



Ministerie van Klimaat en
Groene Groei

Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen

Een inventarisatie en wegwijzer voor
duurzame collectieve warmte in Nederland

Inhoud

Voorwoord

Samenvatting

1 Inleiding

- 1.1 Aanleiding en doelen
- 1.2 Achtergrond
- 1.3 Wat is duurzame (collectieve) warmte
- 1.4 Configuraties van warmtenetten
- 1.5 Koudevraag

2 Doelen en opgave voor collectieve warmte

- 2.1 Ontwikkeling van de warmtevraag
 - 2.1.1 Warmtevraag in de gebouwde omgeving
 - 2.1.2 Warmtevraag in de glastuinbouw
- 2.2 Bronnenmix voor collectieve warmtenetten
- 2.3 Opgave opschaling collectieve warmtevoorzieningen
- 2.4 Uitgangspunten beleid
 - 2.4.1 Sturen op duurzame en efficiënte warmtenetten
 - 2.4.2 Stimuleren warmteopslag
- 2.5 Ontwikkeling van de huidige bronnen
 - 2.5.1 Verwachte ontwikkelingen van de huidige bronnen tot 2030
 - 2.5.2 Verwachte ontwikkelingen van de huidige bronnen tussen 2030 en 2040
 - 2.5.3 Verwachte ontwikkelingen van de huidige bronnen tussen 2040 en 2050
- 2.6 Prognose warmteketen in het NPE
- 2.7 Impact op het elektriciteitsnetwerk

4

5

6

6

7

7

8

9

10

10

10

11

12

13

13

13

14

14

15

15

15

15

17

3 Hoofdpijnen van het beleid

- 3.1 Governance
 - 3.1.1 Internationale richtlijnen
 - 3.1.2 Programma's verduurzaming warmtevoorziening
- 3.2 Wetgeving
 - 3.2.1 Wet collectieve warmte (Wcw)
 - 3.2.2 Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw)
- 3.3 Financiering en realisatiekracht
 - 3.3.1 SDE++
 - 3.3.2 Overige financieringsinstrumenten
 - 3.3.3 Waarborgfonds
 - 3.3.4 Nationale deelneming
- 3.4 Kennisontwikkeling en innovatie

4 Duurzame warmtebronnen

- 4.1 Geothermie
 - 4.1.1 Temperatuurniveaus en mogelijke opbrengst
 - 4.1.2 Stand van zaken
 - 4.1.3 Eigenschappen en uitdagingen
 - 4.1.4 Ontwikkelperspectief en beleid
 - 4.1.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming
 - 4.1.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie
- 4.2 Restwarmte
 - 4.2.1 Temperatuurniveaus en mogelijke opbrengst
 - 4.2.2 Stand van zaken
 - 4.2.3 Eigenschappen en uitdagingen
 - 4.2.4 Ontwikkelperspectief en beleid
 - 4.2.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming
 - 4.2.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

18

18

18

19

20

20

23

24

24

24

25

25

25

28

28

28

30

30

31

33

33

35

36

38

38

39

40

40

4.3 Aquathermie	41	5.3 Warmteopslag	65
4.3.1 Temperatuurniveaus en potentiële opbrengst	43	5.3.1 Temperatuurniveaus	68
4.3.2 Stand van zaken	44	5.3.2 Stand van zaken	69
4.3.3 Eigenschappen en uitdagingen	45	5.3.3 Eigenschappen en uitdagingen	69
4.3.4 Ontwikkelperspectief en beleid	46	5.3.4 Ontwikkelperspectief en beleid	70
4.3.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming	46	5.3.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming	70
4.3.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie	47	5.3.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie	71
4.4 Zonthermie	48	5.4 Piekvoorziening	73
4.4.1 Temperatuurniveaus en mogelijke opbrengst	48	5.4.1 Temperatuurniveaus en potentiële opbrengst	75
4.4.2 Stand van zaken	50	5.4.2 Stand van zaken	76
4.4.3 Eigenschappen en uitdagingen	51	5.4.3 Eigenschappen en uitdagingen	76
4.4.4 Ontwikkelperspectief en beleid	52	5.4.4 Ontwikkelperspectief en beleid	77
4.4.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming	52	5.4.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie	78
4.4.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie	53		
4.5 Aerothermie	54	6 Visie op de toekomst van duurzame collectieve warmte	79
4.5.1 Temperatuurniveaus en potentiële opbrengst	54	6.1 Verwachtingen over de groei van warmtenetten en bronnen	79
4.5.2 Stand van zaken	54	6.2 Visie op de duurzame bronnenmix	82
4.5.3 Eigenschappen en uitdagingen	55	6.3 Beleidsuitgangspunten voor verdere opschaling	85
4.5.4 Ontwikkelperspectief en beleid	56	6.4 Tot slot	89
4.5.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming	56		
4.5.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie	56	Bijlage A: Methodologie potentieelbepaling	90
5 Aanvullende warmtetechnieken	58	Bijlage B: Categorisering van de praktijksignalen voor beleidsoverweging	92
5.1 Warmtepompen	58	1. Onderdeel van lopend beleid of al toegezegde maatregelen	92
5.1.2 Stand van zaken	59	2. Mee te nemen in lopend beleid	93
5.1.3 Eigenschappen en uitdagingen	60	3. Te overwegen voor mogelijk nieuwe of herziene maatregelen	93
5.1.4 Ontwikkelperspectief en beleid	60		
5.1.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming	60	Bijlage C: Geconsulteerde sectorpartijen	96
5.1.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie	61		
5.2 Elektrische boiler	62		
5.2.1 Temperatuurniveaus en potentiële opbrengst	62		
5.2.2 Stand van zaken	62		
5.2.3 Eigenschappen en uitdagingen	63		
5.2.4 Ontwikkelperspectief en beleid	64		
5.2.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming	64		
5.2.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie	64		



Voorwoord

We stappen over van fossiele naar duurzame energie. Om klimaatverandering tegen te gaan en minder afhankelijk te worden van energie uit het buitenland. De warmtetransitie speelt daarbij een belangrijke rol. Zo'n 8 miljoen huizen, 1 miljoen gebouwen en de glastuinbouw moeten in 2050 aardgasvrij zijn. Dit vraagt naast energie besparen en isoleren ook om een duurzamere manier van huizen en gebouwen verwarmen. Bijvoorbeeld via duurzame warmtenetten.

Het verduurzamen van warmtenetten gaat niet van de een op de andere dag. Het vraagt een flinke inzet van partijen en veel komt neer op goede samenwerking. Wat er voor de verduurzaming nodig is, welke uitdagingen en kansen daar liggen en wat ieders rol is, kunt u lezen in dit 'Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen'. Met de inbreng van een brede groep partners en experts in de warmtetransitie heeft het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) een volledig beeld kunnen schetsen van de warmtebronnen en hun toekomstperspectief, en de signalen gebundeld waar er mogelijk nog extra inzet nodig is. De prettige samenwerking tijdens dit schrijfproces weerspiegelt de gedeelde verantwoordelijkheid om het ontstaan van duurzame warmtenetten ook samen te realiseren, ieder vanuit zijn eigen rol.

Het verduurzamen van warmtenetten en het ontwikkelen van duurzame bronnen is een lokale opgave voor de warmtebedrijven en sectorpartijen met een toenemende betrokkenheid van gemeenten. Tegelijkertijd heeft het ministerie gezien dat er behoefte is aan een objectieve en volledige waardering van de verschillende bronnen en technieken, en duidelijker uitspraken van het Rijk over de verwachtingen en uitgangspunten voor de bronnenmix die gaandeweg ontstaat. Daarom ligt er nu dit 'Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen', bedoeld als een wegwijzer naar de actuele informatie en toekomstige ontwikkelingen.

Waar het ons uiteindelijk om gaat? Om het creëren van de juiste omstandigheden voor de uitrol van duurzame warmtenetten. Om het voor een flink deel van onze huishoudens en bedrijven aantrekkelijk te maken om via deze systemen duurzaam verwarmd en soms gekoeld te worden. Om zo het energiesysteem te helpen ontlasten nu er in toenemende mate elektrificatie plaatsvindt. We kijken mee met gemeenten, warmtebedrijven en sectorpartijen naar waar we toekomstbestendige warmtesystemen kunnen ontwikkelen en wat daarvoor nodig is.

Met deze publicatie hebben we meerdere doelen.

In de eerste plaats is het een neutrale weergave van de verschillende bronnen en hoe ze zich tot elkaar (kunnen) verhouden. Zo kunnen samenwerkende partijen hetzelfde vertrekpunt gebruiken bij hun samenwerking, besluitvorming en communicatie. In de tweede plaats willen we een vooruitblik geven op hoe de bronnenmix eruit kan komen te zien – en hoe we daarbij moeten zorgen voor de nodige flexibiliteit, leveringszekerheid en betaalbaarheid. Dit document is ook een voorzet. Onze partners van het Nationaal Programma Regionale Energie Strategie (NP RES) en het Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW) zullen op deze basis voortbouwen met eigen producten die lokale partijen handelingsperspectief geven en ze daar actief mee benaderen.

De warmtetransitie vraagt om maatwerk. Dit document schetst wat er mogelijk en nodig is. Samen met de betrokken partijen werkt KGG aan het besef en de uitdaging dat warmtenetten stapsgewijs volledig duurzaam moeten worden. Het is de taak van warmtebedrijven om voor elk net de optimale bronnenstrategie te maken en bronnen te (laten) ontwikkelen. Zij vinden in de lokale overheden en het Rijk bereidwillige partners.

Michel Heijdra
Directeur-Generaal Klimaat en Energie





Samenvatting

Duurzame collectieve warmtesystemen zijn een belangrijk onderdeel van de klimaatneutrale samenleving in 2050. In het NPE zijn scenario's geschetst waarbij 15-45% van de gebouwde omgeving is aangesloten op een collectieve warmtevoorziening. Inclusief de warmtevraag uit de glastuinbouw vraagt dit dan maximaal 250 PJ aan duurzame bronnen die de warmtenetten voeden.

De doelstellingen uit het Klimaatakkoord voor de gebouwde omgeving en de glastuinbouw resulteren in een geplande inzet van ongeveer 50 PJ, respectievelijk 30 PJ aan duurzame bronnen in 2030. Momenteel is er in totaal 20 PJ collectieve warmte afkomstig van duurzame bronnen.

Er moet dus een aanzienlijke opschaling op gang komen, ook op relatief korte termijn. Overal waar het aanbod van warmte kan matchen met de warmtevraag in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw, en een warmtenet kosteneffectief kan worden ontwikkeld, is dat vaak de maatschappelijk wenselijke oplossing. Daarbij zijn duurzaamheid, betaalbaarheid, leveringszekerheid en een slimme inzet van warmte binnen het energiesysteem de belangrijkste randvoorwaarden vanuit ons beleid. Gezien de diversiteit aan de vraag- en aanbodkant is het te verwachten dat er meer variatie ontstaat in typen collectieve warmtesystemen. Niet alleen de bronnen zien er in 2050 anders uit, maar ook zullen er allerlei smaken zijn in temperatuurniveaus, de manier van opwaarde-ring (zowel centraal als decentraal) en afgiftesystemen.

De groei van de duurzame warmtebronnen en -technieken die we de komende jaren moeten gaan zien, is een resultaat van de keuzes die we lokaal maken. Het Rijk is verantwoordelijk voor het scheppen van de benodigde randvoorwaarden die deze groei mogelijk maken. Warmtebedrijven en bronontwikkelaars bepalen in samenspraak met de gemeenten en provincies welke bron zij op welke plek ontwikkelen. Elk (voorgenomen) warmtenet vraagt een lokaal bepaalde bronnen-strategie met een optimale inzet van warmtebronnen. Dat betekent allereerst zo goed mogelijk aansluiten op de lokale warmtevraag en kiezen voor het type warmtesysteem dat daarbij voor de toekomst de meeste maatschappelijke waarde heeft. Daarbij is het uitgangspunt dat we warmte-bronnen zoveel mogelijk moeten inzetten op hun eigen temperatuurniveau, dus zonder opwaardering als die vermeden kan worden. Het ons bekende potentieel van de bronnen en technieken lijkt ruim voldoende voor de voorziene warmtevraag, maar we zien ook dat alle typen bronnen nodig zijn en verdere ontwikkeling vergen.

Deze publicatie laat zien dat er een grote verscheidenheid aan duurzame bronnen beschikbaar is. We onderscheiden 5 hoofdtypen: geothermie, aquathermie, zonthermie, aerothermie en rest-warmte. 4 groepen van aanvullende warmtetechnieken kunnen we inzetten om de warmte uit deze bronnen bruikbaar(der) te maken voor collectieve warmtelevering: collectieve warmtepompen, elektrische boilers, warmteopslag en piekvoorziening.

De variërende vraag naar warmte (en eventueel koude) gedurende het jaar moet ingevuld worden door een samenspel van verschillende bron(nen) en warmtetechnieken: basis-, midden-, en pieklast. Duurzame bronnen sluiten doorgaans het beste aan bij de continue vraag om basislast, het verduurzamen van de midden- en pieklast vraagt daarom extra aandacht. Daarbij is het perspectief op het hele energiesysteem van groot belang. Vraagreductie, warmteopslag en elektrificatie (inclusief de vereiste flexibiliteit) vereisen daarom onze aandacht. Het is belangrijk dat we de voordelen van goede systeemintegratie structureel gaan herkennen en benutten.

Nederland kan mogelijk profiteren van technieken en organisatievormen waar andere landen al veel praktijkervaring mee hebben. Dit geldt bijvoorbeeld voor zonthermie in Denemarken en de toepassing van warmtepompen eveneens in Denemarken, maar ook in Zweden, Noorwegen en Finland.



1 Inleiding

Het kabinet zet in op een klimaatneutrale samenleving in 2050. Om dat doel te halen is een ander energiesysteem nodig. Een van de grootste uitdagingen de komende jaren is de warmtetransitie: hoe maken we op een slimme manier de overstap van aardgas naar duurzame manieren van verwarmen? In de gebouwde omgeving en glastuinbouw krijgen inwoners, gebouweigenaren en ondernemers vroeg of laat allemaal te maken met de overstap naar een duurzame warmtevoorziening, met een individueel systeem (warmtepomp) of een collectief systeem in de vorm van een warmtenet.

Om het hele jaar door in elk warmtenet efficiënt warmte te kunnen leveren is een mix van duurzame bronnen beschikbaar. Daarin onderscheiden we 5 hoofdtypen: geothermie, aquathermie, zonthermie, aerothermie (warmtewinning uit de lucht) en restwarmte. 4 groepen van aanvullende warmtetechnieken zijn inzetbaar om de warmte uit deze bronnen bruikbaar(der) te maken voor collectieve warmtelevering: collectieve warmtepompen, elektrische boilers, warmteopslag en piekvoorziening. Al deze bronnen en technieken zullen een rol van betekenis spelen in onze toekomstige warmtevoorziening. Dit 'Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen' is bedoeld om een zo volledig mogelijk en begrijpelijk beeld te geven van deze opties, hoe ze zich tot elkaar verhouden en wat we (kunnen) verwachten van hun ontwikkeling.

1.1 Aanleiding en doelen

Om te begrijpen vanuit welk perspectief en met welk doel dit stuk is geschreven, is het belangrijk om te weten hoe het Rijk tegen de opgave voor de duurzame warmtebronnen aankijkt.

De uitrol en verduurzaming van warmtenetten gebeurt per definitie op het lokale of soms regionale schaalniveau. De warmtevraag, beschikbaarheid van bronnen en andere beperkingen en kansen zijn sterk situatieafhankelijk. Daarom moeten gemeenten en warmtebedrijven voor elk (voorgenomen) warmtenet een bronnenstrategie opstellen. De groei van de duurzame warmtebronnen en -technieken die we de komende decennia gaan zien, ontstaat uit de keuzes die we lokaal maken. De Rijksoverheid zit dus alleen indirect aan de knoppen voor die opschaling. Vooral de warmtebedrijven bepalen in samenspraak met de gemeenten en provincies welke bron zij op welke plek nodig hebben. Hoe de landelijke bronnenmix zich ontwikkelt wordt dus *bottom up* bepaald.

Uiteraard spelen de koepelorganisaties, brancheverenigingen en andere betrokken partijen een grote rol in de ontwikkeling van de technieken en een effectieve samenwerking. Zij bepalen mede hoe de warmtenetten er in 2050 uitzien. Tot slot heeft het Rijk de middelen en instrumenten om de transitie de goede kant op te sturen. Het beleid richt zich op het scheppen van de juiste condities. Zo kunnen we duurzame warmtebronnen ontwikkelen waar dat maatschappelijk, technisch en economisch wenselijk en haalbaar is. Met het (door)ontwikkelen van beleidsmaatregelen stuurt het Rijk techniekneutraal op de groei van alle duurzame warmtebronnen die in Nederland inzetbaar zijn. Die maatregelen bepalen mede (maar niet uitsluitend) hoeveel van het potentieel we uiteindelijk benutten.

Het Rijk stuurt niet op (kwantitatieve) ontwikkeldoelen voor de afzonderlijke bronnen. Ze stuurt op het vergroten van het brede ontwikkelpotentieel zodat elk net een passende bronnenstrategie krijgt. Het afsluitende [hoofdstuk 6](#) gaat hier verder op in.

Met dit document geeft het ministerie van KGG een dwarsdoorsnede van de beschikbare duurzame warmtebronnen. Ook schetst het de partijen, initiatieven en kennistracten waar verdere informatie en praktijkervaring beschikbaar zijn. Het moet ook een weergave zijn van de betrokkenheid en verwachtingen van de belangrijkste medespelers in de warmtetransitie. Vertegenwoordigers van warmtebedrijven, netbeheerders, brancheverenigingen en koepelorganisaties zijn uitgebreid geconsulteerd bij het schrijven van het 'Ontwikkelperspectief'¹. Hun inbreng is zoveel mogelijk verwerkt. De bedoeling is dat er daarmee een zo volledig mogelijk, breed gedragen en bruikbaar document ligt.

Het 'Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen' heeft 4 hoofdonderdelen:

1. Schets van de opgave voor duurzame collectieve warmte ([hoofdstuk 2](#));
2. Context van relevante hoofdpunten in het huidige beleid ([hoofdstuk 3](#));
3. Beschrijving van de verschillende warmtebronnen en -technieken, hun ontwikkeling en belangrijkste eigenschappen en uitdagingen ([hoofdstukken 4 en 5](#));
4. Samenvattende constatering, visie op de ontwikkeling van een duurzame bronnenmix en uitgangspunten voor verdere groei van de bronnen ([hoofdstuk 6](#)).

¹ Zie [bijlage C](#) voor een overzicht van de geconsulteerde organisaties



Het 'Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen' is een actuele weergave van de inzetbaarheid, ontwikkeling en uitdagingen van alle CO₂-vrije warmtetechnieken. Ook geeft het een vooruitblik op het samenspel dat ontstaat tussen de warmtebronnen en -technieken. Dit document is onder andere bedoeld als inhoudelijke onderlegger voor de medeoverheden, warmtebedrijven en andere betrokkenen om met gelijke verwachtingen samen te kunnen werken. Het overzicht en de richtinggevende beleidsuitgangspunten die hoofdstuk 6 geeft helpen bij het maken en beargumenteren van keuzes. Het is een aanmoediging om over gemeente- en systeemgrenzen heen te kijken en waar mogelijk in regionaal verband een bronnenstrategie te ontwikkelen waar het energiesysteem bij gebaat is.

De geconsulteerde partijen voerden vanuit hun rol en praktijkervaringen verschillende signalen aan over obstakels en verbeterpunten voor de opschaling. We zien dat als waardevolle aanbevelingen voor de politiek en Rijksoverheid om te kunnen bepalen waar extra beleidsinzet nodig is om de groei van duurzame bronnen in een robuust energiesysteem een extra impuls te geven. Daarbij zitten ook maatregelen waarbij de betreffende partijen zelf een taak hebben.

Met dit document geeft het ministerie van KGG een (eerste) invulling aan de lijnen die in het NPE voor de warmteketen en gebouwde omgeving zijn uitgezet. Een belangrijke constatering is dat er voldoende potentieel is om beschikbare warmte effectief te benutten en bij te dragen aan een robuust energiesysteem. Om de nodige systeemintegratie en flexibilisering te realiseren, geven we in hoofdstuk 6 een paar uitgangspunten om beleid verder te ontwikkelen.

We vinden het erg belangrijk dat dit 'Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen' bijdraagt aan de taken die gemeenten, provincies en warmtebedrijven hebben in het vaststellen van bijvoorbeeld Warmteprogramma's, een Regionale Structuur Warmte en het opstellen van kavelplannen. Daarvoor is het nodig dat de verwachtingen en uitgangspunten uit deze publicatie, met name [hoofdstuk 6](#), daarvoor toepasbaar worden gemaakt. Daarom is dit uitdrukkelijk bedoeld als basis waaruit het NPLW en NP RES ondersteunende en adviserende producten kunnen ontwikkelen. Samen met deze programma's en de andere betrokken organisaties bouwen we voort op deze inventarisatie en toekomstschets.

1.2 Achtergrond

Europese en nationale regelgeving is erop gericht om het gebruik van fossiele brandstoffen af te bouwen. Dit is vastgelegd in de Klimaatwet en het Klimaatakkoord. Hierin staat de vermindering van broeikasgassen genoemd als doel: in 2030 een vermindering van 55% en in 2050 een

vermindering van 95% (vergeleken met 1990). Deze doelen zijn in het Programma Verduurzaming Gebouwde Omgeving (PVGGO) vertaald naar de ambitie dat er in 2030 500.000 nieuwe warmtenet-aansluitingen gerealiseerd zijn. Het stimuleren van duurzame bronnen en warmte-infrastructuur is onderdeel van één van de 5 actielijnen van het programma. De gemeenten hebben de regierol bij het realiseren van de warmtetransitie, welke stapsgewijs met een wijkgerichte aanpak moet worden uitgerold.

De glastuinbouw heeft de ambitie om in 2040 klimaatneutraal te zijn. Belangrijke stappen daarin zijn energiebesparing en het verduurzamen van de warmtebronnen. De ambities ten aanzien van de gebouwde omgeving en de glastuinbouwsector komen terug in het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) dat eind 2023 gepresenteerd is. In het NPE staan de contouren van het energiesysteem van Nederland in 2050. Een duurzame warmteketen voor (met name) de gebouwde omgeving en glastuinbouw is een belangrijk onderdeel van het plan.

Gemeenten krijgen met de beoogde Wet collectieve warmte en de Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie belangrijke instrumenten en bevoegdheden om hun regierol uit te voeren. Zij bepalen in de Transitievisie Warmte (TVW) ofwel het 'Warmteprogramma', welke warmteoplossing voor welke wijk het beste is. Voor warmtenetten stellen zij de kavels vast waarin een warmtenet ontwikkeld en geëxploiteerd mag worden door een warmtebedrijf of warmtegemeenschap. Daarvoor moeten er duurzame bronnen voorhanden zijn.

1.3 Wat is duurzame (collectieve) warmte

Een warmtenet is collectieve (gezamenlijke) infrastructuur die afnemers voorziet van warmte, meestal met water als medium, die kan worden gebruikt voor ruimteverwarming en/of het maken van warm tapwater. We spreken over een collectief warmtesysteem als er meerdere kleinverbruikers op zijn aangesloten. Zo'n systeem bestaat minimaal uit grofweg 3 grote onderdelen:

- Warmtebron(nen), eventueel met één of meerdere aanvullende warmtetechnieken
- Distributienet
- Installatie voor in pandige aflevering

In Nederland zijn ongeveer 490.000 woningen aangesloten op een collectief warmtesysteem, wat neerkomt op ruim 6% van de huidige woningvoorraad. (cijfers 2022²). Het aandeel duurzame energie daarvan is momenteel ongeveer 38%. De komende jaren moeten deze aantallen en

² [Duurzaamheidsrapportage 2022 \(rvo.nl\)](#)



duurzaamheidscijfers sterker gaan groeien om de gebouwde omgeving en de glastuinbouw volgens de afspraken te verduurzamen. In de scenario's van het NPE is ervan uitgegaan dat uiteindelijk 15-45%³ van de gebouwde omgeving in 2050 is aangesloten op een warmtenet.

De temperatuur in een warmtenet kan verschillen. We delen dit op in 4 temperatuurniveaus (zie tabel 1). De aanvoertemperatuur hangt af van de behoeftes van de gebouwen en de beschikbare bron(nen). De (middel)grote warmtenetten worden op dit moment nog voornamelijk gevoed door warmtekachtkoppeling-installaties (WKK's) in elektriciteitscentrales en aftapwarmte uit afvalverbrandingsinstallaties. Kleinere collectieve systemen worden vaak gevoed met bodem-energie en/of aquathermie.

Temperatuurniveaus in het warmtenet

Temperatuur-niveau warmtenet ⁴	Aanvoer-temperatuur	Toepassing gebouwde omgeving - ruimteverwarming	Toepassing gebouwde omgeving - tapwaterbereiding	Toepassing glastuinbouw
Hoge temperatuur (HT)	> 75°C	Ook toepasbaar in slecht geïsoleerde woningen	Direct via afleverset	Directe toepassing via buffer en buisverwarming in kas
Midden temperatuur (MT)	55°C - 75°C	Ook toepasbaar in matig geïsoleerde woningen (afhankelijk van afgiftesysteem en temperatuurniveau)	Direct via afleverset	Directe toepassing via buffer en buisverwarming in kas
Lage temperatuur (LT)	30°C - 55°C	Toepasbaar in goed geïsoleerde woningen en met lage-temperatuur radiatoren of vloerverwarming	Aanvullende voorzieningen nodig zoals een boosterwarmtepomp	Warmtepomp, luchtslurven of circulatie van warmtelucht
Zeër lage temperatuur (ZLT)	< 30°C	Toepasbaar in goed geïsoleerde woningen met individuele warmtepomp voor verwarming. Meestal ook geschikt voor koeling.	Meestal vanuit de individuele combi warmtepomp, waarmee ook ruimteverwarming wordt geleverd	Warmtepomp, luchtslurven of circulatie van warmtelucht

Tabel 1

³ Nationaal Plan Energiesysteem Verdiepsdocument C - Transitiepaden gebruikssektoren | Rapport | Rijksoverheid.nl
⁴ Warmtenet | Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (nplw.nl)

Voor het verwarmen van de kassen in de glastuinbouw worden tot nu toe vooral WKK's of gasketels gebruikt. Daaruit wordt ook extra CO₂ afgevangen en in de kassen gebracht om planten te laten groeien. In beide gevallen worden stookolie of aardgas gebruikt om warmte, elektriciteit en CO₂ te produceren. Op dit moment wekt de sector zo'n 85% van de warmte op met fossiele bronnen. De aardgas-WKK's hebben vooralsnog een waardevolle rol in het balanceren van het elektriciteitsnet. De bijkomende warmte wordt in een warmtebuffer opgeslagen voor later gebruik. In de glastuinbouw zien we steeds vaker dat er duurzame warmte wordt gebruikt, met name uit geothermie. De komende jaren verwachten we een verdere groei van het gebruik van aardwarmte en all-electric warmtepompen in deze sector. Omdat die bronnen geen CO₂ leveren wordt er onderzoek gedaan naar CO₂ -afvang en -transport. Daarnaast streeft de sector naar verdere energiebesparing. Zo wil de glastuinbouw de ambitie halen om in 2040 klimaatneutraal te zijn.

1.4 Configuraties van warmtenetten

Afhankelijk van de temperatuur van de bronnen en de warmtevraag bij de gebruikers zijn vaak meerdere keuzes mogelijk over hoe een warmtenet uit verschillende onderdelen wordt opgebouwd. De verschillende mogelijke samenstellingen worden wel 'configuraties' genoemd. Een besluit over met name het gewenste temperatuurniveau van het net is daarbij bepalend voor de keuzemogelijkheden over de verdere samenstelling van het systeem. De belangrijkste vraag hierbij is waar in de keten de opwaardering van temperatuur gebeurt. Bij de bron, ergens decentraal of bij de eindgebruiker? Ook de vraag waar de thermische opslag plaatsvindt is belangrijk voor configuratie. Elke configuratie vergt een andere warmtebronnenstrategie. De vraag waar in de keten de temperatuur wordt opgewaardeerd speelt vooral bij het gebruik van zeer lage temperatuur-bronnen (ZLT). Ook een combinatie van configuraties is mogelijk, bijvoorbeeld wanneer netten worden gekoppeld of cascadering van het temperatuurniveau wordt toegepast. Bij de keuze voor een configuratie kunnen ook factoren zoals complexiteit in de woning, ruimtebeslag en de duurzaamheid van materiaalgebruik meewegen. De afgelopen twee jaar zijn hier onder leiding van de TKI Urban Energy en het PAW/NPLW studies naar gedaan, de uitkomsten daarvan worden nog uitgewerkt om er voor gemeenten bruikbare inzichten en basiskeuzes mee te presenteren.

De ontwikkeling van warmtenetten kan worden opgedeeld in 'generaties', het kan voorkomen dat er internationaal andere definities voor temperatuurniveaus worden gebruikt. In de publicatie '4th Generation District Heating (4GDH)' van Lund et al. (2014) worden verschillende 'generaties' warmtelevering besproken. Hierbij spelen zowel de temperatuur van de warmtenetten als de bronnen een rol. De huidige ontwikkelingen rondom warmtenetten omvatten ook 5^e generatie



netten⁵, dit zijn systemen die zorgen voor verwarming en koeling en gebruik maken van lokale bronnen op (zeer) lage temperatuur.

1.5 Koudevraag

In de energietransitie is volop aandacht voor de overstap naar duurzame warmte en de verwachte groei van collectieve warmtesystemen. Naast de nodige overstap op duurzame warmte is er een groeiende koudevraag in de gebouwde omgeving. Dit is mede een gevolg van klimaatverandering en het stedelijk hitte-eiland effect. De toenemende koelbehoefte uit zich in de praktijk in de recordaantallen airco's die de afgelopen jaren en met name in de zomer van 2023 zijn verkocht.

Individuele warmtepompen kunnen met de juiste afgiftesystemen ook koeling verzorgen, die potentie geldt ook voor collectieve ZLT-warmtesystemen – vaak aangeduid als 'bronnetten'. Bij zulke netten gaat een aantal warmtetechnieken hand in hand, zoals warmte- en koudeopslag (WKO) en aquathermie. De verwachting is dat koude gaandeweg een steeds grotere rol gaat spelen bij het ontwikkelen van duurzame warmtesystemen.

In deze publicatie wordt koude niet als aparte voorziening of techniek beschreven, we beperken ons tot de warmtebronnen. Het beperken van de koelvraag in woningen en gebouwen en het mogelijk maken van een duurzame koudevoorziening is een beleidsopgave die de hele gebouwde omgeving omvat. Momenteel wordt gewerkt aan het ontwikkelen van de kennis die nodig is om vervolgstappen te zetten op de 'Kennisagenda toekomstige koudevraag woningen'⁶. Ook de Topsector Energie speelt een rol in de kennisontwikkeling zodat we kunnen inspelen op de impact van klimaatverandering op de warmte- en koudevraag⁷.

⁵ 5e generatie warmte- en koudenetten | Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (nplw.nl)

⁶ Ministerie van BZK, 2023. Kennisagenda toekomstige koudevraag woningen (Rijksoverheid.nl)

⁷ TKI Urban Energy en RVO.nl, 2023. Studie 'Toekomstige klimaatjaren voor de gebouwde omgeving'



2 Doelen en opgave voor collectieve warmte

2.1 Ontwikkeling van de warmtevraag

Naarmate de warmtetransitie vordert zullen toenemende schaarste, maatschappelijke weerstand en prijsstijgingen er steeds sterker voor zorgen dat fossiele warmtebronnen voor onze warmtevoorziening minder aantrekkelijk en uiteindelijk duurder worden dan de duurzame alternatieven. We kunnen fossiele bronnen in warmtenetten vervangen door duurzame warmtebronnen. Denk aan zon, lucht, water, geothermie en restwarmte. Warmtepompen, elektrische boilers en warmteopslag spelen daarbij een belangrijke rol. Ook het bredere energiesysteem en de infrastructuur moeten (deels) veranderen voor de warmtetransitie.

2.1.1 Warmtevraag in de gebouwde omgeving

De huidige warmtevraag van de gebouwde omgeving wordt bepaald door de buitentemperatuur, de mate van isolatie en de behoefte aan warm tapwater. In de koudere maanden van het jaar is er een hogere warmtevraag dan in de warmere maanden. Als we de cijfers in een grafiek zetten, zien we dat een deel van die warmtevraag jaarrond min of meer constant is. Deze constante warmtevraag noemen we ook wel basislast. Dit gaat vooral over warm tapwater. Voor de koudste maanden van het jaar zien we een stabiele verhoogde warmtevraag, de zogenaamde middenlast. In een klein aantal weken van het jaar is er meer warmtevraag door lage buitentemperaturen. Dit noemen we pieklast. Het is belangrijk dat we de warmtevraag (behoefte) van afnemers weten. En de verwachte warmtevraag door het jaar heen voor de inrichting van het (nieuwe) energiesysteem.

Ons doel is om de warmtevraag in de toekomst betrouwbaar, betaalbaar en duurzaam in te vullen. Voor collectieve warmtelevering zijn verschillende duurzame bronnen nodig. Daarbij gebeurt de opwekking van warmte steeds meer decentraal en lokaal. Duurzame warmtebronnen zijn meestal kleiner (van capaciteit) en het transport van warmte gaat gepaard met energieverlies. Daarom gebeurt de opwekking van warmte steeds meer decentraal en lokaal. De ideale warmtebron en configuratie van het warmtenet zijn situatie- en locatieafhankelijk.

Cijfers over de verwarmingsvraag in de gebouwde omgeving

Verwarmingsvraag in de gebouwde omgeving	
Aantal gebouwen totaal (woningequivalenten; weq)	Circa 10 miljoen (2021) ⁸
Huidige verwarmingsvraag gebouwde omgeving (PJ)	432 PJ ⁹
Huidig aandeel warmtenet	19 PJ
Aantal aansluitingen warmtenet (2022)	Circa 490.000 ¹⁰
Doel 2030 – nieuwe aansluitingen warmtenet	500.000 weq (bestaande bouw en ten opzichte van 2021) + nieuwbouw ca. 170.000 (inschatting obv figuur 5.9 KEV 2022, volgens errata document)
Doel 2030 – duurzame warmtebronnen	50 PJ
Scenario's 2050 – aansluitingen warmtenet (obv de aanname van 9mln woningen in 2050)	2-5 miljoen woningen + aandeel utiliteitsbouw
Doel 2050 – benodigde duurzame warmtebronnen voor levering aan warmtenetten incl. warmteverliezen. Op basis van de scenario's 1 tot 4 in het NPE.	ca. 60-140 MT en LT; ca. 75-190 inclusief ZLT MT-warmte: tussen 51 en 125 PJ LT-warmte: tussen 7 en 17 PJ ZLT-warmte: tussen 18 en 46 PJ Voor de collectieve warmtenetten is nog 6-21 PJ elektriciteit nodig, voor collectieve warmtepompen, pompenergie en elektrische piekketels ¹¹ .

Tabel 2

⁸ [Monitor Verduurzaming Gebouwde Omgeving 2022 \(rvo.nl\)](#)

⁹ [Nationaal Plan Energiesysteem Verdiepingsdocument B - Ontwikkelpaden ketens van het energiesysteem | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

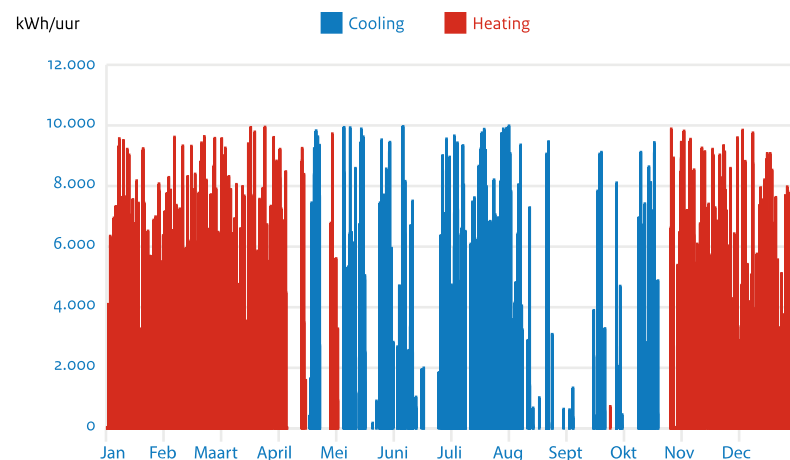
¹⁰ [Duurzaamheidsrapportage 2022 \(rvo.nl\)](#)

¹¹ De aanname is dat warmtenetten relatief vaak bij dichtbebouwde gebieden en daardoor kleinere woningen (appartementen) terechtkomen; hierdoor is de gemiddelde warmtevraag van een woning op een warmtenet iets lager dan gemiddeld.



Het overheidsbeleid is erop gericht om alle duurzame bronnen zo goed mogelijk inzetbaar te maken voor het duurzaam invullen van de warmtevraag. Het beleidsdoel van 500.000 extra aansluitingen leidt tot ca. 1 miljoen huishoudens op een warmtenet in 2030, wat inclusief utiliteitsgebouwen neerkomt op een warmtevraag van 50 PJ die al deels duurzaam geleverd moet worden. Het beleidsdoel is dat de warmtenetten gezamenlijk in 2030 maximaal 18,9 kg CO₂/GJ in Nederland mogen uitstoten en maximaal 25 kg CO₂/GJ per warmtenet. Tegelijkertijd zal de warmtevraag door betere woningisolatie afnemen en groeit het aantal woningen met een (hybride) warmtepomp. Die ontwikkelingen beïnvloeden de locaties en het groeitempo van collectieve warmtesystemen, en hoe die eruit komen te zien.

Overzicht netto warmte- en koudevraag van een goed geïsoleerde woning



Figuur 1 Illustratieve netto warmte- en koudevraag van een goed geïsoleerde woning. Berekend voor klimaatjaar KNMI 2018. Bron: Rutten et. al 2018¹²

2.1.2 Warmtevraag in de glastuinbouw

De warmtevraag van de glastuinbouw verschilt per kas en teelt. De energiebehoefte verdelen we in een basis- en pieklast. Voor de basislast gaan we in de toekomst waarschijnlijk aard- of restwarmte of een warmtepomp inzetten. Voor de pieklast gebruiken we waarschijnlijk waterstof, duurzame biogroestoffen of groen gas/biogas. Ook warmteopslag kan worden gebruikt om (in ieder geval een deel van) de pieklast op te vangen. De pieklast is duur, het is maar zo'n 3 maanden per jaar op afroep nodig maar moet dan wel veel vermogen kunnen leveren. Een tuinder kan op basis van het businessmodel besluiten om bijvoorbeeld de kas in de winter leeg te laten. De vraag naar warmte en welke bron er nodig is, verschilt door het jaar heen en per bedrijf. We verwachten dat de belangrijkste warmtebronnen voor de sector glastuinbouw geothermie, warmtepomp met warmte- en koude-opslag (WKO) of andere vormen van warmteopslag en restwarmte zijn. WKK's kunnen misschien ook een deel van de warmte invullen. Dan moeten ze wel gevoed worden met een duurzame brandstof (zoals waterstof of groen gas).

Cijfers over de verwarmingsvraag van de glastuinbouw

Verwarmingsvraag van de glastuinbouw	
Aantal bedrijven (glastuinbouw)	Circa 3.500 (2024) ¹³
Huidige verwarmingsvraag glastuinbouw	94 PJ ¹⁴
Huidig aandeel duurzame warmte	13 PJ ¹⁴
Doel 2030 – aandeel duurzame warmte	30 PJ ¹⁴
Doel 2040	60 PJ ¹⁴

Tabel 3

De sector glastuinbouw ziet naast het verduurzamen van de bronnen, ook voor energiebesparing extra mogelijkheden. Voor 2030 wordt gestuurd op 30 PJ die uit duurzame alternatieven komen voor deze sector. In 2040 verwachten we een warmtevraag van 60 PJ waarvan op dit moment 54,5 PJ in beeld is om duurzaam aan deze vraag te voldoen¹⁴.

¹² [Weather data Schiphol 2009-2018 and energy demand for a case study building., dataset., qtu.nl](#)

¹³ [Landbouw; gewassen, dieren, grondgebruik en arbeid op nationaal niveau | CBS](#)

¹⁴ [Duurzaamheidsrapportage 2022 \(rvo.nl\)](#)



2.2 Bronnenmix voor collectieve warmtenetten

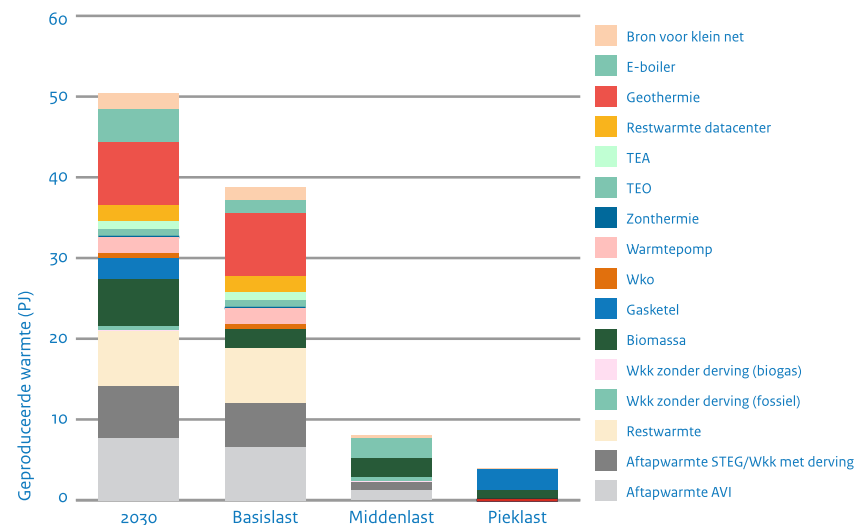
Bronnenmix voor een midden temperatuur/hoge temperatuur-warmtenet

De toekomstige warmtebronnenmix bestaat uit verschillende warmtebronnen en technieken om de basis-, midden- en pieklast in te vullen. De optimale combinatie van basis-, midden- en pieklast-warmtebronnen helpt bij een goede werking en betrouwbaarheid van warmtenetten. Ook kunnen we met slimme aansturing van vraag en aanbod het opgestelde vermogen aan pieklast en back-up verminderen.

De warmtevoorziening moet betrouwbaar zijn. Afnemers mogen vertrouwen op een hoge leveringszekerheid. Om die reden hebben we back-up-voorzieningen nodig voor het warmte-systeem. Met verschillende bronnen, waarvan sommige niet een hele dag of een heel jaar beschikbaar zijn, groeit de noodzaak voor warmteopslag. Warmteopslag draagt bij aan de leveringszekerheid en helpt de inzet van een piekvoorziening voorkomen of beperken.

CE Delft onderzocht de verduurzaming van de bronnenmix van bestaande en middelgrote warmtenetten. Op basis van de ontwikkelplannen van de betreffende warmtebedrijven en een eigen rekenmethodiek schetsen zij een illustratieve bronnenmix voor 2030. Figuur 2 toont wat de verwachte bronnen zijn voor de basis-, midden-, pieklast en back-up in 2030. De huidige warmtebedrijven anticiperen voor hun bestaande netten al op verwachte ontwikkelingen zoals afbouw van warmte uit AVI's op de (middel)lange termijn. Doordat steeds meer elektriciteitsproductie voortkomt uit wind en zon draaien gascentrales elk jaar minder, waardoor ook warmte uit zulke WKK's een afnemend aandeel heeft in de bronnenmix.

De bronnenmix in 2030, verdeeld over de basis-, midden- en pieklast



Figuur 2 Verduurzaming bronnen voor warmtenetten, bron CE Delft, 2023¹⁵

¹⁵ [Verduurzaming Bronnen voor Warmtenetten, CE Delft \(2023\)](#)



Bronnenmix voor lage- en zeer lage temperatuur-warmtenetten ((Z)LT)

LT-netten zijn er nog weinig. Voor LT-netten zijn warmtebronnen nodig op LT niveau. Dit betekent dat de piek ook efficiënt met een warmtepomp geleverd kan worden. Hierbij moet wel gekeken worden naar impact op het elektriciteitsnet.

Bij een ZLT-net is het niet noodzakelijk om vanuit het net hogere temperaturen te leveren in de winter, omdat de warmtepomp bij de eindgebruiker de benodigde temperatuur kan realiseren. De piek die we moeten leveren ligt dus deels bij de elektriciteitsbehoefte van de eindgebruiker. Het elektrisch vermogen dat daarvoor nodig is ligt lager dan bij een lucht-waterwarmtepomp, omdat de temperatuur van een ZLT-net (de bron voor de warmtepomp) hoger is dan de buitentemperatuur. De warmtebehoefte is in de winter natuurlijk wel groter en daarnaast zijn sommige ZLT-bronnen, zoals bijvoorbeeld aquathermie, (sterk) seizoensafhankelijk. Hierdoor is vaak seizoensopslag nodig om voldoende warmte in de winter te kunnen leveren. Een aanvullende warmtebron kan zinvol zijn om in de winter zowel extra vermogen als een hogere temperatuur te leveren. Dit kan de COP (*Coefficient of Performance*) in de winter bij de eindgebruiker en de gebouwen verbeteren.

2.3 Opgave opschaling collectieve warmtevoorzieningen

We splitsen de opgave voor opschaling van duurzame collectieve warmtevoorzieningen in drieën:

- Het verduurzamen van bestaande netten.
- Het vervangen van (wegvallende) bronnen.
- Het leveren van duurzame warmte aan nieuwe warmtenet aansluitingen.

Op Europees en nationaal niveau sturen we steeds meer op de uitstoot van het energiesysteem en het terugdringen van het finaal en primair energiegebruik. We hebben te maken met steeds meer normen. Ook de Wet collectieve warmte (Wcw) introduceert een duurzaamheidsnorm die de duurzaamheid van de huidige en toekomstige warmtenetten borgt. Dit betekent dat we fossiele bronnen voor warmtevoorziening (zoals de stoom- en gascentrale (STEG) en de gasketel) vervangen door duurzame bronnen zoals groen gas of waterstof.

Op verschillende manieren sorteren we al voor op het afbouwen van niet toekomstbestendige warmtebronnen. Denk aan het staande beleid om het gebruik van biomassa als laagwaardige brandstof af te bouwen door niet langer SDE-beschikkingen af te geven of te verlengen. We verwachten dat warmte uit afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) tot 2030 nog een groot aandeel heeft in de warmteopwekking. Dit aandeel wordt richting 2050 steeds kleiner door de beweging naar een circulaire economie.

