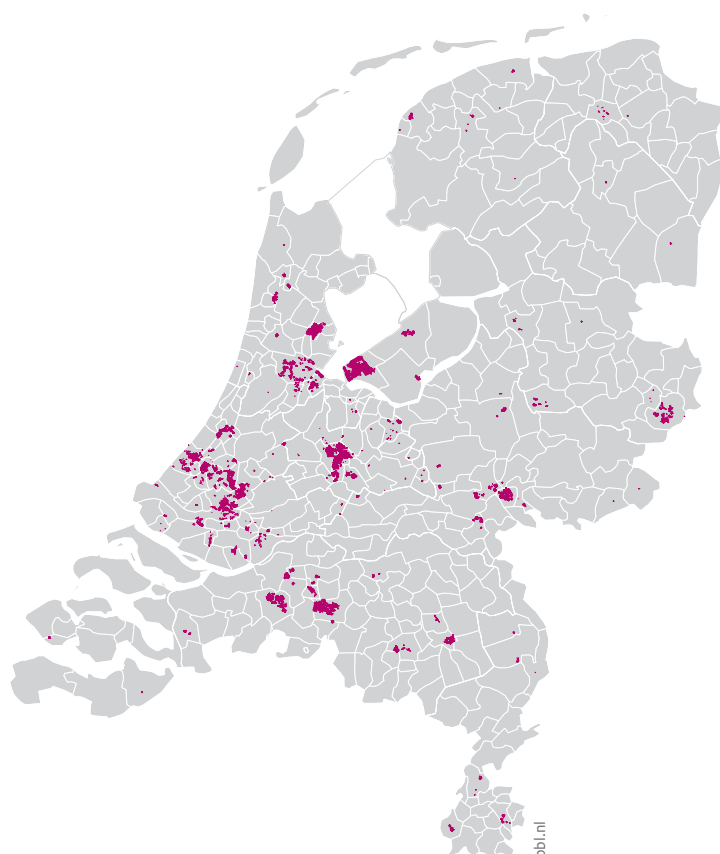
De huidige warmtenetten worden in toenemende mate gevoed met warmte afkomstig uit niet-fossiele bronnen. Dat is het gevolg van een aantal ontwikkelingen zoals de aansluiting van het warmtenet in Purmerend op een biomassawarmtecentrale en de toegenomen levering van afvalverbrandingswarmte in Rotterdam, Arnhem en Nijmegen en gelijktijdige sluiting van (verouderde) gascentrales. Figuur 7.3 toont de mix van brandstoffen voor de warmteproductie die via warmtenetten aan huishoudens wordt geleverd. De warmte uit afval-

verbranding (totaal 9 petajoule in 2015, waarvan circa 2,5 petajoule aan huishoudens werd geleverd) mag volgens RVO voor 55 procent duurzaam worden genoemd (RVO 2015). Samen met de warmte uit biomassa is daarmee in totaal 25 procent van de warmte op warmtenetten te kwalificeren als duurzame warmte. Daarnaast groeit de productie van duurzame warmte uit geothermie en WKO. De bijdrage van geothermie (1,5 petajoule in 2014) aan warmtenetten is beperkt; die wordt nog hoofdzakelijk lokaal in kassen benut. Het gebruik van WKO bedroeg 3,4 petajoule in 2014 en wordt ook voornamelijk lokaal toegepast.

7.2.3 Overheid zoekt naar rol in stimulering warmtenetten

Het Energieakkoord (SER 2013), de vermindering van de gaswinning – en het daarmee afwenden van te grote importafhankelijkheid – en het toenemend inzicht dat vergaande CO₂-reducties nodig zijn, hebben het kabinet in 2014 tot een 'warmtevisie' gebracht. Daarin streeft het kabinet naar een grotere en gelijkwaardig positie van warmte in het energiesysteem, naast gas en elektriciteit. In de Warmtevisie beschouwt het kabinet aanpassing van

Figuur 7.2
Warmtenetten, 2015



Bron: PBL

het marktmodel en de infrastructuur voor warmte als de grootste uitdagingen (EZ 2015: 18). Belangrijkste instrumenten voor warmte zijn de SDE+-subsidie, het garantiefonds geothermie en Green Deals voor nieuwe warmtenetten.

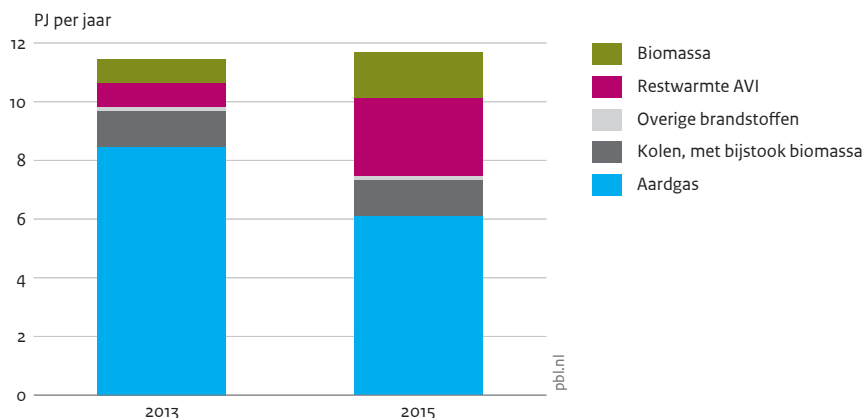
Globaal zijn er momenteel twee parallele ontwikkelingen zichtbaar:

- Lokale initiatieven rond relatief kleine netwerken
 - primair gericht op duurzame energiebronnen (geothermie, WKO, biomassa). Deze ontwikkeling past in de ‘energieke samenleving’ waarin lokaal draagvlak voor verduurzaming van de energievoorziening belangrijk is. Lokale partijen maken samen de businesscase rond. Die ‘partijen’ zijn gemeente, netbeheerders, private partijen, woningcorporaties, kantoren en eigenaren van koopwoningen. Ze zoeken naar manieren om hun inspanningen te bundelen, zoals onder andere blijkt uit het manifest ‘Aan de slag met wonen zonder aardgas’ dat tijdens de Nationale Energietop in oktober 2016 aan de regering werd aangeboden door bijna 100 deelnemende partijen (Anon. 2016).