Het nationale doel voor 2030 is om 500.000 extra warmtenetaansluitingen in de bestaande bouw te realiseren vergeleken met 2021. We verwachten dat met de verplichte verduurzaming (Europese wetgeving en duurzaamheidsnorm Wcw) de collectieve warmtevoorziening grotendeels wordt ingevuld met duurzame bronnen. Dit doel is uitdagend. Of het slaagt hangt af van verschillende actoren en factoren. Er zijn investeringen nodig en bedrijven en overheden zoals de provincies en de gemeente moeten nauw samenwerken. De groei van het aantal collectieve warmtenetten en het aantal duurzame warmtebronnen loopt parallel aan elkaar. Beide zijn afhankelijk van elkaar. Om een duurzame bron te kunnen gebruiken heb je warmtenetaansluitingen (afzet) nodig en andersom. Voor de groei van duurzame netten is groei en diversificatie van het aantal (grotendeels decentrale) bronnen essentieel. Met de invoering van verschillende duurzame bronnen maken we een optimale warmtebronnenmix.

2.4 Uitgangspunten beleid

Om de nationale doelen te halen, maken we beleid op 2 sporen:

- We vergroten het aantal warmtenetaansluitingen met duurzame warmtebronnen.
- We innoveren en stimuleren warmteopslag.

Dit leggen we in de volgende paragrafen verder uit.

2.4.1 Sturen op duurzame en efficiënte warmtenetten

In Nederland zijn veel potentiële duurzame lokale warmtebronnen beschikbaar. Die kunnen we inzetten voor de verwarming (en eventueel koeling) van de gebouwde omgeving en glastuinbouw. Door deze bronnen te gebruiken, verkleinen we de vraag naar andere energiedragers zoals groen gas, groene waterstof en duurzame elektriciteit. Vooral de inzet van MT-bronnen verlaagt de inzet van deze energiedragers. De inzet van ZLT-bronnen vraagt nog om een ophoging van het temperatuurniveau. Dit kan centraal of individueel bij de eindgebruiker. Als dit bij de eindgebruiker gebeurt met een warmtepomp op gebouwniveau vergt dat de minste elektriciteit ten opzichte van andere verwarmingsvormen.

Er is o.a. door warmteverlies meer elektriciteit nodig voor centrale opwarming van ZLT-bronnen tot een MT-niveau dan bij individuele warmtepompen¹⁶. Toch kunnen er andere redenen zijn om ZLT op te waarderen tot MT. Denk hierbij aan de beschikbare ruimte in gebouwen, meerdere bronnen combineren, efficiënt gebruik van transportleidingen en thermische opslag centraal toepassen. De slimme inzet van lokale warmtebronnen zorgt ook voor een grotere autonomie van het Nederlandse energiesysteem.

¹⁶ Zie studie Deltares naar configuraties warmtenetten. [PowerPoint Presentation \(topsectorenergie.nl\)](#)



Er zijn ook mogelijkheden om te sturen op het efficiënter gebruik van de warmte in collectieve systemen. Denk bijvoorbeeld aan het beperken van het warmteverlies in het transportnet en in de woningen door isolatiemaatregelen te nemen. Hierdoor hoeven we temperaturen niet sterk op te waarderen waardoor we duurzame bronnen maximaal kunnen inzetten.

2.4.2 Stimuleren warmteopslag

Warmteopslag (hiermee bedoelen we ook warmte- en koudeopslag) heeft verschillende functies en wordt naarmate netten verduurzamen steeds belangrijker om leveringszekerheid te borgen. De reden daarvoor is dat de warmtelevering uit fossiele warmtebronnen (met name de WKK's) behoorlijk goed bijgestuurd kan worden maar dat veel duurzame bronnen een continu of juist sterk wisselend aanbod hebben en dus niet zo flexibel warmte kunnen leveren. Daardoor wordt opslag, als manier om pieken en dalen en seizoenseffecten te overbruggen, veel belangrijker. Ook kan een opslag de eerste warmtelevering overnemen of ondersteunen wanneer een bron tijdelijk uitvalt.

Voor het energiesysteem is warmteopslag ook interessant. Bij een overschot aan duurzame elektriciteit kunnen we bijvoorbeeld Power2Heat inzetten; E-boilers of collectieve warmtepompen zetten overtollige elektriciteit om in warmte die wordt opgeslagen voor later gebruik. We zetten warmteopslag dan in om de pieken in zowel vraag als aanbod te spreiden over de dag. We verwachten de komende jaren grote pieken in elektriciteitsverbruik rond 18.00 uur. Mensen laden dan hun elektrische auto, zetten hun inductiekookplaat aan en de full-electric warmtepomp warmt hun huis op. Het is dan handig om eerder op de middag warmte op te kunnen slaan. Rond het piekmoment van 18.00 uur wordt dan geen extra elektriciteit gevraagd voor het verwarmen.

Een warmteopslag kan dus de elektriciteitsvraag voor warmteproductie verlagen bij tekorten op het elektriciteitsnet, maar ook verhogen bij overschotten. Warmteopslag stemt vraag en aanbod beter op elkaar af op verschillende tijden. Ook kan warmteopslag zorgen voor efficiënter gebruik van duurzame warmtebronnen doordat de warmtebron zonder beperkingen, oftewel met het maximaal aantal vollasturen, ingezet kan worden. Warmteopslag wordt momenteel nog beperkt grootschalig ingezet. In paragraaf 5.3 leest u hier meer over.

Om bovenstaande redenen zet het kabinet in op de ontwikkeling en opschaling van warmteopslag bij collectieve warmte. Dit leest u ook in de Routekaart Energieopslag¹⁷ die de overheid in het voorjaar van 2023 publiceerde. De Routekaart Energieopslag laat zien welke acties we moeten

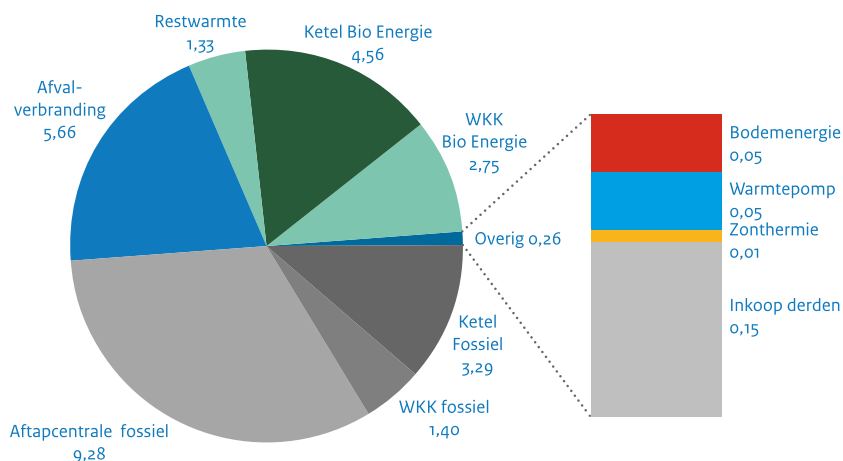
ondernemen om energieopslag te bevorderen tot 2035 en daarna. Jaarlijks bekijkt het kabinet de routekaart opnieuw.

2.5 Ontwikkeling van de huidige bronnen

De huidige warmtenetten zijn vaak HT- of MT-warmtenetten. Bij nieuwbouw en utiliteitsbouw zien we ook WKO-netten met een zeer lage temperatuur en warmtepompen per woning of gebouw. Bij de proeftuinen aardgasvrije wijken zijn ook voor bestaande bouw LT- en ZLT-netten in ontwikkeling. Deze zijn nog niet in gebruik¹⁸.

Voor de huidige HT- en MT-warmtenetten halen we vooral warmte uit elektriciteitscentrales en uit afvalverbranding (AVI's). Ook speelt biomassa een grote rol. Er zijn veel kleine warmtenetten met een wkk (gasmotor) als warmtebron. In figuur 3 ziet u de bronnen voor warmtenetten in 2022.

Bronnen van de grote warmtenetten (2022)



Figuur 3 Bron: RVO, Duurzaamheidsrapportage 2022¹⁹

¹⁷ [Routekaart Energieopslag | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

¹⁸ Voortgang proeftuinen | Programma Aardgasvrije Wijken
¹⁹ RVO (2023), Duurzaamheidsrapportage 2022



2.5.1 Verwachte ontwikkelingen van de huidige bronnen tot 2030

Voor de periode tot 2030 spelen in de huidige netten de WKK's op gas nog een grote rol. Hoewel het aandeel duurzame elektriciteit sterk toeneemt is er vooral in de winter nog veel behoefte aan elektriciteit uit gascentrales. Aftapwarmte uit deze centrales speelt zeker tot 2030 nog een grote rol in de warmtevoorziening. Waarschijnlijk sluiten er wel een aantal centrales. Daarvoor kijken we nu al naar nieuwe bronnen, zoals WarmtelinQ. Dit is een ondergrondse warmteleiding voor transport van restwarmte uit de Rotterdamse haven naar verschillende gemeentes in Zuid-Holland. Ook komt er meer vraag naar HT-warmtepompen om de bestaande netten die een hoge temperatuur nodig hebben te verduurzamen. Deze HT-warmtepompen gebruiken bij voorkeur een bron met een zo hoog mogelijke temperatuur. Ze realiseren een hoge (S)COP (Seasonal Coefficient of Performance). Dit zijn bijvoorbeeld bronnen uit een datacenter of LT-restwarmte.

De gasmotoren (zogenaamde WKK's zonder derving) krijgen naar verwachting een uitdaging met de rentabiliteit (winst vergeleken met geïnvesteerd vermogen). Het gunstige gastarief voor WKK verdwijnt namelijk. Het is in de praktijk moeilijk om voor deze netten een andere bron te vinden. Het zijn immers kleine netten. Waarschijnlijk is er geen ruimte voor een andere installatie dan de WKK.

Ook ligt het voor de hand dat de AVI's tot 2030 nog een grote rol spelen. Ze hebben nog warmte over en kunnen nog meer warmte leveren, zoals afvalverbrander AVR in Rotterdam doet aan WarmtelinQ. Tot 2030 verbranden we naar verwachting nog veel afval. Het terugdringen van het verbranden van afval heeft tot 2030 nog maar een kleine invloed op de levering van warmte.

Als MT-bronnen beschikbaar zijn, kunnen deze de benodigde hoeveelheid gas of elektriciteit sterk beperken (vergeleken met individuele installaties of het opwaarderen van ZLT-bronnen). Als er geen MT-bronnen beschikbaar zijn, gebruiken we liever (Z)LT-netten. Als dit kan met de temperatuur van de beschikbare bron. Tot 2030 verwachten we een beperkte groei van nieuwe (Z)LT-netten.

2.5.2 Verwachte ontwikkelingen van de huidige bronnen tussen 2030 en 2040

Volgens het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) is de elektriciteitsvoorziening voor 2040 bijna klimaatneutraal. De inzet van WKK's op aardgas neemt naar verwachting sterk af. Die rol wordt, naast de verdere groei van hernieuwbare opwek uit wind en zon, mogelijk overgenomen door batterijen, WKK's op waterstof en misschien kernenergie. De duurzame warmtebronnen die hier worden beschreven moeten de warmtelevering in bestaande warmtenetten overnemen. Nieuwe netten worden zoveel mogelijk meteen met duurzame bronnen ontwikkeld, waar mogelijk meteen op lagere temperaturen.

De rol van de AVI's in de warmtevoorziening neemt geleidelijk af omdat ook de hoeveelheid afval die we verbranden afneemt, we werken immers aan een economie die in 2050 nagenoeg circulair moet zijn. Zolang er nog afvalverbranding nodig is, is het verstandig om de warmte die vrijkomt zo goed mogelijk te gebruiken. De meeste AVI's kunnen op dit moment meer warmte leveren dan ze nu doen, eventueel ten koste van de elektriciteitsproductie. Mogelijk kan het lokaal een zinvolle keuze zijn om als overgangsbron voor een aantal jaren méér aftapwarmte uit een AVI te gaan gebruiken. In deze fase zullen andere AVI's mogelijk al verdwijnen of verbrandingslijnen sluiten. Dat kan voor bepaalde warmtenetten een uitdaging geven, vandaar dat warmtebedrijven hierop naar verwachting anticiperen en tijdig andere bronnen ontwikkelen.

2.5.3 Verwachte ontwikkelingen van de huidige bronnen tussen 2040 en 2050

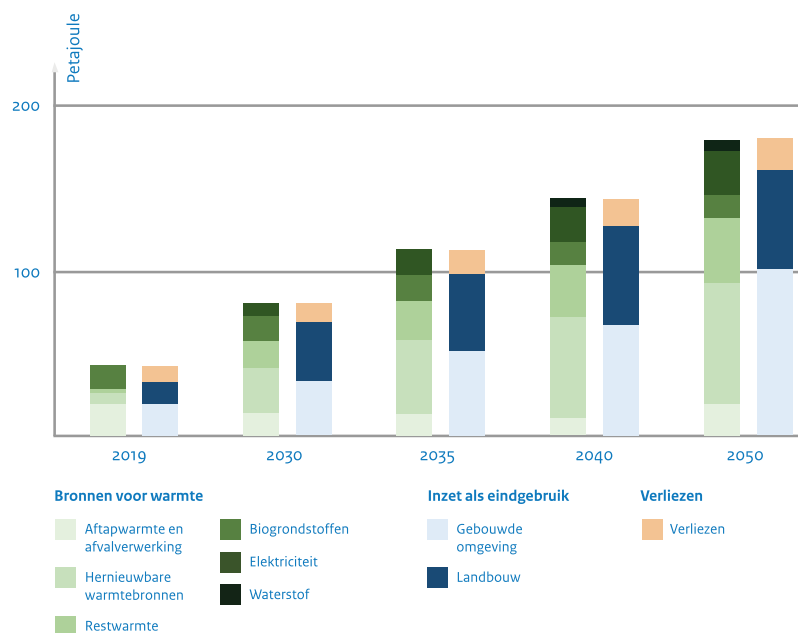
Omdat in 2050 de energievoorziening klimaatneutraal moet zijn, speelt aardgas dan nog maar een kleine rol. We gebruiken naar verwachting dan geen of nog maar weinig WKK's op aardgas meer. De rol van AVI's wordt ook kleiner naarmate het materiaalgebruik in onze economie steeds meer circulair wordt. De CO₂-vrije warmtebronnen die we in dit stuk behandelen zullen na 2040 het grootste deel van de warmtelevering hebben overgenomen, waarna het leveren van flexibiliteit voor de piekvoorziening waarschijnlijk als laatste uitdaging resteert.

2.6 Prognose warmteketen in het NPE

Onderstaand figuur uit het Nationaal plan energiesysteem (NPE) laat een denkbare ontwikkeling zien van de verduurzaming van de warmteketen richting 2050. In 2050 spelen de huidige bronnen nog een kleine rol: aftapwarmte uit fossiele verbranding is gestopt, warmte uit afvalverbranding is nog beperkt beschikbaar op de plekken waar er dan nog afvalverbranding plaatsvindt. Industriële restwarmtebronnen met een fossiele oorsprong zullen in 2050 d.m.v. elektrificatie, duurzame gassen en energiebesparing klimaatneutraal opereren maar nog steeds -of juist daardoor- een aantrekkelijk warmteaanbod hebben. Hernieuwbare warmtebronnen hebben de hoofdrol, aangevuld met duurzame elektriciteit voor warmtepompen en e-boilers en biobrandstoffen en waterstof voor de piekmomenten. Deze schatting gaat uit van het middenscenario uit het NPE voor het aandeel van warmtenetten in 2050; voor het scenario met maximale inzet op duurzame warmtenetten in de gebouwde omgeving en glastuinbouw is in totaal 250 PJ aan duurzame bronnen nodig.



Verwachte groei van de warmtebronnen en hun inzet volgens het NPE



Figuur 4 In dit figuur wordt uitgegaan van 200 PJ warmtevraag. Dit is het middenscenario. De potentieelschattingen in hoofdstuk 6 zijn gebaseerd op de totale warmtevraag in het hoge scenario, wat neerkomt op 250 PJ. Bron: NPE, 2023²⁰.

In het NPE is een wenselijke ontwikkelrichting opgenomen: 'een sterke inzet op de opschaling van warmtenetten met duurzame warmtebronnen zoals geothermie, restwarmte, zonthermie, aquathermie en bodemenergie, met zo goed mogelijke benutting van lokale bronnen en zo beperkt mogelijke behoefte aan systemische energiedragers voor opwaardering'.

Een zo beperkt mogelijke behoefte aan systemische energiedragers (dit zijn met name gas en elektriciteit) betekent dat daar waar toekomstbestendige MT-bronnen zijn, we deze ook zo goed mogelijk moeten gebruiken. Op plaatsen zonder MT-bronnen of een lage warmtevraag en een duidelijke koelvraag kunnen (Z)LT-netten een goede eindoplossing zijn. Wel moeten er dan (Z)LT-bronnen zijn.

Als we de temperatuur van het net zo dicht mogelijk bij de temperatuur van de bron houden en we pas bij de eindgebruiker opwaarderen tot de nodige temperatuur, is weinig elektriciteit nodig voor opwaardering²¹. Hoe beter woningen zijn geïsoleerd, hoe minder de aangevoerde warmte nog individueel hoeft te worden opgewaardeerd.

Inmiddels is er een norm voor woningisolatie (op basis van de vereiste aanvoertemperatuur, beter bekend als de isolatiestandaard) vastgesteld:

- Vooroorlogse woningen die voldoen aan de standaard kunnen we met 70 graden verwarmen.
- Naoorlogse woningen verwarmen we met 50 graden.

Naarmate meer woningen het isolatieniveau van deze norm bereiken, komt een groter deel van de gebouwde omgeving in aanmerking voor een duurzaam warmtenet of individuele oplossing. Met woningcorporaties zijn afspraken gemaakt over het toekomstbestendig isoleren van 675.000 huurwoningen tot het niveau van de isolatiestandaard. In 2025 wordt deze standaard geëvalueerd, waarbij ook rekening wordt gehouden met de nieuwe eisen aan energieprestatie uit de EPBD IV-richtlijn.

De aanpak om bestaande netten te verduurzamen en nieuwe netten te ontwikkelen verschillen van elkaar. In lijn met de ontwikkelrichting uit het NPE willen we voor bestaande netten de aanvoer- en afvoertemperatuur die nodig is bij de afnemer omlaag brengen tot in elk geval MT-niveau. Veel duurzame bronnen hebben een lagere temperatuur. Die kunnen we dan beter benutten en ze vragen minder elektriciteit voor de opwaardering van de temperatuur. Voor centrale distributienetten is soms hoge temperatuur nodig. We kunnen hiervoor oplossingen zoeken, maar we kunnen ook kijken naar meer decentrale oplossingen voor het piekvermogen dat nodig is.

²⁰ Nationaal Programma Energiesysteem

²¹ Deltares (2022), Criteria voor onderlinge vergelijking van warmtenet configuraties. PowerPoint Presentation (topsectorenergie.nl)



2.7 Impact op het elektriciteitsnetwerk

In het huidige energiesysteem zijn de 2 voornaamste energiedragers elektriciteit en gas (methaan). In het toekomstige energiesysteem bouwen we de inzet van methaan af, zetten we elektriciteit breder in en groeit het aandeel duurzame bronnen en brandstoffen. Een snelle groei in elektriciteitsvraag en -aanbod kan overbelasting van het elektriciteitsnet veroorzaken, zeker wanneer vraag en aanbod niet synchroon lopen. We verwachten dat de warmtevoorziening deels wordt geëlektrificeerd en er zijn natuurlijk meer ontwikkelingen die in toenemende mate elektriciteit vragen. Afhankelijk van de locatie kan er netcongestie ontstaan. Dit heeft gevolgen voor de verduurzaming van de warmtevoorziening: bijvoorbeeld het niet meer kunnen plaatsen van e-boilers en de ontwikkeling van warmtebronnen waar een warmtepomp voor nodig is.

Netcongestie is niet altijd een knelpunt in de verduurzaming van de warmtebronnen. Warmteopslag kan een belangrijke bijdrage gaan leveren aan het verhelpen van netcongestie. Verzwaring van de elektriciteitsnetten in onze woonwijken is hoe dan ook nodig voor de opkomst van o.a. zonnepanelen, elektrische auto's en elektrisch koken. De keuze voor een warmtenet kan de benodigde netverzwaring reduceren omdat de elektriciteitsvraag voor warmtevoorziening dan beperkt kan blijven²². Verzwaring van het net kan alsnog nodig zijn, als er geen MT-bron is. Dan is er alsnog elektriciteit nodig. In een ZLT-net is het benodigde piekvermogen per woning lager dan bij een individuele warmtepomp met lucht als bron. Een MT-warmtenet vraagt voor het opwaarderen van een ZLT-bron meer elektriciteit en capaciteit voor één grote elektriciteitsaansluiting.

Er is niet één techniek of configuratie die een complete oplossing biedt of overal past. Het inpassen van de duurzame bronnen in een warmtenet is maatwerk. Om de bronnenmix goed te kunnen invullen is het belangrijk om (tijdig) antwoord te krijgen/hebben op de volgende vragen:

- Is er een warmtebron beschikbaar?
- Is het temperatuurniveau bruikbaar of kan het verantwoord worden opgewaardeerd?
- Is er voldoende ruimte voor de installaties van de warmtebron en de infrastructuur?
- Hoe groot is de afstand tot de afnemers?
- Hoe ont- of belast de bron het elektriciteitsnet?

²² [Impact van de warmtetransitie op het lokale elektriciteitsnet. Inzicht en advies voor gemeenten - CE Delft](#)



3 Hoofdlijnen van het beleid

De omslag naar het gebruik van duurzame warmtebronnen raakt alle overheidslagen en een diverse groep belanghebbenden. Om de nationale doelen voor het uitrollen en verduurzamen van warmtenetten te halen moeten deze stakeholders met elkaar afstemmen: het Rijk, provincies, RES-regio's, gemeenten, bedrijven en netbeheerders en lokale spelers zoals warmtecoöperaties. In verschillende nationale beleids- en ondersteuningsprogramma's werken de partijen steeds meer en beter samen:

- Gemeenten zijn de regisseur van hun lokale warmtetransitie; zij geven de ontwikkelrichting aan.
- Warmtebedrijven, lokale initiatieven en bronontwikkelaars realiseren de doelen (ambitie).
- De Rijksoverheid stimuleert en versnelt de ontwikkeling van duurzame warmtebronnen en energiebesparing in de gebouwde omgeving met wetgeving en verschillende financierings- en subsidiemogelijkheden.

3.1 Governance

Een goede rolverdeling en samenwerking tussen de verschillende overheden en de private en publieke warmtepartijen is belangrijk voor de warmtetransitie. Op dit moment is vaak het warmtebedrijf verantwoordelijk voor het maken van de (beste) keuze over de bronnenmix, de infrastructuur en de aflevering. Er zijn ook situaties (configuraties) mogelijk waar de verantwoordelijkheden verdeeld zijn over meerdere partijen. Na het ingaan van de Wet collectieve warmte (Wcw) gaat de aard van het warmtebedrijf veranderen. De gemeente wijst een verantwoordelijk warmtebedrijf aan als eigenaar van het warmtenet en leverancier aan de eindgebruikers.. Dit warmtebedrijf moet een publiek meerderheidsbelang hebben of een warmtecoöperatie (warmtegemeenschap) zijn. Meer hierover leest u in [paragraaf 3.2.1 Wet collectieve warmte \(Wcw\)](#).

Private warmtebedrijven kunnen in de overgangsperiode en als minderheidsaandeelhouder na het ingaan van de wet een rol blijven spelen. Ook door het ontwikkelen en exploiteren van duurzame warmtebronnen kunnen zij betrokken blijven bij de transitie. Gemeenten hebben de regierol. Zij geven in hun Warmteprogramma per wijk aan wat de meest geschikte warmteoplossing is en in welk jaar die transitie klaar moet zijn. In alle fases van deze wijkgerichte aanpak is samenwerking tussen de partijen belangrijk om de uitrol van duurzame warmtenetten met de gewenste zekerheid, snelheid en maatschappelijke effecten voor elkaar te krijgen. Bovenliggend zijn er Europese duurzaamheidsrichtlijnen die belangrijke kaders meegeven zodat alle lidstaten zoveel mogelijk op dezelfde manier aansturen op een duurzame warmtevoorziening.

Al deze beleidskaders en samenwerkingsprogramma's om de transitie effectief te besturen vatten we samen onder de noemer 'governance'. In de volgende paragrafen wordt heel beknopt benoemd welke Europese kaders en nationale samenwerkingsprogramma's het meest direct van invloed zijn op de warmtetransitie en duurzame bronnen.

3.1.1 Internationale richtlijnen

Als onderdeel van het 'Fit for 55'-pakket ontwikkelde de Europese Unie een uitgebreid pakket aan klimaatmaatregelen. De Renewable Energy Directive (RED), Energy Efficiency Directive (EED) en European Emission Trading System (ETS) zijn belangrijk voor duurzame warmtebronnen. Hieronder noemen we kort de belangrijkste doelen. De REDIII en EED moeten nog geïmplementeerd worden in de Nederlands wetgeving. De precieze uitwerking van sommige punten kan daarmee nog wijzigen.

REDIII (Renewable Energy Directive)

De REDIII is een richtlijn voor de verduurzaming van de bronnenmix. Het overkoepelende doel voor Europa is 42,5% hernieuwbare en/of duurzame energie in 2030. De REDIII legt voor 'heating and cooling' de nadruk op het verhogen van de hernieuwbare en/of duurzame energie in het totale warmte en koude gebruik van de EU-lidstaten. Dit is het warmtegebruik voor huishoudens, maar ook voor industrie. De richtlijn stelt doelen voor het gebruik van duurzame energie waarbij het aandeel hernieuwbare en/of duurzame bronnen moet toenemen met 0,8% per jaar tot 2025 en met 1,1% per jaar in de periode van 2026 tot 2030.

EED (Energy Efficiency Directive)

De EED heeft als doel om het energieverbruik zoveel mogelijk terug te dringen met prikkels voor energiebesparing en -efficiëntie. De Europese Commissie stuurt hierop door bijvoorbeeld alleen staatssteun bij investeringen in warmtenetten toe te staan, als de steun verstrekt wordt aan een 'efficiënt' warmte- en/of koudenet, waarvan de definitie is opgenomen in de richtlijn. Ook bevat de richtlijn diverse verplichtingen voor lidstaten om bedrijven en instellingen bewust te maken van hun energiegebruik of de verplichting om dat in kaart te brengen. Dat omvat ook het verkennen van de mogelijkheden om energie te besparen en de mogelijkheden om restwarmte in te zetten in het eigen bedrijfsproces of beschikbaar te stellen aan de omgeving. Op 13 september 2023 is de herziene richtlijn gepubliceerd met aanscherpingen die ook duurzame warmte verder stimuleren. Het Rijk werkt aan de implementatie van deze herziening in nationale wetgeving.



ETS (European Emission Trading system)

Bedrijven hebben emissierechten nodig om CO₂ uit te (mogen) stoten. Deze emissierechten kunnen gekocht en verhandeld worden. Het volume van deze emissierechten neemt af. De schaarste moet een financiële prikkel geven om de uitstoot van CO₂ te verminderen. Omdat elektriciteitscentrales en op korte termijn ook de AVI's onder dit systeem vallen is dit van invloed op de afname van aftapwarmte uit fossiele verbranding.

Door het nieuwe ETS2 valt alle levering van fossiele brandstoffen voor verbranding in de gebouwde omgeving en het wegverkeer (en mogelijk de agrarische sector) straks ook onder een separaat systeem voor emissiehandel. Dit geldt voor energieleveranciers wat zich vertaalt naar een prijs-prikkel voor het gebruik van aardgas in woningen en gebouwen, maar heeft ook impact op het gebruik van fossiele brandstoffen door warmteproducenten. Dit is een extra stimulans waarmee de warmteproductie verduurzaamd moet worden. Het ETS2 wordt op 1 januari 2027 van kracht.

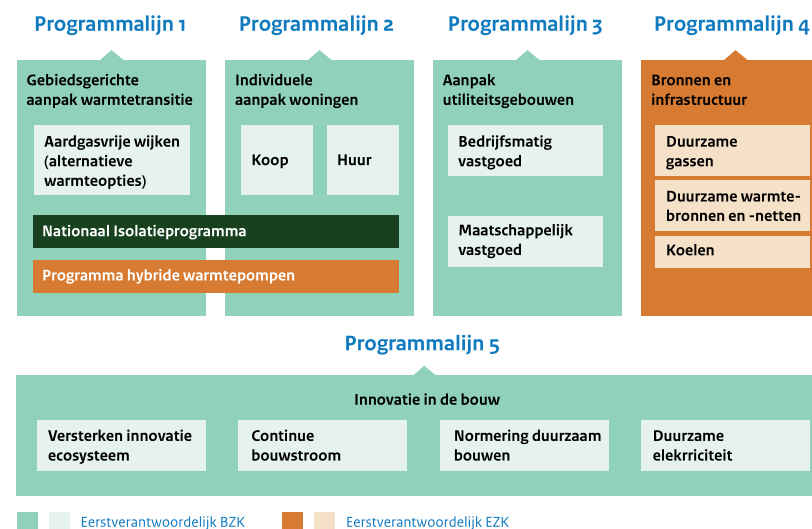
3.1.2 Programma's verduurzaming warmtevoorziening

Programma Verduurzaming Gebouwde Omgeving

Het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) startte in juni 2022 met het Programma Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving (PVGO). Dit programma richt zich op het versnellen van de verduurzaming van de gebouwde omgeving. Een van de programmalijnen van het PVGO is de gebiedsgerichte aanpak warmtetransitie, waarbij wijken (collectief) verduurzamen onder regie van gemeenten. Bijvoorbeeld met een collectieve overstap naar een warmtenet als alternatieve energievoorziening. Dit programma zorgt voor:

- financiële ondersteuning bij de realisatie van warmtenetten;
- wettelijk kader;
- stimulering van duurzame bronnen²³.

Overzicht Programma Verduurzaming Gebouwde Omgeving



Figuur 5

²³ Programma Versnelling Verduurzaming Gebouwde Omgeving, 42. [Beleidsprogramma versnelling verduurzaming gebouwde omgeving \(overheid.nl\)](https://overheid.nl)



Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie

Het Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW) ondersteunt gemeenten bij de uitvoering van de lokale warmtetransitie. Het doel is dat gemeenten als regisseur 1,5 miljoen woningen en andere gebouwen verduurzamen of aardgasvrij maken voor 2030. In het Klimaatakkoord²⁴ is afgesproken dat gemeenten een Transitievisie Warmte of Warmteprogramma opstellen. Hierin beschrijft elke gemeente in welke wijken, buurten en kernen ze in de komende 10 jaar aan de slag gaat met verduurzaming van de gebouwde omgeving, inclusief de aardgasvrije alternatieven die ze voor die wijken overwegen. Elke 5 jaar wordt een update opgeleverd door de gemeente.

Het NPLW werkt samen met onder meer gemeenten, provincies, regio's, bewoners, netbeheerders en woningcoöperaties. Dit programma helpt gemeenten en partners bij de wetgeving en de verschillende subsidiemogelijkheden. Het NPLW bouwt verder op de kennis van het Programma Aardgasvrije Wijken (PAW) en het Expertisecentrum Warmte (ECW).

De Rijksoverheid heeft in dit programma ook een rol. Zij werkt met gemeenten samen aan aardgasvrije proeftuinen. Zo kunnen gemeenten experimenteren met verschillende technieken en methoden voor de inrichting en opschaling van warmte. De Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) levert een deel van de inhoudelijke expertise van het NPLW.

Nationaal Programma Regionale Energiestrategie

Het Nationaal Programma Regionale Energiestrategie (NP RES) ondersteunt regio's bij het opwekken van hernieuwbare energie op land. Daarnaast ondersteunt NPRES de regio's bij het in kaart brengen van de regionale warmtebronnen, de verdeling en het gebruik hiervan: de bronnenstrategie. Afstemming met omliggende gemeenten voorkomt dat een warmtebron ten onrechte dubbel gebruikt wordt of juist onbenut blijft. Dat is de reden dat inzicht in de warmtevraag en het warmte-aanbod onderdeel uitmaakt van de Regionale Energiestrategie. Dat is gebeurd in de vorm van een Regionale Structuur Warmte (RSW). Omdat de keuzes voor een duurzame vervanging van aardgas direct raakt aan de energievraag, werken NP RES en NPLW nauw samen. De komende tijd bespreken NP RES en NPLW met hun opdrachtgevers hoe en door wie warmtebronnen efficiënt ingezet en verdeeld kunnen worden. De indeling van de NP RES-regio's vormden de basis van de NPLW-regio's waarin we samenwerken aan een netwerk van regiocoördinatoren.

3.2 Wetgeving

Warmte zien we net als gas, elektriciteit en water als een nutsvoorziening. Per 1 januari 2014 is de Warmtewet van kracht. Deze wet beschermt consumenten en kleinverbruikers op de warmtemarkt. Via de warmtewet:

- stellen we jaarlijks maximumtarieven vast;
- borgen we de leveringszekerheid;
- volgen we de prestaties van warmtebedrijven en -netten door middel van de jaarlijkse rendementsmonitor en duurzaamheidsrapportage

Om de warmtetransitie naar een volgende fase te kunnen brengen is er meer snelheid en regie nodig. Daarvoor worden verschillende wetten opgesteld of grondig aangepast. Onderdelen daarvan zijn direct van invloed op de verduurzaming van warmtenetten en het gebruik van warmtebronnen.

3.2.1 Wet collectieve warmte (Wcw)

Het wetsvoorstel Wcw vervangt de Warmtewet. Daarmee wil de overheid de groei en verduurzaming van collectieve warmtesystemen bevorderen. Het belang van consumenten staat voorop, evenals het verduurzamen van collectieve warmte en het moderniseren van de inrichting en sturing van deze systemen. De wet:

- beschermt consumenten tegen te hoge tarieven;
- bevordert transparantie;
- zorgt dat (lokale) overheden een meerderheidsbelang hebben in toekomstige warmtebedrijven;
- biedt ruimte aan warmtegemeenschappen (warmtecoöperaties).

Dit bevordert de publieke sturing bij de warmtetransitie. Dit draagt bij aan duurzaamheid, betaalbaarheid, en leveringszekerheid voor burgers en bedrijven.

Met de Wcw wordt het speelveld voor partijen die actief zijn in de ontwikkeling en exploitatie van collectieve warmtesystemen (en daarmee ook warmtebronnen) grondig gewijzigd. Het NPLW heeft op haar website een narratief gepubliceerd waarin zij het wetsvoorstel op hoofdlijnen toelicht. De belangrijkste onderdelen zijn te zien in figuur 6.

²⁴ [Het Akkoord | Klimaatakkoord, 28-6-2019](#)



Wat is de Wet collectieve warmte?

De Wet collectieve warmte (Wcw) vervangt de Warmtewet. Deze wet draagt eraan bij dat het leveren van warmte in de toekomst goed geregeld is: betrouwbaar, betaalbaar en duurzaam.



Voorziene inwerkingtreding Wcw:
1 januari 2025

Wcw in het kort



Marktordening

- Gemeente heeft regie
- Warmtebedrijf integraal verantwoordelijk
- Publiek meerderheidsbelang warmtebedrijf of warmtegemeenschap
- Uitzondering kleine collectieve systemen
- Uitzondering warmtetransportbeheerder



Tariefregulering

- Alternatief voor gasreferentie (NMDA)
- Meer op kostengebaseerde tarieven
- Overgangperiode in fases
- Transparantie kosten warmtekavels



Verduurzaming

- Prestatienorm voor uitstoot broeikasgassen
- Tijdelijke ontheffing mogelijk
- Onderdeel verplicht kavel- en investeringsplan
- Ophaalrecht restwarmte
- Consumenteninformatie over duurzaamheid



Leveringszekerheid

- Aanscherpen vereisten voor leveringszekerheid en consumentenbescherming



De gemeente

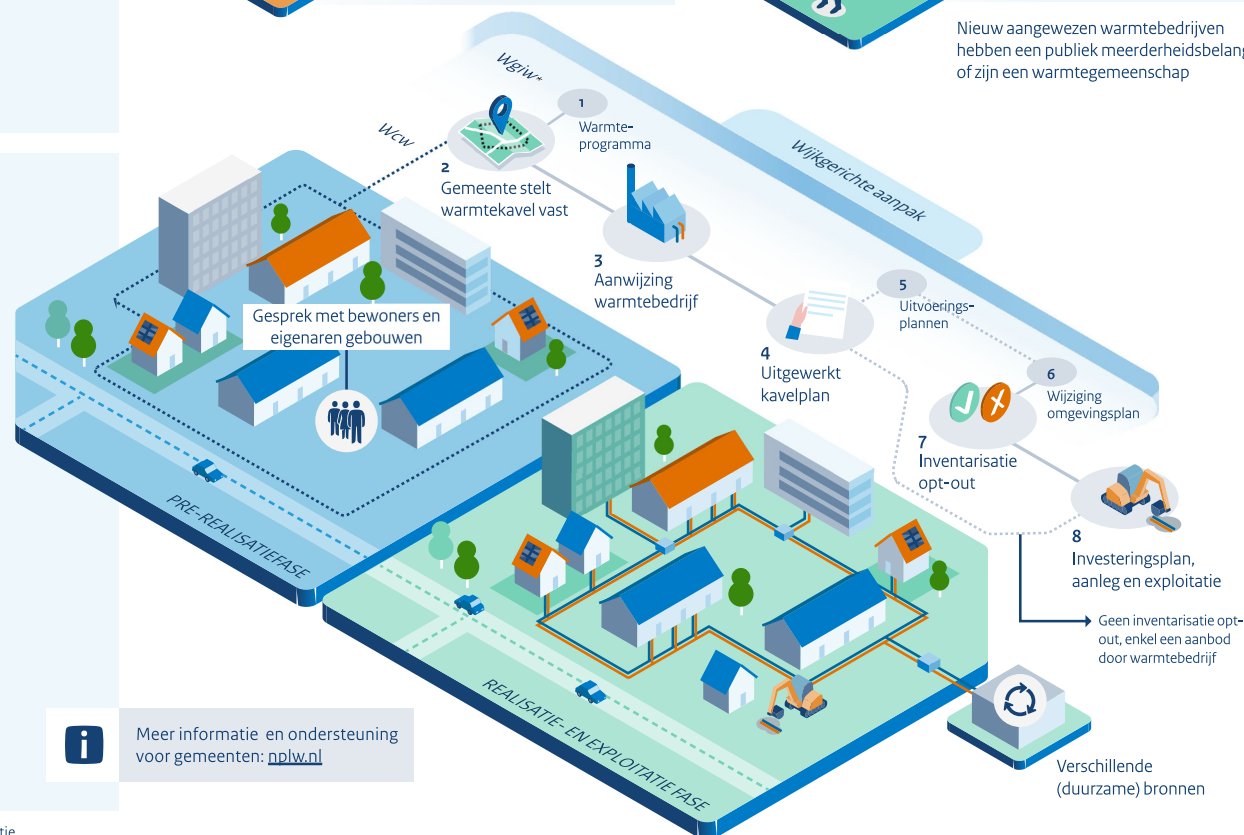
Bepaalt waar en wanneer er een collectieve warmtevoorziening komt en wijst een warmtebedrijf aan



Het warmtebedrijf

Transporteert, levert warmte en is eindverantwoordelijk

Nieuw aangewezen warmtebedrijven hebben een publiek meerderheidsbelang of zijn een warmtegemeenschap



* Wgiw - Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie

Figuur 6



De ontwikkeling en exploitatie van warmtebronnen wordt in het wetsvoorstel beperkt gereguleerd. Warmtebedrijven krijgen zo zoveel mogelijk vrijheid bij het ontwikkelen van hun bronnenstrategie. Onderstaande onderdelen van het wetsvoorstel zijn relevant voor de ontwikkeling van nieuwe bronnen en de exploitatie van bestaande bronnen.

Aanwijzingsprocedure warmtebedrijf en vaststelling kavelplan

Vaststellen van een warmtekavel

Het is de taak van de gemeente om een of meerdere warmtekavels vast te stellen. Zo kan een collectieve warmtevoorziening doelmatig worden aangelegd en geëxploiteerd en kan de leveringszekerheid geborgd worden. De gemeente beoordeelt onder meer of er voldoende warmtebronnen beschikbaar zijn die het mogelijk maken om te voldoen aan de duurzaamheidsnormen die in de Wcw worden gesteld. De gemeente moet daarbij ook rekening houden met relevante plannen en ontwikkelingen in omliggende gemeenten en de beoogde inzet van bovenlokale warmtebronnen.

Aanwijzen van een warmtebedrijf

Voorafgaand aan de aanwijzing van een warmtebedrijf voor een warmtekavel beoordeelt de ACM of het warmtebedrijf voldoende in staat is om zijn taken uit te voeren. Daarvoor beoordeelt de ACM op basis van het door het warmtebedrijf opgestelde 'globale kavelplan' onder andere of er voldoende warmtebronnen beschikbaar zijn om die taken uit te voeren. Daarnaast moet ook de gemeente beoordelen of het globale kavelplan redelijkerwijs uitvoerbaar is. Als de gemeente oordeelt dat dat niet het geval is, moet zij de aanvraag tot aanwijzing afwijzen. Ook voor deze beoordeling moet dus gekeken worden naar de beschikbaarheid van voldoende warmtebronnen.

Opstellen en wijzigen van het uitgewerkt kavelplan

Na de aanwijzing van een warmtebedrijf stelt het warmtebedrijf op verzoek van de gemeente een uitgewerkt kavelplan op. Op grond van de Wcw verstrekt het warmtebedrijf daarin informatie over de beoogde warmtebronnen voor de korte en lange termijn. Daarbij houdt het warmtebedrijf rekening met andere relevante regels in de Wcw. Denk hierbij aan de regels over de leveringszekerheid, de normen voor uitstoot van broeikasgassen en de te verstrekken informatie aan gebruikers over de kwaliteit van de geleverde warmte (zoals de temperatuur). Het warmtebedrijf baseert zich bij het uitwerken van het kavelplan op het globale kavelplan en moet motiveren wanneer het daar sterk van wil afwijken en daarvoor instemming krijgen van de gemeente. Dit geldt ook voor mogelijke latere wijzigingen van het uitgewerkte kavelplan.

Uitstootnormering per warmtekavel

De Wcw schrijft een broeikasgasnormering voor om de broeikasgasuitstoot van collectieve warmtesystemen terug te dringen. Warmtebedrijven moeten de broeikasgasuitstoot van hun net(ten) jaarlijks verder terugdringen. In het Bcw (Besluit collectieve warmte) worden de hoogte van de normering en de te gebruiken rekenmethoden vastgelegd. De hoogte van de norm is gebaseerd op de doelstellingen in het Klimaatakkoord voor warmtenetten. Voor 2030 is de maximale uitstoot 25,0 kg per GJ geleverde warmte en in 2035 is dit 15,6 kg/GJ. De ACM houdt toezicht op de naleving van de duurzaamheidsnorm. Zij kan warmtebedrijven boetes en een last onder dwangsom opleggen wanneer de bedrijven niet voldoen aan de norm. Wanneer het warmtebedrijf na 5 jaar nog steeds in overtreding is, kan de ACM bij de gemeente aangeven dat zij de aanwijzing voor dat warmtebedrijf in moet trekken. Warmtebedrijven kunnen een ontheffing aanvragen bij de ACM als zij kunnen aantonen dat ze meer tijd nodig hebben voor de transitie naar een duurzame bron. Naast de normering worden warmtebedrijven ook gevraagd in het aanwijzingsproces de lange termijnplannen voor verduurzaming te schetsen en de voorgenomen duurzame bronnenmix uit te werken in het investeringsplan. Zo worden warmtebedrijven gestimuleerd bij de start van de aanwijzing en vóór het doen van grote investeringen om rekening te houden met het einddoel: een broeikasgasvrij collectief warmtesysteem.

De duurzaamheidseisen zijn landelijk bepaald. Gemeenten kunnen hier niet van afwijken. De reden hiervoor is dat de verdeling van bronnen en de mogelijke schaarste van bronnen een gemeentelijke overstijgende uitdaging is.

Tariefregulering voor bronnen

Zodra de kostengebaseerde tariefregulering van de Wcw ingaat, worden er per warmtekavel door de ACM maximale tarieven vastgesteld voor het transport en de levering van warmte op basis van de aantoonbare kosten. Doel hierbij is de investeringszekerheid voor warmtebedrijven te vergroten doordat de efficiënte kosten worden terugverdiend met een gegarandeerd redelijk rendement.

De tarieven van een warmteproducent voor de levering van warmte worden niet gereguleerd (met uitzondering van restwarmte). Deze komen door onderhandeling met het warmtebedrijf tot stand. Wel kan de ACM deze inkoopkosten in de tariefformule voor de transport- en leveringstarieven normeren. Bijvoorbeeld door het hanteren van een benchmark voor inkooprijzen van warmte. Hetzelfde geldt voor de productiekosten voor warmte als het warmtebedrijf een warmtebron in eigen beheer heeft. Daarom is het belangrijk dat het warmtebedrijf transparantie biedt over de kosten als zij zelf warmte produceert. De inkoopkosten voor elektriciteit en gas om warmte te produceren worden genormeerd op basis van de marktprijzen van elektriciteit en gas.



In het concept-Bcw staat dat de ACM in een aantal gevallen bij het vaststellen van de tariefformules uit moet gaan van de daadwerkelijke kosten van warmtebronnen. Dit betreft ten eerste de kosten voor restwarmte omdat daarvoor alleen de uitkoppelkosten mogen worden gerekend. Ten tweede moet worden uitgegaan van de daadwerkelijke kosten bij warmtebedrijven die lange termijn-contracten hebben met warmteproducenten. De prijzen in deze contracten kunnen tijdens hun looptijd niet worden gewijzigd. Door het normeren van deze kosten kunnen sommige warmtebedrijven in financiële problemen komen. Deze bepaling geldt niet voor inkoop van warmte bij bedrijven die onderdeel zijn van dezelfde groepsmaatschappij. In die gevallen kan de groepsmaatschappij immers beslissen om in het belang van het warmtebedrijf het inkoopcontract te wijzigen. Als een warmtebedrijf diensten of goederen inkoop bij een zusterbedrijf moeten de kosten gebaseerd zijn op de (al dan niet genormeerde) productiekosten van deze goederen en diensten. Ook hier is transparantie dus het sleutelwoord.

Glastuinbouw en gebouwde omgeving

De industrie en glastuinbouw vallen niet direct onder de regulering van de Wcw. De regels uit de Wcw zijn dus niet van toepassing op netten die enkel warmte leveren aan de glastuinbouw of industrie. Er zijn ook situaties waarin een deel van de warmte wordt geleverd aan glastuinbouw-bedrijven en een deel aan verbruikers in de gebouwde omgeving. Voor het deel van het net waarmee wordt geleverd aan de gebouwde omgeving moet het warmtebedrijf dan voldoen aan de taken en verplichtingen die volgen uit de Wcw. Dit betekent dat vanaf het moment dat er wordt overgestapt naar kostengebaseerde tariefregulering, er kosten toegerekend worden aan de gereguleerde en ongereguleerde activiteiten van het warmtebedrijf.

Informatie- en leveringsplicht voor restwarmte

De Wcw geeft warmtebedrijven het recht om restwarmte 'op te halen' bij producenten van restwarmte. Dit kunnen bijvoorbeeld industriële bedrijven, grote koelinstallaties en datacenters zijn. Dit verplicht de restwarmteproducent om een warmtebedrijf te helpen en de restwarmte beschikbaar te stellen ('uitkoppelen'). De restwarmteproducent mag daarvoor niet méér rekenen dan de uitkoppelkosten. Dit zijn de aantoonbare kosten die de producent maakt om de restwarmte beschikbaar te stellen aan het warmtebedrijf. Het ophaalrecht stimuleert restwarmteproducenten om in kaart te brengen wat het verwachte gevolg is op de omvang van de restwarmtestroom bij (mogelijke) eigen verduurzamingsmaatregelen. Op deze manier weten we hoe de verwachte beschikbaarheid van restwarmte voor warmtenetten zich ontwikkelt. Dit geeft warmtebedrijven de zekerheid die nodig is om een goede haalbaarheidsstudie (business case) en warmtebronnen-strategie te maken.

Warmtetransportnetten

Op een aantal plaatsen in Nederland is het denkbaar dat er een aanhoudend overschot aan restwarmte is met een capaciteit die in meerdere gemeenten kan worden benut. In die gevallen ligt het voor de hand dat de warmte regionaal getransporteerd wordt om het aanbod bij de vraag te brengen. Die gemeenten kunnen ervoor kiezen om een voorgenomen warmtekavel vast te stellen dat de eigen gemeentegrenzen overstijgt. Het daar aangewezen warmtebedrijf zorgt voor het ontsluiten van de overcapaciteit van één of meerdere bronnen voor meerdere gemeenten. Een andere mogelijkheid is dat in de verschillende gemeenten een apart voorgenomen warmtekavel wordt vastgesteld met afzonderlijke aangewezen warmtebedrijven. Eén van die warmtebedrijven kan dan de ontsluiting van het warmteoverschot voor deze kavels organiseren. In dat geval stelt het aangewezen warmtebedrijf zijn transportnet ter beschikking voor het transport van warmte naar warmtekavels van andere warmtebedrijven.

Er zijn ook situaties denkbaar waarbij sprake is van een warmteoverschot en meerdere (potentiële) afnemers, maar waar de partijen er ondanks samenwerking niet uitkomen om een maatschappelijk optimaal transportnet tot stand te brengen. In zo'n geval blijft het aanwezige (rest)warmtepotentieel onbenut voor de regio. Het wetsvoorstel Wcw biedt voor dit soort situaties de mogelijkheid om een warmtetransportbeheerder aan te wijzen die de maatschappelijk optimale warmte-infrastructuur aanlegt en beheert. Hierbij moet wel worden voldaan aan het toetsingskader uit de Wcw:

- Er is sprake van een grootschalig aanbod van meerdere warmtebronnen die de lokale warmte-vraag structureel overstijgt en die met een warmtetransportnet op de meest doelmatige wijze beschikbaar kan worden gemaakt.
- Er zijn naar verwachting meerdere afzonderlijke afnemers in verschillende regionale gemeenten die warmte van het warmtetransportnet zullen afnemen.
- Het beschikbaar maken van de warmtebronnen leidt alleen door de aanwijzing van een warmte-transportbeheerder tot een efficiënte warmtetransitie in de regio en kan niet worden gerealiseerd door samenwerking tussen de betrokken warmtebedrijven.

3.2.2 Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw)

De Wet gemeentelijke instrumenten warmtetransitie (Wgiw) is een belangrijk hulpmiddel voor de energietransitie van de gebouwde omgeving. De Tweede Kamer nam op 23 april 2024 het wetsvoorstel aan. Op het moment van schrijven ligt het voor behandeling bij de Eerste Kamer. Het wetsvoorstel bevat wijzigingen van de Gaswet en de Omgevingswet. Daarnaast zijn samenloop-bepalingen opgenomen voor het wetsvoorstel Energiewet, die op termijn de Gaswet vervangt.



Het wetsvoorstel is bedoeld om gemeenten de bevoegdheid te geven om in een aangewezen wijk of gebied het transport van aardgas te beëindigen en over te stappen naar een duurzame warmtevoorziening. Dit heet de zogenoemde aanwijsbevoegdheid. Netbeheerders mogen vanaf de aangewezen datum geen aardgas meer transporteren naar het aangewezen gebied. Deze bevoegdheid is belangrijk om de kosten van de warmtetransitie niet onnodig te laten oplopen. Het helpt voorkomen dat er een dubbele infrastructuur in stand gehouden moet worden voor enkele achterblijvers die aan het aardgas willen blijven. Daarnaast helpt dit het volloopprijs van een warmtenet te beperken. Hierdoor kan het warmtebedrijf met meer zekerheid de juiste dimensionering van het warmtenet bepalen en op een kosteneffectieve manier duurzame bronnen te ontsluiten.

De bevoegdheid geeft daarnaast duidelijkheid aan bewoners en netwerkbedrijven. Indien alle woningen en gebouwen individueel van het aardgas afgaan, lopen de kosten voor de transitie harder op, los van de beperkte netcapaciteit en uitvoeringscapaciteit. Uit de ervaringen met de proeftuinen van het PAW (inmiddels NPLW) bleek dat een aanpak op basis van alleen vrijwilligheid niet voldoende is. Deze gemeenten geven aan dat zij de aanwijsbevoegdheid nodig achten om te kunnen sturen op de borging van publieke belangen en om hoge kosten voor de samenleving te voorkomen. Deze wettelijke bevoegdheden voor gemeenten zijn een belangrijke laatste, maar nog ontbrekende schakel voor een betaalbare transitie.

3.3 Financiering en realisatiekracht

De overheid heeft op dit moment voor de hele warmteketen verschillende mogelijkheden om te helpen met de financiering. Op deze manier kan de warmtesector omgaan met uitdagingen zoals het dekken van de onrendabele top, de risico's rond het ontwikkelen en exploiteren van warmtebronnen en het volloopprijs van de uitrol van warmtenetten.

In deze publicatie noemen we alleen instrumenten die impact hebben op de ontwikkeling van duurzame warmtebronnen. Subsidies aan de afnamekant beschrijven we niet.

3.3.1 SDE++

De regeling Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) is tot op heden de belangrijkste financieringsmogelijkheid voor duurzame warmtebronnen. Het is een opschalings- en uitrolinstrument voor CO₂-vrije warmtetechnieken voor grootschalige (collectieve of industriële) warmteprojecten. De SDE++ dekt de onrendabele top in de exploitatie van deze bronnen, waardoor

stelselmatige ontwikkeling van verschillende duurzame warmtebronnen mogelijk is. Dit neemt risico's weg voor de ontwikkelaars van warmtebronnen en warmtebedrijven.

Voor elke openstellingsronde van de SDE++ wordt een vaste cyclus doorlopen om de regeling te actualiseren aan de marktomstandigheden en ontwikkelbehoefte voor duurzame technieken. Dat begint met een conceptadvies van het PBL waarin actuele cijfers voor bijvoorbeeld kosten en rendementen worden vertaald naar basisbedragen voor de subsidie. Dit advies wordt met het ministerie van KGG afgestemd. Daarna worden bij de markt de aannames en kentallen getoetst en de behoefte aan nieuwe categorieën gepeild. Met die inbreng worden de parameters voor de volgende openstellingsronde vastgesteld.

Het uitgangspunt van de SDE++ is het stimuleren van zoveel mogelijk CO₂-reductie met duurzame opwek en CO₂-opslag tegen de laagste kosten, als prikkel om technieken zo goedkoop mogelijk te laten ontwikkelen. Warmtebronnen hebben een relatief hogere subsidie-intensiteit in vergelijking met wind, grootschalige zon-PV en CCS, en kunnen gezien hun lokale toepassing ook niet concurreren met andere technieken. Om te voorkomen dat de warmtebronnen door die rangschikking buiten de boot vallen zijn er zogenaamde 'hekjes' geïntroduceerd. Die zorgen ervoor dat er voor de domeinen 'LT-warmte' (voor warmtenetten), 'HT-warmte' (voor industrie en E-boilers) en 'moleculen' een deel van het openstellingsbudget gereserveerd is. Met de namen 'LT- en HT-warmte' van de SDE-domeinen wordt iets anders bedoeld dan de classificatie van warmtenetten op temperatuur-niveau zoals we dat hier verder gebruiken. In 2023 hadden deze hekjes een omvang van € 750 mln. per domein. De evaluatie laat zien dat er voldoende aanvragen voor die technieken komen om binnen die budgetruimte voor gezonde concurrentie te zorgen. Dat en de behoefte aan snellere opschaling van de warmtebronnen is aanleiding om de hekjes met de openstellingsronde van 2024 te verhogen tot € 1 mld. per domein.²⁵

3.3.2 Overige financieringsinstrumenten

Voor de opschaling van duurzame warmte is de hele keten nodig, van bron tot infrastructuur en afnemers. De Rijksoverheid zet verschillende instrumenten in om de risico's voor ondernemers te verkleinen, kosten in de keten te verlagen en de kapitaalcracht van investeerders en afnemers te vergroten. Uiteindelijk moet er een markt ontstaan met een betaalbaar aanbod voor eindgebruikers en een gezond rendement voor het warmtebedrijf en de bronhouder. Innovaties in de keten moeten bijdragen aan goedkopere en slimmere inzet van de beschikbare warmtebronnen, [zie ook hoofdstuk 3.4.](#)

²⁵ [Ministerie van EZK \(1 maart 2024\), Kamerbrief Openstellingsronde SDE++ 2024](#)



Een greep uit de relevante financieringsinstrumenten staat in onderstaande tabel. Het Rijk werkt voortdurend aan de verbetering van bestaande en de ontwikkeling van nieuwe instrumenten.

Financieringsinstrumenten Rijk

Instrument	Omschrijving
Energie-investeringsaftrek (EIA)	Ondernemers kunnen met de regeling Energie-investeringsaftrek de investeringskosten voor opwek van duurzame energie, bedrijfsmiddelen die CO ₂ besparen of energiezuinig zijn als aftrekpost opgeven.
Warmtenetten Investeringssubsidie (WIS)	Een investeringssubsidie voor de aanleg van warmtenetten die de onrendabele top dekt. Het net moet voldoen aan de Europese definitie van een 'efficiënt net', waarbij minimaal de helft van de bronnen duurzaam moet zijn. Deze bepaling is onderdeel van de EED die in Nederland geïmplementeerd wordt en is een verplichting voor financiering onder Europese staatssteunkaders.
Subsidie Warmte infrastructuur Glastuinbouw (SWiG)	Een investeringssubsidie voor de aanleg van warmtenetten ten behoeve van de glastuinbouw. Investeerders krijgen een hoger percentage subsidie als de toekomstige warmte volledig uit duurzame bronnen of restwarmte bestaat.
Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie (DEI+)	Subsidie voor het demonstreren in de praktijk van innovatieve opslagprojecten of warmtebronnen met een nieuwe techniek.
Stimuleringsregeling aardgasvrije huurwoningen (SAH)	Subsidie voor gemengde VvE's en verhuurders om huurwoningen aardgasvrij maken door deze aan te sluiten op een warmtenet.
Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing (ISDE)	Subsidie voor woningeigenaren op de aanschaf van duurzame installaties, woningsisolatie en/of de aansluiting op een warmtenet.

Tabel 4 Bekijk het complete en actuele overzicht op <https://www.rvo.nl/subsidies-financiering>.

3.3.3 Waarborgfonds

Het voorgestelde Waarborgfonds Warmtenetten wordt momenteel uitgewerkt. Het geeft warmtebedrijven gunstigere toegang tot de kapitaalmarkt door kredietrisico's voor financiers te verkleinen. Specifieke kredietrisico's bij warmtebedrijven spelen met name tijdens de bouwfase (tegenvallers of vertragingen) en de voltoopfase (vollooprisico). Ook tijdens de exploitatie kunnen zich incidenten voordoen waarvan de kosten niet (volledig) worden terugverdiend.

Het waarborgfonds staat garant voor de aflossings- en renteverplichtingen van het warmtebedrijf. Daardoor zijn banken bereid een lagere inbreng van eigen vermogen te vragen. Zo trekken

warmtebedrijven meer vreemd vermogen aan en hoeft er minder kapitaal te worden geïnvesteerd. Daarnaast profiteren warmtebedrijven van een lagere rente op hun leningen.

Naar verwachting zal het waarborgfonds op 2 manieren (indirect) bijdragen aan de ontwikkeling van warmtebronnen. Ten eerste zorgt de garantstelling voor financiële continuïteit van warmteprojecten bij tegenvallende of vertraagde voltoop. Hierdoor kunnen warmtebedrijven mogelijk ook meer volumezekerheid bieden aan warmtebronnen. Ten tweede hanteert het waarborgfonds haar eigen risicoselectie- en risicobeheersingsbeleid, waarbij zij onder andere stuurt op standaardisering van financierings- en ontwikkeltrajecten. Dit leidt op termijn tot een voorspelbaardere en snellere realisatie van warmtenetten, waardoor warmtebronnen beter kunnen anticiperen op de vraagontwikkeling.

3.3.4 Nationale deelneming

Het voorstel voor de Wcw biedt de mogelijkheid om een nationale deelneming aan te wijzen die kan participeren in warmtebedrijven. Zo versnelt de ontwikkeling van nieuwe netten en bronnen door het beschikbaar stellen van kapitaal en kan eenvoudig kennis en ervaring bij verschillende projecten worden uitgewisseld.

Uit onderzoek blijkt EBN de meest geschikte kandidaat om deze deelneming op te zetten. KGG onderzoekt aan welke voorwaarden moet worden voldaan om na inwerkingtreding van de Wcw daadwerkelijk een deelneming aan te wijzen. EBN heeft reeds een bestaande taak als medeaandeelhouder in geothermie. Vanuit deze rol kan EBN namens de Staat nu al participeren in aardwarmteprojecten.

3.4 Kennisontwikkeling en innovatie

Om de overstap (transitie) naar duurzame warmtebronnen te verbeteren, zijn er verschillende initiatieven voor het ontwikkelen van kennis en het stimuleren van innovaties.

WarmingUP

Het Collectief WarmingUP was één van deze initiatieven. Het doel van WarmingUP was het verzamelen van nieuwe kennis om duurzame warmtebronnen met verschillende temperatuur-niveaus en volumes slim te combineren. Het collectief bestond uit verschillende deelnemers uit de publieke en private sector. Het project is medio 2023 afgerond. De opgedane kennis is te vinden op www.warmingup.info.



Uit WarmingUP zijn verschillende vervolprogramma's en projecten ontstaan, waaronder WarmingUPGOO en NieuweWarmteNu!.

WarmingUPGOO richt zich op geothermie en ondergrondse warmteopslag²⁶. Met dit project willen we het gebruik van geothermie en ondergrondse warmteopslag in Nederland versnellen:

- vergroten van inzicht in de (midden diepe) ondergrond;
- versnellen van de uitrol van hoge temperatuur-opslag (HTO);
- verbeteren van het proces van geothermie-installaties;
- vergroten van maatschappelijk draagvlak.

NieuweWarmteNu! (NWN!) is een leer- en ontwikkelprogramma om kennis en ervaring op te doen waaruit standaarden voor nieuwe projecten in de warmtetransitie kunnen worden ontwikkeld²⁷. Met middelen uit het Nationaal Groeifonds worden verschillende projecten binnen NWN! gerealiseerd.

Topsector Energie en innovatieprogrammering

Het Topconsortium voor Kennis en Innovatie (TKI) Urban Energy omvat enkele Meerjarige Missiegedreven Innovatieprogramma's (MMIP's), waaronder het MMIP 4-programma: *Duurzame warmte en koude in de Gebouwde Omgeving*. Daarmee willen we een competitief, aantrekkelijk aardgasvrij aanbod voor eindgebruikers in de bestaande woning-, utiliteits- en glastuinbouw ontwikkelen en daarna opschalen. Voor warmtenetsystemen met (opgewaardeerde) duurzame warmtebronnen is het nodig om vraag en aanbod optimaal op elkaar aan te sluiten. Zo gebruiken we duurzame warmtebronnen zo efficiënt mogelijk en verminderen we de kosten voor warmtelevering. Een overzicht van de MMIP's en hun actuele innovatie-inzet is te vinden op [Missie Gebouwde Omgeving, een CO₂-vrije gebouwde omgeving \(topsectorenergie.nl\)](https://missiegebouwdeomgeving.topsectorenergie.nl).

Een ander belangrijk terrein waarop de Topsector Energie zich inzet is het vergroten van de uitvoeringscapaciteit die nodig is voor de energietransitie. Arbeidsmarkt en scholing zijn belangrijke factoren in de transitie naar een duurzame economie. Om de klimaatdoelen te halen zijn nieuwe competenties en vele tienduizenden extra arbeidskrachten nodig.

De Topsector Energie spant zich in voor betere scholing en doorstroom naar onder meer de warmtesector. Betere kwaliteit, gelijkwaardigheid én toegankelijkheid van scholing is wat de Topsector Energie stimuleert via de Human Capital Agenda²⁸.

²⁶ [WarmingUPGOO - WarmingUp](#)
²⁷ [Samen sneller van het aardgas af - Nieuwe Warmte Nu \(nwn.nu\)](#)
²⁸ [Human Capital Agenda \(topsectorenergie.nl\)](#)

Proeftuinen PAW

In Nederland zijn 66 proeftuinen actief vanuit het programma Proeftuin Aardgasvrije Wijken (PAW). Die proeftuinen gebruiken verschillende technieken en methoden. Rijksoverheid en gemeenten werken samen om te leren hoe de warmtetransitie wijkgericht aangepakt kan worden (inrichten en opschalen). Deze regeling staat inmiddels niet meer open. De 66 proeftuinen zijn nog wel volop in ontwikkeling. Er wordt inmiddels veel kennis gedeeld en ontwikkeld. Het PAW-programma is per 2023 overgegaan naar het NPLW.

Kas als Energiebron

Sinds 2005 ontwikkelen de partijen in het programma 'Kas als Energiebron'²⁹ kennis en vernieuwende technieken voor energiebesparing en voor gebruik van duurzame energie in de glastuinbouw. 2 tot 3 keer per jaar vraagt Kas als Energiebron aan kennispartijen om projectvoorstellen in te dienen. Het programma heeft veel aandacht voor de praktijkkennis van onder andere tuinbouwondernemers, adviseurs en toeleveranciers. Mensen uit de praktijk begeleiden alle onderzoeksprojecten via commissies. Deze commissies denken actief mee over de richting van toekomstig onderzoek.

Kennisondersteuning gebiedsaanpak energie glastuinbouw

Het lopende programma Kennisondersteuning gebiedsaanpak energie glastuinbouw helpt ondernemerscollectieven in de glastuinbouwclusters (greenports). Het programma helpt op verschillende manieren: oriëntatie, analyse en het ontwikkelen van een energiestrategie zodat de ondernemer(s) samen een klimaatneutrale energievoorziening kunnen realiseren.

²⁹ www.kasalsenergiebron.nl

Beleidslandschap voor duurzame collectieve warmte



- Marktordening, regulering, normering (Wcw)
- Instrumenten & bevoegdheden wijkaanpak gemeenten (Wgiw)
- Kaders & vergunningstelsel geothermie (Mijnbouwwet)
- Kaders & vergunningstelsel bodemenergie (Waterwet)
- Europese richtlijnen duurzame warmte & efficiënte netten (implementatie RED & EED)

Wetgeving

- Afbouw fossiele bronnen & AVI's (o.a. ETS; Routekaart AVI's IenW)
- Kaders en regie in ondergrond voor geothermie en bodemenergie (NP Bodem, Ondergrond en Grondwater IenW)
- Ontsluiting restwarmte (o.a. 'ophaalrecht' Wcw; WarmtelinQ; implementatie EED)
- Beperken impact netcongestie (LAN)
- Stimuleren systeemintegratie en flexibilisering (o.a. NPE; vroege fase opschalingsfonds)
- Duurzame piekvoorziening (o.a. duurzaamheidskader biogrofstoffen)

Bronstrategieën & energiesysteem

- Voortgang & samenhang warmtetransitie (PV GO)
- Ondersteunen gemeenten regierol (NPLW)
- Informatievoorziening warmte-opties voor Warmteprogramma (Handreiking Warmteprogramma)
- Ondersteunen regio's bij bovenlokale afstemming & bronnenstrategie (NP RES)

Ondersteunen lokale transitie

Kennisontwikkeling & innovatie

- Agenderen innovatie-inzet duurzame warmte & koude (TKI UE MMIP 4)
- Stimuleren innovatie (DEI+; HER+)
- Kostendaling & standaardisatie (NWN!)
- Doorontwikkeling warmteopslag (Routekaart Energieopslag)
- In kaart brengen beschikbaarheid geothermie (SCAN)
- Kennisontwikkeling duurzame glastuinbouw

Financiering & realisatiekracht

- Stimuleren realisatie bronnen (SDE++; EIA)
- Financieren onrendabele top warmtenetten (WIS; SWiG)
- Verkennen integraal financieringsinstrumentarium collectieve warmte
- Beperken risico bronontwikkeling (RNES)
- Verkleinen ontwikkelrisico warmtenetten (voorstel Waarborgfonds)
- Versterken uitvoeringskracht (voorstel nationale deelneming)



4 Duurzame warmtebronnen

Voor de uitrol van duurzame collectieve warmtesystemen in (met name) de gebouwde omgeving en glastuinbouw kunnen een aantal duurzame bronnen en technieken in Nederland gebruikt worden. We hopen met dit document de medeoverheden en andere partijen die betrokken zijn bij het schrijven van warmteprogramma's, bronnenstrategieën e.d. te helpen met een objectieve schets van de technieken en de mogelijkheden, verwachtingen en aandachtspunten daarbij. Het is een poging om alles af te dekken en tegelijk beknopt te blijven, daarom wordt er veel doorverwezen naar de achterliggende informatie en betrokken partners. In hoofdstuk 4 leest u over de beschikbare duurzame bronnen. In hoofdstuk 5 leest u over de technieken die vaak nodig zijn om het warmte-aanbod beter bruikbaar te maken en/of efficiënter in te zetten.

4.1 Geothermie



Introductie

We verwachten dat geothermie als hernieuwbare warmtebron een belangrijke rol gaat spelen in de verdere verduurzaming van de Nederlandse warmtevoorziening. Nederland is een uitstekend land voor geothermie: onder veel gebieden liggen geschikte watervoerende lagen (aquifers). Die kunnen de bewoners en bedrijven erboven voorzien van duurzame aardwarmte (en soms ook koude). Hoe dieper je gaat, hoe warmer het wordt. Gemiddeld zo'n 30°C per 1.000 meter.

Geothermie noemen we ook wel aardwarmte. Het is duurzame warmte uit de ondergrond. De warmte zit diep onder onze voeten. Hiermee kunnen we warmtenetten voeden om huizen, utiliteitsgebouwen, kassen en (lichte) industrie te verwarmen.

Hoe werkt het?

1. We pompen warm water uit de ondergrond.
2. We dragen warmte over via een warmtewisselaar aan een warmtenet.
3. We injecteren het afgekoelde water in de originele geologische laag (ondergrond).

Hiervoor hebben we waterdoorlatende bodemlagen nodig met genoeg capaciteit om de gewenste hoeveelheden warmte te leveren. Bij de meeste projecten gebruiken we een productie- en een injectieput (geothermiedoublet). Ook andere configuraties kunnen goed werken. Er zijn ook al geothermie-technologieën in ontwikkeling die minder afhankelijk zijn van de doorlatendheid van de ondergrond.

4.1.1 Temperatuurniveaus en mogelijke opbrengst

Diepe geothermie

Tot nu toe kennen we in Nederland vooral geothermiebronnen met een temperatuur van 70 tot 100°C in aquifers met diepten tussen de 1.500 en 4.000 meter. Nederland is goed bedeeld met aquifers die voor diepe geothermie geschikt zijn. Voor zover we weten zien we deze onder minstens 1/3 van het land. Als andere omstandigheden ook gunstig zijn kan diepe geothermie rechtstreeks MT-netten en soms zelfs bestaande HT-netten voeden. Diepe geothermie is naast de gebouwde omgeving ook inzetbaar in de glastuinbouw en de lichte industrie.

Ondiepe geothermie

Er kan ook geothermie worden gewonnen uit ondiepere aquifers tussen de 500 en 1.500 meter onder maaiveld. Deze geothermie kunnen we rechtstreeks inzetten voor LT-warmtenetten. We kunnen ook de temperatuur verhogen met warmtepompen en daarmee MT-warmtenetten voeden. Het voordeel is dat geschikte aquifers op deze diepte in een nog groter deel van Nederland voorkomen. Ook in gebieden waar geen diepe geothermie aquifers zijn. De temperaturen, vermogens en kosten bij dit soort projecten zijn lager dan bij diepe geothermie. Daarom kunnen we ook kleinere projecten in kleinere dorpen of steden ontwikkelen met minder afnemers. Dit kan in bepaalde situaties een voordeel zijn.

Ultradiepe geothermie (UDG)

Ultradiepe geothermie (UDG) is geothermie vanuit een diepte van meer dan 4 kilometer. In theorie kunnen we deze rechtstreeks inzetten voor elektriciteitsopwekking of industrieel gebruik. Op dit moment zijn de onzekerheden over de bodemopbouw en de winbaarheid van ultradiepe geothermie in Nederland zo groot dat er nog geen succesvolle UDG-projecten gerealiseerd zijn.



Bodemenergie

Internationaal bedoelt men met 'geothermische energie' alle in de vorm van warmte onder het vaste aardoppervlak opgeslagen energie³⁰. In Nederland noemen we geothermie uit de bovenste 500 meter ondergrond vaak bodemenergie. Dat omvat ook bodemenergiesystemen voor seizoensopslag van warmte (en evt. koude) waarbij er gemiddeld over een langere periode geen warmte wordt onttrokken of toegevoerd. Vanaf een diepte van 20 meter merken we normaal gesproken geen seizoensinvloeden meer. De thermische energie uit ondiepe lagen kunnen we ook gebruiken voor koeling in de zomer.

Geothermie kunnen we grofweg indelen in 4 dieptecategorieën met bijpassende temperatuurniveaus:

Geothermie dieptecategorieën

	Diepte	Temperatuur	Rechtstreeks geschikt*	Geschikt met warmtepomp**
Bodemenergie	tot 500m	minder dan 25 °C	ZLT- of bron-net	LT- of MT-net
Ondiepe geothermie	500m-1500m	25 °C tot 55 °C	LT-net	MT-net
Diepe geothermie	1500m-4000m	55°C tot 100 °C	MT- en LT-net	HT-net
Ultradiepe geothermie (UDG)	> 4000m	meer dan 100 °C	HT-,MT- en LT-net	Alle netten

*Maximale efficiëntie (COPs) kan bereikt worden door cascadering en diepere uitkoeling.

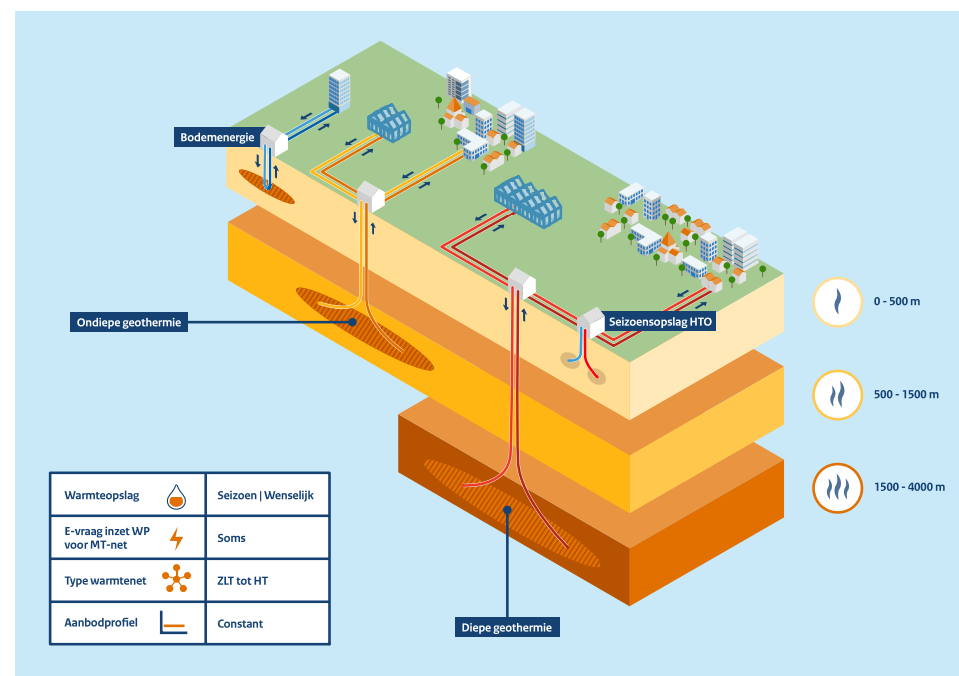
**De efficiëntie zal hoger zijn wanneer geen warmtepomp nodig is om de aardwarmte in temperatuur op te waarden om de temperatuur van het warmtenet te matchen.

Tabel 5

³⁰ Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen (herschikking) (Voor de EER relevante tekst). Pagina 102, definitie "geothermische energie" <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>

Geothermie kan ook warmte leveren aan de lichte industrie, zoals de voedingsmiddelenindustrie. Deze industrie heeft vaak voldoende aan lage(re) temperaturen. Afhankelijk van het temperatuurniveau dat nodig is voor het industriële proces kunnen we indien nodig een industriële warmtepomp 'bijschakelen' om het juiste temperatuurniveau te bereiken. De combinatie van de gebouwde omgeving met bijvoorbeeld glastuinbouw of lichte industrie kan ook zorgen voor voldoende schaalgrootte van de warmtevraag voor (diepe) geothermieontwikkeling.

Geothermie is 24/7 het hele jaar beschikbaar. Het is dus een uitstekende bron voor warmte. Veel andere duurzame bronnen zijn vaak afhankelijk van het weer of seizoen. Ook is het meestal een grote duurzame bron. Diepe geothermiedoubletten van meer dan 10 MWth zijn geen uitzondering.



Figuur 7 De verschillende vormen en belangrijkste eigenschappen van geothermie



Zelfs doubletten met een vermogen van meer dan 20 MWth komen voor. Hiermee kunnen we in één keer vele duizenden woningen of grootschalige kassencomplexen van het gas halen. Er moeten dan wel voldoende afnemers in het gebied zijn of er moet een warmtenet met voldoende afnemers aangelegd kunnen worden.

De hoeveelheid aardwarmte die geleverd wordt, hangt in belangrijke mate af van de retourtemperatuur van het net (en dus de injectietemperatuur). Hoe meer de temperatuur van productie- en injectie verschilt, hoe meer duurzame aardwarmte we aan het water onttrekken. MT- en LT-netten achter elkaar plaatsen kan een ideale manier zijn om het water zoveel mogelijk te koelen. Dit noemen we cascadering. Kan dit niet? Dan kunnen we de retour ook verder 'uitkoelen' met een warmtepomp.

Warmtelevering met geothermie als bron heeft een (veel) hogere efficiëntie dan warmtelevering met aquathermie of aerothermie. Dit noemen we COP (Coefficient of Performance). Dit komt doordat de temperatuur van de ondergrond in de winter veel hoger is (hoe dieper, hoe hoger) dan de temperatuur van oppervlaktewater en heel veel hoger dan die van de buitenlucht. Die is immers het koudste op dagen dat we de meeste warmte nodig hebben.

Door deze hoge COP (vaak > 15 tot 20) kunnen we met geothermie een duurzame en kosten-effectieve warmtevoorziening realiseren. Het effect op het elektriciteitsnet is daarmee veel kleiner dan bij het gebruik van een bron die afhankelijk is van het weer en seizoen, zoals aerothermie met een lucht-waterwarmtepomp.

Met de combinatie van geothermie met HT- of MT-opslag kunnen we geothermiebronnen een groter deel van het jaar op maximaal vermogen laten draaien. De gecombineerde bron volgt dan nog de midden- en zelfs pieklastmomenten. Ook leveren we met dezelfde bronnen in de winter hogere vermogens. Dit is financieel meestal voordeliger.

4.1.2 Stand van zaken

In december 2006 startte in Heerlen de boring naar warm water op zo'n 700 meter diepte in de ondergelopen mijngangen van de in 1973 gesloten Oranje-Nassau III steenkolenmijn. Het Mijwaterproject deed deze eerste succesvolle geothermieboring (> 500 meter) in Nederland. Er volgden nog 4 boringen. De warmte uit het mijwater wordt sindsdien gebruikt voor de verwarming van woningen en utiliteitsbouw. Een jaar later volgde de eerste boring van circa 1.800 meter diep bij een tomatenkweker in Bleiswijk. Dit was de eerste glastuinder die zijn kassen duurzaam verwarmde met geothermie in plaats van fossiel aardgas.

Sinds die tijd is in Nederland een groot aantal diepe geothermiedoubletten gerealiseerd, vooral voor de glastuinbouw. In 2023 waren er in Nederland 39 geothermiedoubletten op 27 locaties waarvan de meeste al warmte leveren:

- Deze zijn samen goed voor 7 PJ aan duurzame warmte.
- Dit is te vergelijken met het gasverbruik van 165.000 huishoudens (een stad als Utrecht).
- De jaarlijkse besparing op CO₂-uitstoot is 365.000 ton CO₂.
- De jaarlijkse besparing op fossiel aardgas is ca. 193.000.000 m³.

Bodemenergie, toegepast in zowel individuele als collectieve systemen, is momenteel goed voor 7 PJ aan warmte (voorlopige cijfers 2023) en 2 PJ aan koude (2022).³¹

Geothermie in de gebouwde omgeving zien we op dit moment nog niet veel. Naast het Mijwaterproject is ook het Haagse Aardwarmte Leyweg (HAL)-project operationeel. Ook is er een klein aantal glastuinbouwprojecten dat aan een paar omliggende gebouwen aardwarmte levert.

Ontwikkelingen

Een groot aantal nieuwe geothermie-projecten is in ontwikkeling. De eerste stappen om geothermie grootschalig te ontwikkelen voor de gebouwde omgeving worden gezet.

[Het Nederlandse Olie- en Gasportaal](#) toont een actueel overzicht van vergunningen voor mogelijke nieuwe geothermielocaties en de status daarvan. Het ministerie van Economische Zaken en Klimaat wil de ontwikkeling van geothermie in de gebouwde omgeving versnellen. Samen met de geothermiesector werkt zij hard aan het oplossen van knelpunten.

4.1.3 Eigenschappen en uitdagingen

Een aantal eigenschappen van geothermie biedt voordelen en daardoor kansen:

- Geothermie is een lokale bron. We hoeven het niet te importeren. Geopolitieke ontwikkelingen zijn daarom niet van invloed. Dit stabiliseert prijzen en de energiezekerheid.
- Geothermie is op veel plekken in Nederland te vinden en kan onder voorbehoud van een aantal voorwaarden en factoren worden ingezet:
 - diepe geothermie (1.500-4.000 meter) onder zeker 1/3 van Nederland;
 - ondiepe geothermie (500-1.500 meter) op nog meer plaatsen;
 - bodemenergie (<500 meter) is vrijwel overal te gebruiken waar de provincie dat toestaat (als bevoegd gezag voor de drink- en grondwaterbescherming).

³¹ [Aardwarmte en bodemenergie; onttrekking van warmte en koude | CBS](#).



- Geothermie is voor een groot deel onzichtbaar, het ruimtebeslag bovengronds is beperkt. Ook vervuilt het de horizon niet.
- Geothermie is 24/7 beschikbaar. Het hangt niet af van het weer of jaargetijde. Het is daardoor een voorspelbare en betrouwbare warmtebron.
- Geothermie is een warmtebron met hoge temperaturen waardoor hoge COPs bereikt kunnen worden. Hiermee besparen we elektriciteit en/of gas vergeleken met de meeste andere warmtesystemen.
- Geothermie vergt een netaansluiting voor o.a. de vereiste pompenergie, maar kan helpen de netverzwaring in de wijken van het warmtenet te beperken.
- Geothermie kan afhankelijk van de diepte een LT-, MT- of zelfs HT-bron zijn. De combinatie met MT- of HT-Opslag is ideaal om geothermie voor midden- en pieklast in te zetten. Bodemenergie (geothermie <500 meter) is een ZLT-bron of seizoensopslag. Het kan ook koude leveren.
- Geothermie heeft vrijwel geen 'kritieke' grondstoffen nodig (CRM: Critical Raw Materials). Hierdoor is de waardeketen grotendeels 'made in Europe'.
- Geothermie is vaak een grote bron waarmee we in één keer grote aantallen woningen of andere gebruikers van het gas kunnen halen. Hierdoor kunnen we meters maken, ontzorgen we bewoners en voorkomen we energiearmoede.
- Om de geothermiebron optimaal in te zetten is er een (voldoende) grote warmtevraag nodig die overeenkomt met de grootte van de geothermiebron met daaraan gekoppeld een warmtenet.
- Geothermie kent een hoge CAPEX (investeringskosten) en lage OPEX (terugkerende/operationele kosten).
- Bodemenergie wordt al veel toegepast. Er zijn ongeveer 3.000 bodemenergiesystemen (vaak WKO genoemd) in gebruik voor het verwarmen en koelen van kantoren, ziekenhuizen en woongebouwen. Als een bodemenergiesysteem meerdere gebouwen voorziet van warmte en koude is er sprake van een warmtenet.

Naast bovenstaande eigenschappen zijn er ook uitdagingen. Vooral bij gebruik voor de gebouwde omgeving. Deze uitdagingen moeten we aanpakken om geothermie grootschalig te (kunnen) gebruiken:

- Door de schaal (aantal warmteaansluitingen dat overeenkomt met de (verwachte) grootte van de geothermiebron) en het ontwikkeltempo van nieuwe warmtenetten schuiven we investeringsbeslissingen over een geothermiebron vaak voor ons uit. Eerst willen we zekerheid over de (financiering van de) aanleg van het warmtenet. Er ontstaat dan vaak een 'kip-ei situatie'. Investerders in warmtenetten willen eerst zelf zekerheid over de geothermiebron en het aantal afnemers. Dit 'afnamerisico' of 'volloopriscio' speelt niet alleen bij geothermie. Het is bij geothermie wel uitdagender omdat het vaak om een grote bron gaat.

- In een deel van Nederland is de ondergrond nog onvoldoende bekend. Dit noemen we de 'witte vlekken' of 'data-arme' gebieden. Door de laatste seismische analyses en wetenschappelijke proefboringen vanuit het SCAN-programma hebben we al meer kennis van de ondergrond in deze gebieden. Dit is alleen nog onvoldoende voor nieuwe geothermieprojecten.
- Bij het winnen van aardwarmte kunnen kleine hoeveelheden aardgas in het water opgelost zijn. Daarom moet bij het boren en produceren van geothermie altijd veilig gewerkt worden. Het gas kan worden teruggepompt in de injectieput maar ook worden afgevangen om het te gebruiken in een ketel of WKK voor de piekvoorziening.
- Er zijn meer activiteiten en belangen met ruimtebeslag in de Nederlandse ondergrond. Met name het beschermen van grondwatervoorraden kan betekenen dat geothermie en bodemenergie op bepaalde plaatsen niet -of met beperkingen- gewonnen kan worden. Kennisontwikkeling en meer regie op slim gebruik van de ondergrond kan de warmtewinning ten goede komen.

4.1.4 Ontwikkelperspectieven beleid

Geothermie is een bron van duurzame warmte met grote potentie. De verwachting is dat we zo'n kwart van de hele Nederlandse warmtevraag³² in de toekomst duurzaam kunnen invullen met geothermie (>500 meter). Daarnaast kan ook bodemenergie een groot aandeel duurzame warmte en koude leveren. Een groot deel daarvan gaat eigenlijk over opslag. Waar het gaat om seizoensopslag is er uiteraard wel warmte en/of koude uit een andere bron nodig.

Verwachte ontwikkelingen tot 2030

Geothermie in Nederland is een jonge sector die snel professionaliseert. We staan nog maar aan het begin van de sterke groei van geothermie. Naar alle waarschijnlijkheid neemt de komende jaren het aantal geothermiesystemen sterk toe. De geothermiesector sprak in 2022 in haar 'Voorzet actieplan versnelling geothermie'³³ de ambitie uit om in 2030 40-50 PJ duurzame warmte per jaar te leveren. Dit kan als alle betrokken partijen snel grote stappen zetten in de doorlooptijden van projecten en de ontwikkeling van warmtenetten. Ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG) vindt dit getal ambitieus en ziet zelf 15 PJ als een meer haalbaar doel voor 2030³⁴. Een groot deel hiervan gaat dan nog steeds naar de glastuinbouw. Maar ook aan de gebouwde omgeving gaat geothermie naar verwachting al een bijdrage leveren. Daarnaast kan geothermie mogelijk ook aan delen van de (lichte) industrie warmte leveren.

³² O.b.v. Energie in Cijfers, EBN <https://www.ebn.nl/wp-content/uploads/2024/01/EBN-Infographic-2024.pdf>

³³ Actieplan versnelling geothermie - Geothermie Nederland

³⁴ Ministerie van EZK, Kamerbrief voortgang geothermie, 31 239, nr. 320 (2020)



Verwachte ontwikkelingen tot 2050

Geothermie heeft de potentie om meer dan 200 PJ warmte te leveren voor 2050. Daarmee voorziet geothermie in ongeveer 25% de totale warmtevraag (industrie inbegrepen). Op dit moment wordt aardwarmte nog bijna niet gebruikt voor het verwarmen van woningen. Op de lange termijn is de gebouwde omgeving de grootste afnemer van aardwarmte. Hoe groot dat aandeel is, hangt sterk af van het aantal nieuwe grootschalige warmtenetten.

Volgens het Nationaal Warmtenet Trendrapport 2021 kan geothermie (> 500 meter) in 2050 minimaal 210 PJ duurzame warmte per jaar leveren. Daarbovenop komt volgens het trendrapport in 2050 nog eens 108 PJ aan Bodemenergie (<500 meter)³⁵.

De Nederlandse ambities voor geothermie liggen in lijn met die op Europees niveau. De Geothermal Implementation Working Group (Geothermal IWG) is een werkgroep van EU-lidstaten, onderzoeksinstellingen en industrie. Deze werkgroep ondersteunt de implementatie van het SET-Plan (Europa's Strategisch EnergieTechnologieën Plan). Zij voorziet een klimaatneutraal Europa in 2050, waarin geothermische warmte meer dan 25% van de totale Europese vraag naar ruimteverwarming levert.

KGG en RVO starten de volgende initiatieven om de ambities voor geothermie te ondersteunen. Enkele zijn al uitgevoerd:

Regelgeving en ondersteuning:

- De nieuwe Mijnbouwwet voor geothermie is per 1 juli 2023 ingevoerd. Daarin staat een op maat toegesneden vergunningsstelsel voor geothermie.
- Doorontwikkeling van de Handreiking Geothermie (ontwikkeld voor gemeenten, in april 2023 uitgebracht door het Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie) en het CASI-communicatietraject voor kansrijke gemeenten.
- Gericht ervaringen uitwisselen tussen een brede groep stakeholders over de eerste geothermieprojecten voor de gebouwde omgeving in Nederland.

Financiering en subsidie:

- Ondersteuning van projecten met subsidie vanuit de SDE++. www.rvo.nl/subsidies-financiering/sde. Het is belangrijk om de samenhang van alle bronnen en de effectiviteit van deze steun voor de gebouwde omgeving te monitoren. Er is immers een combinatie van bron, warmtenet en opslag nodig.

- Ondersteuning om geologisch risico bij boringen af te dekken vanuit de regeling Risico's dekken voor aardwarmte (RNES Aardwarmte, ook wel 'garantieregeling aardwarmte' genoemd) www.rvo.nl/subsidies-financiering/rnes.
- Onder de nieuwe Mijnbouwwet moet EBN verplicht deelnemen aan geothermieprojecten. De verwachting is dat de toegevoegde organisatie- en investeringskracht de opschaling van geothermie versterkt.
- In het Klimaatfonds zijn financiële middelen gereserveerd voor voorbeeld- en innovatieprojecten voor ondiepe geothermie, ultradiepe geothermie (UDG) en hoge temperatuur-opslag (HTO)).
- Voor kantoren waar koeling belangrijk is, zijn bodemenergiesystemen al een rendabele toepassing. Hiervoor is geen aparte subsidie nodig. Voor woningbouw is er momenteel vaak nog geen rendabele business case. Waar een bodemenergiesysteem als opslag wordt gebruikt, is vaak aquathermie of aerothermie de duurzame bron.

Kennis:

- KGG subsidieert EBN voor het in kaart brengen van gebieden waar weinig kennis is over de ondergrond, met seismiek en wetenschappelijke boringen (SCAN-programma) www.scanaardwarmte.nl. Dit levert regionale kennis op over de ondergrond.
- Doorontwikkeling van ThermoGIS voor ontwikkelaars van geothermieprojecten laat de lokale geothermie-potentie zien: www.thermogis.nl.
- RVO zorgt ervoor dat het overzicht van bodemenergiesystemen in Nederland en de mogelijkheden daartoe op www.wkotool.nl actueel blijft.

Innovatie:

- Uitgebreide steunmogelijkheden voor innovaties in de geothermie (R&D, pilots en demo's) met nationale Energie-Innovatie subsidies www.rvo.nl/onderwerpen/subsidies-energie-innovatie.
- Subsidiering door KGG van het Rijswijk Center for Sustainable Energy. Dit is een innovatiecentrum dat zich (ook) richt op de ontwikkeling en het testen van nieuwe en goedkopere geothermietechnieken www.rcsg.nl.
- Internationale kennisuitwisseling en (innovatie)samenwerking op het gebied van geothermie. GEOTHERMICA www.geothermica.eu, Geothermal IWG www.geothermal-iwg.eu en deelname aan verschillende IEA TCP's (Technology Collaboration Programmes) faciliteren deze uitwisseling en samenwerking.