- Grootschalige initiatieven voor nieuwe regionale netwerken om (industriële) restwarmte te benutten en warmte te leveren aan afnemers zonder nabije bronnen (onder andere Zuid-Holland, Regio Amsterdam). Deze initiatieven gaan primair langs de lokale en regionale bestuurlijke route, ‘bovenlangs’ dus. Centraal daarin staat het aanleggen van een provinciale ‘warmtesnelweg’ of ‘rotonde’ waarop lokale bronnen en netwerkjes te zijner tijd kunnen aansluiten.

Ondertussen ontwikkelen provincies warmteplannen waarin op regionaal niveau vraag en aanbod naar warmte in kaart zijn gebracht. Deze plannen moeten eind 2016 gereed zijn. Aan deze plannen wordt, in overleg met gemeenten, een strategie toegevoegd om vraag en aanbod zo duurzaam en efficiënt mogelijk aan elkaar te koppelen. Bij de formulering van deze strategie stuiten provincies en gemeenten op verschillende juridische en financiële blokkades. Dat leidt onder andere tot een oproep van het IPO aan de Kamer en regering om deze blokkades weg te nemen en geen belemmeringen of verplichtingen toe te voegen (IPO 2016).

Figuur 7.3
Energiebronnen van warmtenetten voor huishoudens



Bron: ECN 2015

7.2.4 Warmterotonde Zuid-Holland

In de regio Zuid-Holland wordt gewerkt aan het ontwikkelen van een grote collectieve warmte-infrastructuur, de warmterotonde. Voor de coördinatie van die werkzaamheden is in 2011 een Green Deal gesloten tussen de provincie en het Rijk en is het Programmabureau warmte-koude Zuid-Holland opgericht. Dat bureau beschrijft op haar website de plannen als volgt: 'de warmterotonde is de infrastructuur voor collectieve warmte in het zuidelijk deel van de provincie Zuid-Holland voor de aankomende 30-50 jaar om maximale besparing te realiseren op fossiele energie en steeds meer lokale duurzame bronnen te ontsluiten en toe te voegen. Daarmee is het een flexibel systeem, waarop meerdere aanbieders en meerdere bronnen van verschillende herkomst toegang krijgen. De warmterotonde wordt vaak afgebeeld (zie figuur 7.4) als een verzameling van aan elkaar gekoppelde leidingen die zowel de Haven uit Rotterdam, Leiden, Dordrecht, het Westland, Delft en Den Haag met elkaar verbindt.'

Het eindbeeld van de deelnemende partijen is een warmtenet waar een groot aantal bronnen op voedt, waar prijsvorming via een transparant marktmechanisme plaatsvindt en de afnemer keuzevrijheid heeft. Dit type warmtenet bestaat in Nederland op dit moment niet.

De projectorganisatie 'Cluster West' doet voor het westelijk deel van die warmterotonde verkennend onderzoek in opdracht en met medewerking van de gemeenten Delft, Den Haag, Rotterdam, Westland, de provincie Zuid-Holland, E.On (inmiddels Uniper), Eneco, Warmtebedrijf Rotterdam, Westland Infra en het Havenbedrijf Rotterdam (Anon. 2015). De projectorganisatie schetst de context voor hun plannen als volgt:

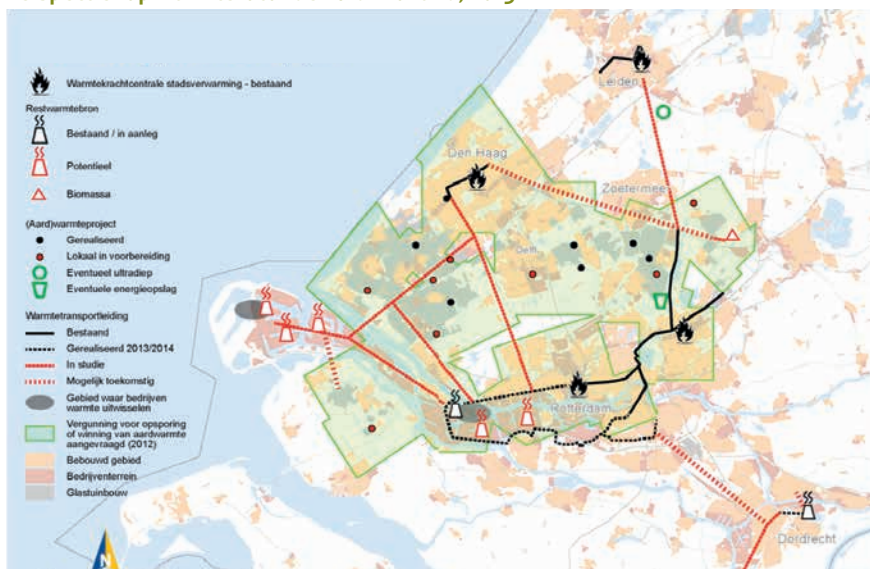
- Met warmtelevering verdienen energiebedrijven geen tot relatief weinig geld.
- Warmte uit warmtenetten is voor de consument duurder dan warmte uit de eigen gasgestookte cv-ketel – of wordt in ieder geval als duurder ervaren.
- Het imago van warmtelevering is lang niet altijd positief.
- Bronnen met het grootste potentieel in Zuid-Holland, industriële restwarmte en geothermie, worden op dit moment nog nauwelijks benut. Fossiele (rest)warmte, uit gas en kolen, is direct beschikbaar.

Gegeven deze plannen en context hebben we negen partijen in de regio geïnterviewd, aangevuld met vier kortere (telefonische) gesprekken met experts buiten de regio. De centrale vraag in de interview was telkens i) wat is uw positie en motivatie in relatie tot Cluster West; en ii) wat ziet u als de grootste barrières voor het realiseren van de warmterotonde?