³⁵ [Nationaal Warmtenet Trendrapport 2021](#)



4.1.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming

Geothermie is voor Nederland een van de belangrijkste warmtebronnen. Het kan op veel plekken toekomstbestendige warmte leveren tegen lage maatschappelijke kosten. Daarnaast kan het helpen netcongestie te beperken. Om deze belofte waar te maken is het belangrijk dat er tot 2030 in de gebouwde omgeving voldoende projecten starten waarmee ervaring wordt opgedaan en die als voorbeeld dienen. Daarna kan de uitrol op volle kracht verder. KGG wil met haar beleid die ontwikkeling faciliteren.

Praktijksignalen voor verdere stimulering³⁶

Veilige en verantwoorde geothermiewinning is uiteraard een essentiële randvoorwaarde. De sector zelf heeft dit actief opgepakt, onder andere met de ontwikkeling van industriestandaarden, verdere professionalisering en kennisdeling in de sector. De overheid kan bijdragen door duidelijke publiekrechtelijke regels, alsmede heldere beleidskaders en toezicht. Dit draagt ook bij aan voorspelbaarheid en vergroot de investeringszekerheid.

Het reduceren van doorlooptijden van vergunningsaanvragen, meer flexibiliteit en afstemming ten aanzien van subsidies en garanties, alsook het zorgdragen voor een efficiëntere samenwerking in de warmteketen, kan helpen de ontwikkeltijd van geothermieprojecten te verkorten. Dit reduceert risico's en zorgt voor minder kosten.

Naast de al lopende acties, kunnen de volgende zaken helpen om de ontwikkeling van geothermie (actief) te versnellen:

- Stimuleer actief de ontwikkeling van ondiepe geothermieprojecten (500-1.500 meter), daar waar diepe geothermie niet kan of te grootschalig is voor de toepassing. Zorg hierbij voor passende ondersteuning zoals een instrument voor vroege-fase-opscaling waarmee we in korte tijd een flink aantal voorbeeldprojecten kunnen realiseren.
- Ontwikkel een nieuw financieel instrument dat aansluit bij de hoge ontwikkelkosten en specifieke risico's die de snelle opscaling van geothermie als grootschalige warmtebron remmen. Als gekozen wordt voor een 50% CAPEX subsidie in combinatie met 50% exploitatie-subsidie (a la de SDE++) zal dit meerdere problemen mitigeren (o.a. volloop) en tot een lagere warmtekostprijs leiden.
- Zorg ervoor dat ook in nieuwe gebieden ('witte en data-arme gebieden') projecten van de grond kunnen komen. Het SCAN-programma kan niet overal alles in kaart brengen, dus er blijft een onzekerheid over de ondergrond in bepaalde gebieden. Dit vermindert pas wanneer

er daar een of enkele werkende projecten zijn. Daarom is het belangrijk om in deze gebieden actief de markt 'los te trekken'. Oplossingen kunnen zijn:

1. Aangepaste garantieregeling (RNES 'witte gebieden') met een hoger acceptabel risicoprofiel, en met een bredere dekking, naar het voorbeeld van andere lidstaten,
2. Ondersteunen van proefboringen van marktpartijen (vanuit capex-subsidie),
3. Ondersteunen van een beperkt aantal commerciële voorbeeldprojecten in 'witte/data-arme gebieden' (capex-subsidie).

Daarnaast blijft innovatie belangrijk om nieuwe concepten te ontwikkelen, integratie te optimaliseren en geothermie goedkoper, efficiënter en breder toepasbaar te maken. Internationale samenwerking en kennisuitwisseling kan innovatie maar ook implementatie versnellen en goedkoper maken.

4.1.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

Voorbeeldprojecten

Bekijk de overzichten van geothermieprojecten (> 500 meter):

- <https://geothermie.nl/geothermie/locaties-in-nederland/> (brancheorganisatie Geothermie Nederland)
- www.allesoveraardwarmte.nl/aardwarmtewinning-locaties/
- www.allesoverbodemenergie.nl

De meeste van deze projecten zijn geothermieprojecten in de glastuinbouw. Lees ook hieronder over enkele gerealiseerde of geothermieprojecten die nog in ontwikkeling zijn in de gebouwde omgeving:

- **HAL Den Haag.** De aardwarmte-installatie Haagse Aardwarmte Leyweg (HAL) levert via bestaande warmtenetten aan woningen en bedrijven in Den Haag-Zuidwest. In 2021 zijn de laatste werkzaamheden afgerond en startte de winning van aardwarmte. Sinds 2022 levert de HAL warmte voor zo'n 2.000 woningequivalenten aan het Haagse warmtenet van Eneco. De centrale kan genoeg warmte produceren voor ongeveer 4.000 woningequivalenten wanneer het net verder groeit. Lees meer op www.haagseardwarmte.nl.
- **Geothermie Delft.** In 2023 is op de campus van TU Delft succesvol een aardwarmtebron (doublet) geboord. Deze aardwarmte zal worden gebruikt om de campus van de universiteit te verwarmen via een bestaand warmtenet. Ook woonwijken in Delft zullen met deze aardwarmte worden verwarmd. Hiervoor wordt een warmtenetwerk aangelegd. In eerste instantie gaat het om circa 5.000 woningen in Delft-zuid. Op termijn verwachten ze een groei naar 15.000 aansluitingen.

³⁶ Zie bijlage B voor een indeling van de ontvangen praktijksignalen naar mogelijke beleidsopvolging



Ook gebruikt de TU Delft de aardwarmteputten voor een onderzoeksprogramma van onderzoekers en studenten naar de winning van geothermie. Zo monitoren zij de komende jaren intensief de ontwikkeling van de putten, het gedrag van het water en de zandsteen waar het geothermale water doorheen stroomt. Lees meer op www.geothermiedelft.nl.

Ook landen buiten Nederland werken hard aan de verduurzaming van de warmtevoorziening met geothermie:

- **Parijs (Frankrijk).** Parijs begon al in de jaren '70 van de vorige eeuw gebouwen en woningen te verwarmen met geothermie. Ondertussen leveren circa 50 warmtenetten aardwarmte aan meer dan 250.000 woningen. Maar ook aan utiliteitsgebouwen, zoals het vliegveld van Paris-Orly. Parijs werkt volop aan uitbreiding. Lees meer op <https://www.thinkgeoenergy.com/?s=paris>.
- **München (Duitsland).** Het warmtenetwerk van München is 900 kilometer lang en wordt voortdurend uitgebreid. Het doel is om uiterlijk in 2040 de volledige warmtevoorziening van München klimaatneutraal in te vullen. Hiervoor zet München vol in op geothermie. Het Münchense nutsbedrijf SWM kondigde in 2022 aan 1 miljard euro te investeren in geothermische uitbreiding in München. Het doel is 400 tot 450 MW aan thermische energie. SWM exploiteert al 6 geothermische warmtecentrales, waaronder de op het moment grootste geothermiecentrale van Duitsland in Sendling. Die levert warmte aan meer dan 80.000 inwoners. In 2024 start SWM met een 7e centrale. Lees meer op www.swm.de/magazin/energie/geothermie, www.thinkgeoenergy.com/?s=munich en www.bayern-innovativ.de/en/page/seventh-geothermal-plant-planned-in-munich.
- **Århus (Denemarken).** Århus is de op een-na-grootste stad van Denemarken. Sinds november 2023 wordt er geboord om grote delen van de stad met geothermie te kunnen verwarmen. In totaal worden 17 aardwarmtebronnen geboord. Deze leveren naar verwachting 110 MWth aan geothermie aan het warmtenetwerk van de stad. Hierop is 95% van alle 180.000 huishoudens aangesloten. Lees meer op innargi.com/project/aarhus/ en www.thinkgeoenergy.com/tag/aarhus/

Achtergrondinformatie

- Richtlijn (EU) 2018/2001 van het Europees Parlement en de Raad van 11 december 2018 ter bevordering van het gebruik van energie uit hernieuwbare bronnen (herschikking) (Voor de EER relevante tekst). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/NL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001>
- Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652 https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413 of
- [CL2018L2001EN020010.0001.3bi_cp 1..1 \(europa.eu\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202302413)

- RES Factsheet Warmte (versie november 2023) <https://regionale-energiestrategie.nl/energiesysteem/warmte/1654091.aspx>
- Handreiking Geothermie RVO <https://www.expertisecentrumwarmte.nl/themas/marktordening+en+financiering/handreiking+geothermie/default.aspx>
- Wat is bodemenergie en aardwarmte RVO <https://www.rvo.nl/onderwerpen/bodemenergie-aardwarmte/wat-het>
- NPLW factsheet geothermie <https://www.nplw.nl/technieken/warmtebronnen/geothermie/default.aspx>
- Geleerde lessen UDG – EBN <https://www.ebn.nl/aardwarmte-onderzoek-naar-aardwarmte-onderzoek-naar-udg-geleerde-lessen-udg-rapporten-geleerde-lessen-udg-rapporten/>
- Alles over aardwarmte.nl <https://www.allesoveraardwarmte.nl/>
- Geothermie Nederland <https://geothermie.nl/>
- Geothermie Nederland – locaties in Nederland <https://geothermie.nl/geothermie/locaties-in-nederland/>
- Bodemenergie Nederland <https://bodemenergie.nl/>
- CBS Hernieuwbare energie in Nederland 2022 <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/-/rapportages/2023/hernieuwbare-energie-in-nederland-2022/samenvatting#:~:text=Het%20aandeel%20hernieuwbare%20energie%20was,22%20procent%20uit%20zonne%20Denergie>
- Nationaal Warmtenet Trendrapport 2021. Stichting Warmtenetwerk/Dutch New Energy Research (2020, 2 november) www.warmtenettrendrapport.nl
- Adviesrapport Geothermie in de gebouwde omgeving <https://www.ebn.nl/feiten-en-cijfers/kennisbank/adviesrapport-geothermie-in-de-gebouwde-omgeving/>
- Voorzet actieplan versnelling geothermie 2022 <https://geothermie.nl/over-ons/actieplan-versnelling-geothermie/>
- SCAN scanaardwarmte.nl
- Nieuwe Warmte Nu-OWD <https://nwn.nu/projecten/vliegwielpjecten/open-warmtenet-delft/>
- Mijwater Heerlen/Parkstad <https://mijnwater.com/>
- Geothermal IWG www.geothermal-iwg.eu/ en www.geothermal-iwg.eu/files/ugd/d2a943_qd8dc3dfe4774e38891675e551aff8c.pdf
- GEOTHERMICA Initiative <http://www.geothermica.eu/>



4.2 Restwarmte



Introductie

De definitie van restwarmte is onvermijdelijke thermische energie. Het wordt als bijproduct in industriële- en stroomopwekkingsinstallaties of ondernemingen opgewekt. Gebruiken we dit niet, dan komt het ongebruikt in lucht of water terecht en is het niet verbonden met een stadsverwarmings- of -koelingssysteem^{37,38}.

Restwarmte gebruiken voor collectieve grote warmtevoorzieningen is CO₂-neutraal en heeft veel potentie voor de toekomst³⁹. Thermische energie wordt pas gezien als restwarmte als het een

onvermijdelijk restproduct is uit een bedrijfsproces dat zonder ontsluiting via een warmtenet verloren gaat aan de omgeving. Bijvoorbeeld restwarmte uit:

- industriële (productie)processen;
- datacenters;
- koelsystemen van utiliteitsbouw.

Lees meer over restwarmte in het factsheet van het NPLW⁴⁰.

Als we de warmte ontsluiten en het gaat ten koste van het hoofdproduct van de installatie, dan is het geen bijproduct en dus ook geen restwarmte. Warmte uit een WKK zien we daarom niet als restwarmte. Warmte die we in elektriciteitscentrales en afvalverbrandingsinstallaties opwekken gaat (in enige mate) ten koste van de elektriciteitsproductie. Het is daarom geen onvermijdelijk bijproduct. We noemen dit aftapwarmte. Warmte uit rookgassen die we uit de schoorsteen terugwinnen zien we wél als restwarmte.

Restwarmte is een aanwezig restproduct. Daarom zijn de exploitatiekosten van restwarmte laag; die beperken zich tot de uitkoppelkosten. Wél is het bronrisico groot: de beschikbaarheid en leveringszekerheid van de restwarmte hangt af van de bedrijfszekerheid van de restwarmte-producent. Hoe groter het aandeel van de restwarmtebron in de warmtelevering is, hoe groter het probleem als deze onverhoopt wegvalt.

De industrie is terughoudend om een langjarige afspraak voor restwarmtelevering af te sluiten.

Een restwarmteproducent wil in eerste instantie graag energie besparen en de restwarmte-levering verkleinen. Dit doet hij door zijn processen efficiënter in te richten en zelf warmte te hergebruiken.

Dit is voor de producent het meest duurzaam en financieel aantrekkelijk. Blijft de producent een warmteoverschot houden dat hij niet 'binnen de eigen poort' kan gebruiken? Dan is de restwarmte geschikt om aan een andere partij te leveren, zoals een warmtebedrijf.

Om de afhankelijkheid van één bron te verkleinen, zijn robuuste warmtenetten met verschillende bronnen en een back-upvoorziening nodig. De kracht van restwarmte zit in de bundeling van grote clusters van aanbod en vraag. De restwarmte moet vaak een grote afstand overbruggen om aan te sluiten op de warmtevraag. Een goed voorbeeld is WarmtelinQ. Dit project kan veel restwarmte over grote afstanden vervoeren vanuit meerdere bronnen in het Rotterdamse havengebied naar de warmtevraag in en rond Den Haag, Leiden en het Westland. Het risico van het uitvallen van een enkele bron wordt verkleind door de schaal van het project (er zijn meerdere bronnen aangesloten).

Het bronrisico is overigens veel kleiner bij restwarmteproducenten die langjarig bijna 100% van de tijd een stabiele warmtestroom leveren. Dit zien we bijvoorbeeld bij datacenters en grote koelingen. Die zijn nieuw, ontworpen om nooit uit te vallen en vaak voor de lange termijn ontwikkeld.

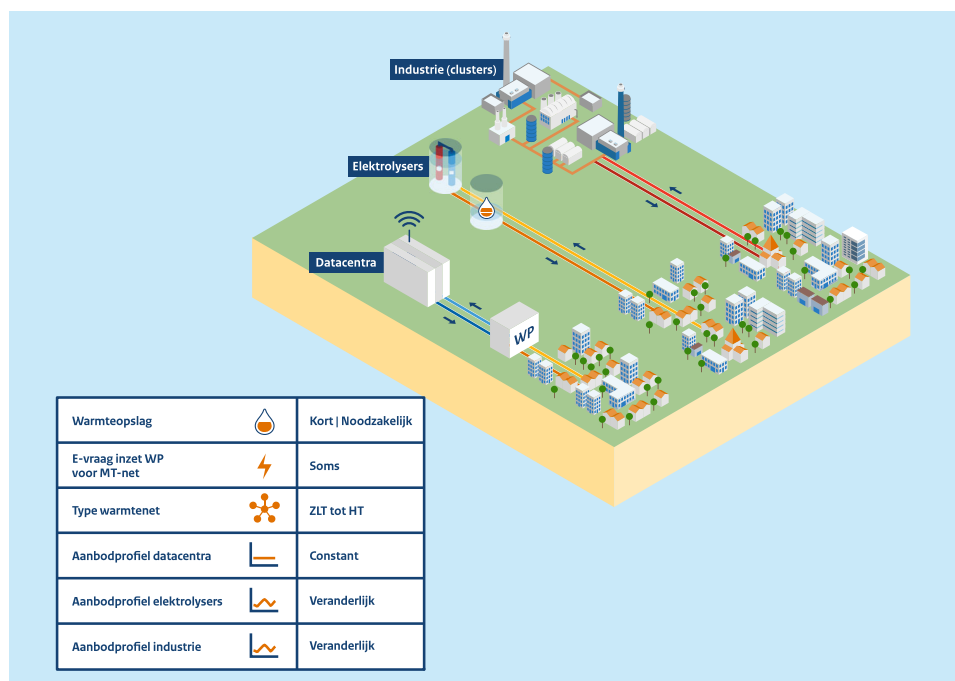
Op de korte termijn zijn de kosten van restwarmte laag. Op de lange termijn is vaak het bronrisico hoger of onzeker. We kunnen daarom restwarmte in sommige gevallen gunstig gebruiken als opstart- of overgangsbron in de warmtetransitie. De inzet van restwarmte kan een springplank zijn voor de ontwikkeling van een grote geothermiebron en zo de voltoopfase te overbruggen. Restwarmte in MT- of LT-netten kan een rol blijven spelen door een deel van de warmtevraag in te vullen boven op de basislevering door (ondiepe) geothermie.

³⁷ Europese Commissie (2023), [RED III](#)

³⁸ RVO (2022), [Protocol monitoring hernieuwbare energie](#)

³⁹ Rijksoverheid (2023), [Overheid stimuleert nuttige toepassingen van restwarmte](#)

⁴⁰ NPLW (2023), [Restwarmte | Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie \(nplw.nl\)](#)



Figuur 8 De verschillende vormen en belangrijkste eigenschappen van restwarmte

4.2.1 Temperatuurniveaus en mogelijke opbrengst

Restwarmte komt uit een breed aanbod van verschillende soorten bronnen. De temperatuur en het leveringsprofiel van de restwarmte hangen af van het type proces waar het uitkomt.

Hoge- en midden-temperatuur (HT/MT)

HT- en MT-restwarmte komt vooral voor bij industriële productie- en verwerkingsprocessen:

- petrochemische industrie;
- metaalverwerking;
- biologische processen zoals vergisting en mestverwerking.

Ook uit productieprocessen van bijvoorbeeld voedingsmiddelen, glas en papier komt soms HT- en MT-restwarmte. Daarnaast is elektrolyse voor de productie van groene waterstof in opkomst, het huidige beleidsdoel is om in 2032 8 GW elektrolysecapaciteit te hebben⁴¹.

Hoewel er nog veel onzeker is over o.a. de plaatsing en het warmte-aanbodprofiel van elektrolyzers in de fase na 2030, zien we hierin een interessante en toekomstbestendige bronnen van MT restwarmte.

Tot slot zullen er de komende decennia enkele nieuwe kerncentrales worden gebouwd en komen er in de verdere toekomst daarnaast mogelijk *small modular reactors* (SMR's) die meer verspreid over het land en dicht bij de warmtevraag kunnen worden geplaatst. Strikt genomen leveren deze centrales geen restwarmte maar aftapwarmte, wat de ontwikkelaar op basis van EED artikel 26 verplicht om te onderzoeken of en hoe de warmte benut kan worden. Ook in de groei van kernenergie ligt daarmee een potentieel voor nieuwe toekomstbestendige CO₂-vrije warmte in Nederland.

Sommige industriële productie- en verwerkingsprocessen worden niet constant uitgevoerd (variabel karakter). Andere processen zijn juist heel constant. Elk type proces bepaalt het leveringsprofiel en de beschikbaarheid van restwarmte. Ook als de industrie verduurzaamt, blijven veel (productie)processen op hoge temperatuur doorgaan. De verwachting is dat er vaak nog steeds aantrekkelijk veel restwarmte overblijft.

Productie- en verwerkingsprocessen zien we het meest in industriële gebieden. Vaak zijn dit gebieden met een zogenaamde hoge energie-intensiteit: industriële bedrijven zitten geclusterd bij elkaar. Dit betekent ook dat er vaak grote afstand is tussen de bron(nen) en de warmtevraag in de gebouwde omgeving. Inzet van restwarmte in die gevallen is meestal alleen rendabel als het om grote hoeveelheden gaat in aanbod en vraag. In andere gevallen kan warmte en koude uitwisselen tussen bedrijven onderling (business-to-business-warmtelevering) gunstiger zijn door kortere afstand. Het leidingwerk van het warmtenet is erg duur. Hoe groter de afstand, hoe duurder het warmtenet. Die business-to-business-warmtelevering zien we als besparing binnen de industrie.

⁴¹ Rijksoverheid (2023), [Kabinet investeert fors in opschaling waterstof](#)



Lage temperatuur (LT)

Lage temperatuur restwarmte komt veelal vrij bij koelingsprocessen. Producten, installaties of ruimtes worden op een gewenste temperatuur gehouden. Voorbeelden van processen waarbij (Z)LT-warmte vrijkomt:

- koeling van warenhuizen, supermarkten en utiliteitsbouw;
- vriesopslag;
- industriële processen;
- datacenters.

Ook de warmte in het effluent (gezuiverd afvalwater) van rioolwaterzuivering is een vorm van restwarmte uit een proces. Alle warmte die niet wordt gebruikt voor het zuiveringsproces en zich nog in het water bevindt dat wordt geloosd is immers een 'onvermijdelijk bijproduct'. Dit warmte-aanbod staat verder bekend als thermische energie uit afvalwater (TEA), waarover u meer leest in [hoofdstuk 4.3 Aquathermie](#).

Bronnen die (Z)LT-restwarmte leveren, zijn meestal constant. Koeling van warenhuizen en vriesopslag vragen altijd (het hele jaar) een lage temperatuur. Ook bij datacenters moeten de servers continu onder een bepaalde kritische temperatuur blijven om goed te functioneren. Dit zorgt voor een stabiele warmtelevering. We kunnen continu warmte 'uitkoppelen'. Ook in de winter. Deze warmte is dus erg geschikt voor warmtelevering in de basislast. Dit geldt niet voor comfortkoeling in de utiliteitsbouw. Dit is vooral in de zomer nodig en heeft dus niet het hele jaar een constant karakter.

Het aantal datacenters groeit in Nederland. Daarmee groeit ook de beschikbare restwarmte. Uit een inventarisatie van de branchevereniging blijkt dat we in 2022 al bij 9 datacenters in Nederland restwarmte afnemen. Daarnaast zijn er nog 12 datacenters met warmte-uitkoppeling in aanbouw⁴².

LT-restwarmte komt vaak vrij uit de lichtere industrie. Dit betekent over het algemeen dat deze industrie ook dicht bij de gebouwde woonomgeving gevestigd is. De afstand tot mogelijke afnemers is hierdoor vaak klein of middelgroot. Met name supermarkten liggen vaak in de buurt van woonwijken. Datacenters vestigen zich vaak op bedrijventerreinen in de buurt van steden.

De temperatuur van LT-restwarmte is vaak onvoldoende voor directe verwarming of transport over grotere afstanden. Deze warmte moeten we eerst met een warmtepomp opwaarderen naar een hoger bruikbaar niveau. Dit kan op een centrale locatie of bij de afnemer. LT-restwarmte kunnen we

wél eenvoudig gebruiken voor ZLT-warmtenetten. Daar is de warmtevraag groter dan de koudevraag. De LT-restwarmte kan de WKO (warmte-koude-opslag) regenereren en zorgen voor de benodigde energiebalans.

Mogelijke opbrengst

Restwarmte voor verwarming in de gebouwde omgeving gebruiken we op het moment nog niet veel. De levering van restwarmte aan grote warmtenetten was in 2022 zo'n 1,3 PJ⁴³. Dit is dus zo'n 5% van alle warmte die grote warmtenetten nu gebruiken. We verwachten dat het inzetbaar potentieel blijft toenemen, omdat het technisch en financieel gaandeweg steeds beter lukt om restwarmte te benutten. Vooral het warmtetransportnet WarmtelinQ ontsluit op korte termijn een flink potentieel aan industriële restwarmte voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw. Het is de verwachting dat de komende 10 jaar meerdere regionale warmte(transport)netten zullen ontstaan waar een groot warmteaanbod voorhanden is.

De totale hoeveelheid industriële restwarmte en de gemiddelde temperatuur daarvan zullen de komende decennia dalen doordat de industrie bespaart en verduurzaamt. Maar ook dan verwachten we dat er voor de toekomst grote hoeveelheden restwarmte beschikbaar zullen blijven. Het huidige potentieel van restwarmte wordt op basis van warmtelozingen ingeschat op 100 PJ/jaar⁴⁴.

Het totale haalbare potentieel tot 2050 is nog moeilijk in te schatten. Tegenover de afname vanuit de industrie staat de genoemde groei van het aantal datacenters en elektrolyzers met restwarmte-potentie. 8 GW aan waterstofproductie kan jaarlijks 20-40 PJ/jaar aan restwarmte opleveren. Een voorzichtige verwachting is dat er daarvan zo'n 14-28 PJ/jaar kan worden uitgekoppeld mits de afstand tot de warmtevraag op een rendabele manier overbrugd kan worden. De locatiekeuze voor deze eerste lichting van grotere elektrolyzers hangt sterk samen met de beschikbaarheid van voldoende capaciteit op het elektriciteitsnet en afname of transport van de waterstof.

De nuttige toepassing van datawarmte komt ook steeds vaker voor. Volgens de Dutch Datacenter Association is het restwarmtepotentieel in Nederland zo'n 14 PJ/jaar⁴⁵. Hiernaast blijft het gebruik van restwarmte uit stoomprocessen en rookgascondensatie bij industriële productieprocessen op een aantal clusters/locaties ook na 2050 mogelijk. Uit een inventarisatie blijkt dat bijvoorbeeld in het haven- en industriecomplex rond Rotterdam naar verwachting zo'n 45 PJ/jaar aan restwarmte beschikbaar blijft, waarvan 12 PJ/jaar uit elektrolyse²⁶.

⁴² Dutch Datacenter Association (2022), [Datathermie in perspectief](#)

⁴³ RVO (2022), [Duurzaamheidsrapportage 2022](#)
⁴⁴ CE Delft (2019), [Restwarmte, de stand van zaken](#)
⁴⁵ DDA (2022), [Datathermie in perspectief](#)



De algemene verwachting is dat het totale restwarmtepotentieel tot 2050 doorgroeit, maar dat de gemiddelde temperatuur van het restwarmteaanbod daalt. Dit sluit aan bij de verwachte daling van de gevraagde temperatuur.

Algemene eigenschappen en potentie restwarmte

	HT/MT	(Z)LT
Temperatuur	50-100+°C	15-50°C
Leveringsprofiel	Doorgaans variabel	Doorgaans constant
Vermogen	Hoog	Laag
Afstand tot woningbouw	Groot/Middelgroot	Middelgroot/klein
Haalbaar potentieel 2050	100 PJ/jaar Waarvan: Elektrolyse 14-28 PJ/jaar Datathermie 14 PJ/jaar	

Tabel 6

4.2.2 Stand van zaken

Restwarmte heeft een groot potentieel. Toch komen warmteprojecten nog moeizaam van de grond. Dit komt onder meer omdat de bronnen nog niet goed in beeld zijn bij warmtebedrijven. Overheden en bronhouders zijn ook vaak nog voorzichtig in het afgeven van een leveringsgarantie voor de hele terugverdienperiode van de restwarmte-installatie en het warmtenet. Ondanks subsidieregelingen zoals de SDE++ voor restwarmte wordt het bronrisico vaak nog als te groot gezien. De bronhouder ziet er vaak te weinig voordeel in om de warmte aan te bieden. Ook doen bronhouders in de HT- en MT-industrie vaak eerst onderzoek naar hergebruik van de restwarmte binnen de eigen organisatie en daarna pas tussen bedrijven onderling. Uitkoppeling naar een warmtenet staat vaak onderaan op de prioriteitenlijst bij bronhouders. Dit vertraagt het gebruik van restwarmte in het algemeen.

Ontwikkeling

In beleid kijken we steeds meer naar de mogelijkheden om bronhouders aan te sporen tot het aanbieden van het onvermijdelijke overschot aan restwarmte. Zo komt het ophaalrecht in het wetsvoorstel voor de Wcw eraan. Met die verplichtingen en kaders kunnen warmtebedrijven en restwarmteproducenten de uitkoppeling van restwarmte met voldoende zekerheid realiseren. Onderdeel hiervan is informatieplicht voor restwarmteproducenten. Dat geeft een beter inzicht in

het huidige en toekomstige potentieel van restwarmte. Dit versnelt ook het onderzoek naar de uitkoppeling van restwarmtebronnen. Zo stimuleert de Wcw warmtebedrijven om kosteneffectief en toekomstbestendig restwarmte in te zetten.⁴⁶

Onder de Europese energie-efficiëntie richtlijn (EED) hebben grootverbruikers van energie sinds 2023 een informatie- en onderzoeksplicht rondom energiebesparing. Zij moeten onder andere over de niet gebruikte warmtestromen rapporteren. Deze update van de EED verplicht bedrijven ook te onderzoeken of restwarmte gebruikt kan worden en te optimaliseren bij grote nieuwe installaties.

Ook het Versnellingsprogramma verduurzaming bedrijventerreinen stimuleert het gebruik van restwarmte. Dit programma is een initiatief van de TKI Urban Energy, TNO en het ministerie van BZK. Het is bedoeld om robuuste warmte- en koude-uitwisseling binnen en vanuit bedrijventerreinen onderdeel te maken van verduurzamingsplannen op onze bedrijventerreinen.

4.2.3 Eigenschappen en uitdagingen

Een aantal eigenschappen van restwarmte biedt voordelen en daardoor kansen:

- Door de verwachte groei in datacenters en elektrolyzers neemt het aantal bronnen van restwarmte en dus het potentieel toe.
- Bij nieuwe industriële investeringen kunnen we in een vroeg stadium van het ontwerp rekening houden met restwarmte-uitkoppeling.
- Het gebruik van restwarmte leidt tot win-win situaties met voordelen voor bronhouder, warmtebedrijf en afnemer:
- Bij koelprocessen is het uitkoppelen van restwarmte een belangrijke kostenbesparing voor de restwarmteproducent.
- Warmtelevering draagt bij aan maatschappelijk verantwoord ondernemen van restwarmteproducenten. De producent deelt de energie en is via het warmtenet letterlijk verbonden met de mensen die wonen in de omgeving.
- Het warmtebedrijf ontvangt en levert duurzame restwarmte met lage(re) opwekkosten.
- De eindgebruiker ontvangt duurzame restwarmte. De lage(re) opwekkosten uiten zich in een laag tarief voor het restwarmtedeel.
- Als de uitkoeling nodig is voor het bedrijfsproces, bespaart de bronhouder op onderhouds- en afschrijfkosten door de uitkoppeling van warmte bij sommige restwarmtebronnen zoals datacenters.

⁴⁶ Een nadere toelichting over de verduurzamingsprikkel in de Wcw leest u in paragraaf 3.2.1



- Geaggregeerde ontsluiting van restwarmtebronnen via regionale warmtenetten verlaagt duidelijk de bronrisico's (met meerdere bronnen tegelijk of met één transportleiding). Zo kunnen we veel restwarmte gebruiken voor grote delen van de gebouwde omgeving in de regio.

Naast bovenstaande eigenschappen zijn er ook uitdagingen. Deze uitdagingen moeten we aanpakken om restwarmte grootschalig te (kunnen) gebruiken:

- De locatie van restwarmtebronnen is redelijk goed in beeld door initiatieven zoals de [Warmteatlas](#). Een duidelijk inzicht in vermogen, temperatuur en andere eigenschappen van die bronnen is er nog niet. Cluster Energie Strategieën (CES) werkt aan een rapportage over de vraag en aanbod van energiestromen, zoals restwarmte. Zogenaamde data safe houses geven voor elk industriecluster een betrouwbaarder beeld. Dit helpt ook warmtebedrijven bij het verkennen van kansrijke bronnen.
- De betrouwbaarheid van de bron is altijd iets onzeker. Het gevolg van het mogelijk onvoorzien wegvallen van een restwarmtebron verkleinen we met een robuuste en grootschalige aanpak met meerdere bronnen, piek- en back-up-voorzieningen. Hierdoor zijn we minder afhankelijk van één bron. Deze strategie vraagt alleen een hogere investering. Maar ook een (noodzakelijke) grote regierol voor bijvoorbeeld een nationale deelneming of regionaal warmtebedrijf.
- Als de restwarmteproducenten onjuiste of geen restwarmtegegevens delen met het warmtebedrijf vertraagt dit de samenwerking met een warmtebedrijf dat leidt tot een leveringsovereenkomst. De informatieplicht in de aankomende Wet collectieve warmte (Wcw) voorkomt dit.
- Volgens het *energy efficiency first* principe moet de producent eerst de restwarmte zelf gebruiken. Eerst optimaal gebruiken 'binnen de poort', daarna volgt de onderlinge uitwisseling tussen bedrijven en daarna pas levering aan woningen in de omgeving. Deze volgorde is wenselijk, maar werkt ook vertragend. Het duurt namelijk langere tijd voordat de eerste 2 mogelijkheden zijn verkend en/of uitgevoerd.
- Sommige restwarmtebronnen, zoals elektrolyzers, leveren soms variabel en onvoorspelbaar. Ze zijn dan niet continu beschikbaar. Hierdoor kunnen we de warmtebron niet direct gebruiken. We moeten dan extra investeren in aanvullende bronnen of warmteopslag voor een stabiele warmtelevering.
- Netcongestie kan de komende jaren vertragend werken als we een warmtepomp moeten inzetten met de restwarmtebron.

4.2.4 Ontwikkelperspectief en beleid

In het huidige beleid is financiële steun mogelijk uit de SDE++-subsidie voor het ontwikkelen van restwarmtebronnen. De laatste jaren steeg het aantal aanvragen in de categorie rest- en CO₂-arme-warmte. In 2024 zijn er 11 restwarmteprojecten bij de SDE++ in beheer met een potentie van 4 PJ⁴⁷. Deze projecten zijn tussen 2020 en 2022 aangevraagd. Ze zijn nog niet in gebruik.

Alleen deze financiële steun is waarschijnlijk niet genoeg om de nodige groei te realiseren. Er zijn namelijk ook nog niet-financiële knelpunten:

- Onzekerheid over de beschikbaarheid van de bron op lange termijn.
- Onvoldoende in kaart brengen/hebben van ongebruikte warmtestromen.
- Terughoudendheid van producenten om een langjarige afspraak aan te gaan (commitment).

De informatie- en onderzoeksplicht die er vanuit de EED sinds 2023 is, draagt bij aan een duidelijk beeld van ongebruikte warmtestromen. Grootverbruikers van energie moeten hierover rapporteren en onderzoeken of hergebruik of uitkoppeling van restwarmte mogelijk is. Dit biedt warmtebedrijven perspectief. Het versnelt de uitkoppeling van restwarmte in de komende jaren.

Om de drempel te verlagen voor het beschikbaar stellen van onvermijdbare onbenutte warmte wordt in de Wet collectieve warmte (Wcw) het ophaalrecht voorgenomen. Een warmtebedrijf kan een geschikte restwarmteproducent vragen om zijn restwarmte uit te koppelen naar een warmtenet in plaats van het te lozen. Het beoogde ophaalrecht in de Wcw verplicht de restwarmteproducent om daaraan mee te werken. Het warmtebedrijf vergoedt de uitkoppelkosten en er komt een duidelijke leveringsovereenkomst. De warmte zelf wordt kosteloos geleverd aan het warmtebedrijf. Het streven is dat de Wcw en daarmee het ophaalrecht in 2025 ingaat.

De grote industriële broeikasgasbronnen moeten hun uitstoot versneld verminderen. Om dit te stimuleren werkt de overheid zogenaamde maatwerkafspraken uit met deze bedrijven. Daarin leggen ze afspraken vast over het proactief beschikbaar stellen van restwarmte. Op die manier geven deze bedrijven extra zekerheid op de lange termijn over de beschikbaarheid van hun restwarmte. Zij leveren zo een belangrijke bijdrage aan het verduurzamen van hun eigen omgeving. Bij die afspraken is er oog voor het voorkomen van mogelijke lock-in-effecten en zo verdere verduurzaming van de bedrijven in de weg kunnen staan.

⁴⁷ RVO (2024), [Feiten en cijfers SDE++](#)



4.2.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming

De potentie van restwarmte is belangrijk genoeg om restwarmte slim te gebruiken waar dat kan. Extra opschaling is mogelijk als we het beleid daarop inrichten en (ontwikkeling van) grote restwarmteprojecten ondersteunen. Op basis van signalen uit de praktijk en beleidsonderzoeken zien we enkele kansen om op te kunnen schalen.

Bij de implementatie van de EED zal de overheid eisen of verplichtingen instellen om de geschiktheid van restwarmte te onderzoeken bij de ontwikkeling van nieuwe restwarmtebronnen zoals datacenters en elektrolyzers. Als we dit benadrukken in de ontwikkelfase verkorten we de doorlooptijd. Ook kunnen gemeenten bij het vaststellen van omgevingsplannen en de allocatie van nieuwe bedrijvigheid nadenken over locaties waar zij installaties met restwarmtepotentieel het best kunnen gebruiken.

We stimuleren de opschaling van restwarmte nog meer door steun vanuit subsidies, voor die bedrijven die (nog) geen subsidie aangevraagd hebben. Dit kan bijvoorbeeld in het voortraject door haalbaarheidsstudies te ondersteunen. Dit verlaagt de drempel in het begin van het ontwikkeltraject en dit beperkt het risico voor de ontwikkelaar.

Praktijksignalen voor verdere stimulering

- We moeten nauwkeurig(er) restwarmtebronnen in kaart brengen en dit openbaar maken. Zo geeft de rapportage van de onderzoeks- en informatieplicht voor Energiebesparing inzicht in het restwarmtepotentieel dat relatief eenvoudig beschikbaar kan worden gemaakt voor medeoverheden en warmtebedrijven.
- We beperken de bijbehorende onzekerheid over het toekomstig restwarmteaanbod van individuele restwarmtebronnen door een mix van verschillende (rest)warmtebronnen aan te sluiten. We kunnen vanuit grote industrieclusters en bedrijventerreinen zo'n stabiele warmtestroom ontsluiten, als het lukt om het vereiste (regionale) warmtetransport te realiseren. De afstand naar de gebouwde omgeving en/of glastuinbouw die we moeten overbruggen kan ertoe leiden dat een project een individueel warmtebedrijf boven het hoofd groeit. De overheden kunnen dit ondersteunen door de regie te pakken en bijvoorbeeld een nationale deelneming aanwijzen.
- Het verstrekken van een investeringssubsidie voor regionale warmte-infrastructuur is een andere belangrijke impuls. Deze projecten vallen namelijk buiten het bereik van de huidige WIS en SDE++ regelingen.

- Een restwarmteproducent kan niet altijd een langjarige leveringsgarantie afgeven voor de terugverdienperiode van de investering van het warmtebedrijf. Het opzetten of uitbreiden van een landelijk garantiefonds kan het financieel risico van het wegvallen van een bron dekken. Dit verkleint het investeringsrisico voor warmtebedrijven flink.
- Een 'keurmerk' voor maatschappelijk verantwoord ondernemen door bedrijven die restwarmte leveren aan hun omgeving vergroot de bereidheid van producenten om deze projecten aan te gaan.
- Subsidie of ondersteuning voor haalbaarheidsstudies voor grootschalige restwarmte-uitkoppeling verkleint het risico van zogenaamde voorinvestering.
- We moeten bij realisatie van nieuwe restwarmtebronnen direct het restwarmtepotentieel onderzoeken en de installaties in ieder geval voorbereiden op uitkoppeling.
- We moeten restwarmte-uitkoppeling meenemen in bestemmingsplannen en algemene ruimtelijke ordening en vraag en aanbod van warmte bij elkaar brengen in het plan.

4.2.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

Voorbeeldprojecten

- [Datacenter Eindhoven](#) – voorbeeld van een operationeel datathermieproject
- [WarmtelinQ](#) – Voorbeeld grootschalig infrastructuurproject voor restwarmte-uitkoppeling

Achtergrondinformatie

- [Website NPLW \(Restwarmte\)](#) – Informatiepunt voor restwarmte
- [Handreiking gebiedsgerichte warmteuitwisseling](#) – Handreiking met praktische tips voor organisatorische aanpak van restwarmte-uitkoppeling (RVO)
- [Warmteatlas](#) – interactieve kaart met restwarmtebronnen
- [Cluster Energie Strategie](#) – CO₂-emissiebesparingsaanpak van grote energieclusters
- [Restwarmte Datacenters](#) – informatiepunt met onderzoeken over potentiële datathermie in Nederland (RVO)
- [Datathermie in perspectief](#) – Vooruitblik op datathermie in Nederland
- Studie 'Restwarmte uit elektrolyse' (TNO, 2024) – Vooruitblik op restwarmte uit elektrolyse in Nederland
- [Projectenkaart](#) – interactieve kaart met restwarmteprojecten



4.3 Aquathermie



Introductie

Aquathermie is de benutting van warmte en koude uit water. We kunnen de thermische energie winnen uit:

- oppervlaktewater (TEO);
- afvalwater bij zuiveringsinstallaties (TEA);
- drinkwaterleidingen (TED)⁴⁸.

Aquathermiebronnen leveren zeer lage temperatuur-warmte. De temperatuur is ook seizoensafhankelijk. We kunnen de warmte of koude uit het water opslaan in de bodem (WKO). In de winter is dan een hoge(re) temperatuur beschikbaar dan wanneer het direct uit het water komt. Daarna verhoogt een warmtepomp de temperatuur nog. Dit kan zowel centraal in een warmtenet als decentraal bij de eindgebruiker. In theorie is er een groot potentieel voor aquathermie in Nederland. Er moet alleen nog snelheid komen in de ontwikkeling van projecten. Dit ligt vaak ook aan de ontwikkeling van het warmtenet.

Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)

Bij thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) halen we warmte uit kanalen, rivieren en meren. Deze warmte gebruiken we voor het verwarmen en koelen van gebouwen of glastuinbouw. Er is veel oppervlaktewater in Nederland. Vaak dicht bij de rand van de gebouwde omgeving of zelfs tot binnenin de wijken.

Hoe werkt het?

- We pompen het natuurwater via een aanvoerleiding uit het waterlichaam.
 - Het natuurwater wordt gefilterd.
 - Het natuurwater wordt door een warmtewisselaar geleid waar de warmte wordt onttrokken.
 - Ten slotte wordt het gekoelde natuurwater weer geloosd op het waterlichaam. Meestal op voldoende afstand van de opnamelocatie om verstoring in het systeem te voorkomen.
- Dit noemen we een koudelozing. Dit gebeurt vaak met een temperatuurverschil van minder dan 7°C tussen opname en lozing. Dit is echter nog in ontwikkeling. Dit kan per watertype verschillen. De temperatuur van oppervlaktewater is afhankelijk van de omgevingstemperatuur en de zoninstraling. De temperatuur van oppervlaktewater kan in de zomer stijgen tot wel 25°C. In de winter kan de temperatuur in kleinere wateren dalen tot rond de 0°C. Bij kleine wateren schommelt

de temperatuur meer dan bij grote wateren. Wanneer de temperatuur daalt tot nabij het vriespunt kan er geen warmte meer onttrokken worden. TEO heeft dus een seizoensafhankelijke temperatuur. Bij sommige wateren is dit als techniek gedurende het jaar niet altijd beschikbaar. Daarom gebruiken we het meestal samen met een ondergrondse warmte- en koude-opslag (WKO). De warmte die we in de zomer onttrekken, slaan we op voor gebruik in de winter.

Hoeveel warmte we bij een project uit het oppervlaktewater winnen is naast de temperatuur ook afhankelijk van het volume en de stroomsnelheid van het waterlichaam. Bij grote meren of rivieren is meer warmte beschikbaar dan bij kleine stroompjes. TEO kunnen we zowel op kleine als op grote schaal gebruiken. Het onttrekken van warmte koelt het oppervlaktewater en vermindert dus de beschikbaarheid van warmte in het oppervlaktewater. De temperatuur herstelt over tijd (en afgelegde afstand bij stromend water) door contact met de buitenlucht. Wanneer opnamepunten voor TEO te dicht bij elkaar liggen, of er te veel energie wordt onttrokken kan dit zorgen voor onvoldoende beschikbaarheid van warmte. TEO is dus eindig beschikbaar. Dit betekent dat er nagedacht moet worden over een verdeling voor de beschikbare warmte.

Thermische energie uit afvalwater (TEA)

Bij thermische energie uit afvalwater (TEA) halen we warmte en/of koude uit afvalwater. Meestal bedoelen we hiermee gezuiverd afvalwater (effluent) van rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI). Ook valt riothermie onder TEA. We onttrekken dan warmte uit water uit gemeenschappelijke riolen (influent). De warmte in het effluent van een RWZI is een reststroom uit het rioolwaterzuiveringsproces. Daarom zien we dit ook als restwarmte (zie [hoofdstuk 4.2 Restwarmte](#)). Dit gezuiverde afvalwater wordt geloosd op het oppervlaktewater. De warmte kan voor de lozing uit het afvalwater worden gewonnen door het eerst door een warmtewisselaar te voeren.

Rioolwaterzuivering is een continu biologisch proces. Dit betekent dat er vrijwel altijd een volumestroom beschikbaar is waarvan de temperatuur redelijk constant is. De temperatuur stijgt mee met de omgeving. Het heeft in de zomer ongeveer dezelfde temperatuur als oppervlaktewater. De temperatuur van het effluent daalt echter bijna nooit onder de 10°C. Ook niet tijdens de winter. De bacteriën die het zuiverende werk doen, staan namelijk warmte af.

Het beschikbare thermische vermogen hangt af van de volumestroom van afvalwater dat we lozen. Maar ook van de hoeveelheid graden die met het water kan worden afgekoeld. Dit hangt af van de grootte van de installatie. Bij grotere rioolwaterzuiveringsinstallaties kunnen we met een warmtepomp een thermisch vermogen tot wel 27 MW produceren.

⁴⁸ [Aquathermie | Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie \(nplw.nl\)](#)



Het rioolwater (influent) dat via leidingen naar de RWZI gaat bevat ook warmte. Dit noemen we ook wel riothermie. Grootchalige uitkoppeling van de warmte heeft echter invloed op de procesvoering van de RWZI. Daarom zien we dit momenteel niet als een warmtebron die we grootchalig kunnen gebruiken. Kleinschalig gebruik of gebruik op grote afstand van de RWZI heeft een zeer kleine invloed op de procesvoering⁴⁹.

De beschikbaarheid van TEA hangt af van de locatie van de rioolwaterzuiveringsinstallatie en de ruimte op het terrein. Er zijn 313 RWZI's in Nederland⁵⁰. Deze liggen meestal op een industrieel terrein langs het water aan de rand van de bebouwing. De afstand van de bron tot de gebruiker kan daarom groot zijn. Als er geen woonwijken in de buurt zijn, zijn er vaak wel andere warmtevragers zoals zwembaden of kantoren in de omgeving.

Thermische energie uit drinkwater (TED)

Bij thermische energie uit drinkwater (TED) halen we warmte uit drinkwater. Dit onttrekken we uit:

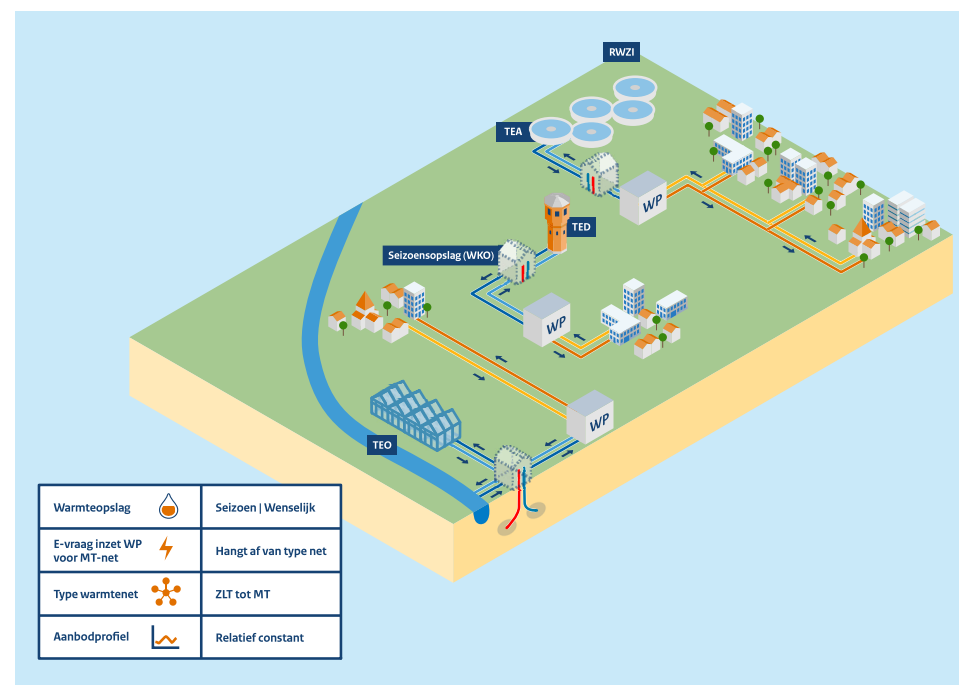
- drinkwaterleidingen met rein (behandeld) water;
- drinkwaterleidingen met ruw (onbehandeld) water;
- reservoirs met rein drinkwater;
- drinkwaterreinigingsinstallatie.

De warmte wordt uit het drinkwater gehaald door middel van een bypass op de leiding. Het drinkwater stroomt via de bypass door een warmtewisselaar. Daar halen we de warmte uit het drinkwater. Hierdoor wordt het drinkwater afgekoeld. Omdat het drinkwater van hoge kwaliteit is hoeven we het niet te filteren.

Het is belangrijk dat de uitkoppeling van warmte de kwaliteit of de leveringszekerheid van het drinkwater niet in gevaar brengt. Alle onderdelen van het warmtesysteem aan de kant van het drinkwater moeten daarom aan strenge eisen voldoen.

De temperatuur van drinkwater is niet constant. Het drinkwater bereikt meestal de bodemtemperatuur wanneer het de afnemer bereikt. De leidingen liggen vaak niet diep in de bodem. De temperatuur van het drinkwater is daarom seizoensafhankelijk. Het schommelt tussen een gemiddelde van 10°C in de winter en 20°C in de zomer.

Het thermische vermogen uit drinkwater is afhankelijk van de volumestroom die we uitkoppelen. Bij grote transportleidingen is er meer vermogen dan bij de kleine distributieleidingen in de wijken. TED is bij de grote transportleidingen interessant als er afnemers in de buurt zijn.



Figuur 9 De verschillende vormen en belangrijkste eigenschappen van aquathermie

⁴⁹ STOWA (2021), [Invloed van riothermiesystemen op de afvalwaterketen](#)

⁵⁰ CBS (2021), [Inwoners per rioolwaterzuiveringsinstallatie](#)



Typen aquathermie

Type	TEO	TEA (effluent)	TEA (influent)	TED
Waterbrontype	Oppervlaktewater	Afvalwater	Rioolwater	Drinkwater
Kwaliteit	Filtering nodig	Filtering nodig	Filteren niet mogelijk, hydraulische scheiding	Geen filtering nodig
Afstand tot gebruiker	Situatie-afhankelijk	Meestal groot	Meestal klein	Situatie-afhankelijk
Bronhouder	Waterschap of Rijkswaterstaat	Waterschap	Gemeente	Drinkwaterbedrijf
Thermisch vermogen	Situatie-afhankelijk Relatief hoog		Relatief laag	Relatief laag
Brontemperatuur zomer	15-25°C	15-25°C	10-20°C	10-20°C
Brontemperatuur winter	0-10°C	10-15°C	5-10°C	5-10°C

Tabel 7

4.3.1 Temperatuurniveaus en potentiële opbrengst

Aquathermie levert zeer lage temperatuur warmte, met een maximum van zo'n 25°C. Hiermee kunnen we niet direct een gebouw verwarmen. Daar is minstens 30°C bij de afnemer nodig, bovendien is voor tapwaterbereiding minimaal 55°C vereist. Daarom gebruiken we aquathermie altijd samen met een warmtepomp. De pomp verhoogt de warmte naar een bruikbaar temperatuurniveau.

Zeer lage temperatuur-warmte gebruiken kan op 2 manieren:

- We transporteren de warmte met zeer lage temperatuur naar de afnemer. Daarna verhoogt de warmtepomp bij de afnemer de temperatuur.
- Een grote centrale warmtepomp verhoogt eerst de temperatuur. Daarna transporteren we het op lage of midden-temperatuur naar de afnemer.

We kunnen ook combinaties of andere decentrale warmtepompen inzetten.

De methoden hebben hun eigen voor- en nadelen. In het algemeen sluit levering van zeer lage temperatuur goed aan bij nieuwbouw:

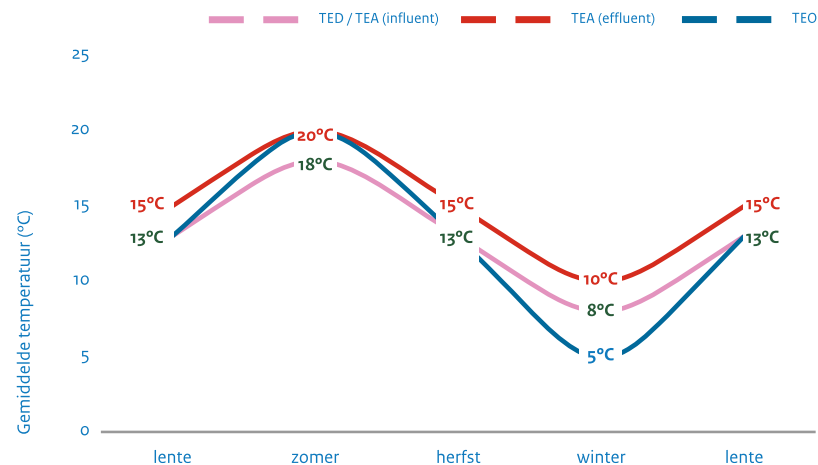
- lagere warmtevraag;
- beschikbare ruimte (in vroeg stadium meenemen in het nieuwbouwplan);
- koelbehoefte

Omgekeerd sluit warmtetransport op midden temperatuur beter aan bij de huidige warmte-behoefte van bestaande bouw. Als de bestaande bouw voldoende wordt 'na-geïsoleerd' kunnen we ook een LT of ZLT-warmtenet gebruiken in bestaande bouw. De standaard voor woning-isolatie is dat we na-oorlogse woningen (die voldoen aan die standaard voor woningisolatie) met 50°C verwarmen. Voor vooroorlogse woningen is dit 70°C⁵¹.

De keuze om de warmtepomp centraal of decentraal te gebruiken heeft gevolgen voor het volle elektriciteitsnet (netcongestie). Warmte transporteren op hogere temperatuur kan de noodzaak om het elektriciteitsnet in woonwijken te verzwaken verminderen of voorkomen. Hoewel dit mogelijk toch moet door andere elektrische toepassingen.

Daarnaast is wel voldoende vermogen nodig voor de collectieve warmtepomp. Dit kan gevolgen hebben voor het middenspanningsnet. Lees meer hierover in [hoofdstuk 5.1 Warmtepompen](#). De beschikbare brontemperatuur van aquathermie verschilt per seizoen en type aquathermie (zie figuur 10).

Gemiddelde temperaturen aquathermie



Figuur 10

⁵¹ [Standaard en streefwaarden voor woningisolatie \(rvo.nl\)](#)



De schommelingen zijn het grootst bij regionale TEO. Deze bron heeft een groot oppervlaktevolume dat in contact staat met de buitenlucht. In de winter is soms de temperatuur van dit oppervlakte-water te laag om warmte uit te koppelen. In combinatie met een warmte- en koude-opslag (WKO) kunnen we de warmte uit de zomer in de bodem opslaan en gebruiken in de winter. Zo'n systeem is relatief duur en complex waardoor het minder goed te gebruiken is op hele kleine schaal (minder dan 100 woningen).

De schommelingen zijn kleiner bij grote TEO-waterlichamen zoals rijkswateren. Door het grotere volume is het beter bestand tegen temperatuurschommelingen van de buitenlucht en dus ook minder temperatuurschommeling in het water. Dit zorgt voor meer beschikbaarheid in de winter. Historische meetdata van oppervlaktewatertemperatuur kunt u lezen op [Waterinfo](#) van Rijkswaterstaat.

TED en TEA uit influent hebben vergelijkbare temperaturen door het jaar heen. Beide transporteren we met ondergrondse leidingen. De temperatuur van de buitenlucht heeft bijna geen invloed op de leidingen. TEA uit effluent heeft gemiddeld de hoogste temperatuur beschikbaar door de meegevoerde warmte uit het rioolwaterzuiveringsproces. Bovendien is dit het meest constant waardoor het ook in de winter goed te gebruiken is.

Het theoretisch potentieel van TEO in Nederland is erg groot. We hebben veel oppervlaktewater in meren, rivieren en kanalen. We schatten het technisch haalbare potentieel in 2050 op zo'n 150 PJ⁵². Het technisch potentieel berekenen we op basis van de hoeveelheid beschikbaar oppervlaktewater binnen een straal van 5 km tot een gebied met een minimale concentratie van een warmtevraag voor een warmtenet. Dit betekent dat de warmtevraag van de gebouwen binnen een gebied hoog genoeg moet zijn voor een warmtenet. Dit hangt af van de dichtheid van de bebouwing en de vraag per gebouw.

Bij een kortere afstand dalen de kosten van TEO en kunnen we het nog beter toepassen. We verwachten dat we zo'n 10-25% van het haalbare potentieel (15-38 PJ) kunnen gebruiken. Niet in alle geschikte gebieden wordt immers daadwerkelijk een warmtenet ontwikkeld.

Voor TEA schatten we het technisch potentieel in op 56 PJ³³. We verwachten dat we hiervan 25-50% (14-28 PJ) kunnen inzetten in 2050. We berekenen voor TED een technisch nationaal potentieel van 4-6 PJ³³. We verwachten dat we een kleine 1-2 PJ (ongeveer een kwart) kunnen gebruiken in 2050. Lees hoe we het technisch en haalbaar potentieel inschatten in *Bijlage A: Methodologie potentieelbepaling*.

⁵² CE Delft (2018), [Nationaal potentieel van aquathermie](#)

Warmtepotentieel aquathermie

	TEO	TEA	TED
Waterbrontype	Oppervlaktewater	Afvalwater	Drinkwater
Technisch potentieel	150 PJ	56 PJ	4-6 PJ
Haalbaar potentieel 2050	15-38 PJ	14-28 PJ	1-2 PJ

Tabel 8

4.3.2 Stand van zaken

Aquathermie is een vrij nieuwe techniek. Het gebruik in Nederland neemt toe. We zien steeds meer grote projecten, zoals bij de [RWZI](#) in Utrecht (TEA met een centrale warmtepomp). Vooral het aantal TEA-projecten groeit. TEO wordt het meest gebruikt, maar vooral op kleine schaal. TED komt het minst voor, maar is in sommige gevallen het meest geschikt.

Het Netwerk Aquathermie (NAT) verzamelde en deelde veel kennis en verbond en betrok partijen.

NAT stopte eind 2023. De taken zijn overgedragen aan:

- Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW) voor de kennis over aquathermie.
- Stichting Warmtenetwerk en de Energie- en Grondstoffenfabriek voor de kennisontwikkeling en netwerkfuncties.

We monitoren de projecten in Nederland op verschillende manieren:

- aanvragen voor de SDE++-subsidie (Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie, via RVO);
- proeftuinprojecten van het Programma Aardgasvrije Wijken (PAW, via RVO);
- pilotprojecten voor versnelling van aquathermie van Unie van Waterschappen (UvW);
- riviergemeenten in het project Warmte uit water (WuW).

De potentie van aquathermie is te zien in de [aquathermie viewer](#) (vanuit het innovatieprogramma WarmingUP (2020-2023)). Dit is een interactieve kaart met daarop de ruimtelijke beschikbaarheid en potentie van de aquathermiebronnen.

NAT inventariseerde in 2022 109 lopende aquathermieprojecten in Nederland:

- 84 TEO-projecten
- 17 TEA-projecten
- 8 TED-projecten



Ook zijn er nog 7 aquathermie-projecten in SDE++⁵³. Voor deze projecten is subsidie aangevraagd die inmiddels goedgekeurd is. De projecten zijn nog niet gerealiseerd.

4.3.3 Eigenschappen en uitdagingen

Een aantal eigenschappen van aquathermie biedt voordelen en daardoor kansen:

- Aquathermie heeft een grote potentie, vooral voor TEO en TEA. Er is immers veel water in Nederland. Ook de ruimtelijke beschikbaarheid van aquathermie is groot. TEA bevindt zich vaak aan de randen van de gebouwde omgeving, terwijl TEO en TED ook binnen de bebouwde kom beschikbaar zijn.
- TEO is goed schaalbaar. Dit betekent dat we het op veel plekken kunnen inzetten. Bij zowel grote als kleine projecten. De mogelijkheid om TEO kleinschalig te gebruiken draagt bij aan lokaal draagvlak.
- TEA en TEO dragen bij het gebruik van warmte bij aan vermindering van hittestress in het lokale milieu tijdens hete zomers. In beide gevallen lozen we kouder water op het oppervlaktewater. Dit verkleint vooral in de zomer milieurisico's zoals blauwalg en verstoort de lokale flora en fauna minder⁵⁴.
- TED heeft een positief effect op de kwaliteit van het drinkwater. Het onttrekken van warmte vertraagt de microbiologische processen in het water tijdelijk⁵⁵.
- Aquathermie past goed bij de behoeften van nieuwbouw. Het levert zeer lage temperatuur en de mogelijkheid tot koelen. Ook is er bij nieuwbouw vaak ruimte beschikbaar voor een individuele warmtepomp. Voor warmtenetten in de nieuwbouw waar ook koudelevering gebeurt, gebruiken we op sommige plekken al aquathermie als rendabele bron.
- Aquathermie kunnen we inzetten bij bestaande bouw en MT-warmtenetten met een centrale warmtepomp.
- De technologie en standaarden voor het gebruik van aquathermie zijn nog in ontwikkeling. Dit geeft perspectief voor kostenverlaging en verkorting van ontwikkeltijd in de toekomst.

Naast bovenstaande eigenschappen zijn er ook uitdagingen. Deze uitdagingen moeten we aanpakken om aquathermie grootschalig te (kunnen) gebruiken:

- De nodige koppeling op waterinfrastructuur (waterkering, drinkwaterleiding, riool, vaarwater, natuurwater) is duur. Er zijn risicomitigerende maatregelen nodig. Daarnaast zijn er bij gebruik van natuurwater (TEO) en effluent (TEA) filtersystemen en warmtewisselaars van titanium van hoge kwaliteit nodig. Ook dit vraagt extra investering en onderhoud. Ook wordt TEO meestal gebruikt samen met WKO-installaties, wat extra efficiency maar ook complexiteit met zich

meebrengt⁵⁶. Ten slotte is er altijd een warmtepomp nodig om de temperatuur te verhogen tot een bruikbaar niveau voor verwarming. Deze systeemonderdelen hebben meestal een levensduur van maximaal 15 jaar. Dit zorgt in de meeste situaties voor een onrendabele top.

- Fysieke koppeling op waterinfrastructuur kan van invloed zijn op de processen en bedrijfsvoering van de bronhouder. Garanties op het gebied van proceszekerheid, veiligheid, integriteit en kwaliteit zijn voor drinkwaterbedrijven, rioolwaterzuiveringsinstallaties, waterschappen en Rijkswaterstaat van groot belang. Bij doorkruising van waterkeringen of waterkant met aanvoer- en afvoerleidingen voor TEO moet de kwaliteit, betrouwbaarheid en de mogelijkheid tot onderhoud van de waterkering of waterkant worden behouden. Bij TED is het belangrijk dat de leveringszekerheid en kwaliteit van het drinkwater niet in gevaar komen. Dit vraagt een sterke samenwerking met de bronhouder.
- Bij TEA en TEO zijn watervergunningen nodig om de natuur te beschermen. Hierin staat wat de maximale temperatuur en totaal volume (ofwel energie) van de lozing mag zijn. Hiernaast is de milieu-impact nog niet helemaal in beeld. Het toetsingskader (voorwaarden) voor mogelijke ecologische effecten voor het verstrekken van vergunningen is ook niet duidelijk. De verhouding tussen het onttrokken thermisch vermogen en het volume en debiet van het water bepaalt de impact op het milieu. Het vergunningstraject kan leiden tot extra investeringskosten vooraf voor specifiekere kennis en daarmee de doorlooptijd van het project. Vaak worden ook eisen gesteld om zorgvuldig de temperatuur te monitoren. Ook dit kan leiden tot extra kosten.
- Aquathermie is een relatief nieuwe technologie. Er zijn nog geen standaarden voor deze techniek en wetgeving. Kennis over milieu-effecten kan leiden tot hoge ontwikkelkosten en de doorlooptijd van het project.
- Sommige systeemconfiguraties van aquathermie hebben seizoensopslag nodig. WKO's kunnen of mogen niet overal in Nederland worden gebruikt. Dit hangt af van de samenstelling van de ondergrond.
- Aquathermiebronnen liggen niet altijd in de buurt van mogelijke afnemers. Hoe verder de afstand tot de bron, hoe duurder het transport naar de afnemer wordt. Voor TEO, TED en riothermie geldt: hoe dichterbij de gebouwde omgeving, hoe lager het beschikbare vermogen is. TEA ligt vaak op een industriële locatie aan de rand van de gebouwde omgeving. Dit kan zorgen voor een grote afstand tot de gebruiker.
- Aquathermie gaat altijd samen met een warmtepomp. Hier is dus elektriciteit voor nodig. De elektriciteitsprijs is dus ook van invloed op de kosten van aquathermie. Met de huidige SDE++ is het niet goed mogelijk om de onrendabele top als gevolg van dergelijke fluctuerende kosten af te dekken, dit punt heeft de aandacht.

⁵³ RVO (2024), [Feiten en cijfers SDE++](#)

⁵⁴ STOWA (2017), [Ecologische effecten koudwaterlozingen](#)

⁵⁵ KWR (2018), [Verdieping Warmte en Koude uit Drinkwater BTO](#)

⁵⁶ Techniplan, IF Technology (2022), [Gedetailleerde kostenberekening aquathermie](#)



- De behoefte aan elektriciteit betekent ook dat netcongestie een beperking kan zijn voor de inzet van aquathermie. Wel gebruikt een warmtepomp met aquathermie minder elektriciteit dan een warmtepomp met buitenlucht (aerothermie).
- Rivieren overschrijden grenzen tussen provincie, gemeente en waterschap. Deze waterlichamen bevatten een eindige hoeveelheid warmte. Hoe moet dit verdeeld worden? Dat vraagt onderlinge coördinatie en samenwerking van de betrokken partijen. Hiervoor is nog niets ingericht (besluitvormingskader). Dit speelt vooral bij kleinere wateren⁵⁷.

4.3.4 Ontwikkelperspectief en beleid

Het Netwerk Aquathermie (NAT) speelde tot 2024 een belangrijke rol in aquathermie voor het:

- verbinden van partijen;
- verspreiden van kennis;
- vergroten van de bewustwording rondom aquathermie.

Het is belangrijk om de ontwikkeling van projecten in de praktijk naar ingebruikname te ondersteunen (kapitaliseren). Grote succesvolle voorbeeldprojecten en de kennis en ervaring die hierbij is opgedaan, versnellen het gebruik van aquathermie.

Rijkswaterstaat, Alliander en de vereniging van Nederlandse riviergemeenten (VNR) startten het project Warmte uit Water (WuW). Met dit initiatief ondersteunen de partijen samenwerkingsverbanden voor een klein aantal grootschalige TEO-projecten en delen zij de opgedane ervaringen⁵⁸.

Unie van Waterschappen (UvW) werkt aan een versnellingsplan voor TEO en TEA samen met kenniscentrum STOWA en de Energie en grondstoffenfabriek (EFGF). Ze willen sneller en meer projecten realiseren door een aantal TEO- en TEA-projecten te begeleiden en ondersteunen.

Voor de opschaling van aquathermie is het van belang zo optimaal mogelijk de potentie en de specifieke eigenschappen te gebruiken. De kosten voor uitkoppeling zijn momenteel hoog. Het verlagen van deze kosten vergroot de toepasbaarheid van aquathermie in collectieve systemen. De SDE++-regeling heeft een categorie voor aquathermie. Toch worden er nog maar weinig aanvragen gedaan. We kunnen de kosten van de techniek verlagen door:

- ontwikkeling van ontwerpstandaarden;
- vergunningsproces vereenvoudigen;
- (verdere) kennisdeling;
- monitoring.

4.3.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming

De (door)ontwikkeling van standaarden en normalisatie voor aquathermie op technisch, financieel, organisatorisch en juridisch vlak helpt een snellere opschaling door het verminderen van de doorlooptijd en ontwikkelkosten. Het Nederlands Normalisatie Instituut heeft samen met Netwerk Aquathermie specifiek voor aquathermie 13 aanbevelingen voor normalisatie gemaakt⁵⁹. Aquathermie kunnen we kleinschalig inzetten. Daardoor is het geschikt als opstartbron voor kleine warmtenetten of als aanvullende bron voor de bronnenmix van grotere warmtenetten. Het ondersteunen van warmtecoöperaties (warmtegemeenschappen) en andere vormen van bottom-up-samenwerking voor collectieve warmte versnelt het gebruik van aquathermie flink.

Om nog meer en sneller op te schalen zijn er meer voorbeeldprojecten nodig. Vanuit de ervaring moeten partijen meer kennis delen. Het ministerie van KGG ondersteunt onder meer het Versnellingsprogramma aquathermie⁶⁰ en 'Warmte uit water'⁵³. Deze initiatieven zorgen voor de ontwikkeling van meer van deze projecten.

⁵⁷ Deltares (2022), [Stresstest grootschalige TEO in Rijkswateren](#)
⁵⁸ Rijkswaterstaat (2023), [Aquathermie](#)

⁵⁹ NEN (2023), [Standaarden Aquathermie](#)
⁶⁰ [Aquathermie - Unie van Waterschappen](#)



Praktijksignalen voor verdere stimulering

- Kennisontwikkeling en het verlagen van kosten van aquathermie stimuleren de versnelling van de opschaling met gerichte pilotprojecten of -programma.
- Ontwikkeling van normering en ontwerpstandaarden verlagen kosten en doorlooptijden. Denk hierbij aan technische afspraken (NTA) voor uitkoppeling van TEO, TEA en TED of aan een NTA voor financiering van aquathermie-projecten.
- Er is een standaard nodig voor een beoordelingskader en eisen voor de watervergunning bij warmteonttrekking en koudelozing.
- Er is verder onderzoek nodig naar de milieu-impact van koudelozing om normen en een standaard vast te kunnen stellen.
- Er is een standaard nodig voor een beoordelingskader en eisen bij het doorkruisen van een (water)kering: dijken en damwanden.
- Verduidelijking van de lijn in het verdelingsvraagstuk van TEO doordat rivieren grenzen tussen provincie, gemeente en waterschap overschrijden. Hiervoor zijn onderlinge coördinatie (besluitvormingskader) en samenwerkingsverbanden tussen de betrokken partijen nodig. Dit kan worden versterkt door verdere steun en betrokkenheid bij programma 'Warmte uit water'.
- Kennis delen over prestaties, ontwerpkeuzes, vergunningsproces (Versnellingsplan Aquathermie).
- De waterbeheerders hebben een grotere faciliterende rol nodig. Daar is meer ontwikkeling van kennis voor nodig. Vanuit de waterschappen en/of Rijkswaterstaat kunnen we bijvoorbeeld expertteams vormen die een lokaal bevoegd gezag ondersteunen bij de beoordeling van een vergunningsaanvraag en de daaropvolgende stappen om een aquathermieproject te faciliteren.

4.3.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

Voorbeeldprojecten

- [Voorbeeld grootschalige TEA Utrecht](#) – TEA met centrale warmtepomp bij rioolwaterzuiveringsinstallatie (Eneco)
- [Voorbeelden kleinschalige TEO](#) – TEO projecten met ZLT net (Eteck)
- [Voorbeeld grootschalige TED](#) – toepassing TED koeling (Sanquin)
- [Huizen verwarmen met aquathermie in Helmond](#) – aquathermie project (Ennatuurlijk)
- [Voorbeeldproject](#) - Ketelhuis
- [Warmtenet Muidenberg](#) – voorbeeld van energietoepassing Wattnu
- [Warmte-coöperatie TEO](#) – Warm Heeg

Achtergrondinformatie

- [Handreiking Aquathermie](#) – Uitgebreide handreiking voor ontwikkeling van aquathermie (NAT)
- [Website NPLW \(aquathermie\)](#) – informatiepunt voor aquathermie
- [Projectenkaart](#) – aquathermie projecten in Nederland
- [RWS Waterinfo](#) – interactieve kaart met oppervlaktewatertemperatuur (Rijkswaterstaat)
- [Aquathermie viewer](#) – potentiekaart voor aquathermie in Nederland
- [Standaarden Aquathermie](#) – Onderzoek standaarden aquathermie (NEN)
- [Ecologische effecten koudwaterlozingen](#) – Onderzoek Ecologische effecten TEO/TEA (STOWA)
- [Verdieping Warmte en Koude uit Drinkwater BTO](#) – Onderzoek ecologische effecten TED (KWR)



4.4 Zonthermie



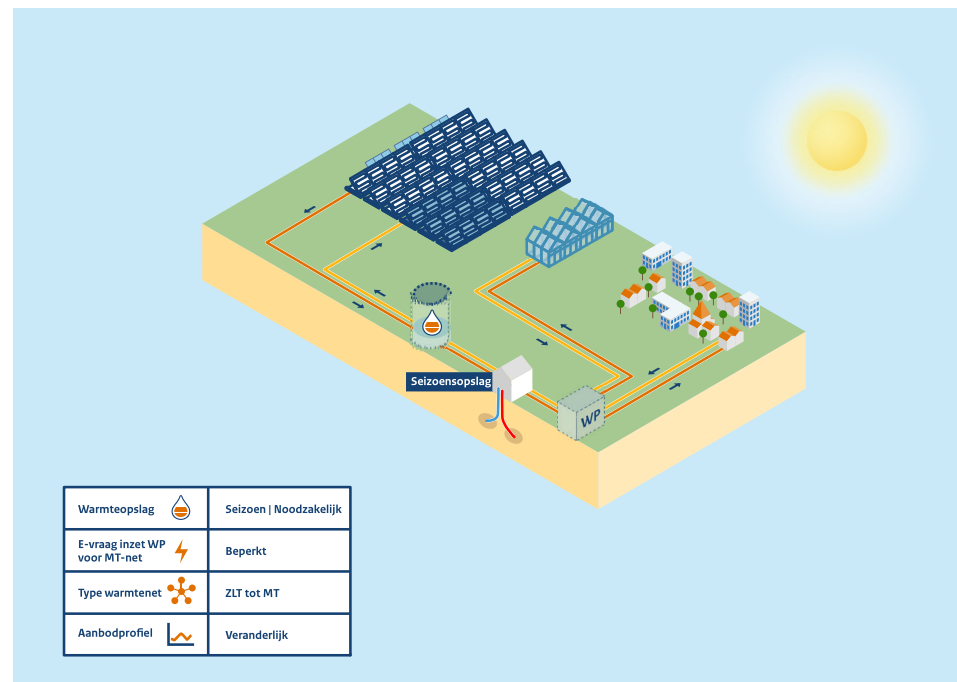
Introductie

Bij zonthermie gebruiken we de energie van de zon (zonnestraling) in de vorm van warmte, zoals we die kennen bij individuele zonneboilers.

Ontwikkelingen in het buitenland (vooral in Denemarken) laten zien dat zonthermie ook in warmtenetten of voor industriële processen een hernieuwbare warmtebron kan zijn.

Hoe werkt het?

- We vangen de directe en indirecte energie in zonnestraling op met (zonne)collectoren.
- We zetten de energie om in warmte.
- We brengen de warmte over op een medium dat warmte kan transporteren, bijvoorbeeld water/glycol of thermische oliën bij hogere temperaturen,
- We brengen via een warmtewisselaar de warmte over naar het eindmedium, zoals water in een warmtenet en/of een opslag (buffer). Een opslag helpt de perioden te overbruggen als er onvoldoende zoninstraling is.



Figuur 11 De verschillende vormen en belangrijkste eigenschappen van zonthermie

4.4.1 Temperatuurniveaus en mogelijke opbrengst

De temperaturen die we met zonthermie realiseren hangt af van de gebruikte zonthermie-techniek, met name het type zonnecollectoren en het aanbod van zonnewarmte. Dat verschilt immers sterk met de weersomstandigheden, het moment van de dag en seizoen. Vanwege dit variabele aanbod combineren we zonthermie vaak met aanvullende bronnen, warmteopslag en warmte-opwekkers. Denk hierbij aan warmtepompen en/of buffers voor momenten dat de opwek onvoldoende is voor de vraag.

Buffers kunnen gedimensioneerd worden voor korte termijn-opslag (dag/nacht) of voor langere termijn (tot en met seizoensopslag). In plaats van een buffer kunnen we ook een aanvullende warmte-opwekker inzetten, zoals een lucht-water warmtepomp.



Welke temperatuur met welk type collector

Type collector	Temperatuur-range	Zonder temperatuurverhoging in te voeden in:
Concentrerende collectoren (CSP)	ZHT: > 120°C	HT-net
Vacuümbuis- en vacuüm vlakke plaat collectoren	HT: 70 tot 120°C	HT-net, MT-net
Vlakke plaat collectoren (afgedekt)	MT: 40 tot 90°C	MT-net (zomerbedrijf), LT-net
Onafgedekte collectoren (WISC, PVT-panelen)	(Z)LT: 0 tot 30°C	ZLT-net of WKO-bron

Tabel 9

Specificatie collectoren

Concentrerende collectoren (CSP)

Concentrerende collectoren bundelen met hulp van spiegels een bepaalde hoeveelheid ingevangen zonenergie op een kleiner collectoroppervlak. In die collector kunnen hogere temperaturen gerealiseerd worden dan bij andere typen collectoren. Er zijn toepassingen van deze collectoren in warmtenetten bekend, ook voor elektriciteitsopwekking wordt deze technologie ingezet. Grootschalige toepassingen komen in Nederland niet voor vanwege een relatief hoog aandeel diffuus licht.

Vacuümbuis- en vacuüm vlakke plaat collectoren

Vacuümbuis- en vacuüm vlakke plaat collectoren zijn collectoren waarbij met vacuüm een betere thermische scheiding gerealiseerd wordt tussen de ingevangen warmte en de omgeving. Met dit type collectoren halen we hogere temperaturen dan bij vlakke plaat collectoren.

Vlakke plaat collectoren (afgedekt)

Vlakke plaat collectoren zijn collectoren met een transparante (glazen) afdekking om een thermische scheiding te realiseren tussen de ingevangen warmte en de omgeving.

Onafgedekte collectoren

Onafgedekte collectoren hebben geen thermische scheiding tussen ingevangen warmte en omgeving. Ze warmen relatief snel op, zowel door zoninstraling als lucht (bij gepaste temperaturen). Omdat er geen thermische scheiding tussen warmtebron (zon, wind) en collector bestaat verliezen deze ook snel hun warmte door afkoeling naar de omgeving. Dit type collector gebruiken we bijvoorbeeld om een WKO-bron te regenereren.

WISC

Wind & Infrared Sensitive Collector(WISC) collector is een type onafgedekte collector.

PVT-panelen

PVT (Photovoltaïsch-thermische) panelen of collectoren combineren het invangen van warmte met elektriciteitsopwekking in hetzelfde paneel.

Potentiële opbrengst

Eén vierkante meter zonnecollector in een grootschalig systeem (bijvoorbeeld in stadsverwarming) levert circa 1500 MJ per vierkante meter per jaar. Dit is circa 400 kWh-thermisch per vierkante meter per jaar⁶¹. Voor concentrated solar power (CSP) ligt de opbrengst hoger⁶²: rond 600 kWh/m².

De opbrengst hangt af van:

- oriëntatie (hoe is de collector geplaatst);
- hellingshoek;
- realiseerbare temperatuurniveau.

⁶¹ Solar Thermal World (2023) voor Nederland, Denemarken en Duitsland.

⁶² <https://stateofgreen.com/en/solutions/csp-plant-for-district-heating-in-thisted-denmark/>



- De jaarlijkse opbrengst is ongeveer 1/3 lager bij een hoog temperatuurniveau van 60-80°C dan bij een lager temperatuurniveau van 40-60°C. Het piekvermogen van afgedekte vlakke plaat collectoren is circa 700 W/m².

Een dag/nachtopslag heeft een grootte van ongeveer 20 tot 100 l/m² collectoroppervlak. Bij grotere vormen van warmte-opslag voor enkele dagen of zelfs een seizoen⁶³ gaat het vaak om meer dan 1 m³ opslag per m² collectoroppervlak.

In Denemarken en Duitsland is een aantal (heel) grote zonnecollectorinstallaties in bedrijf als onderdeel van warmtenetten. Deze hebben vaak een zonnecollectorfractie (aandeel van zonnecollectorwarmte in de totaal geleverde warmte) van 40-50% bij een seizoensopslag of een zonnecollectorfractie van 7-20% bij een dag/nachtopslag.

TNO gaat in haar rapport Aanzet tot Routekaart Zonnecollectorwarmte⁶⁴ uit van een bijdrage van zonnecollectorwarmte aan de warmtebehoefte van 50% voor warm water. Voor ruimteverwarming gaat ze uit van 20% zonder seizoensopslag, tot 50% met seizoensopslag. Dit hangt af van:

- gerealiseerde en gevraagde temperaturen;
- welke aanvullende technieken worden ingezet;
- opslagtemperaturen en -grootte.

4.4.2 Stand van zaken

In Nederland hebben we op dit moment (2022) ongeveer 660.000 m² zonnecollectoroppervlak opgesteld. Dit zijn groot- en kleinschalige projecten met een geschatte warmteproductie van 1.168 TJ. Bij ongeveer 36% van dit totale oppervlak gaat het om grotere systemen. Hiervan is 171.151 m² (ongeveer 25% van het totale oppervlak) een systeem met een oppervlak van meer dan 6 m². Van de laatste gaan we ervan uit dat het niet meer om residentiële systemen gaat.

De onafgedekte systemen voor (met name) zwembadverwarming en andere seizoensafhankelijke verwarmingsprocessen vormen 67.445 m² (11%). Samen wekken deze systemen 360 TJ warmte op⁶⁵. Wel zien we steeds meer onafgedekte panelen samen met een warmtepomp of als regeneratie voor een WKO.

⁶³ Dit kan een buffer zijn die bijvoorbeeld een week zonder voldoende zonne-warmte moet kunnen overbruggen en die wordt 'bijgeladen' wanneer er voldoende warmte beschikbaar is, of wanneer een andere bron tegen gunstig tarief kan bijverwarmen.

⁶⁴ TNO (2020), <https://publications.tno.nl/publication/34636794/CRnx2g/TNO-2020-R10975.pdf>

⁶⁵ CBS (2020), <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2021/hernieuwbare-energie-in-nederland-2020/5-zonne-energie>

Nederland heeft circa 10.000 m² opgesteld in warmtenetten met een vermogen van 7,5 MWp. We schatten in dat we hiermee ongeveer 4300 MWh/jaar opwekken. Dit is 15 TJ. Dit is ongeveer 1% van de warmte die we in Nederland opwekken met zonthermie. Het is 0,1 % van de warmte die nu nodig is voor warmtenetten (19 PJ totaal).

In vergelijking met ons omringende doet Nederland het niet slecht, maar Oostenrijk en vooral Denemarken laten zien dat zonthermie in warmtenetten nog veel meer potentie heeft⁶⁶:

- Denemarken is koploper met 1,6 miljoen m² geplaatst collectoroppervlak en 1.124 MWp aan vermogen. Dit gaat dan alleen om zonthermie in warmtenetten (dus exclusief industriële toepassingen).

Totaal collectoroppervlak in 2022 (totaal en m² per huishouden aangesloten op een warmtenet)

Land	Collectoroppervlak in warmtenetten (m²)	Aantal huishoudens (hh) (miljoen)	Huishoudens aangesloten op warmtenet (%)	Huishoudens aangesloten op warmtenet (miljoen)	Collector-oppervlak per huishouden op warmtenet (m²/hh)
Denemarken	1.600.000	2,3	65%	1,5	1,070
Oostenrijk	50.000	3,9	14%	0,6	0,090
Nederland	10.000	7,8	4%	0,3	0,032
Duitsland	160.000	40,6	14%	5,7	0,028
Frankrijk	20.000	30,2	5%	1,5	0,013
Zweden	25.000	4,8	50%	2,4	0,010
Polen	20.000	13,7	40%	5,5	0,004

Tabel 10

In Nederland staat daarnaast circa 25.000 m²/1,9 MWp aan collectoroppervlak voor andere grootschalige toepassingen (residentieel, commercieel en industrieel). Koplopers in Europa zijn Griekenland en Frankrijk met circa 15.000 m² en tussen 10-11 MWp totaal.

⁶⁶ Solar Heat Worldwide (2023), <https://www.iea-shc.org/solar-heat-worldwide>



Bij zonnewarmte zijn de CAPEX-kosten de grootste kostenpost. Dit zijn de kosten voor ontwikkeling, investering in en financiering van het systeem. De OPEX-kosten zijn opvallend laag. Dit zijn kosten voor onderhoud, verzekering en elektra. Zonnewarmte is (bijna) niet afhankelijk van gas- en elektriciteitsprijzen. Hierdoor zijn de kosten voor zonnewarmte stabiel goed te voorspellen.

De SDE++-regeling heeft momenteel 2 categorieën voor zonthermie en een aparte categorie voor PVT-systemen. Zo helpt de regeling bij grootschalige ontwikkeling voor warmtenetten. De ondergrens van zonthermische systemen voor de SDE++ ligt bij een apertuuroppervlakte van 200 m² (140 kWh). Dit is het oppervlakte die het zonlicht kan opvangen en omzetten naar warmte. Kleinere systemen kunnen een investeringssubsidie vanuit de ISDE-regeling ontvangen.

Het aantal subsidieaanvragen is met name in de SDE++ behoorlijk laag. In 2022-2023 waren er maar 3 aanvragen met een totaal van een kleine 10 MWp. Een knelpunt voor zonthermie is dat seizoensopslag niet in de SDE++ is opgenomen.

Op dit moment stabiliseert het opgestelde oppervlak en vermogen omdat de nieuwe geplaatste systemen (aanwas) ongeveer gelijk is aan het aantal systemen dat uit gebruik wordt genomen. We gaan dan uit van een gemiddelde levensduur van ongeveer 20 jaar⁶⁷.

4.4.3 Eigenschappen en uitdagingen

Een aantal eigenschappen van zonthermie biedt voordelen en daardoor kansen:

- Zonthermie heeft een hogere energieopbrengst (in Joules) per m² dan fotovoltaïsche panelen (PV). Voor een nog hogere opbrengst per m² kunnen we zonthermie combineren met PV tot PVT (paneel dat warmte en elektriciteit opwekt)⁶⁸. De combinatie van zonthermie en PV is geschikter voor een lage temperatuur of onafgedekte collectoren. De elektriciteitsopbrengst van PV gaat namelijk omlaag met hogere temperaturen (en andersom). Zonnewarmte kunnen we goed combineren met (Z)LT-warmtenetten. In zulke netten kan de zonnefractie (het aandeel zonne-warmte in de totaal geleverde warmte) hoger zijn.
- Zonthermie kunnen we overal gebruiken waar ruimte is voor collectoren. Denk aan:
 - geschikte gronden;
 - daken;
 - civiele infrastructuur;
 - in de verharding van parkeerterreinen en wegen (dit noemen we asfaltcollectoren).

- Zonthermie combineert goed met andere hernieuwbare warmtebronnen, zoals bodem- en/of aquathermie. Zonthermie kunnen we bijvoorbeeld inzetten om seizoensopslag van andere warmtebronnen te helpen regenereren.
- Zonthermie kunnen we ook klein- en grootschalig combineren. Er lopen pilots om de zonthermie die individuele huishoudens opwekken te leveren aan een warmtenet. Dit draagt bij aan het draagvlak van de warmtetransitie. Huishoudens kunnen decentraal meedoen aan een collectieve warmtevoorziening.
- Zonthermie heeft lage OPEX-kosten (kosten voor onderhoud, verzekering en elektra). Het kan goedkoper zijn dan alternatieven op fossiel aardgas (levelised costs of energy - LCoE). Een aanvullend voordeel is dat de kosten vastliggen en marktrisico's er bijna niet zijn. Dit geldt natuurlijk alleen voor het deel warmte dat door de zon gerealiseerd wordt (zonnefractie).

Naast bovenstaande eigenschappen zijn er ook uitdagingen. Deze uitdagingen moeten we aanpakken om zonthermie grootschalig te (kunnen) gebruiken:

- Zonthermie heeft hoge CAPEX-kosten (kosten voor ontwikkeling, investering in en financiering). Toch is zonthermie aantrekkelijk door de kosten (tarieven) van andere energiedragers en de beschikbaarheid van subsidies. Subsidie voor opslag is één van de grootste knelpunten. In de studie 'De Businesscase voor Zonnewarmte'⁶⁹ is berekend dat de LCoE (levelised costs of energy) van zonthermie in een groot- en kleinschalig warmtenet onder dat van de ketel op aardgas liggen. Ook is het aantrekkelijk waar andere technieken niet beschikbaar zijn. Daar waar we bijvoorbeeld geen restwarmte of geothermie kunnen gebruiken en er wel beschikbare grond is, is zonthermie interessant.
- Zonthermie in veldopstellingen vraagt veel ruimte (ongeveer 3,3 hectare per MWp⁷⁰) en concurreert met andere technieken (PV) en functies (zoals woningbouw en natuur). Zogenaamde restgronden zijn wel interessant om voor zonthermie te gebruiken. Denk dan aan oude stortplaatsen of baggerdepots. Ook als de combinatie met natuur kan, is zonthermie interessant. Dit wordt nu ook bij PV gedaan. Ook een bestaand PV-veld ombouwen, biedt kansen voor (her) ontwikkeling met zonthermie. Ook de eerder genoemde combinatie van PV en thermische collectoren (PVT) is mogelijk. We kunnen ook grootschalige opstellingen maken op daken in de utiliteitsbouw of in de agrarische sector. Ook grootschalige projecten waarbij zonnecollectoren op verschillende daken liggen maar een gezamenlijke opslag gebruiken is mogelijk. Zo'n project

⁶⁷ CBS, <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/82003NED>

⁶⁸ IEA, <https://www.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Task60-D5-Basic-Concepts-of-PVT-Technologies.pdf>

⁶⁹ De Businesscase voor Zonnewarmte (tno.nl) <https://repository.tno.nl/SingleDoc?find=UID%20211a39fb-33d6-4c69-b628-3b8536a3992e>

⁷⁰ <https://refman.energytransitionmodel.com/publications/2105>



wordt bijvoorbeeld ontwikkeld in Haarlem⁷¹ 'De Zonnet'. Naast ruimte voor collectoren is er ook vaak ruimte nodig voor de seizoensopslag⁷².

- De warmteopbrengst (hoeveelheid en temperatuur) varieert per uur, per seizoen en per weertype. Het aanbod door zonthermie (aanbodprofiel) en de vraag vanuit een warmtenet (vraagprofiel) zijn deels tegenovergesteld. Met deze variabele opbrengst is een combinatie met warmte-opslag en aanvullende warmte-opwekkers noodzakelijk.
- De kosten en baten van grootschalig gebruik van zonthermie zijn niet goed bekend. In veel communicatie over de energietransitie ontbreekt de bron. Door deze onbekendheid van de techniek, lijkt zonthermie wel eens onbegrepen. Bijvoorbeeld door verzekeraars die huiverig zijn voor (verondersteld) brandgevaar. Dat overigens geen rol speelt bij zonthermie.

4.4.4 Ontwikkelperspectief en beleid

Er zijn geen concrete beleidsdoelen voor de groei van zonthermie in Nederland. De bouwregelgeving staat het gebruik niet in de weg (methodes en technieken). Het wordt alleen in de meeste gevallen gebruikt op individuele schaal. Veel projecten in het buitenland en enkele in Nederland laten zien dat het gebruik van zonthermie op grote schaal zeker interessant is.

Een mogelijk nationaal doelbereik staat in het TNO-rapport Aanzet tot Routekaart Zonneparmte⁷³. In deze studie is een potentieel van 60 tot 80 PJ berekend voor alle sectoren. Dit is inclusief individuele installaties en industrie, met of zonder opslag. Het berekende potentieel is 10 (zonder opslag) tot 21 PJ (met opslag) bij alleen grootschalig gebruik van zonneparmte in woningen met blokverwarming en warmtenetten (bestaand en nieuw). Voor land-, tuinbouw en veeteelt komt daar nog 3 PJ bij.

De herziening van de EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) verplicht het opwekken van zonne-energie (dus thermisch of stroom) op alle grote daken. Dit kan belangrijk zijn voor de groei van zonthermie. Dit geldt allereerst voor nieuwbouwprojecten, maar daarna ook voor de bestaande bouw. We verwachten dat dit een belangrijke impuls geeft aan de hoeveelheid opgewekt zonthermisch vermogen op daken.

⁷¹ <https://ramplaankwartier.zonneparmte.nl/onderwerp/zonneparmte/techniek/hoe-werkt-de-techniek/>

⁷² Voor een lage temperatuurnet kan een PVT systeem met warmtepomp maar zonder opslag een optie zijn (omdat deze panelen ook 's-nachts en in de winter warmte onttrekken van de omgeving). Als de zonnecollectoren gedimensioneerd zijn op de basislast is ook geen opslag nodig.