De twee grote barrières die door de betrokken partijen benoemd werden zijn:

- 1 Er is geen gedeeld eindbeeld van de duurzame warmterotonde. Sommige partijen hebben grote weerstand tegen de inzet van kolenwarmte, ook tijdelijk, in een overgangsfase naar warmte uit volledig hernieuwbare bronnen.
- 2 Er is geen sluitende businesscase. Aanleg van Cluster West zou 400 tot 500 miljoen euro aan investeringen vergen, jaarlijks circa 10 petajoule warmte kunnen leveren en 275 kiloton CO₂-uitstoot kunnen besparen (Anon. 2015) maar door voortdurende onzekerheden (financieel en regelgevend) kan geen solide investeringsvoorstel worden gemaakt.

Figuur 7.4
 Perspectief op warmterotonde Zuid-Holland, 2015



Bron: Provincie Zuid-Holland

De posities van de eind 2015 betrokken partijen hebben we als volgt samengevat:

Stedelijke afnemers

- Gemeente Den Haag. Wil het aantal aansluitingen op warmtenetten verviervoudigen (naar 100.000) in 2030. Kolenwarmte komt Den Haag niet in. Door aflopen van een duur gas-warmtecontract op het bestaande net heeft Den Haag op korte termijn behoefte aan AVR-afvalwarmte over de zogenoemde ‘midden’ route. De lokale Haagse politiek wil een scherper eindbeeld van een ‘smart-multi-commodity-grid’.
- Gemeente Rotterdam. Wil in 2030 de helft van de stad op warmtenetten hebben aangesloten. Op alle niveaus is discussie over de definitie van een duurzaam warmtenet. Daar moet je wat mee, aldus Rotterdam⁴.
- Gemeente Delft. Wil groeien van 4.000 aansluitingen nu, naar 22.000. Delft heeft een rotonde nodig voor warmtelevering omdat er onvoldoende lokale warmtebronnen zijn. Delft heeft specifiek de ambitie om jaren ‘60 huur-blokoningen te verduurzamen.
- Gemeenten zien de overheid in het algemeen als hoeder van het duurzaamheidsbelang en zien een rol voor zichzelf om maatschappelijke baten te realiseren die marktpartijen niet leveren.

Tuinbouw

- Glaskracht: Een marktplaats voor warmte, naast gas en elektriciteit, past in het toekomstbeeld van tuinders. Kolenwarmte ligt bij tuinders en de gemeente Westland gevoelig; dat geeft de tuinbouwproducten een ‘kleurtje’ (bedoeld werd: een negatief imago van onduurzaamheid).

Haven organisaties

- Havenbedrijf Rotterdam: De eerste stap in de Cluster West kan zijn: kolencentrales van EON en Engie leveren warmte aan glastuinbouw.
- Deltalinqs (brancheorganisatie bedrijven uit de haven): Restwarmte-‘uitkoppeling’ moet aantrekkelijker gemaakt worden. Deltalinqs stelt geen duurzaamheids-eisen aan warmte.
- DCMR: De positie van restwarmte in wet- en regelgeving is niet duidelijk. Het telt niet mee als duurzame energie en niet als finale energiebesparing en draagt daarmee – ten onrechte – niet bij aan de doelen van het Energieakkoord⁵. Wettelijke drukmiddelen om uitkoppelen van industriële restwarmte te stimuleren ontbreken.

Overige:

- Programmabureau warmte-koude Zuid-Holland: De grote vraag is hoe zekerheid gecreëerd kan worden voor een solide businesscase.
- Nederlandse Vereniging voor Duurzame Energie: De overheid heeft een rol in financiering van de hoofdinfrastructuur.
- Ministerie Economische Zaken Duitsland: Het eindbeeld van een koolstofarme economie legitimeert warmtenetten. Ook in Duitsland is de industrie sterk afgeschermd en is uitkoppeling van industriële restwarmte een uitdaging. Bouw duurzaamheidsgaranties in voor kolenwarmte (voorkom ‘must run’-situaties, geef voorrang aan duurzame bronnen en dergelijke).
- CE Delft: Voor goede warmte-marktwerking zijn industriële aanbieders nodig. Hoe krijg je hen aan boord?

7.3 Mogelijkheden voor warmtenetten beter benutten

7.3.1 Wie gaat investeren in open warmtenetten?

Elke investeerder wil een marktconform rendement op zijn investering kunnen behalen, passend bij het risicoprofiel van de investering. Investerings in warmtenetten zijn moeilijk te financieren omdat de te behalen rendementen beperkt worden door de manier waarop de overheid afnemers beschermt via tariefregulering én omdat het onzeker is of de geplande afzetvolumes daadwerkelijk gerealiseerd kunnen worden. Voor investeerders in gesloten warmtenetten die beschikken over veel restwarmte (zoals elektriciteitscentrales) of die de afzet van restwarmte min of meer kunnen garanderen (zoals woningcorporaties) waren deze onzekerheden te overzien of te beheersen, maar voor investeerders in open warmtenetten, die nodig zijn om restwarmte van kleine bronnen te benutten, wordt risicobeheersing veel lastiger. Dat vraagt om nieuwe benaderingen voor:

1 Besluitvorming over een aan te leggen warmtenet:

Wie neemt het initiatief? Waar moet het net komen? Hoe groot moet het worden? Hoeveel warmte moet er mee geleverd kunnen worden? Aan welke technische specificaties moet het voldoen? Welke partijen gaan de warmte leveren? Zonder aanwezigheid van een preferente warmteproducent of -afnemer kunnen deze vragen op veel verschillende manieren worden beantwoord. Dat confronteert initiatiefnemers met grote onzekerheden die alleen kunnen worden weggenomen door de besluitvorming zeer goed te coördineren.

2 Organisatie van netbeheer en systems operation van het warmte(transport)net:

Hoe gaan we ervoor zorgen dat de omvang en timing van de warmteproductie aansluit bij de vraag, dat de veiligheid gegarandeerd is en dat de kosten van netwerken, -onderhoud en -beheer eerlijk worden verdeeld over de aangesloten partijen? Eigendom en beheer van een warmtenet liggen niet automatisch bij dezelfde partij.

3 Bepalen van de prijs van warmte:

Zodra verschillende warmteproducten op één net actief worden, wordt vaststellen van een redelijke prijs van warmte en verrekenen van de kosten van onderlinge leveringen een complexe zaak. Daarvoor moet een nieuw marktmodel ontwikkeld worden. Producenten kunnen immers verschillende hoeveelheden warmte leveren, op verschillende tijdstippen en op verschillende afstanden van de gebruikers (en dus een kleiner of groter deel van het transportnet nodig hebben om hun product te kunnen afzetten).

Gebrek aan coördinatie hindert uitbreiding warmte(transport)netten

Er is een coördinatieprobleem bij de aanleg van warmtenetten, met name bij open transportnetten. Omdat het technisch lastig is de capaciteit van warmtetransportnetten stapsgewijs uit te breiden, in afstemming op een geleidelijke groei in de vraag naar warmte, moeten transportnetten bij aanleg al worden gedimensioneerd op het verwachte toekomstige gebruik. Dat betekent grote initiële investeringen⁶ én grote onzekerheid over de toekomstige opbrengsten. Plannen van toekomstige afnemers (samen met gemeenten) bieden geen garantie op uitvoering, zeker niet als het veel tijd gaat kosten om tot uitvoering van die plannen over te gaan. Gemeenten die een distributienet willen aanleggen en zelf niet over warmtebronnen beschikken, zijn afhankelijk van de aanleg van langeafstandtransportnetten maar hebben de realisatie daarvan niet in eigen hand. Zolang onduidelijk blijft op welke termijn een transportnet beschikbaar komt, kan van gemeenten, distributeurs en afnemers niet worden verwacht dat ze veel kosten maken om op die komst te anticiperen. Ervaringen in Zuid-Holland met de ontwikkeling van een langeafstandtransportnet leren, dat interbestuurlijk overleg decennia kan duren zonder tastbaar resultaat op te leveren. Bij dit type infrastructuur kan het noodzakelijk zijn dat de Rijksoverheid de onzekerheden wegneemt en besluit tot aanleg van de hoofdinfrastructuur, zodat anderen daar regionaal op kunnen aanhaken. Dat betekent niet automatisch dat de Rijksoverheid eigenaar van warmtetransportnetten moet worden. Ecorys (2016:14) stelt: 'Commitment kan ook gerealiseerd worden door heldere keuzes te maken en duidelijkheid te geven over de gebieden waar warmtenetten gerealiseerd dienen te worden'.

Beleidsrisico's verhogen financieringskosten

Het is echter de vraag of met heldere beleidskeuzes alle risico's voor warmtenetten afdoende beperkt kunnen worden. Die risico's worden namelijk ook beïnvloed door nationale wetgeving over bekostiging van, toegang tot en gebruik van warmtenetten. Wanneer dat grote invloed heeft op de te verwachten financiële resultaten, dan kan verwacht worden dat private investeerders terughoudend zullen zijn of hoge risicopremies in rekening zullen brengen. Met aanvullende garantiestellingen van de overheid kunnen financiers mogelijk verleid worden tegen lagere vergoedingen in te stappen en de kosten te beperken, maar publiek eigendom kan hiervoor ook een oplossing bieden.

Tabel 7.2

Actoren in het knooppuntenmarktmodel met hun taken

Toezichthouder warmte					
Hoofdtak: uitgifte codes waar genoemde partijen zich aan moeten houden					
Producenten	Netbeheerders	Marktplaats	Systeemoperator	Meetbedrijf	Professionele afnemers
Codes voor: Marktmechanisme Informatie	Codes voor: Marktmechanisme Informatie	Codes voor: Marktmechanisme Informatie	Codes voor: Marktmechanisme Informatie	Codes voor: Marktmechanisme Informatie	Codes voor: Marktmechanisme Informatie
Voorwaarden voor: Invoeden	Voorwaarden voor: Invoeden Aansluiten Tarieven Meten		Voorwaarden voor: Metten	Voorwaarden voor: Metten	Voorwaarden voor: Aansluiten Tarieven Metten

Bron: Werkgroep MWZH 2015

Er zijn verschillende manieren om investeringen in warmtenetten te financieren. Voor private financiers zijn lokale warmtenetten vaak te klein en grootschalige warmtenetten nog te risicovol. Om die reden pleiten diverse partijen voor de oprichting van een publieke investeringsbank (WRR 2016, Energietafel 2016), die zich speciaal zou kunnen richten op projecten waarvan het maatschappelijk rendement hoger is dan het private rendement. Zo'n bank zou via cofinanciering toegang kunnen bieden tot privaat kapitaal en ook betere mogelijkheden (dan de huidige variëteit aan regelingen) hebben tot aansluiting op het Europese Fonds voor Strategische Investerings ('Junckerfonds'), dat uitgaat van nationale cofinanciering (NIA 2015). Volgens de WRR is met name de Duitse Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) een interessant model, vanwege de publieke functie, de omvang van de bank en het financieringsmodel, dat loopt via commerciële banken en dat zowel grootschalige als kleinschalige projecten kan bedienen. In augustus 2016 heeft minister Kamp (EZ) het Nederlands Investeringsagentschap (Nia) opdracht gegeven met banken en verzekeraars een financieringsvoorstel uit te werken die als leidraad kan dienen voor investeringen in geothermieprojecten (Savelkoul 2016). Het ligt voor de hand te bezien of die propositie ook kan worden toegepast op investeringen in warmtenetten. De Europese Commissie probeert de European Investment Bank te interesseren om portefeuilles met stadsverwarmingsprojecten (*district heating and cooling*) in heel Europa te aggregeren (Ala-Kurikka 2016).

Nieuw marktmodel voor open warmtenetten nodig

In een warmtenetwerk met verschillende warmteproducenten en -afnemers is een mechanisme nodig om te bepalen welke prijs iedere deelnemer betaalt of ontvangt voor de geleverde warmte. In een situatie met veel aanbieders en vragers kan een prijs door middel van concurrentie tot stand komen. Op bestaande warmtenetten

is meestal één warmteaanbieder actief; er moeten dus eerst andere aanbieders worden toegelaten (*third party access*, TPA) om enige concurrentie te kunnen ontwikkelen. Ook zal het nodig zijn de warmteproductie juridisch te scheiden van het netwerkbeheer om bevoordeling van één producent door de netwerkbeheerder te verhinderen. Voor afnemers stijgt de waarde van een netwerk wanneer ze uit meer aanbieders kunnen kiezen en wanneer concurrentie tussen aanbieders leidt tot lagere prijzen.