⁷³ [Aanzet tot Routekaart Zonneparmte \(tno.nl\)](#) <https://repository.tno.nl/SingleDoc?docid=51372>

Potentieel van blokverwarming en warmtenetten opgeteld (bestaand en nieuw)

Potentieel 2050 [PJ] ⁷⁴			
Woningen	Ruimteverwarming	Zonder opslag	Met opslag
	• Blokverwarming	0.3	0.8
	• Warmtenet / bestaand	0.3	0.8
	• Warmtenet / nieuw	5.9	14.7
	Warmwater		
	• Blokverwarming	0.2	0.2
	• Warmtenet / bestaand	0.1	0.1
	• Warmtenet / nieuw	3.6	4.1
	Totaal	10.4	20.7
Land- en tuinbouw en veeteelt		3.0	3.0
Totaal		13.4	23.7

Tabel 11

4.4.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming

Praktijksignalen voor verdere stimulering

- Kennisontwikkeling en kostendaling van zonthermie stimuleren het gebruik en versnellen de opschaling. Dit gaat met name over de interactie met seizoensopslag, gebouwintegratie en optimale inpassing in warmtenetten. Hiervoor zijn gerichte pilotprojecten of een breder pilotprogramma nodig.
- De verschillende mogelijkheden om zonthermie in te passen onderzoeken we niet (genoeg). Ook ruimtebeslag (hoeveelheid grondoppervlak die grootschalige collectorvelden innemen) moeten we onderzoeken. Zo brengen we beter de kansen en uitdagingen in beeld.
- Het vergelijken van kosten van andere technieken moet binnen dezelfde systeemgrenzen gebeuren (bijvoorbeeld dezelfde aanvoertemperaturen en hetzelfde aantal woningen vergelijken). Ook de externe kosten moeten we meenemen. Denk hierbij aan kosten voor CO₂-uitstoot.

⁷⁴ TNO (2020), gebaseerd op optelling blokverwarming en stadsverwarming (bestaand en nieuw) uit Tabel 4.3 en 4.4 van TNO publicatie 'Aanzet tot Routekaart Zonneparmte'. (<https://publications.tno.nl/publication/34636794/CRnx2g/TNO-2020-R10975.pdf>)



- De onbekendheid van zonnewarmte en de omvangrijke installatie waar het meestal om gaat maakt het lastig om te investeren in opleiding en uitvoeringscapaciteit. Door het aanbieden van meer en gestandaardiseerde opleidingen vergroten we de capaciteit en verlagen we de kosten. De noodzaak om op deze manier het *human capital* te versterken is overigens een belangrijk aandachtspunt voor de hele warmtesector.

4.4.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

Voorbeeldprojecten

- Het grootste project met woningen die zonnewarmte gebruiken is [Zoneiland Noorderplassen - Duurzaam Almere](#) in Almere. Het collectoroppervlakte is 7000 m² (5 MWp) en de gerealiseerde warmteopbrengst maximaal in een jaar is 2695 MWh (2020). Daarmee is de specifieke zonnepwarmte-opbrengst van de afgedekte collectoren 385 kWh/m²/jaar;
 - In Groningen bestaat het project [Dorkwerd](#) uit een groot collectorveld van 12 hectare (120.000 m²) met 24.000 vlakke plaat vacuüm collectoren voor levering van warmte aan het warmtenet van Warmtestad Groningen. De bedoeling is om vanaf 2024 ongeveer 25% van de warmtebehoefte van 12.500 huishoudens te dekken. Deze warmte wordt samen met warmte uit twee datacenters in 2 seizoensopslagen van warmte gecombineerd op [Campus Zernike](#).
 - In [Nagele](#) zijn in 2021 ongeveer 180 collectoren, verdeeld over 9 gebouwen, gekoppeld aan een innovatief seizoenopslag-systeem van circa 1000 m³ en een dagbuffer van 24 m³. Warmtepompen zorgen voor temperatuurverhoging wanneer er niet voldoende zonnewarmte voorradig is.
- Daarnaast gebruikt de agrarische sector (vooral de glastuinbouw)⁷⁵ een aantal grote installaties:
- In 2019 plaatste een [fresia-kwekerij in Heerhugowaard](#), een systeem met 9300 m² collectoren, een opbrengst van 5000 MWh/jaar (circa 540 kWh/m²/jaar) in combinatie met WKO (bodem). Het systeem maakt zoveel mogelijk direct gebruik van beschikbare zonnewarmte. Een teveel aan zonthermie wordt in de bodem opgeslagen voor het overbruggen van koude periodes.
 - In 2020 plaatste een [fresia-kwekerij in Heerhugowaard](#), een systeem van 15.000 m² collectoren en een opbrengst van 7.700 MWh/jaar (circa 500 kWh/m²/jaar).
 - Een [amaryllis-kwekerij in De Lier](#) plaatste in 2023 1567 m² collectoren met een vermogen van 1.03 MWp en een opbrengst van 1000 MWh/jaar (640 kWh/m²/jaar). Het gasverbruik daalde van 46 m³/m² voor de oude kas naar 12 m³/m² voor een nieuwe kas voorzien van warmtepomp en WKO. Sinds het gebruik van zonthermie is het verbruik verder gedaald naar 2 m³/m² plus elektriciteit voor de

warmtepomp. Het systeem maakt gebruik van een bovengrondse opslagtank en WKO. De kwekerij verwacht met de warmtebuffer in het WKO-systeem volledig gasloos te kunnen draaien.

Gerealiseerde projecten in het buitenland:

- [SDHplus – solar district-heating plant database](#)
- [Solar Heat Data - monitoringsplatform van Deense zonnewarmtenetten](#)
- [IEA-SHC Task 55, Towards the Integration of Large SHC Systems into DHC Networks](#)

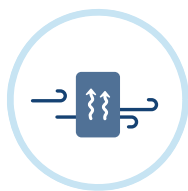
Achtergrondinformatie

- Internationaal: www.iea-shc.org
- Nationaal: <https://solarmagazine.nl>
- Nationaal: <https://hollandsolar.nl>
- [De businesscase voor zonnewarmte](#), Oktober 2022, TNO
- [Aanzet tot Routekaart zonthermie](#), Juni 2020, TNO
- [Solarthermie: Perspectief voor warmtenetten, Innoforte](#)
- [Grootschalige zonthermie voor warmtenetten](#), Maart 2019, DAREL
- [Kansen voor zonnewarmte in het hart van de energietransitie](#), November 2018, Berenschot
- [Verkennd onderzoek zonthermie Zuid-Holland](#), November 2010, CE Delft
- [Factsheet zonnewarmte NPLW](#)
- [Factsheet Warmte NP RES](#)

⁷⁵ [https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2019/10/04/grootste-zonnewarmtesysteem-van-nederland-geopend-\(bezoekt-26-1-2024\)](https://www.nieuweoogst.nl/nieuws/2019/10/04/grootste-zonnewarmtesysteem-van-nederland-geopend-(bezoekt-26-1-2024))



4.5 Aerothermie



Introductie

Net als de bodem, water en zon vormt de buitenlucht ook een hernieuwbare bron van warmte die we grootschalig kunnen gebruiken. Dit noemen we aerothermie.

In dit ontwikkelperspectief bedoelen we met aerothermie het gebruik van de energie in de buitenlucht voor temperatuurniveaus die hoger liggen dan dat van de buitenlucht zelf. Het gaat dus om het gebruiken van warmte uit de buitenlucht, gekoppeld aan een temperatuurverhoging van de brontemperatuur. Zonder deze afbakening is algemene ventilatie (in bepaalde situaties) ook al een toepassing van aerothermie. Dat is hier niet de bedoeling.

Er zijn weinig technieken om thermische energie uit buitenlucht te gebruiken voor een temperatuurverhoging. Daarom komt aerothermie in de praktijk neer op het gebruik van een warmtepomp met buitenlucht als bron⁷⁶. Bij gebruik voor warmtenetten spreken we dan over lucht-waterwarmtepompen. Bij aerothermie door lucht-luchtwarmtepompen dragen we de warmte over aan binnenlucht. Dit gebruiken we niet bij warmtenetten, daarom laten we die aerothermie-techniek buiten beschouwing.

Een lucht-waterwarmtepomp wint energie uit de buitenlucht door deze lucht verder af te koelen. We kunnen warmte winnen uit lucht tot wel -15/-20°C. De gewonnen energie staan we daarna weer af op de gewenste hogere temperatuur. Lees meer over het principe van temperatuurverhoging door warmtepompen in [hoofdstuk 2 Doelen en opgave voor collectieve warmte](#).

In [hoofdstuk 5.4 Piekvoorziening](#) leest u over warmtepompen als aanvullende warmtetechniek. Het gaat dan om warmtepompen samen met bijvoorbeeld geothermie of aquathermie. Dit hoofdstuk gaat alleen over aerothermie.

4.5.1 Temperatuurniveaus en potentiële opbrengst

Lucht-waterwarmtepompen kunnen we ook bij lagere buitentemperaturen inzetten tot een aanvoertemperatuur van circa 55°C. Alhoewel we steeds meer types zien die ook hogere temperaturen leveren (tot circa 80°C). Het hoogste rendement behalen we echter met zo laag mogelijke aanvoertemperaturen bijvoorbeeld door gebruik van lage-temperatuurverwarming (aanvoertemperatuur rond 35°C). Door het toepassen van 2 of meer cycli (opeenvolgende compressorstappen) kunnen we nog grotere verschillen tussen beschikbare en gevraagde temperatuur overbruggen.

Er zijn lucht-waterwarmtepompen van enkele kW's (voor individuele toepassingen) tot honderden kW en tot in de MW-range⁷⁷. Door 2 of meer warmtepompen aan elkaar te koppelen (cascadering) wordt een nog breder toepassingsgebied ontsloten^{78,79}.

Het maximaal vermogen dat een lucht-waterwarmtepomp kan leveren, daalt bij dalende buitentemperaturen. Dit hangt af van de gevraagde afgiftemperaturen en het vermogen van de warmtepomp. Om dit op te vangen kan als het nodig is voor de piekmomenten een warmteopwekker worden geplaatst die gevoed wordt door een duurzame bron (bijvoorbeeld biomassa of groen gas).

Wat het rendement per jaar is van een grote lucht-waterwarmtepomp hangt af van de te leveren temperatuur. Dit kan oplopen tot meer dan 300 % bij een aanvoertemperatuur van 70°C. Dit betekent dat voor iedere kWh elektrische energie er 2 kWh aan omgevingsenergie gebruikt wordt. De elektrische energie wordt ook omgezet naar warmte. Dit levert gezamenlijk 3kWh warmte op.

We oogsten omgevingswarmte op de meest gunstige momenten door een korte termijn-warmteopslag (dag/nacht of voor enkele dagen) te koppelen. In sommige gevallen biedt het warmtenet zelf deze buffercapaciteit.

4.5.2 Stand van zaken

In Nederland zien we de lucht-waterwarmtepomp al vaak. We gebruiken ze voor woningen en andere gebouwen zoals in de utiliteitssector, blokverwarming van woningen en in de glastuinbouw (bloemtelers).

In Nederland plaatsten we in de utiliteitssector in 2022 een kleine 25.000 warmtepompen. Deze hebben samen een geschatte capaciteit van 550 MW. Ongeveer 60% van deze capaciteit is van

⁷⁶ In veel gevallen werkt een PVT-collector ook grotendeels als een luchtcollector voor een daaraan gekoppelde warmtepomp, maar dit hoofdstuk zal zich toespitsen op lucht-water warmtepompen met een geforceerde luchtstroom.

⁷⁷ <https://www.aalborgcsp.com/projects/district-heating-projects>

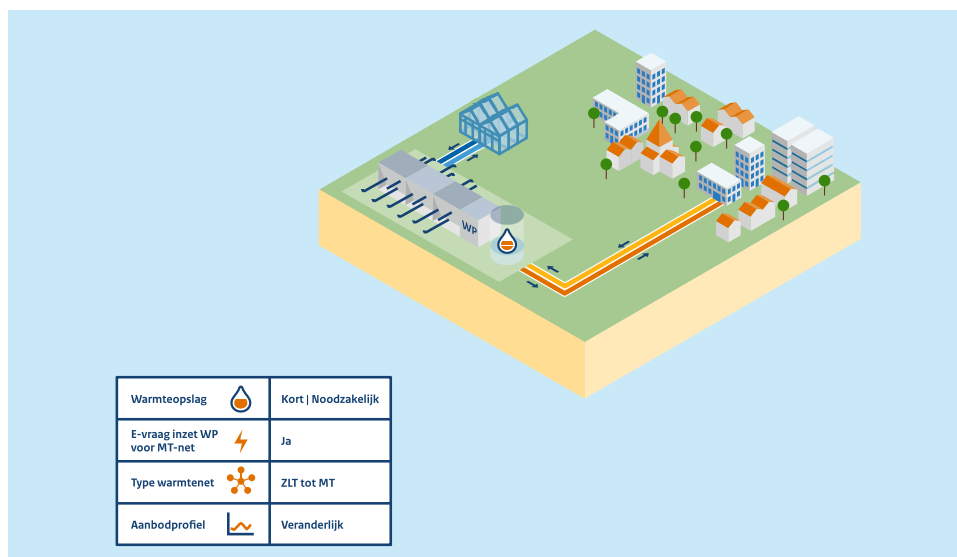
⁷⁸ <https://www.nefit-bosch.nl/informatie/persberichten/nieuwe-warmtepomp-met-vermogen-tot-150-kw/>

⁷⁹ <https://trane.eu/nl/equipment/z-heat-pumps/21-air-to-water-heat-pumps.html>



het type lucht-lucht en 40% is lucht-water. Het aandeel lucht-lucht warmtepompen is groter omdat deze ook voor koeling kunnen zorgen ⁸⁰.

We hebben geen bruikbare statistieken voor het aandeel lucht-waterwarmtepompen in warmtenetten voor woning- en glastuinbouw. De hierboven genoemde cijfers kunnen ook over individuele toepassingen gaan. Denk dan aan één groot kantoorgebouw, een zorgcentrum of een industriële toepassing.



Figuur 12 De verschillende vormen en belangrijkste eigenschappen van aerothermie

4.5.3 Eigenschappen en uitdagingen

Een aantal eigenschappen van aerothermie biedt voordelen en daardoor kansen:

- Aerothermie is in principe overal aanwezig. In theorie zijn er geen grenzen aan het potentieel.
- Aerothermie kunnen we op veel schaalniveaus gebruiken. Denk aan een enkel woningequivalent tot enkele honderden⁸¹. Door de relatief lage SCOP (of SPF) liggen lucht-waterwarmtepompen vaak niet voor de hand op het schaalniveau van warmtenetten⁸². Toch kunnen we een collectieve warmtepomp goed inzetten als zogenaamde 'ingroeibron'. Dit is een tijdelijke oplossing totdat bijvoorbeeld warmtenetten verder uitgebreid kunnen worden en/of andere bronnen ontwikkeld zijn. Zo overbruggen we de zogenaamde vollooperperiode van een warmtenet totdat er voldoende schaal is voor bijvoorbeeld een geothermiebron. Daarna kunnen we de collectieve warmtepomp inzetten als aanvullende bron of back-up. Een voorbeeld hiervan is het 'Buurt Energie Systeem'⁸³.
- De aandrijfenergie van de warmtepomp wordt steeds groener (elektriciteit). Het vergroenen van de aandrijfenergie is een voorwaarde voor een compleet hernieuwbare warmteopwekking.
- We kunnen een reversibele (omkeerbare) lucht-waterwarmtepomp inzetten om actief te koelen. Hierbij kan echter niet de warmtebron regenereren, omdat de warmte in de lucht terecht komt (geloosd).
- We kunnen aerothermie bijna overal ontwikkelen tegen lagere CAPEX-kosten dan bij veel andere bronnen. Daarbij is de ontwikkeling eenvoudig: er is bijvoorbeeld geen interface met water nodig en er zijn vaak geen vergunningen nodig.

Naast bovenstaande eigenschappen zijn er ook uitdagingen. Deze uitdagingen moeten we aanpakken om aerothermie grootschalig te (kunnen) gebruiken:

- Een elektrische lucht-waterwarmtepomp heeft vanwege het lagere jaarrendement hoge operationele kosten (OPEX). De exploitatie van een grote warmtepomp hangt ook nog eens sterk af van de elektriciteitsprijs en is misschien gevoelig voor de fluctuerende prijzen.
- Het maximale vermogen van een lucht-waterwarmtepomp (bij gelijke compressorbelasting) neemt af bij lagere buitentemperaturen, terwijl de warmtevraag toeneemt. Een lucht-waterwarmtepomp dimensioneren op pieklast maakt de warmtepomp duurder. En mogelijk niet energetisch optimaal, omdat de warmtepomp langer in (lage) deellast werkt (op laag vermogen). Als we op de momenten dat er veel vraag is een hulpketel inzetten (pieklast) is het systeem afhankelijk van (alternatieve) brandstoffen. Of we belasten het elektriciteitsnet (nog meer) door elektrisch bij te stoken. We kunnen de pieklast ook afdekken met warmte-opslag.

⁸⁰ CBS (November 2023) [StarLine - Warmtepompen; aantallen, thermisch vermogen en energiestromen \(cbs.nl\)](#)

⁸¹ Een systeem met een vermogen van 2,5 MW kan in principe 500 woningen van 5 kW aan warmte voorzien.

⁸² <https://heatpumpingtechnologies.org/publications/heat-pumps-in-district-heating-and-cooling-systems-final-report/> (p. 43)

⁸³ Alliander, <https://www.alliander.com/nl/nieuws/onderzoek-naar-warmteoplossing-op-buurniveau/>



- De meeste lucht-waterwarmtepompen worden elektrisch aangedreven. Ondanks dat ze efficiënt zijn neemt de belasting op het elektriciteitsnet toe. Vooral als het buiten koud wordt. Dat draagt bij aan netcongestie. Een voordeel is dat we warmtepompen flexibel kunnen inzetten en zo de belasting van het net spreiden. Er moet dan wel voldoende buffercapaciteit zijn in het systeem.
- Een lucht-waterwarmtepomp is niet geschikt om instant (direct) warmte op te wekken en er is buffercapaciteit nodig. Het kan ook zinvol zijn het warmtepompsysteem te combineren met voldoende buffercapaciteit vanwege netcongestie. Het is mogelijk dat het warmtenet zelf voorziet in deze buffercapaciteit.
- Lucht-waterwarmtepompen verplaatsen buitenlucht en maken dus geluid. Maatregelen om het geluid te verminderen zijn goed mogelijk. Dit verhoogt wel de kosten.

4.5.4 Ontwikkelperspectief en beleid

Aerothermie is altijd overal aanwezig en onbeperkt beschikbaar. Toch zijn er belangrijke factoren die bepalen hoeveel PJ's warmte we in 2050 uit de lucht kunnen halen voor warmtenetten:

- elektriciteitsvraag van de warmtepomp;
- netcapaciteit en -tarieven;
- beschikbare ruimte;
- variatie in beschikbare brontemperatuur;
- geluid;
- technische ontwikkelingen.

Om het potentieel in te kunnen schatten, maakten we een berekening op basis van de (circa) 430.000 woningen die we verwarmen met blokverwarming. Dit is een kleine 6 % van de woningvoorraad in Nederland. Elke woning heeft een gemiddeld gasverbruik van circa 800 m³/j. Het gaat dan om ruimteverwarming en warmwater. Dit levert een potentieel op van 11 PJ aan warmte.

Als we uitgaan van een jaarrendement van de lucht-warmtepomp van 350% dan wordt circa 8 PJ duurzame bronwarmte geoogst. Het totaal aan opgesteld piekvermogen is dan circa 2,7 GW. In deze berekening houden we geen rekening met eventuele hulpverwarming.

Dit is een inschatting van een theoretisch potentieel van collectieve lucht-waterwarmtepompen als blokverwarming. Een deel van deze gebouwen kunnen ook een individuele bodem-warmtepomp gebruiken. Ook kunnen ze aangesloten zijn op een grootschalig warmtenet met andere duurzame bronnen. De verschillende technieken en toepassingen overlappen elkaar.

Voor de ontwikkeling van lucht-waterwarmtepompen zijn de SDE++ en ISDE de belangrijkste ondersteuningsinstrumenten, naast de stimulering die uitgaat van de EIA en andere instrumenten

die in hoofdstuk 3 zijn opgesomd. De SDE++ is van toepassing op warmtepompsystemen met een thermische capaciteit van minimaal 500 kW. Voor kleinere systemen tot aan 500 kW is er de ISDE. Deze regeling kent een enkele grotere warmtepomp een lager subsidiebedrag toe dan meerdere kleinere warmtepompen met hetzelfde totaalvermogen⁸⁴.

4.5.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming

Praktijksignalen voor verdere stimulering

- De huidige inrichting van het ISDE werkt in het nadeel van collectieve warmtepompen omdat er voor warmtepompen van > 70 kW een lagere subsidie wordt toegekend. Hier is extra beleidsinzet gewenst om dit onbedoelde effect te repareren.
- In de SDE++ is een COP-eis gesteld van 3, welke door bepaalde marktpartijen als belemmerend wordt gezien.

4.5.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

Voorbeeldprojecten

Enkele voorbeelden van lucht-waterwarmtepompen die we grootschalig (collectief) gebruiken in de woningbouw:

- Warmtenet Bloemenbuurt Didam heeft een hybride systeem met een collectieve luchtwarmtepomp als hoofdbron⁸⁵.
- De gemeente Nijmegen onderzoekt samen met woning- en energiecoöperaties en de Provincie Gelderland of zij woningen in Altrade met een collectief warmtenet kunnen verwarmen⁸⁶.
- Coöperatie WOW wil met gemeente Wageningen een gezamenlijke warmtepomp gebruiken voor een collectief warmtenet. De keus is gevallen op een warmtepomp die zijn warmte uit de omgevingslucht haalt⁸⁷.

Voorbeelden van enkele technieken:

- De SWP-DT-U281 is een hoge temperatuur-warmtepomp. Deze kan gasgestookte cv-ketel-installaties in ketelhuizen van woningbouw en utiliteitsbouw vervangen met geen of minimale wijzigingen. De warmtepomp werkt op propaan en kan maximaal een vermogen van 235 kW

⁸⁴ Voor lucht-water warmtepompen < 70 kW is het ISDE subsidiebedrag 2175 + 150*kW en voor systemen > 70 kW is het 1675 + 150*kW EUR. (per 1-1-2024)

⁸⁵ <https://tinyurl.com/DidamNetwerk>

⁸⁶ Proeftuin Hengstdal - Stichting Warmtenetwerk

⁸⁷ [Over het warmtenet - Warmtebedrijf WOW](#)



leveren met een aanvoertemperatuur van 80°C. Hiermee kunnen we ongeveer 25 matig geïsoleerde bestaande woningen op een duurzame, centrale manier verwarmen en voorzien van warm tapwater. De unit staat in een container buiten de flat. Het jaargemiddelde rendement (SCOP) is 238% bij een stooklijn van max. 80°C⁸⁸.

- ETP ontwikkelde samen met Carnot en Eneco een hoge temperatuur lucht-waterwarmtepomp. Deze pomp haalt een hoog rendement bij hoge afgiftetemperaturen. Er is een COP van 4 bij een aanvoertemperatuur van 70°C gehaald. Het systeem staat en wordt gebruikt in appartementencomplex Het Boegbeeld in Scheveningen. Een WKO-bron of aquathermie was daar niet mogelijk⁸⁹.

Achtergrondinformatie

- Warmtenetwerk: <https://warmtenetwerk.nl/map/>
- IEA-HPT Annex 50: Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Space Heating and Domestic Hot Water (DHW)
- IEA-HPT Annex 57: Flexibility by implementation of heat pumps in multi-vector energy systems and thermal networks [Home - Annex 57 \(heatpumpingtechnologies.org\)](#)
- IEA-HPT Annex 62: Heat pumps for multi-family residential buildings in cities <https://heatpumpingtechnologies.org/annex62/>

⁸⁸ Natuurlijk gasloos (2022), <https://www.natuurlijkgasloos.nl/wp-content/uploads/2022/09/Factsheet-SWP-warmtepomp-september-2022-versie-1.0.pdf>

⁸⁹ <https://projecten.topsectorenergie.nl/storage/app/uploads/public/656/5c2/148/6565c2148ce1c490998012.pdf>



5 Aanvullende warmtetechnieken

We willen de warmte van de warmtebronnen uit hoofdstuk 4 beter of over een langere tijdsperiode kunnen gebruiken. Bovendien bieden andere onderdelen van het energiesysteem kansen en beperkingen die mede bepalend zijn voor de wenselijke configuratie van de bronnenmix. Dat vraagt om de inzet van aanvullende conversie- of opslagtechnieken in aanvulling op de warmtebronnen. We hebben het over warmtepompen, elektrische boilers, warmteopslag en duurzame piekvoorziening.

5.1 Warmtepompen



Introductie

Bij veel bronnen gebruiken we warmtepompen om de beschikbare brontemperatuur te verhogen naar de gevraagde gebruikstemperatuur. Daarnaast kunnen we warmtepompen gebruiken om de temperatuur van bepaalde vormen van opslag te verhogen of constant te houden. Vanwege de verschillende bronnen en toepassingen kennen we inmiddels een groot aanbod warmtepompen die hierop inspelen.

Warmtepompen hebben een hoog rendement omdat ze 'gratis' omgevingswarmte opnemen. Ze verhogen deze warmte niet verder in temperatuur dan gewenst. Dit maakt dat warmtepompen energie efficiënter omzetten naar warmte dan bij verwarming door verbranding.

Waar in deze publicatie warmtepompen worden genoemd, gaat het over dampcompressie-warmtepompen omdat die tot op heden bijna uitsluitend worden gebruikt. Andere typen warmtepompen (in ontwikkeling) zijn:

- thermo-akoestische warmtepompen;
- sorptiewarmtepompen;
- warmtepompen gebaseerd op de Brayton-cyclus of Stirling-motor.

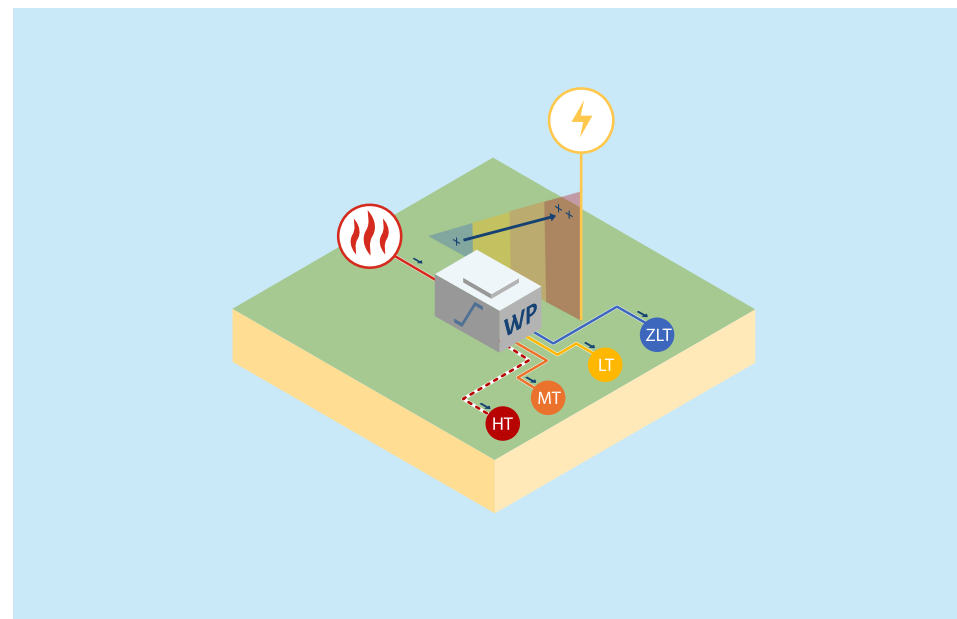
5.1.1 Temperatuurniveaus en potentiële opbrengst

De prestatie van warmtepompen is het geleverde vermogen en de efficiëntie waarmee dit gebeurt.

Dit hangt vooral af van:

- bron- en afgiftecondities;
- grootte van de bronnen;
- afgiftesystemen zelf.

Het rendement van een warmtepomp drukken we uit in COP (Coefficient of Performance). We berekenen het rendement door de nuttige warmte te delen door de input aan elektriciteit, waar het gaat om een elektrisch aangedreven warmtepomp. We nemen in deze COP-berekening de omgevingswarmte niet mee als energie-input. Daardoor kan het rendement boven 100% uitkomen. De theoretisch maximale COP is de zogenaamde COP Carnot; hoger dan dit rendement is natuurkundig niet mogelijk. In de praktijk worden COP's behaald tussen ongeveer 40 tot 70% van Carnot.



Figuur 13 De verschillende vormen en belangrijkste eigenschappen van warmtepompen



In onderstaande tabel staan de rendementen of COP's die typerend zijn voor warmtepompen in warmtenetten⁹⁰. We zien dat het rendement van een warmtepomp toeneemt als de temperatuur-lift afneemt. Dat is het verschil tussen de brontemperatuur en geleverde temperatuur.

	3G warmtenet	4G warmtenet
Aanvoer/retour (°C)	80/45°C	55/25°C
Distributie verliezen	28%	19%
COP Warmtepomp bij 5°C gemiddelde brontemperatuur	2.9	3.9
COP Warmtepomp bij 35°C gemiddelde brontemperatuur	4.2	7.1

Tabel 12

Warmtepompen zijn meestal goed geschikt om te voorzien in de basislast. Ze zijn minder geschikt voor de momenten dat er veel vraag is (pieklust), tenzij we de pomp combineren met buffercapaciteit. In combinatie met warmteopslag kan een warmtepompsysteem reageren op een fluctuerende (wisselende) vraag. Door die combinatie is de warmtepomp flexibel genoeg om in te zetten wanneer het aanbod aan (groene) elektriciteit het hoogst is.

5.1.2 Stand van zaken

Volgens een studie door het IEA is er in Nederland ongeveer 5600 MWth vermogen van groot-schalige warmtepompen opgesteld (tabel 13). Dit gaat dan om industrieel gebruik en in de gebouwde omgeving. Als we alleen kijken naar de warmtepompen in warmtenetten blijft er in Nederland op dit moment 1 MWth over. Daarnaast zijn er nog de vele collectieve toepassingen op gebouwniveau⁹¹.

⁹⁰ COPS typerend voor warmtepompen in warmtenetten

⁹¹ Zie ook: [WKO-bodemenergietool](https://www.wko-bodemenergietool.nl/). Ontdek de mogelijkheden van bodemenergie. (wkotool.nl)

Warmtepompen in grotere warmtenetten in Europa⁹²

Land	Opgesteld vermogen voor warmteproductie	Aantal opwekinstallaties	Aantal warmtepompen
	(MWth)	(#)	(#)
Noorwegen	84.5	8	15
Zweden	1022.3	13	43
Denemarken	45	9	11
Finland	154.6	4	9
Italië	36.6	5	9
Zwitserland	35.4	9	13
Oostenrijk	10.1	2	3
Litouwen	15	1	1
Slowakije	1.8	1	1
Tsjechië	6.4	1	1
Polen	3.7	1	2
Frankrijk	5.5	2	3
Nederland	1.2	1	1

Tabel 13

IEA-HPT Annex 47 / Heat Roadmap Europe onderzocht het gemiddeld geplaatst vermogen van grootschalige warmtepompen in warmtenetten in Europa. We zien een afname van ongeveer 16 MW in de periode 1980-2000 naar gemiddeld 5 MW in de periode 2001-2016. Dit komt onder andere door strengere wetgeving door de EU voor koudemiddelen.

Naast collectieve warmtepompen voor LT, MT of HT-warmtenetten spelen warmtepompen op gebouwniveau ook een belangrijke rol bij ZLT-netten. Door de hoge(re) temperatuur van de ZLT-netten vergeleken met buitenlucht hebben deze warmtepompen een hogere COP met name in de winter. Daardoor vragen ze een lager piekvermogen in de winter dan de individuele lucht-water-warmtepompen. De combinatie waarbij een ZLT-warmtenet de basiswarmte aanlevert en warmte-

⁹² Data afkomstig uit IEA-HPT Annex 47 (Heat Pumps in District Heating and Cooling Systems - Final Report - HPT - Heat Pumping Technologies), welke verwijst naar Heat Roadmap Europe 4 (HRE4)



pompen deze per (flat)gebouw naar de gewenste temperatuur brengen is daardoor efficiënt en kansrijk.

Op dit moment stimuleert de overheid het gebruik van warmtepompen met verschillende regelingen op gebied van onderzoek, ontwikkeling, demonstratie en exploitatie:

- Onderzoek en Ontwikkeling:
 - MOOI [Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie \(MOOI\) \(rvo.nl\)](#)
 - Innovatie krediet [Innovatiekrediet \(rvo.nl\)](#)
 - [WBSO Wet Bevordering Speur- en Ontwikkelingswerk \(rvo.nl\)](#)
- Pilot en Demonstratie:
 - DEI+ [Demonstratie Energie- en Klimaatinnovatie \(DEI+\) \(rvo.nl\)](#)
 - HER+ [Hernieuwbare Energietransitie \(HER+\) \(rvo.nl\)](#)
- Opschaling en uitrol:
 - ISDE met bovengrens 400 KWth [Investeringssubsidie duurzame energie en energiebesparing \(ISDE\) \(rvo.nl\)](#)
 - De SDE++ >500 kwth [Stimulerings Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie \(SDE++\) \(rvo.nl\)](#)
 - VEKI [Versnelde klimaatinvesteringen industrie \(VEKI\) \(rvo.nl\)](#)
 - EIA [Energie-investeringsaftrek \(EIA\) \(rvo.nl\)](#)
 - SAH [Stimuleringsregeling aardgasvrije huurwoningen \(SAH\) \(rvo.nl\)](#)
 - Aparte regeling Maatschappelijk vastgoed [Subsidieregeling duurzaam maatschappelijk vastgoed \(DUMAVA\) \(rvo.nl\)](#)
- Activiteiten regeling milieubeheer:
 - EML plichtig bedrijf TVT<5 jaar [Erkende maatregelenlijsten \(EML\) \(rvo.nl\)](#)

Binnen de proeftuinen uit het Programma Aardgasvrije Wijken en andere projecten zijn er meerdere plannen in ontwikkeling voor warmtenetten met collectieve warmtepompen⁹³.

5.1.3 Eigenschappen en uitdagingen

Een aantal eigenschappen van warmtepompen biedt voordelen en daardoor kansen:

- Er is veel potentieel in beschikbare bronnen.
- Aandrijfenergie (elektriciteit) wordt steeds groener.
- Door een warmtepomp met een buffer flexibel in te zetten voorkomen we netcongestie. We kunnen warmte-opwekking en -verbruik in de tijd schuiven.

- Warmtepompen voorzien vaak ook in koeling. We kunnen de gekoelde warmte in bepaalde systemen inzetten om bepaalde bronnen te regenereren. Bijvoorbeeld een WKO.

Naast bovenstaande eigenschappen zijn er ook uitdagingen. Deze uitdagingen moeten we aanpakken om warmtepompen grootschalig(er) te (kunnen) gebruiken:

- Collectieve warmtepompen voor warmtenetten vragen een groot vermogen, zeker met lucht als bron. Om het elektriciteitsnet niet onnodig te belasten is het wenselijk dat een warmtepomp flexibel kan draaien zodat het pieken in de elektriciteitsvraag kan omzeilen. Dit kan door het te combineren met een warmtebuffer, die op momenten met lage energieprijzen kan worden 'opgeladen' voor een latere piek in de warmtevraag.
- Een pomp kan geluidsoverlast veroorzaken.
- De Europese Unie 'faseert' koudemiddelen met een hoge uitstoot van broeikasgas uit via de 'F-Gas Regulation'. Als we alternatieve koudemiddelen willen gebruiken zoals propaan en ammoniak, zijn er vaak aanvullende (veiligheids)maatregelen nodig.

5.1.4 Ontwikkelperspectieven beleid

De (potentiële) groei en het te verwachten beleid voor warmtepompen hangt af van de bronnen die we in hoofdstuk 4 noemen. Collectieve warmtepompen worden gebruikt voor het inzetbaar maken van geothermie, restwarmte, aquathermie, zonthermie en/of aerothermie.

5.1.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming

Praktijksignalen voor verdere stimulering

- De inzet van hoge temperatuur-warmtepompen wordt momenteel niet ondersteund binnen de SDE++-regeling. Het gaat dan om warmtepompen die bijvoorbeeld invoeden via een transportleiding zoals WarmtelinQ.
- De elektriciteitsvraag van HT-warmtepompen verhoogt de vraag naar netcapaciteit. Als we de ontwikkeling van HT-warmtepompen willen ondersteunen, moeten we goed kijken hoe we netcongestie kunnen voorkomen en omgaan met hoge nettarieven (bijvoorbeeld door warmtepompen flexibel in te zetten, in combinatie met warmte-opslag).

⁹³ <https://www.aardgasvrijewijken.nl/proeftuinen+op+de+kaart/voortgang-proeftuinen/default.aspx>



5.1.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

Voorbeeldprojecten

- Warmtestad Groningen⁹⁴
- Warmtestad Groningen wil zonnewarmte, restwarmte en warmtepompen gebruiken om een hoeveelheid warmte te produceren die genoeg is voor de behoefte van meer dan 10.000 huishoudens, gebouwen en kennisinstellingen in de noordelijke wijken van Groningen.
- Mijnwater Heerlen⁹⁵
- Het warmtenet in Heerlen en omgeving was in 2005 een van de eerste laag temperatuur-warmtenetten voor woningen en bedrijfsgebouwen in Nederland. In dit net zorgen centrale warmtepompen voor een juiste temperatuur in het net en voorziet een individuele warmtepomp per woning in de juiste gebruikstemperatuur voor verwarming en warmwater.
- Warmtenet Utrecht⁹⁶
- In juli 2022 startte de bouw van de grootste warmtepomp van Nederland van 27 MWth. Het is onderdeel van een aquathermie-installatie. Ongeveer 20.000 huishoudens in de gemeente Utrecht en Nieuwegein gebruiken de geproduceerde duurzame warmte.

Bekijk meer projecten in de online WKO-tool⁹⁷.

Achtergrondinformatie

- IEA-HPC / Annex 47: Heat Pumps in District Heating and Cooling systems
- <https://heatpumpingtechnologies.org/annex47/>
- IEA-HPC / Annex 50: Heat Pumps in Multi-Family Buildings for Space Heating and Domestic Hot Water (DHW) <https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/case-studies/>
- Overzicht van enkele warmtepompen in warmtenetten: <https://warmtenetwerk.nl/map/>

⁹⁴ <https://warmtestad.nl/nieuws/definitief-restwarmte-gaat-warmtenet-groningen-noordwest-verwarmen>

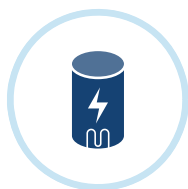
⁹⁵ <https://warmtenetwerk.nl/warmteproject/mijnwater-heerlen/>

⁹⁶ <https://www.eneco.nl/over-ons/wat-we-doen/duurzame-bronnen/warmte/warmtepomp-rwzi-utrecht/>

⁹⁷ [WKO-bodemenergietool. Ontdek de mogelijkheden van bodemenergie. \(wkotool.nl\)](https://www.wkotool.nl/)



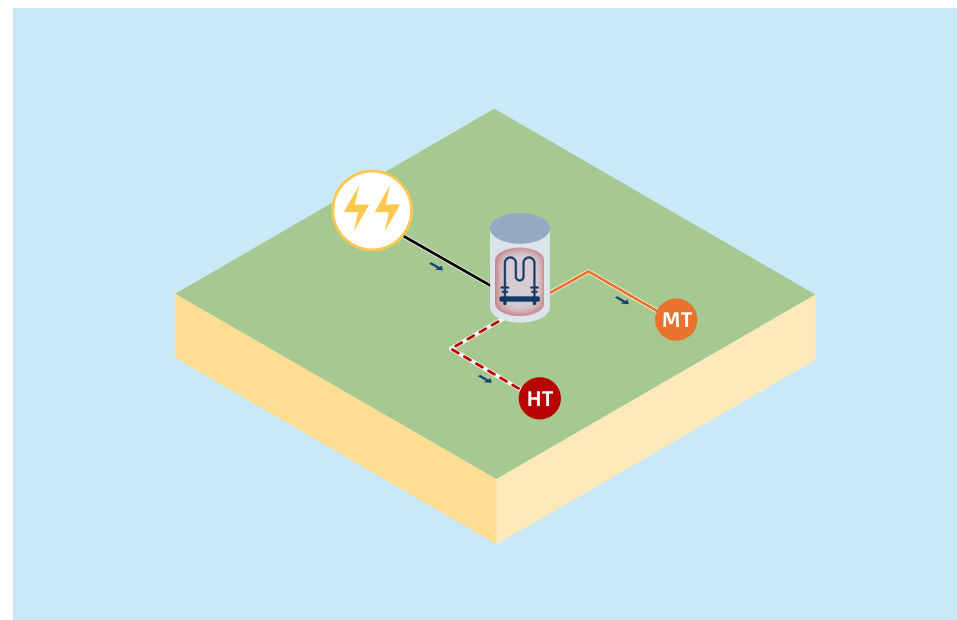
5.2 Elektrische boiler



Introductie

Een E-boiler is een elektrische boiler die elektriciteit direct omzet in warmte en deze een tijd kan vasthouden om op een later moment te leveren. De E-boiler kan daardoor flexibel draaien. We gebruiken het op dit moment vooral in warmtenetten, de glastuinbouw en de industrie. Het is meestal een aanvulling op een bestaande warmtebronnen.

De warmte wordt opgeslagen in de boiler en is dus altijd gecombineerd met een korte termijn-opslag met water (TTES, zie [hoofdstuk 5.3 Warmteopslag](#)). We zetten de E-boiler vooral in wanneer de elektriciteitsprijs laag is door een groot aanbod van hernieuwbare elektriciteit. Een E-boiler stabiliseert zo het elektriciteitssysteem. Het zorgt voor een groter gebruik van hernieuwbare elektriciteit. Het voorkomt dat windmolen of zonneparken moeten worden afgeschakeld als ze veel hernieuwbare elektriciteit produceren.



Figuur 14 De verschillende vormen en belangrijkste eigenschappen van een E-boiler

5.2.1 Temperatuurniveaus en potentiële opbrengst

Met een E-boiler halen we een groot temperatuurbereik. Het rendement is altijd rond de 100% en hangt niet af van de temperatuur. We gebruiken de E-boiler tot nu toe vooral voor:

- warm water (90°C);
- HT-warmtenetten (90 – 120°C);
- stoomproductie (150 – 400°C);
- hoge temperatuur-opslag in steen of zout.

5.2.2 Stand van zaken

In landen zonder aardgas en/of met veel CO₂-vrije elektriciteit wordt een E-boiler veel gebruikt in woningen. In Nederland komt de elektrische boiler voor warmtapwater niet veel meer voor. Wel zie je veel kleine boilers (close-in boilers) voor warm water in de keukens.

Sinds een paar jaar zijn er ook grote E-boilers voor collectieve warmtevoorzieningen in gebruik of in voorbereiding. Voor grote E-boilers is de SDE++-subsidie beschikbaar. Inmiddels hebben



5 projecten SDE++-subsidie aangevraagd voor E-boilers voor warmtenetten. In Ypenburg is inmiddels de eerste in gebruik. De grootste is de E-boiler die Vattenfall in Diemen bouwt (150 MW). Er is de laatste jaren veel interesse en er zijn vele projecten in voorbereiding. De E-boiler is een relatief goedkope warmteopwekker die andere bronnen goed aanvult. De bijdrage van de E-boiler aan het warmtenet is beperkt; het is alleen rendabel als we het inzetten bij lage elektriciteitsprijzen. We verwachten dat een E-boiler rond de 15% van de warmte zal leveren in een warmtenet. Het is een goede aanvulling op aftapwarmte uit een WKK; inzet van een WKK is vooral interessant bij hoge elektriciteitsprijzen.

Als we de E-boiler inzetten wanneer de elektriciteitsprijs onder de [dynamische referentieprijs](#) ligt, zien we de E-boiler als hernieuwbare warmte voor de duurzaamheid van warmtenetten en voor de bouwregelgeving. Dit is de marginale prijs voor elektriciteit uit gas- of kolencentrales. Dat zijn de momenten waarop er een groot aanbod is van hernieuwbare elektriciteit door vooral wind en zon en wanneer de fossiele centrales geen stroom leveren. Deze situatie komt steeds vaker voor. Een vraag is hoeveel E-boilers we op deze manier duurzaam kunnen inzetten. Dit hangt af van:

- overschotten aan duurzame elektriciteit;
- opslagcapaciteit;
- andere mogelijkheden om een overschot aan duurzame elektriciteit te gebruiken.

5.2.3 Eigenschappen en uitdagingen

In het [Nationaal Plan Energiesysteem \(NPE\)](#) geeft de overheid haar visie op de rol van power-to-heat in het hele energiesysteem (warmte produceren met tijdelijke overschotten aan hernieuwbare elektriciteit). De [Routekaart Energieopslag](#) constateert hetzelfde potentieel en het belang van warmtebuffering, waarmee we zowel op het elektriciteitsnet als in collectieve warmtesystemen vraag en aanbod met elkaar matchen.

Een aantal eigenschappen van E-boilers biedt voordelen en daardoor kansen:

- De E-boiler past bij het beleid om de warmtevoorziening te verduurzamen. Het is een aanvulling op een warmtepomp. Uit het oogpunt van energie-efficiëntie is de warmtepomp veel beter. Toch is de E-boiler een goede aanvulling door de lage investeringskosten en de mogelijkheid om overschotten aan elektriciteit te gebruiken.
- De E-boiler stabiliseert het elektriciteitssysteem, omdat het vooral elektriciteit afneemt wanneer er een overschot is aan hernieuwbare elektriciteitsproductie.
- We moeten het elektriciteitsnet zo slim mogelijk gebruiken en verder ontwikkelen. Dit is het gevolg van congestieproblemen. Power to heat en andere vormen van systeemintegratie spelen daarbij een belangrijke rol.
- De E-boiler is een bron met lage investeringskosten. Zeker als er al een korte-termijn warmte-opslag is in het warmtenet.
- De E-boiler heeft lage operationele kosten als we die vooral inzetten bij lage elektriciteitsprijzen.

Naast bovenstaande eigenschappen zijn er ook uitdagingen. Deze uitdagingen moeten we aanpakken om de E-boiler grootschalig te (kunnen) gebruiken:

- De toekomstige elektriciteitsprijzen zijn onzeker. We kunnen dus geen betrouwbare verwachting geven over de toekomstige rol van E-boilers. Om te voorzien in de piekvoorziening kan de E-boiler duur uitvallen. De elektriciteitsprijs is bij een grote warmtevraag vaak al hoog. Inzetten bij piekvoorziening is dus niet in lijn met de behoefte de E-boiler alleen te gebruiken bij een elektriciteitsprijs die onder de dynamische referentieprijs ligt. Voor een (kosten)efficiënt warmtenet is er dus hoe dan ook aanvullend een bron nodig voor de piekvoorziening (zie [hoofdstuk 5.4](#)).
- De nettarieven voor het aansluiten van grote vermogens zijn recent enorm gestegen. Dit maakt de exploitatie van E-boilers momenteel lastig.