Technische afstemming van warmteleveringen tussen warmteproducenten onderling en tussen producenten en afnemers brengt echter ook kosten met zich mee. Die kosten moeten opwegen tegen de te behalen efficiëntiewinsten om uitbreiding van het aantal producenten rendabel te maken. Diverse adviseurs betwijfelen of dat op bestaande warmtenetten mogelijk is (PwC 2015; Ecorys 2016). Als in een gebied veel productiebronnen beschikbaar zijn, kan het wel efficiënt zijn een groot warmtenet te ontwikkelen dat meerdere producenten tot het net toelaat (TPA). Het is volgens Ecorys niet mogelijk om op basis van bestaand onderzoek aan te geven bij welke netomvang de voordelen van TPA opwegen tegen de nadelen. Duits onderzoek uit 2012 kwam tot de conclusie dat er in Europa bijna geen voorbeelden zijn van opengestelde warmtenetten (Bundeskartellamt 2012).

Voor de Warmteronde Zuid-Holland zijn ideeën uitgewerkt voor de inrichting van een handelsplatform voor warmte, naar model van de knooppuntenmarkt voor elektriciteit (zie tabel 7.2) (Werkgroep MWZH 2015). Zo'n systeem houdt rekening met transporttarieven en verliezen, die in een regionaal warmtenet relatief groot zijn, en maakt dagelijks een integrale optimalisatie van transportcapaciteit op uurbasis. Het systeem is in de Amerikaanse elektriciteitssector al heel vaak aangewend om vanuit een voormalige monopoliesituatie een markt

in te voeren. Daarmee wordt dan in één keer een heel grote stap in de marktwerking gemaakt, in tegenstelling tot de bilaterale systemen, die bestaande monopolies eigenlijk vaak deels in tact laten en ze geleidelijk vervangen door een echte marktsituatie.

7.3.2 Publiek of privaat eigendom van warmtenetten?

Diverse partijen pleiten voor publiek eigendom van warmtenetten (voor transport, distributie of beide), analoog aan het publieke eigendom van transportnetten voor gas en stroom. De belangrijkste argumenten zijn:

- a wegnemen van onzekerheid bij potentiële warmteproducenten, -leveranciers en -afnemers;
- b verlagen van de kapitaalslasten door gemakkelijker toegang tot goedkopere leningen; en
- c eerlijke concurrentie tussen warmte en gas realiseren door socialisering van de netkosten waardoor gebruikstarieven van warmtenetten kunnen dalen.

Ecorys (2016) bespreekt deze en achterliggende argumenten en concludeert dat publiek eigendom van warmtenetten 'als een instrument gebruikt (zou) kunnen worden om investeringen in warmtenetten van de grond te krijgen. Er is echter geen reden om publiek eigendom verplicht te stellen voor alle Nederlandse warmtenetten' (2016:15). Veel genoemde hindernissen kunnen volgens Ecorys ook zonder publiek eigendom worden opgelost, zoals met warmteplannen, regulering en adequaat toezicht. Hierboven is al aangegeven dat warmteplannen en regulering zo hun beperkingen hebben en dat het onzeker is of ze private partijen voldoende zekerheid geven om in open warmtenetten te investeren.

Publieke netten niet per definitie minder efficiënt

Het belangrijkste nadeel van een marktontwerp op basis van publieke netten is volgens Ecorys dat bij publiek eigendom geen concurrentie is om warmtenetten te exploiteren waardoor stimulansen voor efficiënte exploitatie zouden ontbreken. Dat argument kan ook gebruikt worden om de huidige publieke transportnetten van gas en stroom te privatiseren, maar dat is – om goede redenen en na veel discussie – niet gebeurd. Er is namelijk een alternatief. Toezichthouders kunnen middels maatstafconcurrentie zowel private als publieke netwerkbeheerders aanzetten tot doelmatig beheer.

Regionale warmtenetten van nationaal strategisch belang

Ecorys stelt ook dat 'bij warmtenetten, in tegenstelling tot de landelijke transmissienetwerken van gas en elektriciteit, in mindere mate sprake (is) van infrastructuur van nationaal strategisch belang'. Die conclusie lijkt te zijn ingegeven door de overweging dat onverwachte uitval van een warmtenet relatief weinig mensen treft.

In de huidige situatie, met gemiddeld 1000 aansluitingen per stadsverwarmingsnet, klopt dat, maar bij aanleg van grote regionale warmtenetten kan dat veranderen. Veel deskundigen verwachten dat warmtenetten geen landsdekkende infrastructuur zullen worden, maar dat betekent niet automatisch dat er geen nationaal belang mee is gediend ze te ontwikkelen. Er zijn ook andere criteria om nationaal strategisch belang te bepalen. Vanuit het nationaal strategische belang om tegen zo laag mogelijke kosten de transitie naar een klimaatneutraal energiesysteem te ontwikkelen, lijkt het zeer wenselijk om regionale open warmtenetten aan te leggen in delen van het land die daarvoor geschikt zijn. Zonder ontwikkeling van regionale open warmtenetten wordt de beoogde energietransitie namelijk aanmerkelijk duurder.

Uit bovenstaande overwegingen kan de conclusie worden getrokken dat het aanleggen van warmtetransportnetten in publiek eigendom geen absolute voorwaarde is om die netten te kunnen realiseren, maar dat het wel veel belemmeringen zal wegnemen en realisatie zal bespoedigen.

Noten

- 1 LT staat voor 'lage temperatuur' en heeft in de energie-statistieken betrekking op temperaturen lager dan 100 graden Celsius. In de wereld van de installateurs (ISSO handboek) staat LT voor een temperatuurbereik van 55 graden en lager, en horen de gangbare warmtenetten (met water van 100-70 graden) tot de categorie hoge temperatuur (HT). Om verwarring te voorkomen, volgen we in dit rapport de terminologie van de energiestatistieken en duiden we de gangbare netten aan met LT-netten en warmtenetten met water van 55 graden en lager noemen we ZLT-(zeer lage temperatuur)netten.
- 2 Warmtewinning uit waterlopen, plassen, gemalen en kunstwerken is in deze notitie niet verder uitgewerkt. Volgens een inventarisatie voor Rijkswaterstaat en de UVW zouden deze bronnen een economisch potentieel hebben van 42-182 petajoule per jaar (IF-Technologies 2016a en b). Binnen de aangegeven marge kan het potentieel toenemen wanneer warmtenetten aanwezig zijn om de gewonnen warmte te transporteren naar gebouwen. Beide studies kwantificeren ook de potentiële koudelevering aan gebouwen.
- 3 Een studie van eRisk uit 2012 schat op basis van een literatuuronderzoek het maximale technische potentieel van WKO (met en zonder opslag) op 70 petajoule in 2020 (CE 2014b: 27). WKO is inmiddels een bewezen techniek die zonder subsidie rendabel wordt toegepast. We hebben geen literatuur gevonden die aangeeft hoe lang deze hoeveelheid energie gewonnen kan blijven worden. Ook is onduidelijk of genoemde capaciteit nog kan worden vergroot door technische innovaties.

- 4 Een jaar later is in de gemeenteraad van Rotterdam geen draagvlak meer voor het gebruik van warmte van kolencentrales (Langenberg 2016).
- 5 Volgens de opstellers van de NEV 2016 is dit een misverstand. Benutting van restwarmte (hetzij in het eigen bedrijf of via levering aan derden) draagt wel bij tot verlaging van het netto-energiegebruik. Energiebesparing vindt in dit geval dus niet plaats bij de ontvanger maar bij de leverancier van warmte (PBL & ECN 2016: 87).
- 6 De aanlegkosten van de warmteronde in Zuid-Holland, door dichtbebouwd gebied, worden geschat op circa 5 miljoen euro per kilometer transportleiding (CE 2014c, tabel 16).

Literatuur

- AgentschapNL (2016) WarmteAtlas Nederland, beschikbaar op: <http://agentschapnl.kaartenbalie.nl/gisviewer/viewer.do?id=>
- AgriDirect (2016) Persbericht over de resultaten van de Nederlandse GlastuinbouwScanner 2015 op: <https://www.agridirect.nl/persberichten/percentage-uitbreidingsplannen-in-nederlandse-glastuinbouwsector-neemt-toe>
- Ala-Kurikka, Susanne (2016) "Commission promises boost to district heating", in ENDS-Europe Daily 12 October 2016.
- Anon. (2015) Warmteronde - Cluster West; Resultaten verkennend onderzoek. Den Haag: Programmabureau warmte-koude Zuid Holland, pp. 8. Beschikbaar op: <http://warmopweg.nl/wp-content/uploads/2015/10/Resultaten-verkennend-onderzoek-warmteronde-cluster-west.pdf>
- Anon. (2016) Manifest Aan de slag met wonen zonder aardgas. Beschikbaar op: <https://www.hierverwarmt.nl/manifest>
- Berenschot (2015) Verduurzaming gebouwde omgeving door open warmtenetten. Project in opdracht van Alliander Duurzame Gebiedsontwikkeling, pp. 36.
- Berenschot (2016) Inspiratiedocument EEP 2017-2020; een overzicht van innovatieve technologieën en toepassingen hiervan in de chemische industrie. Beschikbaar op: <https://www.berenschot.nl/expertise/sectoren/energie/energie-duurzaamheid/vnci-eeep/BodemenergieNL>
- BodemenergieNL (2014) Visiedocument BodemenergieNL april 2014; zie https://issuu.com/bodemenergien/docs/standpuntenboekje_bodemenergien_lo?e=11537849/35754960
- BOOM-SI (2006) Basisdocument 'Wat is duurzaam bouwen'. Den Haag: SenterNovem. Beschikbaar op: <http://www.wegwijzerduurzaambouwen.be/pdf/175.pdf>
- Boxem, Thijs et al. (2015) Ultra-diepe geothermie in Nederland; eindrapport Friesland. Eindrapport TNO 2015 – R11617. http://nlog.nl/resources/Geothermie/2015.12.11_UltraDiepeGeothermie_Friesland_Eindrapportage.pdf
- Bundeskartellamt (2012), 'Sektor Untersuchung Fernwärme', geciteerd in Ecorys 2016:113.
- CBS (2016) <http://www.compendiumvoordeleefomgeving.nl/indicatoren/nl0554-Energieprijzen-en-wereldolieprijs.html?i=6-40>
- CE Delft (2009). Warmtenetten in Nederland. Overzicht van grootschalige en kleinschalige warmtenetten in Nederland
- CE Delft (2011) IPO Nationale Routekaart Restwarmte; een quick scan van de mogelijkheden. Delft: CE.
- CE Delft (2012) Industrie koppelen aan het warmtenet Rotterdam; Verkenning van kansen voor aansluiting van acht bedrijven in Botlek/Pernis op het warmtenet. Openbare samenvatting. Delft: CE, oktober 2012, pp. 5.
- CE Delft (2014) Gas- en warmtemarkt; Denktank Vernieuwing Energiemarkt bijlage 5.
- CE Delft (2014b) Kansen voor warmte; het technisch potentieel voor warmtebesparing en hernieuwbare warmte – Update van 200-200 in 2020. Delft: CE, februari 2014.
- CE Delft (2014c) MKBA warmte Zuid-Holland. Delft: CE.
- CE Delft (2015a) Op weg naar een klimaatneutrale gebouwde omgeving 2050. Delft: CE.
- CE Delft (2015b) Visie 2030 Glastuinbouw. Delft: CE, pp. 42.
- CE (2015c) Verkenning functionele energievraag en CO₂-emissies tot 2050. Auteurs G.E.A. Warringa & F.J. Rooijers. Delft: CE Delft.
- CE Delft (2015d) Nieuwbouwwijken zonder gas; ervaringen en leerpunten. Delft: CE, pp. 18.
- CE Delft (2016) Gastransitie en warmtenetten. Publicatienummer: 16.3Jo4.45. Delft : CE, pp. 14
- CE Delft (2016b) Een klimaatneutrale warmtevoorziening voor de gebouwde omgeving, update 2016. Delft : CE, pp. 83.
- Degens, G. et al. (2012), TNO BIA Geothermal Report: The Causes and Solutions to Poor Well Performance in Dutch Geothermal Projects. <http://www.nlog.nl/nl/geothermalEnergy/presentaties.html>
- ECN (2015a) Developments of heat distribution networks in the Netherlands. Auteurs R. Niessink, H. Rosler. ECN-E—15 069, Petten: ECN.
- ECN (2015) Eindadvies basisbedragen SDE+2015, rapport ECN-E--14-035. <https://www.ecn.nl/publicaties/PdfFetch.aspx?nr=ECN-E--14-035>
- ECN en DNV GL (2015) Eindadvies basisbedragen SDE+ 2016. Petten: ECN, rapport ECN-E—15-052. Zie <https://www.ecn.nl/publicaties/ECN-E--15-052>
- ECN en DNV GL (2016) Eindadvies basisbedragen SDE+ 2017. Petten: ECN, rapport ECN-E--16-040.
- Ecofys (2013) Warmtestromen binnen het EU-ETS. Project CMNLL11509 in opdracht van AgentschapNL, pp. 61.