- Aansluiten van grote vermogens op het elektriciteitsnet kan nu vaak niet door netcongestie. Afspraken maken met de netbeheerder over een aansluiting die beperkt wordt als er netcongestie is, is een mogelijkheid. Dit noemen we een non-firm Aansluit en Transportovereenkomst (ATO).
- Een warmtepomp levert energetisch een betere prestatie dan een E-boiler. De investeringskosten zijn alleen hoger en een warmtepomp is niet geschikt om veel in- en uit te schakelen.

5.2.4 Ontwikkelperspectief en beleid

De E-boiler speelt naar verwachting vooral een rol in combinatie met andere bronnen voor warmtelevering. Het is dan dus geen aparte bron die het merendeel van de warmtevraag voor zijn rekening neemt, maar echt aanvullend op andere bronnen die de basislast en piekvoorziening verzorgen. Als er al een warmteopslag is vanwege een andere bron, zijn de meerkosten van de E-boiler beperkt. Dan is dit juist extra flexibel en is duurzame warmteproductie mogelijk tegen lage kosten. De E-boiler gaat waarschijnlijk bij veel warmtenetten een rol spelen om een bijdrage te leveren aan de warmtevoorziening voor 10 tot 20% van de warmtevraag. Naast deze bijdrage aan de warmtenetten speelt de E-boiler een rol bij het gebruiken van overcapaciteit van zon- en windstroom bij momenten met een groot aanbod. We verwachten voor de E-boiler een potentiële bijdrage van 20 – 40 PJ.

5.2.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming

Praktijksignalen voor verdere stimulering

- Het gebruik van de dynamische referentieprij is wenselijk om de optimale inzet van E-boilers in het energiesysteem te borgen. Dat betekent dat het zichtbaar is of we de E-boiler alleen inzetten op momenten dat er geen fossiele elektriciteitsopwekking is. Nu speelt dit alleen achteraf in de rapportage. Het kan ook een rol spelen bij de toekenning van subsidie.
- De huidige hoge nettarieven zijn een probleem. Flexibelere nettarieven, eventueel gekoppeld aan de capaciteit op het net, biedt een oplossing. Dit probleem speelt ook bij elektriciteitsopslag. Het is wenselijk dat we de nettarieven meer flexibel kunnen vaststellen, zodat we voor de inzet van onder meer E-boilers niet onnodig hoge nettarieven betalen.
- E-boilers dragen niet bij aan de doelstelling voor hernieuwbare warmte die de EU stelt volgens de nieuwe RED III-richtlijn. Ze dragen wel bij aan de doelen voor verduurzaming van warmtenetten volgens de Nederlandse afspraken. Het is wenselijk om verder uit te zoeken hoe E-boilers (zo goed mogelijk kunnen) bijdragen aan de verschillende duurzaamheidsdoelstellingen.

5.2.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

Praktijkvoorbeelden

- De E-boiler in het warmtenet van Eneco in Ypenburg.
- <https://www.eneco.nl/over-ons/wat-we-doen/duurzame-bronnen/elektrodeboiler-wkc-ypenburg/>
- De E-boiler van Vattenfall in Diemen.
- <https://www.vattenfall.nl/stadsverwarming/e-boiler/>
- De E-boiler van HVC in Dordrecht.
- [warmtenet Dordrecht volledig aardgasvrij en minder afhankelijk van afvalverwerking | HVC Groep](#)

Achtergrondinformatie

- E-boilers worden in de industrie ook gebruikt voor stoomproductie: <https://www.rvo.nl/onderwerpen/energie-besparen-de-industrie/elektrificatie-industrie>



5.3 Warmteopslag



Introductie

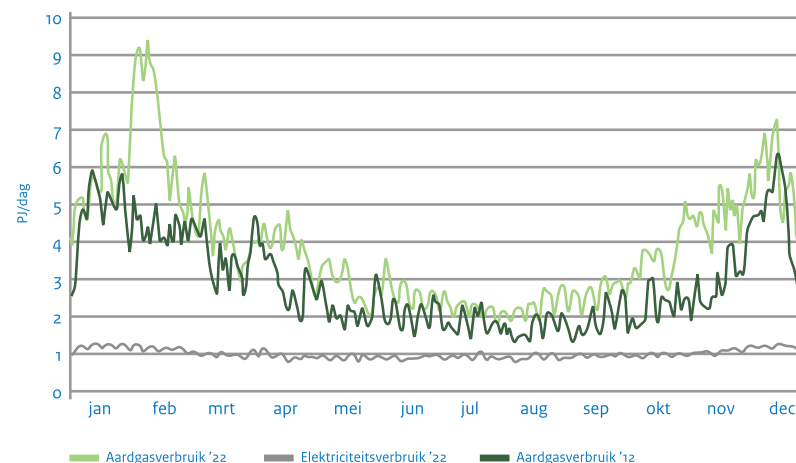
Binnen het toekomstig Nederlandse energiesysteem is warmteopslag een noodzakelijk onderdeel. Dit onderstreept ook de Routekaart Energieopslag die EZK in juni 2023⁹⁸ deelde met de Kamer. Ook komt dit terug in het Nationaal Plan Energiesysteem⁹⁹ en Outlook Energiesysteem 2050¹⁰⁰.

In het NPE-rapport staat: 'Warmteopslag draagt bij aan systeemintegratie en een efficiëntere inzet van duurzame warmtebronnen. Warmteopslag maakt het mogelijk om de warmtevraag te verlagen bij tekorten op het elektriciteitsnet en te verhogen bij overschotten. Hiernaast kan warmteopslag een grotere benutting van duurzame warmtebronnen (meer vollasturen) faciliteren, de piekvraag verlagen en bijdragen aan het voorkomen van netcongestie.'. De Routekaart Energieopslag is het basisdocument voor dit hoofdstuk. We houden dezelfde tweedeling tussen seizoensopslag en korte termijn-opslag aan.

Het Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen is gericht op collectieve systemen voor de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. Dit houdt in dat we alleen de warmte-opslagtechnieken die passen binnen deze publicatie meenemen. Warmte-opslagtechnieken voor bijvoorbeeld de industrie en individuele woningen vallen daarmee buiten deze publicatie.

De warmtebehoefte verschilt gedurende de dag. Ook gedurende het jaar en tijdens de seizoenen. Ons huidige energiesysteem kan op ieder moment vrijwel direct de warmtevraag met het warmte-aanbod matchen. Dit komt door de flexibele inzetbaarheid van fossiele bronnen. Met name aardgas kunnen we makkelijk opslaan, transporteren en omzetten naar de gevraagde vorm van energie in de gewenste hoeveelheid en op het moment dat er behoefte is. We hoeven weinig rekening te houden met beperkingen van het aanbod. In figuur 16 zien we het gasverbruik waarbij we 4 keer zoveel gas verbruiken in de winterperiode vergeleken met de zomer.

Fluctuatie van elektriciteits- en aardgasverbruik gedurende het jaar



Figuur 16 Overgenomen uit de Routekaart Energieopslag⁹⁸

Nederland wil een CO₂-vrij, duurzaam en kosteneffectief energiesysteem realiseren waarbij we een variabele mix van bronnen inzetten (figuur 17). In dat nieuwe energiesysteem kunnen we vraag en aanbod moeilijker met elkaar matchen. We moeten verschillen overbruggen over verschillende tijdsperioden zoals dag en nacht en winter en zomer. Om de beschikbare bronnen zo efficiënt mogelijk te gebruiken over de verschillende tijdsperioden, is warmteopslag een oplossing. Zo draagt warmteopslag bij aan de realisatie van een duurzaam en kosteneffectief energiesysteem.

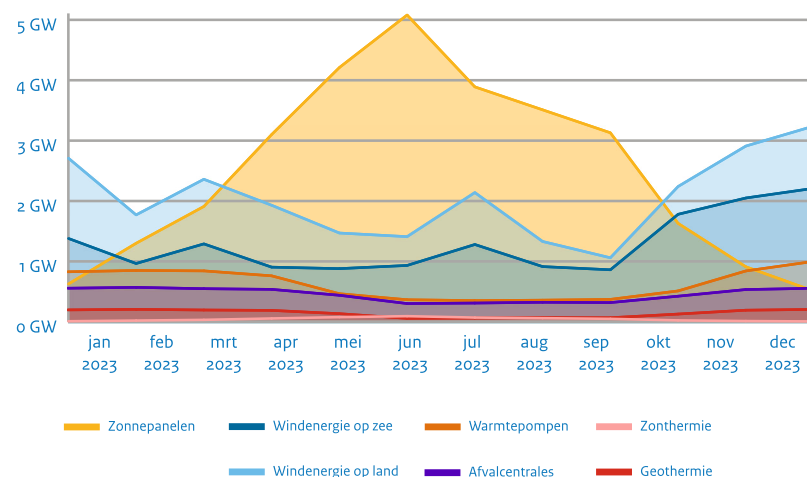
⁹⁸ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK, 2023). Routekaart Energieopslag. Pag 1 - 120

⁹⁹ Nationaal Plan Energiesysteem (NPE, 2023). Nationaal Plan Energiesysteem; Hoofddocument. Pag. 1- 31.

¹⁰⁰ Expertteam Energiesysteem 2050 (ETES2050, 2023). Outlook Energiesysteem 2050; Hoofddocument. Pag. 1-78



Totale energieopwekking van 2023 voor zon, wind op land, wind op zee, warmtepompen en geothermie



Figuur 17 Bron: Nationaal Klimaat Platform, cijfers Energieproductie 2023¹⁰¹

We onderscheiden grofweg seizoensopslag en korte-termijnopslag. Beide kunnen we gebruiken in collectieve warmtesystemen. We gaan er dan vanuit dat elk warmtenet baat heeft bij buffering in de vorm van warmteopslag.

Met warmteopslag:

- Kunnen we de bron kleiner dimensioneren.
- Sluiten we een groter gebied op dezelfde bron aan.
- Zijn er minder kosten voor onderhoud (CE Delft & Invest-NL, 2020)¹⁰².

Dit verbetert de business case van de bron. Ook dragen we bij aan het voorkomen van congestieproblemen van het elektriciteitsnet (CE Delft, 2023)¹⁰³.

We ontzien het elektriciteitsnet door elektrische vermogens lager te houden en elektriciteit om te zetten in warmte (*Power to heat, P2H*) en eventueel op te slaan (*Power to heat + storage, P2H+S*) tijdens piekmomenten in elektriciteitsaanbod. We voorzien warmtenetten dan van goedkope(re) warmte. In sommige gevallen, in feite bij een gebrek aan flexibiliteit, verergert P2H mogelijke problemen in het elektriciteitssysteem (TenneT, 2021)¹⁰⁴. Bijvoorbeeld bij de gelijktijdige inzet van veel warmtepompen wanneer dat niet gestuurd kan worden. Voor het sturen op effectieve systeemintegratie is het belangrijk dat er economische waarde wordt toegekend aan de verdiensten die P2H het elektriciteitssysteem biedt.

Seizoensopslag

Seizoensopslagstechnieken kunnen warmte en/of koude opslaan van een week tot maanden en daarmee dus seizoenen. Veel van de seizoensopslag vindt plaats in de ondergrond. Er is namelijk veel opslagcapaciteit in de ondergrond. In het algemeen geldt: hoe groter de opslag, hoe goedkoper de warmte per opgeslagen energie-eenheid. De opslagcapaciteit van ondergrond is veel groter dan bij een bovengrondse opslagstechniek (zoals een tankopslag). Daarom zijn ondergrondse technieken makkelijker in te voeren (implementeren) in druk bevolkte gebieden waar de vraag naar warmte hoog is.

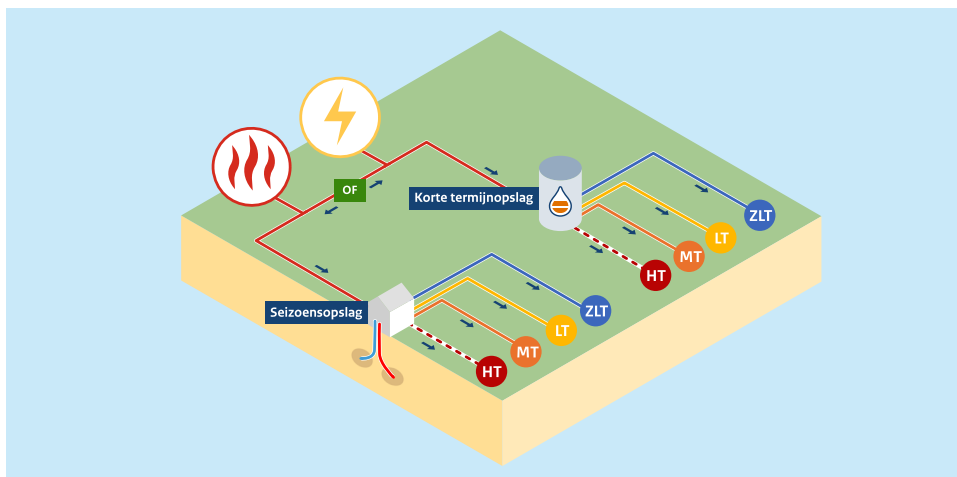
Om rendabel te zijn moet de ondergrond aan specifieke eisen voldoen voor seizoensopslagstechnieken in de ondergrond. Een groot deel van de Nederlandse ondergrond voldoet aan deze specifieke eisen. Zo hebben bijvoorbeeld warmte- en koude-opslag (WKO), midden temperatuur-opslag (MTO) en hoge temperatuur-opslag (HTO) een watervoerende laag nodig in de ondergrond die de juiste doorstroming heeft. Het moet afgesloten zijn met een kleilaag in geval van een MTO of HTO. Deze condities komen op verschillende dieptes in bijna heel Nederland voor. De potentie voor de toepassing van dit soort systemen is daarmee hoog in het hele land. Door de diepte van MTO en HTO komen deze technieken doorgaans niet in aanraking met de gereserveerde lagen voor drinkwater(bescherming). Dat is anders bij WKO-systemen. Dit ondiepere systeem heeft wel te maken met grondwaterbeleid.

¹⁰¹ Nationaal Klimaat Platform (NKP, 2023). Energieproductie 2023. Energieopwek.nl. Geraadpleegd op 13 december 2023

¹⁰² CE Delft & Invest-NL (2020), Kansen voor thermische opslagsystemen. 20.200124.110. Pag. 1 – 88.

¹⁰³ CE Delft (2023), Power-to-Heat en warmteopslag en warmtenetten; Businesscase, potentieel en rol in energiesysteem. Pag. 1 – 81.

¹⁰⁴ TenneT (2021), Flexibiliteit en Warmte in de Gebouwde Omgeving – Analyse van kansen en randvoorwaarden voor systeemintegratie van duurzame warmte in de gebouwde omgeving. E-Top Connect to Move 2020. Pag. 1 – 66.



Figuur 15 De verschillende vormen en belangrijkste eigenschappen van warmteopslag

We kennen deze seizoensopslag-technieken:

- Ondergrondse warmte- en koude opslag in watervoerende lagen (ATES-Aquifer Thermal Energy Storage).
- Hieronder vallen:
 - warmte- en koude-opslag (WKO);
 - midden temperatuur-opslag (MTO);
 - hoge temperatuur-opslag (HTO).
- Ondergrondse warmteopslag met gesloten bodemlussen (BTES-Borehole Thermal Energy Storage).
- We onderscheiden de ondiepe lage temperatuur (LT)-BTES-systemen die we in Nederland vaak gebruiken in combinatie met warmtepompen (GBES-gesloten bodemenergiesystemen) en de diepere hogere temperatuur-BTES-systemen.
- Ondergrondse warmteopslag in oude mijnstructuren (MTES-Mine Thermal Energy Storage) zoals oude mijngangen of zoutcavernes.
- Warmteopslag in kuilen aan het oppervlak (PTES; Pit Thermal Energy Storage).
- Warmteopslag in buffervaten of tanks aan of net onder het oppervlak (TTES; Tank Thermal Energy Storage).

- Het materiaal of de vloeistof waarin de warmte is opgeslagen kan variëren. Voor MTES hebben we oude mijnstructuren nodig zoals de oude mijngangen¹⁰⁵ en¹⁰⁶. Deze structuren komen in Nederland beperkt voor.

Gesloten bodemsystemen zoals BTES hebben als voordeel dat zij minder specifieke eisen stellen aan de ondergrond. Deze techniek hangt niet af van bepaalde ondergrondse watervoerende lagen. De ondergrond moet alleen voldoende warmte kunnen uitwisselen en deze weer tijdig aanvullen. Hierdoor is de technische potentie van BTES groot voor Nederland. De praktische potentie van BTES ligt anders. Dat hangt namelijk af van lokale of regionale regelgeving. PTES en TTES hebben als voordeel dat we niet hoeven te boren in de ondergrond. Dit drukt de kosten behoorlijk. Een nadeel is dat er een bepaalde hoeveelheid oppervlakte beschikbaar moet zijn om de techniek te installeren. Voor PTES is dit veel groter dan voor TTES. Daarom is de potentie van PTES kleiner vergeleken met HTO en MTO. Het kan wel weer makkelijker gebruikt worden in dunbevolkte gebieden. TTES is dus wel makkelijker in te passen, maar heeft nog steeds een bepaald ruimtebeslag dat in Nederland (vaak) schaars is.

Korte termijnopslag

Onder korte termijnopslag verstaan we systemen die warmte en/of koude voor minimaal een dag tot een enkele weken kunnen opslaan. Deze systemen kunnen vermogens leveren om bijvoorbeeld de ochtendpiek op te vangen. Korte termijnopslag kan daarmee ook een rol spelen binnen collectieve systemen voor de gebouwde omgeving.

We kennen deze systemen voor korte termijn opslag:

- Faseovergang materialen (PCM - Phase Change Materials)
- Deze vorm van warmteopslag gebruikt faseovergangen van het opslagmedium waarbij warmte en/of koude vrijkomt of wordt opgenomen door het opslagmedium.
- Thermochemische energieopslag (TCM - Thermochemical Materials)
- Deze techniek gebruikt chemische reacties die omkeerbaar zijn en zo warmte en/of koude opslaan of vrijlaten. Op dit moment gebruiken we deze techniek voornamelijk nog voor kortere tijdsperiodes (dagen). Eventueel is deze techniek ook geschikt voor seizoensopslag.
- Korte termijn-opslag van warmte in tanks (TTES)
- De tanks van verschillende inhoud slaan de warmte op als voelbare warmte. Naast water, kunnen we de tanks ook vullen met vaste stoffen zoals gesteente, zand, beton, staal, ijzer of zouten.

¹⁰⁵ Mijwater (2024), Projecten. Via <https://mijwater.com/over-mijwater/projecten>

¹⁰⁶ WarmingUP Geothermie en Opslag Opschaling (WarmingUP GOO, 2024). Via <https://www.warmingup.info/goo>. Geraadpleegd op 28-03-2024



- Redox warmteopslag (ijzerbrandstof)
- Deze vorm van thermochemische warmteopslag is gebaseerd op de verbrandingsreactie van ijzerpoeder. Onder de juiste condities wordt het ijzerpoeder in contact gebracht met lucht waarbij een vlam ontstaat die wordt omgezet in heet water of stoom. Energie kan zo worden opgeslagen voor 1 dag tot maximaal 1 jaar en zou daarmee dus ook ingezet kunnen worden als seizoensopslag. Het restproduct van de reactie is roestpoeder, dat opnieuw kan worden gerecycled naar ijzerpoeder door middel van een reactie met waterstof. Door het hoge temperatuurbereik is deze techniek ook geschikt voor flexibele warmteopwekking in de industrie.

Alle vormen van korte termijnopslag gebeuren aan het oppervlak. Daarom kunnen we al deze technieken door het hele land toepassen. PCM en TCM hebben vaak een hoge energiedichtheid. Daarom zijn de systemen compacter vergeleken met TTES. Daarnaast kunnen de technieken voor korte termijnopslag ook zeer hoge temperaturen ($>100^{\circ}\text{C}$) opslaan. Verder kan korte termijn-opslag slim inspelen op dynamische prijzen van elektriciteit. Zo ontlast het ook het elektriciteitsnet. De elektrische boiler (E-boiler) is hier een goed voorbeeld van (hoofdstuk 4.6).

Redox warmteopslag kan goed worden ingezet als midden- of pieklastoplossing voor warmtenetten in de gebouwde omgeving en de glastuinbouw. De prijs voor ijzerbrandstof ligt op dit moment hoger dan de prijs voor bijvoorbeeld restwarmte, geothermie en aquathermie. Daarom is de verwachting dat redox warmteopslag vooralsnog met name zal worden ingezet in de situaties waar andere warmtetechnieken niet aanwezig of mogelijk zijn.

Koude

Door de opwarming van het klimaat hebben we steeds meer onze behoefte om huizen te koelen in de zomer. Dus naast de warmtevraag ontstaat er steeds meer een koudevraag. Een bodemenergiesysteem in de ondergrond kan koude leveren en de koude kan ook opgeslagen worden in bijvoorbeeld een WKO. Zo kan jaar rond duurzame koude geleverd worden. Warmte-koude opslag gebruiken we in Nederland op grote schaal, met name in de utiliteitsbouw. Dit moet altijd in combinatie met een warmtepomp. WKO is een warmte- en koudebron die vooral interessant is voor de situatie waarin er behoefte is aan verwarming én koeling, zodat de WKO netto in balans kan blijven. ZLT-warmtenetten, en zeker de 5e generatie warmtenetten, kunnen koude leveren. De levering van koude krijgt steeds meer aandacht omdat de behoefte aan koeling toeneemt en het de business case en de efficiëntie van zulke warmtenetten verbetert.

Door koude direct te leveren vanuit de ondergrond of een opslag in de ondergrond is dit een duurzaam alternatief voor airco's. Dit vermindert de piekvraag aan elektriciteit en helpt misschien zelfs toekomstige netcongestie voorkomen.

5.3.1 Temperatuurniveaus

Het temperatuurniveau van de warmteopslag (tabel 14) is bepalend voor het toepassingsgebied. Hoe lager het temperatuurniveau van de warmtevraag, hoe meer potentieel geschikte duurzame warmtebronnen we kunnen aansluiten. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer toepassingen. Om warmtenet, -bronnen en -opslag te optimaliseren kunnen we met die onderdelen verschillende combinaties maken.

De keuze hangt onder meer af van de lokale omstandigheden:

- aanwezigheid van warmtebronnen;
- geschiktheid van de ondergrond;
- ruimtelijke inpassing;
- huidige en toekomstige afnemers van warmte en/of koude.
- de mate waarin warmtevraag en -aanbod over het jaar gespreid zijn



Temperatuurniveau per warmteopslag-techniek

Warmteopslag techniek	Diepte in ondergrond	Temperatuurniveau
WKO	10 – 100 m	< 25°C
MTO	10 – 500 m**	25 – 60°C
HTO	10 – 500 m**	60 – 90°C
BTES	0 – 500 m**	< 90°C
MTES	10 – 800 m**	< 90°C
PTES	0 – 10 m	< 90°C
TTES water (E-Boiler)	n.v.t.	< 90°C
PCM	n.v.t.	Variabel
TCM	n.v.t.	Variabel
TTES Vaste Stof/ Zouten	n.v.t.	<1200°C
Redox warmteopslag (ijzerbrandstof)	n.v.t.	75 – 650°C

** kan theoretisch ook dieper¹⁰⁷

Tabel 14

5.3.2 Stand van zaken

De stand van zaken verschilt per warmteopslag-techniek (tabel 15). Zo zijn de meeste seizoens-opslag-technieken al meerdere keren gebruikt. Deze moeten nu worden ‘opgeschaald’ om het grootschaliger in te kunnen zetten. Op grote schaal worden al WKO en LT-BTES-systemen gebruikt.

De overige systemen worden op hele kleine schaal gedemonstreerd en gebruikt. Het potentieel wordt daarbij iedere keer aangetoond. We moeten seizoensopslag- en korte termijn-opslagstechnieken opschalen en innoveren om ze commercieel sneller uit te (kunnen) rollen. Voor korte-termijnopslag (met name PCM en TCM) wordt vooral onderzocht of we de warmte in plaats van enkele weken ook voor de overbrugging van enkele maanden (dus seizoenen) kunnen inzetten. Ook zoeken we naar geschikte opslagstechnieken met een middellange opslagtermijn van weken om bijvoorbeeld de zgn. ‘Dunkelflaute’ te overbruggen. Daarmee wordt de periode bedoeld waarin we weinig tot geen energie opwekken met zon en wind, omdat er gelijktijdig duisternis en windstilte is. Voor de warmtevoorziening gaat het dan om de situatie dat het een aantal dagen erg koud is (hoge warmtevraag) en er tijdelijk te weinig duurzame elektriciteit beschikbaar is.

Stand van zaken van verschillende warmteopslag-technieken

Warmteopslag techniek	TRL*	Marktpenetratie Nederland
WKO	9	> 3000
MTO	7 – 8	Enkele
HTO	7 – 8	1
LT-BTES	9	>10.000 (voornamelijk individuele systemen)
HT-BTES	7 – 8	Enkele
MTES	7 – 8	Enkele
PTES	7-9	Enkele: Denemarken (TRL 9), experimenteel in Nederland (TRL 7-8).
TTES (Seizoensopslag)	6 – 7	Enkele
PCM	6 – 7	Enkele
TCM	4 – 6	Experimenteel
TTES (water)	9	>500
TTES (vaste stof)	6 – 7	Enkele
Redox warmteopslag (ijzerbrandstof)	4 – 6	Enkele

*TRL staat voor Technology Readiness Level en wordt vaak gebruikt om specifieke fases van innovatie en productontwikkeling aan te duiden¹⁰⁸.

Tabel 15

5.3.3 Eigenschappen en uitdagingen

Door het slim combineren van warmtebronnen, warmtenet en opslagtechnologieën kunnen we warmtevraag en warmteaanbod over de tijd matchen en enkele uren tot een heel seizoen overbruggen. Hierdoor wordt de warmte efficiënter en duurzamer ingezet.

Een aantal eigenschappen van warmteopslag biedt voordelen en daardoor kansen:

- Met seizoensopslag vangen we de piekvraag op in de winter. We verminderen de CO₂-uitstoot door de warmte die we in de zomer opslaan uit te leveren in de winter. De vaak fossiele piekinstallaties draaien minder uren.

¹⁰⁷ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK, 2023). Routekaart Energieopslag. Pag. 1 – 120

¹⁰⁸ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK, 2023). Routekaart Energieopslag. Pag. 1 – 120



- Met warmteopslag verminderen we congestieproblemen van het elektriciteitsnetwerk. Als we elektriciteit omzetten naar warmte en deze warmte vervolgens opslaan (*Power-to-Heat + storage*) ontlasten we het elektriciteitsnet op de piekmomenten.
- We kennen het probleem voor kritieke delfstoffen (critical raw materials) niet bij warmteopslag, zoals we die wel bij elektriciteitsopslag in lithiumbatterijen zien. Veel van de seizoensopslag- en korte-termijnopslagsystemen van warmte gebruiken simpele opslagmedia zoals water. Water is veel aanwezig. Er bestaat geen twijfel of daarvan voldoende is in de toekomst.

Naast bovenstaande eigenschappen zijn er ook uitdagingen. Deze uitdagingen moeten we aanpakken om warmteopslag grootschalig te (kunnen) gebruiken:

- Er zijn economische, technische en juridische uitdagingen rondom warmteopslag die in de Routekaart Energieopslag (KGG, 2023)¹⁰⁹ staan uitgewerkt. WKO-systemen worden al veel gebruikt. Seizoensopslag nog niet, daar ligt een grote uitdaging om na (en dankzij) een aantal voorbeeldprojecten te zorgen voor grootschalige uitrol. Er zijn in Nederland maar enkele voorbeelden van seizoensopslag gekoppeld aan warmtenetten. Grootschalige projecten ontbreken. Er moet een positief effect ontstaan wanneer er meer projecten zijn. Bewoners en beleidsmakers zien dan dat de seizoensopslagtechniek werkt.
- Ook rondom de business case van verschillende opslagtechnieken moet nog een optimalisatie plaatsvinden. Het kostenplaatje van veel projecten is nog onvoldoende duidelijk om zonder subsidie te kunnen ontwikkelen. Showcases en kennisdeling van best practices zorgen ervoor dat de business cases voor de afzonderlijke technieken verbetert.

5.3.4 Ontwikkelperspectief en beleid

Zowel seizoensopslag als korte termijn-opslag zijn een noodzakelijk onderdeel van het energiesysteem in 2050. Dit komt overeen met het Nationaal Programma Energiesysteem¹¹⁰ en het Expertteam 2050 (ETES2050, 2023)¹¹¹. We verwachten dat warmtenetten uiteindelijk standaard een warmteopslagsysteem hebben.

De overheden moeten tot (ruim) na 2030 consequent blijven inzetten op het creëren van zo gunstig mogelijke condities voor de uitrol van duurzame en integrale warmtesystemen. Met integraal bedoelen we dat we collectieve warmte zien als een ecosysteem waarin de onderdelen warmte-bron, opwaardering, infrastructuur, opslag en afnemers onlosmakelijk met elkaar verbonden zijn en een gebalanceerd geheel vormen.

5.3.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming

In de Routekaart Energieopslag (KGG, 2023)¹¹² staan veel acties genoemd over warmteopslag. Die acties kunnen we opdelen in groepen: juridisch kader, kennisopbouw, kennisdeling, (inter)nationale innovatie en implementatie. Als we de komende jaren deze acties oppakken en extra beleid hiervoor stimuleren, komen er op den duur meer warmteopslag-projecten. In mei 2024 heeft sectororganisatie Energy Storage NL het Actieplan Warmteopslag NL gepubliceerd.¹¹³

Praktijksignalen voor verdere stimulering

- Het is noodzakelijk om kennisontwikkeling en kostendaling te stimuleren voor het gebruik van midden- en hoge temperatuur-opslag. Zo versnellen we de ontwikkeling van (kosten) effectieve warmtenetten. Dit kunnen we doen door het vormen of financieren van gerichte pilotprojecten of een pilotprogramma.
- Om de markt te stimuleren is het belangrijk dat warmteopslag in het hele energiesysteem rendabel is. Hiervoor moeten we passend beleid ontwikkelen, dat stuurt op flexibilisering. Daarbij helpt ook een instrument zoals een vroege-fase-opschalingsfonds. Daarmee realiseren we in korte tijd een flink aantal voorbeeldprojecten.
- Daarnaast moeten we inzetten op ruimtelijke inpassing van zowel bovengrondse als ondergrondse opslagsystemen; daar ligt mogelijk een rol voor het NP RES.
- Op dit moment krijgen warmtebedrijven vanuit de netwerkbedrijven nog niet altijd een vergoeding voor de inzet van PzH, als dat bijdraagt aan het stabiliseren en ontlasten van het energiesysteem. Het is denkbaar dat met zo'n vergoeding voor systeemintegratie, de wisselwerking tussen delen van het energiesysteem zo wordt geoptimaliseerd dat het op nationaal niveau de netto efficiëntie, optimale inzet van energie(bronnen) en kosten-effectiviteit flink versterkt.
- Er is beleid nodig voor de ondersteuning van energy hubs. Het lokaal organiseren van collectieve flexibiliteit draagt bij aan het voorkomen en beperken van de congestieproblemen. Deze ontwikkeling komt vooral vanuit bedrijven(terreinen) die beperkt worden in hun groei en/of elektrificatie. Voor zover (collectieve) warmte per project een rol speelt, zal de stimulering van deze hubs ook bijdragen aan de implementatie van warmteopslag-technieken.

¹⁰⁹ Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK, 2023). Routekaart Energieopslag. Pag. 1 – 120

¹¹⁰ Nationaal Programma Energiesysteem (NPE, 2023). Nationaal Programma Energiesysteem; Hoofddocument. Pag. 1- 31

¹¹¹ Expertteam Energiesysteem 2050 (ETES2050, 2023). Outlook Energiesysteem 2050; Hoofddocument. Pag. 1-78

¹¹² Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (EZK, 2023). Routekaart Energieopslag. Pag. 1 – 120.

¹¹³ ESNL (2024). Actieplan Warmteopslag NL.



5.3.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

Voorbeeldprojecten

Naast de WKO-systemen die we in Nederland al veel zien (zie de WKO-tool van RVO¹¹⁴) zijn er ook enkele voorbeelden van MTO- en HTO-systemen (figuur 18). De eerste Nederlandse HTO is aangelegd in Middenmeer in het tuinbouwgebied Agriport in Noord-Holland. Deze HTO zorgt dat de aanwezige geothermiebronnen van de tuinder efficiënter en duurzamer worden ingezet. De opgedane kennis uit dit project, kunnen we gebruiken in toekomstige projecten om. Zo komen we tot grootschalige toepassing binnen het Nederlandse energiesysteem. Lees meer over dit voorbeeldproject in de projectendatabase van de Topsector Energie (2024)¹¹⁵.

Overzicht van huidige MTO en HTO-locaties in Nederland



Figuur 18 In blauw de MTO-locaties en rood de HTO-locatie.

¹¹⁴ RVO (2024), WKO-tool via <https://wkotool.nl>

¹¹⁵ Topsector Energie (2024), HTO Middenmeer. Via <https://topsectorenergie.nl/nl/projecten/hto-middenmeer/> Geraadpleegd op 20-02-2024

Naast ATEs-voorbeelden, zien we ook andere warmteopslag-voorbeelden in Nederland:

- In proeftuinprojecten in Vlieland en Nagele ervaring opgedaan met de opslag van warm water in geïsoleerde ondergrondse buffers (HoCoSto, 2024)¹¹⁶.
- In Sint-Oedenrode slaat wordt warm water opgeslagen in een geïsoleerde tank gevuld met basalt (CESAR, 2024)¹¹⁷.
- In Heerlen worden oude mijnen gebruikt voor warmteopslag (zie Mijnwater, 2024)¹¹⁸.
- In Helmond wordt warmte geleverd vanuit een redox warmteopslag (ijzerbrandstof) aan het warmtenet (Ennatuurlijk, 2022)¹¹⁹. Via [Tweede testfase voor duurzaam verwarmen met ijzerbrandstof van RIFT in Helmond | Ennatuurlijk](https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/het-cesar-systeem-komt-ziet-en-overwint-35518)

Achtergrondinformatie

- CE Delft. 2023. Power-to-Heat en warmteopslag en warmtenetten; Businesscase, potentieel en rol in energiesysteem. Pag. 1 – 81.
- CE Delft & Invest-NL. 2020. Kansen voor thermische opslagsystemen. 20.200124.110. Pag. 1 – 88.
- CESAR. 2024. Het CESAR-systeem komt, ziet en overwint. Via <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/het-cesar-systeem-komt-ziet-en-overwint-35518>
- Europese Commissie. 2024. Critical Raw Materials. Geraadpleegd op 28-3-2024. Via https://single-market-economy.ec.europa.eu/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en
- Expertteam Energiesysteem 2050 (ETES2050). 2023. Outlook Energiesysteem 2050; Hoofddocument. Pag. 1-78.
- HoCoSto. 2024. De Opslag. Via <https://www.hocosto.com/de-opslag/>
- Nationaal Klimaat Platform (NKP). 2023. Energieproductie 2023. Energieopwek.nl. Geraadpleegd op 13 december 2023
- Nationaal Programma Energiesysteem (NPE). 2023. Nationaal Programma Energiesysteem; Hoofddocument. Pag. 1- 31.
- Mijnwater. 2024. Projecten. Via <https://mijnwater.com/over-mijnwater/projecten>
- Ministerie van Economische Zaken & Klimaat (EZK, 2023), [Routekaart Energieopslag](https://routekaart-energieopslag.nl)
- RVO. 2024. WKO-tool. Via <https://wkotool.nl>

¹¹⁶ HoCoSto (2024), De Opslag. Via <https://www.hocosto.com/de-opslag/>

¹¹⁷ CESAR (2024), Het CESAR-systeem komt, ziet en overwint. Via <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/het-cesar-systeem-komt-ziet-en-overwint-35518>

¹¹⁸ Mijnwater (2024), Projecten. Via <https://mijnwater.com/over-mijnwater/projecten>

¹¹⁹ Topsector Energie (2022), Iron Fuel Technology. Via <https://projecten.topsectorenergie.nl/projecten/iron-fuel-technology-37398>



- TenneT. 2021. Flexibiliteit en Warmte in de Gebouwde Omgeving – Analyse van kansen en randvoorwaarden voor systeemintegratie van duurzame warmte in de gebouwde omgeving. E-Top Connect to Move 2020. Pag. 1 – 66.
- Topsector Energie. 2024. HTO Middenmeer. Via <https://topsectorenergie.nl/nl/projecten/hto-middenmeer/> Geraadpleegd op 20-02-2024
- WarmingUP Geothermie en Opslag Opschaling (WarmingUP GOO). 2024. Via <https://www.warmingup.info/goo>. Geraadpleegd op 28-03-2024

Andere achtergronddocumenten zijn:

- CE Delft, NPLW en RES. 2023. Factsheet warmte. Pag. 1 – 36.
- CE Delft. 2023. Verduurzaming bronnen voor warmtenetten; Opgave, onrendabele top en knelpunten richting 2030. NVDE. 23.230169.106. Pag. 1 – 47.
- HEATSTORE. 2021. Roadmap for flexible energy systems with underground thermal energy storage towards 2050. GEOTHERMICA-ERA NET Cofund Geothermal. Pag. 1 – 57.
- TNO-AGE & EBN. 2021. Ondergrondse energieopslag in Nederland 2030-2050; Technische evaluatie van vraag en aanbod. Pag. 1 – 22.



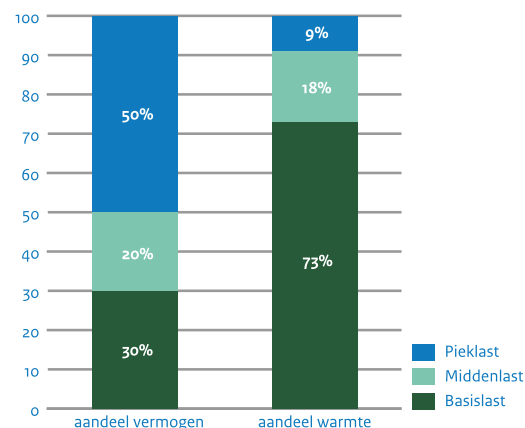
5.4 Piekvoorziening



Introductie

De warmtevraag wordt gekenmerkt door een veel grotere vraag in de winter. Ook hebben we te maken met een temperatuur gerelateerde piekvraag op kortere momenten. Tijdens zeer koude periodes is de energievraag voor verwarming tijdelijk erg hoog. Dit zijn korte periodes in het jaar waarin de verwarming piekvermogen moet leveren. Bij collectieve warmte is het piekvermogen een groot deel van het totale vermogen (circa 50%). Tegelijk draagt het maar voor een klein deel bij aan de jaarlijkse energielevering (circa 9%). Er is een kleine hoeveelheid warmte nodig om die collectieve piekvraag in te vullen: ongeveer 10-20 PJ. Toch is de piekvoorziening een belangrijk onderdeel van het warmtenet. Het levert warmte in de koudste periodes als de nood hoog is.

Warmtelevering over het jaarprofiel



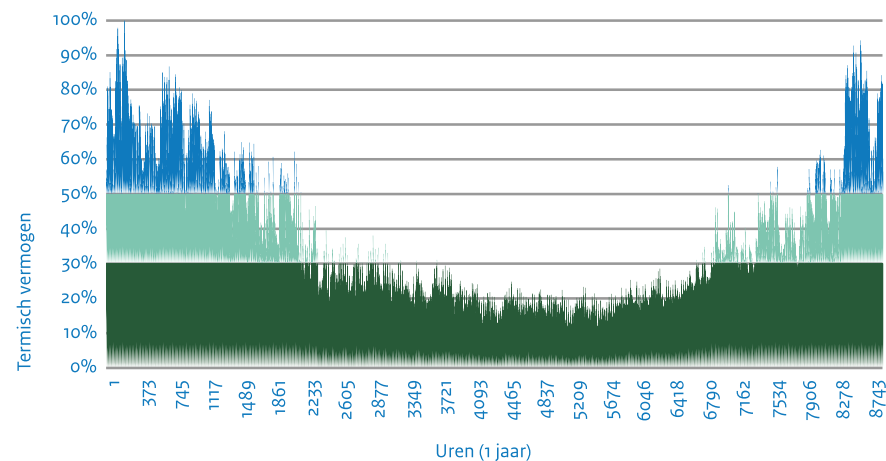
Figuur 19 Indicatie van hoe basis-, midden- en pieklastbronnen het warmtevraagprofiel invullen, bron CE Delft¹²⁰

¹²⁰ Verduurzaming Bronnen voor Warmtenetten, CE Delft (2023)

Op dit moment voorzien voornamelijk ketels met aardgas in de pieklast. Aardgas uit het gasnet wordt verbrand om warmte te produceren. Verbrandingsketels zijn goedkoop in aanschaf en onderhoud, en zijn snel in- en uit te schakelen. Aardgasketels worden vaak overgedimensioneerd om ook als back-up voorziening te functioneren wanneer een andere bron voorzien of onvoorzien uitvalt. Dit geeft zekerheid en flexibiliteit bij de besturing van de bron van het warmtenet.

Vaak zien we ook een vorm van warmteopslag als piekbuffer. Warmtecentrales hebben bijna altijd een mate van opslag omdat de bufferende werking de besturing van het systeem bevordert (verlaagt opwekvermogen en schakelt minder vaak aan en uit). Vaak slaan we het verwarmde water op in grote buffertanks om vraagpieken of korte periodes van uitval te overbruggen. Op deze manier hoeven we op de piekmomenten minder warmte op te wekken. Lees ook [hoofdstuk 5.3 Warmteopslag](#).

In principe is het mogelijk om E-boilers in te zetten voor de pieklast. Hiervoor is dan wel betaalbare elektriciteit nodig. Tijdens zeer koude periodes is de algemene elektriciteitsvraag echter veelal hoog. Daarom kunnen we niet altijd rekenen op de inzetbaarheid van E-boilers voor het dekken van de piekvraag. Lees ook [hoofdstuk 5.2 Elektrische boiler](#)





Verbrandingsketels gebruiken nu voor het grootste deel fossiele aardgas via het gasnet.

Verbrandingsketels kunnen ook duurzaam verwarmen wanneer ze worden voorzien van groen gas, biogas of groene waterstof.

Verbrandingsketels met houtachtige vaste biomassa als brandstof leveren ook hernieuwbare warmte. Hoewel we dit al veel in huidige warmtenetten zien, nam de laatste jaren het maatschappelijk draagvlak voor biomassa af. De verwachting is dat biomassa een steeds kleiner aandeel krijgt in de collectieve warmtelevering. Echter kan het in de toekomst als piek- en back-upinstallatie nog wel van waarde zijn. Deze toepassing van biomassa is ook in het SER-advies 'Biomassa in balans' aangemerkt als een 'overbruggingstoepassing'. Duurzame brandstoffen zoals groen gas, groene waterstof, biomassa en ijzerpoeder¹²¹ kunnen een rol spelen in het vervangen van aardgas als pieklastbron.

Biogas en groen gas

Biogas komt met name voort uit vergisting van natte afvalstromen. Dit is een biologisch proces waarbij we organisch materiaal omzetten door micro-organismen. Vergisting gebeurt vaak bij mestwerking, rioolwaterzuivering en afvalverwerking. Hierbij komt een gasmengsel vrij van zo'n 60% methaan. De rest van het mengsel bestaat voornamelijk uit CO₂ en enkele verontreinigingen (zoals ammoniak). Dit aandeel methaan in biogas maakt het een lagere kwaliteit brandstof dan bijvoorbeeld Gronings aardgas met 81% methaan. Biogas kan om deze reden niet direct in een aardgasketel worden gebruikt. Biogas kan wel in speciale ketels worden verbrand. Die zien we vaak bij industriële toepassingen of bio-WKK in de agrarische sectoren.

We kunnen ook biogas omzetten naar groen gas door de CO₂ uit het mengsel af te vangen en het gas verder op aardgaskwaliteit te brengen. Het wordt meestal bijgemengd in het gasnet en we kunnen het gebruiken in bestaande gasketels.

Waterstof

Waterstofgas (H₂, ook wel waterstof) is een brandbaar gas dat bestaat uit 2 waterstofatomen. Het is het lichtste gas dat wij kennen. We kunnen het op verschillende manieren produceren. We onderscheiden vaak 3 verschillende soorten waterstof:

- Grijs waterstof produceren we uit aardgas of andere fossiele brandstoffen. Daarbij komt fossiele CO₂ vrij. Het energetisch rendement (bruikbare energie) is ongeveer 80%. Het stoot meer CO₂ uit dan als we meteen aardgas verstoren. Dit is momenteel de meest gebruikte productiemethode voor waterstof als grondstof.
- Bij blauw waterstof vangen we bij hetzelfde productieproces een groot deel van de vrijkomende CO₂ op. Dit hergebruiken we of slaan we op in bijvoorbeeld lege gasvelden. We kunnen tot 90% van de CO₂ afvangen.
- Groen waterstof maken we van water met hernieuwbare elektriciteit (elektrolyse). Dit wordt ook wel power-to-gas genoemd. Bij dit proces gaat ongeveer 30% energie verloren. Door de productie van groen waterstof kunnen we hernieuwbare energie grootschalig op slaan en transporteren.

Biogrondstoffen

Biogrondstof is een verzamelnaam voor alle plantaardige en dierlijke grondstoffen.

Met biogrondstoffen bij warmte bedoelen we meestal houtige vormen van biomassa die we kunnen gebruiken als brandstof. Houtige biomassa komt van planten en bomen en groeit natuurlijk terug. De biogrondstof kan van verschillende bronnen zijn:

- bos- en natuurterreinbeheer
- snoeiafval uit plantsoenen
- houtzagerijen
- agrarische reststromen
- hout- of stormafval

Vaak versnipperen we dit en zetten het lokaal in. We kunnen ook houtresten verwerken tot pellets voor transport over grotere afstanden. Houtsnippers of pellets kunnen we opslaan en wanneer het nodig is in biomassaketels verbranden om warmte op te wekken.

Biogrondstofsnippers hebben vaak een hoog vochtgehalte. We moeten ze eerst voorverwarmen om het vocht te laten verdampen. Daarom zijn biogrondstofketels minder snel regelbaar dan gasverbrandingsketels (aan en uitschakelen of bijstellen). Meestal zien we biogrondstofketels in combinatie met grote warmtebuffers.