- Ecofys (2015) Een evaluatie van open warmtenetten. (in opdracht van Eneco) pp. 38.
- Ecofys & Greenvis (2016) Collectieve warmte naar lage temperatuur; Een verkenning van mogelijkheden en routes. Pp. 89, in opdracht van RVO.nl voor de Topsector Energie op verzoek van de TKI Urban Energy, Projectnummer: UENNL16481, beschikbaar op: <http://www.ecofys.com/files/files/collectieve-warmte-naar-lage-temperatuur.pdf>
- Ecorys (2015) Rendementsmonitor warmteleveranciers, pp. 48.
- Ecorys (2016) Evaluatie Warmtewet en toekomstig marktontwerp warmte (in opdracht van Min. EZ). Rotterdam: Ecorys 9 febr 2016, pp. 184.
- Energietafel (2016) Visie op versnelling van de energietransitie. Beschikbaar op: <https://www.argumentenfabriek.nl/nl/nieuws/transitiecoalitie-gepresenteerd-tijdens-klimaattop-2016/?ref=%2f>
- Energy Storage NL (2016) Nationaal Actieplan Energieopslag. Beschikbaar op: <http://www.energystoragenl.nl/nationaal-actieplan-energieopslag-overhandigd-aan-de-politiek/1178>
- ELenI (2011) Actieplan Aardwarmte. Den Haag: Ministerie Economische Zaken, Landbouw en Innovatie. Beschikbaar op: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-energie/documenten/rapporten/2011/04/21/actieplan-aardwarmte>
- EZ (2015) Warmtevisie. Kamerstuk 30 196, nr. 305.
- EZ (2016) Energierapport – Transitie naar duurzaam. Pp. 148. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2016/01/18/energierapport-transitie-naar-duurzaam>
- Elzenga, Hans & Jan Ros (2014) De rol van de elektrische warmtepomp in een klimaatneutrale woningvoorraad. Den Haag: PBL, pp.11; zie: <http://www.pbl.nl/publicaties>
- GeoDH (2015) Developing geothermal district heating in Europe. <http://geodh.eu/>
- GeoElec (2013a) http://www.geoelec.eu/wp-content/uploads/2011/09/Market-Development-NL_def.pdf
- Geoelec (2013b) A prospective study on the geothermal potential in the EU. <http://www.geoelec.eu/wp-content/uploads/2011/09/D-2.5-GEOELEC-prospective-study.pdf>
- Hagendoorn, Saskia & Robert Harmsen (2011) Essay aardwarmte, in: *Energie in 2030, maatschappelijke keuzes van nu*. Amsterdam: Rathenau Instituut.
- IF (2011) Diepe geothermie 2050, Een visie voor 20% duurzame energie voor Nederland. http://geothermie.nl/fileadmin/user_upload/documents/reports/IF_Ecofys_TNO_-_Visie_diepe_geothermie.pdf
- IF-Technology (2016a) Landelijke verkenning warmte en koude uit het watersysteem. Eindrapportage 31 juli 2016. Zie: <https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2016/10/IF-Technology-Onderzoek-potentieel-warmte-koudeopslag-Waterschappen-2016.pdf>
- IF-Technology (2016b) Landelijke verkenning warmte en koude uit Rijkswateren en kunstwerken. Eindrapport 7 oktober 2016. Zie: <https://www.uvw.nl/wp-content/uploads/2016/10/IF-Technology-Onderzoek-potentieel-warmte-koudeopslag-Rijkswaterstaat-2016.pdf>
- IPO (2016) Ruim baan voor regionale warmteplannen. Zie <http://www.ipo.nl/publicaties/provincies-willen-ruim-baan-voor-regionale-warmteplannen> dd 17 juni 2016.
- Kalkman, A., H. Veldkamp, T.A.P. Boxem, J. Koornneef & M. Halter (2016) Ultra-Diepe Geothermie: Casus Almere en Barendrecht. TNO Rapport R1122q. 80p.
- Kramers, L., J.-D. van Wees, M.P.D. Pluymaekers, A. Kronimus & T. Boxem (2012) Direct heat resource assessment and subsurface information systems for geothermal aquifers; the Dutch perspective. In: *Netherlands Journal of Geosciences – Geologie en Mijnbouw* 91–4, pp. 637–649.
- Langenberg, Lex (2016) uitspraak van wethouder Mobiliteit, Duurzaamheid en Cultuur Langenberg in artikel “Wethouder Rotterdam: geen draagvlak restwarmte kolencentrales”, in: *Energiea* d.d. 17 november 2016.
- LEI (2015) Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2014. Rapport 2015-122.
- LEI (2016) Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2015. Rapport 2016-099. Den Haag: Wageningen Economic Research. https://www.kasalsenergiebron.nl/onderzoeken/e15009_energiemonitor_glastuinbouw_2014_2017/
- LEI (2016) BINternet; <http://www.agrimatie.nl/Data.aspx> geraadpleegd op 19 mei 2016.
- LTO-Glaskracht (2016) Quickscan geothermie glastuinbouw; beschikbaar op: <https://www.ltoglaskrachtenederland.nl/thema/energie/aardwarmte/quickscan-aardwarmte/>
- Matthijssen, Jan; Rob Aalbers en Ruud van den Wijngaart (2016) Klimaat en Energie achtergronddocument; WLO - Welvaart en Leefomgeving, toekomstverkenning 2030 en 2050. Den Haag: CPB en PBL. PBL-publicatie 1775. <http://www.wlo2015.nl/wp-content/uploads/pbl-2016-wlo-achtergronddocument-klimaat-en-energie-1775.pdf>
- NIA (2015) Nederlands Investerings Agentschap voor EFSI: Opstart en verdere vormgeving, Den Haag: NIA, beschikbaar op: www.goo.gl/HGEsIJ
- PBL (2014) Biomassa: wensen en grenzen, zie: <http://infographics.pbl.nl/biomassa/>
- PBL (in prep.) Resultaten van voorbeeldberekeningen met het Vesta-MAIS-model voor de nieuwe WLO-scenario's. Informatie verkregen van Ruud van den Wijngaart in november 2016.
- PBL & CPB (2015) Welvaart en Leefomgeving – langetermijnontwikkelingen rond klimaat en energie. Den Haag: PBL

- PBL & ECN (2011) Naar een schone economie in 2050: routes verkend. Hoe Nederland klimaatneutraal kan worden. Den Haag: PBL.
- PBL & ECN (2016) Nationale energieverkenning 2016 (NEV). Beschikbaar op: <http://www.pbl.nl/sites/default/files/cms/publicaties/pbl-2016-nationale-energieverkenning-2016.PDF>
- Platform Geothermie (2014) SDE+ (updated maart 2014), beschikbaar op: <http://geothermie.nl/geothermie-aardwarmte/nationaal-beleid/sde/>
- Platform Geothermie (2015) De bron van energie en de energie van bronnen. Beschikbaar op: <http://geothermie.nl/geothermie/de-bron-van-de-energie/>
- PwC (2015) De mogelijkheden voor TPA op warmtenetten. Amsterdam: PwC.
- Rli (2015) Rijk zonder CO₂; Naar een duurzame energievoorziening in 2050. Advies september 2015. http://www.rli.nl/sites/default/files/advies_rijk_zonder_co2_interactief_voor_website_1.pdf
- Ros, Jan & Klara Schure (2016) Vormgeving van de Energietransitie. Beleidsstudie, publicatie 1747, Den Haag: PBL.
- Ronde, Katrijn de (2016) "Zware industrie heeft oplossing om besparing te versnellen", in: *Energieia* 5 oktober 2016.
- RVO (2015) Protocol monitoring duurzaam energie. Herziening 2015.
- RVO (2016a) Geothermie; beschikbaar op: <http://www.rvo.nl/sites/default/files/2016/02/Tabel%20Geothermie%20SDE%202016.pdf>
- RVO (2016) Energie Chemiewijzer. Beschikbaar op: <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-besparen/chemiewijzer/energie>
- RVO (2016b) Windenergie op zee; beschikbaar op: <http://www.rvo.nl/subsidies-regelingen/sde/windenergie-op-zee>
- Savelkouls, Jeroen (2016) "Kamp verlengt garantieregeling aardwarmte met vijf jaar", in: *Energieia* 12 juli 2016.
- SER (2013) Energieakkoord voor duurzame groei. Den Haag: Sociaal-Economische Raad.
- SMV (2016) Dutch smart thermal grid NL; strategie voor verduurzaming van de warmtevoorziening. Rotterdam: Studie Marco Vermeulen, pp.59.
- SPICE3 (2016) Sector Platform in Chemicals for Energy Efficiency Excellence, zie: <http://www.spice3.eu/index.php/NL/>
- TNO (2015) DELFSTOFFEN EN AARDWARMTE IN NEDERLAND, Jaarverslag 2014. Den Haag: EZ, www.nlog.nl pag. 56 ev.
- Van Tongeren, Liesbeth & Jan Vos (2016) Motie 55 en Motie 54. Beschikbaar op: https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken?qry=*&fld_tk_categorie=Kamerstukken&srt=date:desc:date&Type=Kamerstukken&clusterName=Moties&fld_prl_kamerstuk=Moties
- Van Wees, J.D., Kronimus, A., Van Putten, M., Pluymaekers, M., Mijnlief, H., Van Hooff, Obdam, A., Kramers, L. (2012). Geothermal aquifer performance assessment for direct heat production. Methodology and application to Rotliegend aquifers. In: *Netherlands Journal of Geosciences* 91-4, pp. 651-665.
- VEMW (2016) Samen op weg naar minder; Hoe Nederlandse energie-intensieve bedrijven helpen om de CO₂-uitstoot te verlagen. Woerden: VEMW, kenniscentrum en belangenbehartiger van zakelijke energie- en waterverbruikers. Pp.38. <http://www.vemw.nl/Nieuwsoverzicht/Plan-industrie-CO2-reductie.aspx>
- Vollebergh, Herman, et al. (2016) Belastingverschuiving: meer vergroening en minder complexiteit? Verkenning van trends en opties, Den Haag: PBL (Planbureau voor de Leefomgeving, PBL-publicatienummer: 1737
- Werkgroep MWZH, Marktplaats Warmterotonde Zuid-Holland (2015) Warmte in alle openheid; Een warmtemarkt in Zuid-Holland. Te vinden op: <http://www.zuid-holland.nl/onderwerpen/energie/warmte-warmterotonde/@11801/onderzoek/>
- WRR (2016) Klimaatbeleid voor de lange termijn: van vrijblijvend naar verankerd, WRR-Policy Brief 5, auteurs Faber, A., P. de Goede en M. Weijnen, Den Haag: WRR.



Planbureau voor de Leefomgeving

Postadres
Postbus 30314
2500 GH Den Haag

www.pbl.nl
[@leefomgeving](https://twitter.com/leefomgeving)

Maart 2017