¹²¹ Pieklevering vanuit redox warmteopslag d.m.v. ijzerpoeder wordt kort behandeld in hoofdstuk 5.3



Bij verbranding van biograndstof komt CO₂ vrij, net als bij groen gas of biogas. In tegenstelling tot fossiele brandstof is dit bij biograndstoffen geen fossiele CO₂. Omdat biomassa warmte geen fossiele CO₂-uitstoot geeft en biograndstof natuurlijk regeneert zien we dit als een hernieuwbare brandstof.

5.4.1 Temperatuurniveaus en potentiële opbrengst

Duurzame biomassaketels kunnen in principe zowel LT, MT als HT produceren. Bij een hoger temperatuurverschil tussen aanvoer en retour kan de ketel echter een hoger vermogen en dus meer energie leveren. In de praktijk gebruiken we verbrandingsketels meestal voor hoge temperatuur-warmte en soms stoomproductie. Vaak kunnen we extra warmte uit de rookgassen van de verbrandingsketels halen. Met een rookgascondensor onttrekken we warmte uit hete waterdamp in de rookgassen van de ketel. Dit levert zo'n 10-20% extra warmte op, meestal op MT-niveau.

Nederland wil de productie van waterstof en groen gas opschalen. De potentiële inzet voor verwarming van gebouwen hangt erg af van de beschikbaarheid van deze duurzame brandstoffen. Naast brandstof gebruiken we biomassa, biogas, groen gas en waterstof ook als grondstof voor duurzame en/of circulaire productie. Dit betekent dat er concurrentie is over de beschikbaarheid van de grondstoffen tussen verschillende sectoren en gebruiksdoeleinden. De verwachting is dat de vraag naar duurzaam geproduceerde grondstoffen stijgt. Het is daarom belangrijk dat deze zo hoogwaardig mogelijk worden gebruikt of daar waar de maatschappelijke meerwaarde het hoogst is.

Op dit moment zien we waterstof veel in industriële processen. Hiernaast gebruiken we waterstof ook als energiedrager voor transport. Deze sectoren hebben net als de energiesector doelen om te verduurzamen. In al deze sectoren groeit de rol van waterstof. Momenteel produceren we in Nederland bijna geen groene waterstof. De Nederlandse industriële sector stuurt aan op een productie van 80 PJ aan groene waterstof in 2030. Hiervoor moeten we investeren in een vermogen van 6-8 GW aan elektrolyzers¹²². De Europese Commissie wil EU-breed vanaf 2030 10 miljoen ton groene waterstof per jaar produceren (equivalent aan 1,200 PJ). Volgens het NPE wordt de nationale productie van waterstof uit elektrolyse ingeschat op zo'n 60 PJ in 2030 en 700 PJ in 2050¹²³. De stijgende vraag naar waterstof leidt ertoe dat Nederland in 2030 en 2050 netto-importeur van waterstof is. Onder meer om die reden is het lastig te voorspellen wat de prijs van waterstof zal zijn. Momenteel is waterstof vele malen duurder dan aardgas.



Figuur 20 De verschillende vormen en belangrijkste eigenschappen van piekvoorziening

We kunnen groen gas ook voor andere toepassingen dan warmte inzetten. De opwaardering van biogas naar groen gas werkt bijvoorbeeld goed in combinatie met glastuinbouw. De CO₂ die we afvangen met dit proces kunnen we direct gebruiken in de glastuinbouw om planten te laten groeien. Ook kunnen we groen gas evenals waterstof inzetten voor industrie en transport. Op dit moment produceren we jaarlijks in Nederland zo'n 230 miljoen m³ groen gas en biogas (equivalent aan 8 PJ)¹²⁸. Voor groen gas is het doel om in 2030 2 miljard kub te produceren. Dit heeft een energetische waarde van zo'n 70 PJ¹²⁹.

Houtige biomassa kan een grondstof zijn voor biobased producten en materialen als alternatief voor producten die we produceren met fossiele grondstoffen zoals plastic. Dit zien we als hoogwaardiger toepassing dan biograndstoffen als brandstof gebruiken. Daarom is het huidige overheidsbeleid om het gebruik van biomassa als laagwaardige brandstof af te bouwen.

¹²² NWP (2022), [Routekaart waterstof](#)

¹²³ Rijksoverheid (2023), [Nationaal plan Energiesystemen](#)



5.4.2 Stand van zaken

Momenteel zetten we voornamelijk aardgasketels in om te voorzien in de pieklast van collectieve warmte. De pieklast is maar een klein aandeel (9%) van de totale collectieve warmtevraag. Daarom kunnen warmtenetten met aardgasketels voor de pieklast nog steeds aan de duurzaamheidseis van de (concept) Wcw voor 2030 voldoen. Bovendien verduurzamen we warmtenetten 'vanaf onderop'; de basislast heeft het grootste aandeel en is het meest kosteneffectief te verduurzamen. Dit leest u ook in hoofdstuk 2. Vanaf 2050 is het de bedoeling dat alle warmte uit duurzame bronnen komt. Dan moeten we dus ook de pieklast volledig duurzaam invullen.

De conceptwet voor de bijmengverplichting groen gas¹²⁴ verplicht gasleveranciers vanaf 2026 ieder jaar een bepaalde hoeveelheid in Nederland geproduceerd en ingevoerd groen gas te leveren aan hun eindgebruikers. Groen gas wordt daarbij geleverd via het bestaande aardgasnetwerk. De streefdoelstelling voor de bijmengverplichting is om te komen tot 3,8 Mton CO₂-ketenemissie-reductie in 2030. De inschatting is dat dit leidt tot een productie van ongeveer 1,1 miljard m³. De totale ambitie voor Nederland is om te streven naar een groen gas productie van 2,0 miljard m³ in 2030. Een deel van deze ambitie wordt ingevuld door de bijmengverplichting. In 2023 was de productie van groen gas 0,28 miljard m³. Op basis van de beschikbaarheid van grondstoffen in Nederland moet een verhoging naar 2,0 miljard m³ haalbaar zijn.

Om dit doel te halen is wel een grote opschaling van de waterstof- en groen gasproductie in Nederland nodig. De bijmengverplichting is zelf uiteindelijk de belangrijkste prijsprikkel voor de groei van groen gas. Daarnaast zijn er voor opschaling van de duurzame gassen verschillende subsidieregelingen:

- De SDE++-regeling ondersteunt groen gasproductie. Tot en met 2022 waren er 317 projecten voor vergisting en 3 projecten voor vergassing bij de SDE++ in beheer.
- De DEI+-regeling ondersteunt met innovatiesubsidies de opschaling van vergassing als productietechniek.
- De IPCEI-investeringsubsidie levert een flinke bijdrage aan het streefdoel om in 2032 8 GW elektrolysecapaciteit te hebben. Er is een verleend budget van €783.500.000.
- Naast groen gas is het technisch mogelijk om ook tot 20% waterstof bij te mengen in het aardgasnet. De nationale productie van waterstof is zo'n 10 miljard m³. Dit is grotendeels grijze waterstof. De productie van groene waterstof is nog erg klein. Om schone productie op te schalen zijn investeringen in elektrolyzers nodig. Er zijn 8 projecten in beheer bij de IPCEI¹³³

¹²⁴ [Kamerbrief aanpassingen bijmengverplichting groen gas | Kamerstuk | Rijksoverheid.nl](#)

- De OWE-regeling (Opschaling volledig duurzame waterstofproductie via elektrolyse) ondersteunt met een budget van € 998 miljoen (2024) voor investering en exploitatie van waterstofproductie.
- Zowel de SDE++ als de DEI+ heeft ook een categorie voor productie van waterstof en innovatie. We gebruiken de beschikbare hoeveelheid houtige biomassa in Nederland al voor zo'n 80%. Biomassa zetten we momenteel vaak in als basislastbron. Doordat het maatschappelijk draagvlak voor biomassa afneemt, verwachten we niet dat dit gebruik toeneemt. Het Klimaatakkoord benadrukt dat hoogwaardige inzet prioriteit heeft. Het kabinet stuurt voorts aan op de afbouw van biomassa-gebruik voor warmtenetten.

5.4.3 Eigenschappen en uitdagingen

Een aantal eigenschappen van duurzame brandstoffen voor piekvoorziening biedt voordelen en daardoor kansen:

- Innovatieve pieksetels werken zowel op groen gas en waterstof. Dat zorgt voor extra flexibiliteit.
- De Europese Commissie wil een productieopshaling van jaarlijks 10 miljard m³ groene waterstof.
- Blauwe waterstof kan een tussenoplossing zijn. Verduurzaming van grijze naar blauwe waterstofproductie helpt het ombouwen van bestaande of aanleggen van nieuwe nodige waterstof-infrastructuur. En maakt de weg vrij voor het gebruik van groene waterstof.
- Grote infrastructuurprojecten zoals de [waterstofbackbone](#) maken waterstof voor producenten en afnemers toegankelijk.
- Bij de productie van blauwe waterstof en groen gas of het verbranden van biomassa en groen gas kunnen we de CO₂ afvangen en opslaan (CCS) of hergebruiken (CCU).
- De investeringskosten van verbrandingsketels zijn laag vergeleken met het vermogen dat ze leveren. Bovendien hangt het niet af van het wel of niet krijgen van een grote elektriciteitsnetaansluiting.
- Piekvoorzieningen hebben vaak een dubbelfunctie als back-up voor borging van de leveringszekerheid van warmte, met enige mate van overdimensionering.

Daarnaast zijn er ook uitdagingen en onzekerheden die moeten worden weggenomen of verkleind om duurzame brandstoffen voor piekvoorziening structureel te (kunnen) gebruiken:

- Groene waterstof- en groen gasproductie moet in Nederland op gang komen. Het aansluiten van het aanbod op de vraag wordt een uitdaging. Dit hangt af van het opschalen van de productiecapaciteit.
- De prijs van waterstof en groen gas is momenteel veel hoger dan aardgas. Door de grote onzekerheden over toekomstige beschikbare volumes en om alle sectoren te kunnen voorzien (allocatie naar sectoren) is ook de toekomstige prijs nog onzeker. Zie ook [de bandbreedtes van de ketens in het NPE](#).



- De beschikbaarheid en daarmee betaalbaarheid van waterstof, groen gas en in mindere mate biomassa voor verwarming van de gebouwde omgeving is onzeker. De beschikbare grondstoffen moeten we verdelen tussen de verschillende duurzaamheidssectoren: Industrie, energieopwekking, gebouwde omgeving en mobiliteit. Deze hebben hun eigen duurzaamheidsdoelen en verplichtingen. Zo komt er een Europese verplichting (REDIII) voor de industrie: vanaf 2030 moeten zij minstens 42% groene waterstof gebruiken. Hierin maken we een verdeling op basis van prioritering van gebruik.
- Het maatschappelijke draagvlak voor laagwaardige inzet van biomassa neemt af. Het blijft voorlopig onduidelijk waar biomassa voor collectieve piekvoorziening in warmtenetten in een rangorde wordt geplaatst voor hoogwaardige duurzame toepassingen.
- Het gebruik van duurzame gassen hangt af van de aanleg of aanpassing van de gasinfrastructuur. Bij minder gasverbruik wordt de infrastructuur duurder.
- Voor biomassa- en groen gasketels is een milieuvergunning voor beperkte emissies in verband met de natuurbeschermingswet nodig. Vooral de stikstofuitstoot van deze installaties bemoeilijkt het krijgen of houden van een vergunning. De stikstofuitstoot kunnen we wel sterk vermindern. Er bestaan mogelijkheden en installaties om stikstof af te vangen.

5.4.4 Ontwikkelperspectief en beleid

De nodige piekvraag in 2050 is een klein onderdeel van de totale collectieve warmtevraag. Als we uitgaan van een maximale warmtevraag voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw van 250 PJ¹²⁵ dan komt de piekvraag met een inzet van gemiddeld 5-10% uit op circa 12-25 PJ. Op de korte termijn is er geen dwingende verplichting om de piekvoorziening van collectieve warmtesystemen te verduurzamen. Aangezien piekketels met gemiddeld 9% een klein aandeel hebben in de totale warmtelevering zal de duurzaamheidsnorm in de Wcw pas ergens na 2030 sturend worden voor het verduurzamen van de piekvoorziening. Anderzijds zal een piekvoorziening die nu wordt gebouwd er in 2040 hoogstwaarschijnlijk nog steeds staan. Dat vereist dat warmtebedrijven tijdig kunnen anticiperen op de duurzaamheidseisen en dat de uitrol van piekvoorziening passend ondersteund wordt.

Een verduurzamingsprikkel die naar verwachting eerder bepalend wordt voor het af- of ombouwen van piekketels zijn de prijzen van CO₂-emissierechten onder het bestaande ETS (ETS 1) en het nieuwe ETS 2. Het ETS 1 is van toepassing op installaties met een verbrandingscapaciteit van meer dan 20 MW, met uitzondering van centrales die voor meer dan 95% op biograndstoffen draaien. Het uitstootplafond onder het ETS 1 moet in 2040 op nul zitten, wat betekent dat vanaf dat

moment geen rechten meer verhandeld kunnen worden en grote piekketels en andere verbrandingsinstallaties dan fossielvrij moeten zijn. Het ETS 2 wordt van kracht voor kleinere installaties die fossiele brandstoffen gebruiken voor (o.a.) de gebouwde omgeving. Vanaf 2044 zullen er voor het ETS 2 geen nieuwe rechten worden geveild, vanaf dat moment is het erg kostbaar en daardoor onwaarschijnlijk dat er nog fossiele brandstof wordt gebruikt door ETS 2-installaties. Kleinere piekketels zullen in feite vóór dat jaartal duurzaam gestookt moeten worden.

Prognose nationale productie duurzame brandstof

	Huidige productie	Nationale productie 2030	Nationale productie 2050	Piekvraag 2050
Groene waterstof ¹³⁵	-	50 PJ	700 PJ	10-20 PJ
Groen gas ¹³⁷	8 PJ	70 PJ	140 PJ*	
Houtige biomassa ¹³⁹	11 PJ	12 PJ	13 PJ	

*Schatting op basis van technisch potentieel 2030

Tabel 16

5.4.5 Denkrichtingen voor verdere beleidsvorming

Het verhogen van de productiecapaciteit en de uitrol en aanpassing van de infrastructuur voor groen gas en waterstof is in volle gang. Het is belangrijk voor alle duurzaamheidssectoren dat we de ambitieuze productiedoelen uit het klimaatakkoord en de bijmengverplichting voor 2030 halen. Dit is namelijk een flinke opstap richting de doelen voor 2050.

Praktijksignalen voor verdere stimulering

- Het is van belang om aandacht te (blijven) houden voor het verdelingsvraagstuk: wat is maatschappelijk de beste verdeling van de schaarse duurzame grondstoffen in de toekomst. Het Nationaal Plan Energiesysteem zet hiervoor de richtingen uit. De komende jaren worden dit verder verkend en waar nodig bijgesteld. Voor de collectieve warmtevoorziening is het belangrijk dat er in 2050 tussen de 10 en 30 PJ beschikbaar is voor een toekomstbestendige piekvoorziening.
- We kunnen constateren dat gerichte inzet van biomassa voor duurzame piekvoorziening in de toekomst verstandig is om 2 redenen. We gaan er dus vanuit dat we biomassa zo hoogwaardig mogelijk willen gebruiken. Verder is de piekvoorziening in warmtenetten vooralsnog erg moeilijk en duur om te verduurzamen. Een volgend kabinet kan een actualisatie van

¹²⁵ Zie hoofdstuk 6.1 en de methodologie in bijlage A voor verdere toelichting



het Duurzaamheidskader biograndstoffen overwegen. Hoewel verduurzaming van de piekvoorziening in warmtenetten pas rond 2040 aan de orde komt, is het belangrijk dat de warmtesector ruim daarvóór zicht heeft op de (on)mogelijkheden¹³⁴.

- We moeten het gebruik van biomassa als transitiebandstof voor de collectieve midden- en pieklast richting 2050 (blijven) ondersteunen. Bijvoorbeeld door de SDE++-regeling aan te passen. Categorie biomassaketel aanpassen naar categorie voor midden- en pieklast (circa 1.000-2.000 vollasturen).
- We moeten (aard)gasketels voor collectieve piekwarmte en back-upvoorziening kunnen blijven gebruiken tot aan 2050.
- We hebben tussendoelen nodig voor de verduurzaming van de pieklast in warmtenetten tussen 2030 en 2050.
- Sterkere beleidsinzet op woningisolatie dempt de piekvraag naar warmte in de winter, wat de vereiste piekcapaciteit helpt beperken. Een constantere warmtevraag voorkomt onnodige druk op het energiesysteem en zorgt dat de resterende piekvraag (kosten)effectiever kan worden geleverd.

- [Havenbedrijf Rotterdam](#) – Voorbeeld ontwikkeling van 1 GW elektrolyzers voor groene waterstofproductie
- [Potentieel lokale biomassa en invoedlocaties groen gas](#) – verkenning nationale productie groen gas

5.4.6 Voorbeeldprojecten en achtergrondinformatie

Voorbeeldprojecten

- [Warmtenet Ede](#) – Voorbeeld operationeel warmtenet met 3 Bio-energiecentrales, met rookgascondensatie in combinatie met warmtepompen
- [Bio-energiecentrale strijp-T](#) - Eindhoven
- [Biogas WKK](#) – Zeewolde

Achtergrondinformatie

- [Website NPLW \(Bio-Energie\)](#) – Informatiepunt voor bio-energie
- [Website NPLW \(Groen gas\)](#) – Informatiepunt voor groen gas
- [Website NPLW \(Waterstof\)](#) – Informatiepunt voor waterstof
- [Beschikbaarheid van Nederlandse verse houtige biomassa in 2030 en 2050](#) – Rapportage over de nationale productie van houtige biomassa
- [EIA interactive hydrogen production map](#) – Kaart met wereldwijde productielocaties van waterstof
- [IPCEI Waterstof](#) – Subsidie voor groene waterstofproductie via elektrolyse
- [Routekaart waterstof](#) – Nationaal programma ter bevordering van groene waterstofproductie en toepassing



6 Visie op de toekomst van duurzame collectieve warmte

6.1 Verwachtingen over de groei van warmtenetten en bronnen

In de voorgaande hoofdstukken beschrijven we het potentieel van de verschillende bronnen en warmtetechnieken. De mate waarin we dat potentieel verzilveren, hangt af van veel factoren. In de eerste plaats natuurlijk het aandeel dat warmtenetten hebben in de toekomstige warmtevoorziening.

Op basis van verkennende scenario's in het NPE is ingeschat dat een bandbreedte van 15-45% van de gebouwde omgeving in 2050 is aangesloten op een collectief warmtesysteem. Dit komt neer op een finale warmtevraag van 50-150 PJ voor LT- en MT-netten en 15-25 PJ voor ZLT-netten, waarbij de verhouding tussen MT, LT en ZLT nog kan verschuiven. Dit is de warmte die bij de afnemers geleverd moet worden, transportverliezen komen daar nog bij.

Voor de indicaties in dit hoofdstuk is het scenario met maximale collectieve warmtevraag als uitgangspunt genomen. Dit betekent dat we inclusief warmteverliezen in het net uitgaan van 125 PJ aan MT-bronnen, 17 PJ aan LT-bronnen en 46 PJ aan ZLT-bronnen voor de gebouwde omgeving. Daarnaast nog een bijdrage van E-boilers van 9 PJ. In de glastuinbouw moeten de fossiele bronnen ook vervangen worden door duurzame bronnen. Hierbij gaat het om additioneel 60 PJ opwek voor de verwachte warmtevraag vanuit de glastuinbouw. De duurzame invulling door duurzame bronnen is op dit moment circa 33 PJ¹²⁶ voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw. De totale benodigde hoeveelheid warmteproductie voor gebouwde omgeving en glastuinbouw samen is 250 PJ voor het scenario met maximale inzet op collectieve warmte.

In hoofdstukken 4 en 5 zien we dat de warmtebronnen en warmtetechnieken van elkaar verschillen. Er is onder andere een verschil in temperatuur van de bron, temperatuur van het net, het leveringsprofiel en locatie-afhankelijkheden. Of de voorziene warmteoplossing past, hangt af van de lokale situatie. Denk hierbij aan de geschiktheid van de ondergrond en de beschikbaarheid van duurzame bronnen in de omgeving.

Als een collectief warmtenet de voorkeur heeft boven andere warmtealternatieven, spelen verschillende factoren mee om de geschikte bronnenmix voor het collectieve warmtenet samen te stellen. Deze factoren zijn bijvoorbeeld ruimte, het vraagprofiel, isolatiegraad en type gebouwde omgeving. De warmtevraag vanuit gebruikers en het warmteaanbod (warmtebronnen) zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Door meerdere bronnen en technieken met elkaar te combineren, verhogen we de efficiëntie en effectiviteit van het warmtesysteem. De technische potentie van een warmtebron kunnen we alleen gebruiken als er geen belemmeringen zijn zoals ruimtegebrek of financiële knelpunten. Dit geldt zowel voor de landelijke potentie als de lokale inzetbaarheid. Met een groeiende ruimtevraag in het land is het slim configureren van warmtesystemen en het combineren van warmtebronnen belangrijk.

De totale potentie van de warmtebronnen beschrijven we in hoofdstukken 4 en 5. Die totale potentie is voldoende om te voorzien in de collectieve warmtevraag van warmtenetten in het maximale scenario voor 2050. De haalbaarheid van deze potentie hangt af van verschillende factoren: maatschappelijke en marktontwikkelingen, innovatie, beleidsmaatregelen, de visie van afzonderlijke warmtebedrijven en warmtegemeenschappen op hun lokale warmtebronnenstrategie en natuurlijk de bijhorende business case.

De overheid voorziet dat we ook met de genoemde mogelijke belemmeringen de geschatte maximale warmtevraag van circa 250 PJ met duurzame warmtebronnen zouden kunnen invullen. Dat betreft de warmteopwekking bij de bron inclusief transportverliezen. Dit blijkt uit verschillende verkenningen en studies die zijn gebruikt voor dit Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen, waaronder het Warmtenet Trendrapport dat in opdracht van Stichting Warmtenetwerk in 2021 is opgesteld. In het Warmtenet Trendrapport 2021 staat de potentie van verschillende warmtebronnen in 2050 op basis van studies en onderzoeken die tot dan toe bekend waren. De cijfers van het Warmtenet Trendrapport 2021 zijn de basis voor de potentieel-schatting in figuur 21.

¹²⁶ Nationaal Plan Energiesysteem, 2023. [Verdiepingsdocument B, ontwikkelpad warmteketen](#)



Indicatie potentiëlen en verhouding warmtebronnenmix



Figuur 21 Geraamde potentiëlen van de warmtebronnen en -technieken, en indicatie van hun maximale aandeel in de bronnenmix bij een totaal benodigde warmteproductie van 250 PJ (incl. warmteverliezen). NB. potentieel zonthermie inclusief individuele installaties. Voor aerothermie/warmtepomp en piekvoorziening zijn geen potentiëlen berekend. Nadere toelichting en methodologie in bijlage A.

Alle warmtebronnen en aanvullende technieken zijn nodig om de geschatte maximale warmtevraag en het bijbehorende warmtevraagprofiel in te vullen. We zien dat er ook voldoende (theoretische) potentie is om de warmtevraag volledig met duurzame bronnen in te vullen. Op basis van de verwachte maximale warmtevraag van 250 PJ doen we een poging om voorzichtig te schetsen wat een reële bijdrage is van de verschillende bronnen. Figuur 21 geeft per warmtebron weer hoe groot het maximale aandeel aan de bronnenmix is die we grofweg van elke bron verwachten. Deze waarden zijn afgezet tegen de potentiëlen uit het Warmtenet Trendrapport 2021, maar bijgesteld in de gevallen waar een recentere studie beschikbaar is¹²⁷.

De figuur laat in eerste instantie een reële verhouding zien tussen de duurzame bronnen in 2050, op basis van de inzichten die in deze publicatie zijn verzameld. De bedoeling van dit beeld is om een *indicatie* te geven van de ordegrrootte van de bijdrage van verschillende warmtebronnen aan het landelijk gerealiseerde aanbod. Het is belangrijk om te benadrukken dat we van de getoonde aandelen *geen* optelsom kunnen maken omdat dit om de maximale bijdragen gaat. Er zit immers interactie tussen de bronnen: als één bron zich sterker ontwikkelt, zal een andere bron van hetzelfde temperatuurniveau een kleinere rol krijgen. Deze getallen en verwachtingen moeten ook uitdrukkelijk *niet* worden opgevat als kwantitatieve beleidsdoelen waar het Rijk op stuurt.

Om er zeker van te kunnen zijn dat de bronnen ook daadwerkelijk inzetbaar zijn waar nodig, is verdere ontwikkeling van technieken en werkwijzen en nodig. Deze technieken liggen (nog) niet 'op de plank', klaar om ergens geplaatst te worden. Voor warmtesysteem zal maatwerk nodig blijven, maar tegelijkertijd kan standaardisatie van technieken en procedures de ontwikkelsnelheid en -kosten van nieuwe bronnen sterk verbeteren.

Voorbeeldscenario's duurzame netontwikkeling

Verspreid over dit hoofdstuk schetsen we 3 scenario's om te laten zien dat een duurzame bronnenstrategie zich op veel manieren kan ontwikkelen. Er

¹²⁷ De gebruikte methodologie is toegelicht in [bijlage B](#)



zijn immers allerlei uitgangssituaties te bedenken als het gaat om schaal en type van het warmtenet, de lokale kansen en beperkingen van bronnen, de betrokken partijen, lokale afwegingen van de gemeente enzovoort. Die bepalen sterk hoe de mogelijke ontwikkeling van een duurzaam warmtenet en de bijbehorende business case eruit zien. Wat deze verhaallijnen ook laten zien is dat een bronnenstrategie helpt om aan de transitie te beginnen met een eindbeeld voor ogen: 'begin with the end in mind'. In de meeste gevallen zullen voortschrijdend inzicht en externe ontwikkelingen ervoor zorgen dat het pad gaandeweg wordt verlegd, dus zo'n strategie is niet statisch maar zal adaptief moeten zijn. Natuurlijk is de praktijk weerbarstig en wordt er nog gewerkt aan de randvoorwaarden voor een soepele transitie, juist daarom tonen deze scenario's het perspectief waar we dat voor doen.

De scenario's zijn fictief en uiteraard vereenvoudigd; ze zijn niet gebaseerd op werkelijke getallen of omstandigheden.

Voorbeeldscenario 1

Verduurzaming en uitbreiding van een bestaand warmtenet met temperatuurverlaging

In een gebied zijn meer dan 100.000 woningen aangesloten op een warmtenet. Dit warmtenet bestaat al een aantal jaar. In de winter wordt in de transportleidingen een aanvoertemperatuur van circa 100-110°C gehandhaafd. Warmtebedrijf 'Warmte BV' is de warmteleverancier. Zij zijn verantwoordelijk voor de infrastructuur en de aflevering bij de woning. De warmte wordt centraal opgewekt (fossiel) en ingekocht via een commerciële leveringsovereenkomst. Met de strengere duurzaamheidsnormen en het wegvallen van bestaande (fossiele) bronnen in het verschiets onderzoekt Warmte BV de mogelijkheden om het warmtenet te verduurzamen.

Warmte BV verkent de mogelijkheden voor verduurzaming in de omgeving. Afwegingen daarbij zijn de beschikbaarheid van de warmtebronnen, het temperatuurniveau en het leveringsprofiel. Uit de verkenning blijkt dat er potentie is voor meerdere geothermiebronnen en dat er restwarmte uit industrie aanwezig is. Verder wordt er in de nabije omgeving een groot parkeerdek ontwikkeld.

Het verduurzamen van het bestaande warmtetransportnet vraagt veel (technische) aanpassingen en afstemming met overheden in de regio. Warmte BV neemt samen met de betrokken gemeenten contact op met NP RES voor advies om de plannen in lijn te brengen met de afspraken die regionaal in de RSW zijn gemaakt. Het wordt steeds duidelijker dat de verduurzaming van het bestaande warmtenet om regie en significante investeringen vraagt.

Gezien de beschikbaarheid van bronnen in de omgeving heeft het vasthouden aan een aanvoertemperatuur van 110 °C in het transportnet energetisch en financieel grote nadelen. Het verlagen van de aanvoertemperatuur heeft echter verregaande gevolgen. Denk hierbij aan aanpassing van de infrastructuur (leidingwerk en warmteoverdrachtstations) en het wijzigen van leveringsovereenkomsten met afnemers. Er moet meer nadruk komen op het samenspel tussen de aanvoer- en retourtemperatuur bij herziening van het systeem. Gezien de nodige aanpassingen en bijbehorende investeringen in het maatschappelijk belang besluit Warmte BV dat dit het logische moment is voor de omvorming naar een warmtebedrijf met een publiek meerderheidsbelang conform de Wcw. Warmte BV vindt een publieke partner en gaat na deze stap verder als 'Onze Warmte 2.0 BV'.

In de maanden die volgen gaat Onze Warmte 2.0 BV in gesprek met de regionale overheden over de verduurzaming van het warmtenet. Samen met de gemeentes start Onze Warmte 2.0 BV een planmatig isolatieprogramma op waardoor de afgiftemtemperatuur bij de woningen in samenspraak met de afnemers verlaagd kan worden. Hierbij schenken zij extra aandacht aan comfortverbetering en het optimaliseren van de retourtemperatuur van het net. Hierdoor zal het net stapsgewijs energie-efficiënter worden waardoor de capaciteit van de infrastructuur zo goed mogelijk wordt benut. Met deze uitgangspunten werkt het warmtebedrijf de bronnenstrategie uit voor het warmtekavel. In de eindsituatie zullen 8 geothermiebronnen het net gaan voeden, aangevuld met restwarmte van het nabije fabriekscomplex. Met innovatieve zonnecollectoren in de afdekking boven een groot parkeerterrein en extra ruimte op vrij liggende grond onder een hoogspanningstracé maakt zonthermie tot slot de mix compleet. Uiteraard spelen warmtebuffers en een HTO seizoensopslag een onmisbare rol om dag- en jaarrond genoeg warmte te kunnen leveren.

Dat plan moet stapsgewijs tot stand gaan komen. Onze Warmte 2.0 BV start met het verduurzamen van de basislast in het bestaande net. Uit gesprekken met verschillende betrokken partijen, waaronder de netbeheerder, blijkt dat de netcongestie in het gebied nog een tijd zal aanhouden. Om deze reden maken zij een technisch ontwerp dat rekening houdt met de elektriciteitsvraag van de verschillende beschikbare bronnen. Dat leidt tot de keuze om allereerst de MT-restwarmtebronnen uit te koppelen en pas wanneer er een HTO en net-aansluiting zijn gerealiseerd de eerste geothermiebron te boren.

Het warmtebedrijf kan de netaansluiting ook gebruiken om bij haar warmtecentrale een E-boiler te plaatsen. Daarmee worden de flexibiliteit en leveringszekerheid van het net



vergroot en beschikbare duurzame elektriciteit optimaal benut. De nog bestaande WKK's worden gaandeweg één voor één vervangen door nieuwe geothermiebronnen en warmtebuffers. De bronnenstrategie is in 20 jaar tijd meerdere keren bijgesteld en het eindbeeld is wezenlijk anders dan wat het warmtebedrijf in 2026 voorzag, maar dankzij die adaptiviteit worden uiteindelijk ruim 120.000 woningequivalenten jaarrond duurzaam verwarmd.

Kernboodschap: het handhaven van een HT-nettemperatuur is op de lange termijn geen realistische verwachting. Om de hele warmtelevering te kunnen verduurzamen is het energetisch (op systeemniveau) en financieel uiteindelijk verstandiger en waarschijnlijk noodzakelijk om tot MT-niveau te dalen. De warmtevraag is door isolatiebeleid niet de beperkende factor. Met optimalisatie is veel te realiseren maar uiteindelijk kan een grote herinvestering in nieuwe of aangepaste infrastructuur nodig -en dus verstandig- zijn.

In prognoses over de toekomstige warmtelevering schetsen we vooralsnog geen rol voor biograndstoffen. Onder het staande beleid wordt het gebruik van biomassa voor de basislast uitgefaseerd, door er geen SDE++-beschikkingen meer voor uit te geven. Door meerdere ontwikkelingen kan in de toekomst blijken dat het wenselijk of zelfs noodzakelijk is om een deel van de piekvoorziening (al dan niet als tijdelijke transitiebron) met biomassaketels in te vullen. Technisch en economisch is dit mogelijk totdat een beter en rendabel alternatief voor de pieklast inzetbaar is zoals groen gas of waterstof. De constatering dat biomassa voor flexibele warmtevoorziening in ieder geval tijdelijk een hoogwaardige en wenselijke oplossing is, is in lijn met het adviesrapport van de SER dat stelt dat 'de inzet van biograndstoffen voor flexibel vermogen, voor warmte via bestaande warmtenetten en pieklast mogelijke overbruggingstoepassingen (kunnen) zijn'¹²⁸.

De eerdergenoemde ruimtelijke en financiële beperkingen en afhankelijkheden die bepalen welke bronnen lokaal voorhanden zijn maken het een maatwerkopgave om de collectieve warmtevraag per situatie volledig hernieuwbaar in te vullen. Alle warmtebronnen zijn onderdeel van de puzzel die we moeten leggen om de optimale bronnenmix te creëren, afhankelijk van lokale factoren en individuele business cases. Het is om deze redenen onwenselijk en niet reëel om landelijk (kwantitatieve) routekaarten voor de ontwikkeling van de afzonderlijke bronnen te maken.

6.2 Visie op de duurzame bronnenmix

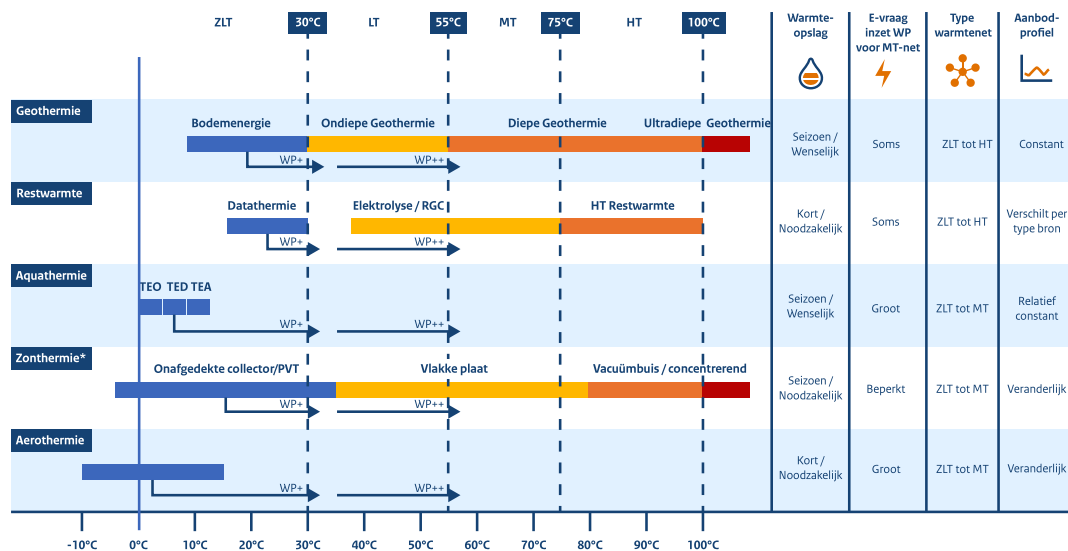
Waar het aanbod van warmte kan worden afgestemd op de lokale warmtevraag in de gebouwde omgeving en glastuinbouw, en een warmtenet kosteneffectief kan worden ontwikkeld, is dat vaak de maatschappelijk wenselijke oplossing. Daarbij zijn, naast duurzaamheid, de leveringszekerheid en een slimme inzet van warmte binnen het energiesysteem de belangrijkste uitgangspunten. Gezien de diversiteit aan de vraag- en aanbodkant is het te verwachten dat er meer variatie ontstaat in typen collectieve warmtesystemen. Niet alleen de bronnen zien er in 2050 anders uit, maar ook zullen er allerlei smaken zijn in temperatuurniveaus, de manier van opwaardering (zowel centraal als decentraal) en afgiftesystemen.

Het beleid van het ministerie van KGG is erop gericht dat de duurzame warmtebronnen zich voldoende ontwikkelen om de collectieve warmtevraag maatschappelijk zo effectief mogelijk in te vullen. Onze inzet draait om het scheppen van de condities waarin duurzame bronnen zo efficiënt en betaalbaar mogelijk ontwikkeld en gebruikt kunnen worden. Zo faciliteert het Rijk dat we voor elk warmteproject de beste lokale bronnenmix kunnen ontwikkelen. Het Rijk stuurt zoals gezegd niet op kwantitatieve doelen voor het aandeel dat de verschillende bronnen in 2050 (zouden moeten) hebben.

¹²⁸ SER-advies 'Biomassa in balans' (2020), [Biomassa in balans \(ser.nl\)](#)



Hoofdeigenschappen van de duurzame warmtebronnen



*zonthermie: In de winter is de warmte afkomstig uit seizoensopslag en/of WKO, eventueel in temperatuur verhoogd met warmtepompen of andere pieklastvoorzieningen.

Figuur 22

Dit overzicht laat het temperatuurbereik van de verschillende bronnen zien en waar we ze kunnen inzetten. Soms is de combinatie met een (centrale) warmtepomp nodig om een temperatuur te verhogen. Voor een MT-warmtenet ligt echter de voorkeur bij bronnen die deze temperatuur direct kunnen leveren. Eventueel kunnen we ook een LT-bron aan de mix toevoegen, maar alleen als die warmte maar beperkt hoeft te worden opgewaardeerd zodat de elektriciteitsvraag van de warmtepomp beperkt blijft. Voor ZLT-netten kunnen we meer bronnen inzetten die niet of nauwelijks centraal opgewaardeerd hoeven te worden, omdat naverwarming en tapwaterbereiding effectiever in de gebouwen kan worden verzorgd. Met deze netten kan dan ook vaak koude geleverd worden. De bronnen hiervoor zijn op veel plaatsen goed beschikbaar.

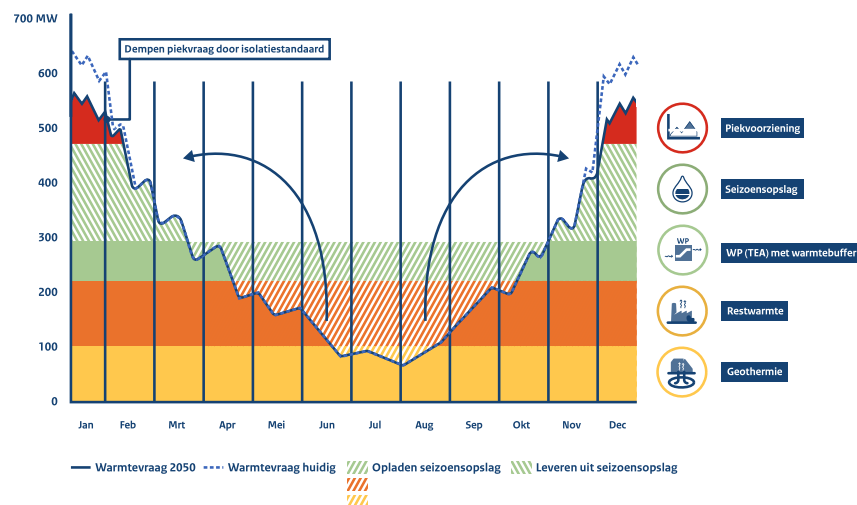
Het is belangrijk om op te merken dat het Rijk geen vraagstuk ziet in de veronderstelde lokale concurrentie tussen duurzame bronnen. Dat beeld ontstaat af en toe in situaties waar de ontsluiting van industriële restwarmte de ontwikkeling van lokale

MT-bronnen zoals geothermie zou bemoeilijken. Het beleidsdoel is om een kostenefficiënte en robuuste warmtebronnenmix te ontwikkelen, daarbij past het niet om bepaalde bronnen op voorhand als meer of minder wenselijk te bestempelen. Wel vereist dit bijvoorbeeld een toekomstvast strategie op de nettemperatuur en 'no regret' keuzes met betrekking tot het ontwerp en de dimensionering van de infrastructuur. Er spelen dus veel factoren mee in de afweging van gemeenten en warmtebedrijven voor de optimale bronnenstrategie. Daarbij is bepalend dat de transitie zo betaalbaar mogelijk en met goed gebruik van de beschikbare bronnen wordt gerealiseerd. Lokaal draagvlak en ideeën over wat de meest wenselijke bron is, spelen daarbij uiteraard ook een rol. Met het oog op de duurzaamheidsnorm in de Wcw en de genoemde uitgangspunten kunnen we niet een generieke rangschikking van bronnen maken. In alle situaties waar zich meerdere geschikte bronnen met voldoende capaciteit bevinden zal mogelijk niet elke bron benut worden, in ieder geval niet in de beginfase.

Als we langer vooruitkijken, weten we dat bronnen die op het oog met elkaar concurreren juist elkaar aanvullen in de bronnenmix. Zo kan bijvoorbeeld restwarmte de meest geschikte bron blijken om de eerste groeifase van een MT-warmtenet te overbruggen; de leveringszekerheid vanuit een restwarmteproducent wordt voor 10 jaar gegarandeerd maar wordt daarna onzekerder. Tegen die tijd heeft het warmtebedrijf echter voldoende aansluitingen gerealiseerd om een geothermiebron te ontwikkelen die de basislast kan overnemen. Om grote warmtebronnen zo goed mogelijk te benutten maken samenwerkende gemeenten afspraken over de regionale toedeling van de beschikbare warmte, wat o.a. kan worden vastgelegd in een Regionale Structuur Warmte (RSW). Zulke afspraken helpen warmtebedrijven om de beschikbare bronnen maatschappelijk en economisch zo effectief mogelijk te ontwikkelen. De warmtebronnenmix ontwikkelt zich en verandert van samenstelling door de tijd, zowel landelijk als per warmtenet.



Invulling van de warmtevraag door een samenspel van duurzame bronnen (indicatief)



Figuur 23 Samenspel tussen de verschillende bronnen in het profiel van een duurzaam warmtenet

Voorbeeldscenario 2

Gecombineerde levering aan GO en glastuinbouw

In de gemeente Kant wordt een Warmteprogramma opgesteld. Voor verschillende gebieden in de gemeente wordt bekeken wat de meest geschikte duurzame warmteoplossing is. Een gebied in West-Kant ziet er veelbelovend uit voor het toepassen van een collectief warmtenet. Er zijn ongeveer 6.000 jaren-70 woningen (voornamelijk hoogbouw) en ongeveer 500 grondgebonden eengezinswoningen uit 2005. Maar ook een groot kassengebied met een bestaande geothermiebron en mogelijkheden om de geothermie uit te breiden. In West-Kant zijn ook plannen voor 1.000 nieuwbouwwoningen. De ondergrond is geschikt voor geothermie. Er is veel water in het gebied en er is een vergunning ingediend om een datacenter te ontwikkelen. Uit een vergelijkende studie blijkt dat een collectief warmtenet de meest geschikte warmteoplossing is met de laagste nationale kosten.

Daarom besluit de gemeente in het gebied een warmtekavel vast te stellen dat alle wijken omvat die logischerwijs op het net worden aangesloten. Na een procedure van bijna 1,5 jaar en een toetsing door de ACM krijgt het regionale publieke warmtebedrijf 'Bodemkracht' de aanwijzing om binnen het warmtekavel een warmtenet te ontwikkelen. Bodemkracht betreft de gemeente constructief bij het uitwerken van het kavelplan en de bijbehorende bronnenstrategie. Hiervoor onderzoeken zij de isolatiegraad van de woningen om te bepalen welk temperatuurniveau het net moet zijn. Uit onderzoek blijkt dat op dit moment een MT-net geschikt is voor de oudere woningen. Op termijn zou de temperatuur omlaag kunnen naarmate de woningen verder geïsoleerd worden. De eengezinswoningen en nieuwbouwwoningen kunnen gevoed worden met een LT-net. Ook wordt een ZLT-net overwogen, onder meer vanwege de behoefte aan koeling.

Gezien de lokale potentie van geothermie en de zekerheid van afname die de glastuinbouw garandeert besluit Bodemkracht in te zetten op een MT-net met geothermie als primaire bron. De hoeveelheid warmte die één doublet kan leveren is meer dan genoeg voor de hoogbouw in het warmtekavel. Er is voldoende capaciteit over om de kassen van warmte te voorzien die nog geen geothermie hadden. De business case ziet er positief uit, besloten wordt om voor de eengezinswoningen een aparte aanpak te ontwikkelen.



In de buurt met eengezinswoningen is veel oppervlaktewater aanwezig, wat na een potentieelstudie een kansrijke en haalbare bron voor aquathermie blijkt te zijn. Bodemkracht stelt aan de bewoners voor om een collectief systeem op basis van TEO in combinatie met seizoensopslag te realiseren. De bewoners zijn enthousiast dat zo dicht bij huis een goede warmtebron kan worden benut. Meer dan 70% van de bewoners tekent de intentieovereenkomst.

Leveringszekerheid is één van de pijlers in de aanbesteding, het is immers één van de wettelijke kerntaken van Bodemkracht. Korte termijnopslag is daarom een onmisbaar onderdeel van het systeem. De betrokken glastuinbouwers stemmen in met de installatie van twee warmtebuffers op hun terrein. Tot slot wordt de centrale piekvoorziening georganiseerd. Op het moment dat duidelijk wordt dat groen gas tegen een acceptabele prijs beschikbaar is, kiest Bodemkracht voor een WKK op groen gas met de mogelijkheid om later alsnog over te stappen op waterstof. Bodemkracht kiest ervoor om de warmtebuffers en piekvoorziening op het MT-systeem iets ruimer te dimensioneren en het MT-net met een korte leiding en WOS aan het ZLT-net te verbinden. Het MT-net kan zodoende de piekvraag en backup voor het ZLT-net verzorgen, wat voor de buurt met eengezinswoningen een aanvullende voorziening en netverzwaring voor de piekvraag overbodig maakt.

Kernboodschap: deze verhaallijn illustreert de verwachting dat er talloze verschillende typen netten ontstaan, die niet per se statisch op één temperatuurniveau zitten of als losse eilandjes opereren. In dit geval bleken er synergievoordelen te liggen in het aansluiten van woningen en glastuinbouw in één MT-net, o.a. door het meer continue afnameprofiel. Voor de moderne woonwijk bleek een ZLT-systeem logisch qua energie en koelmogelijkheden, maar toch is er een koppeling aangelegd om 'mee te liften' op de gedeelde backup- en piekvoorzieningen van het grotere net. Dat voorkomt dat de individuele warmtepompen gelijktijdig het elektriciteitsnet belasten op de koudste dagen en optimaliseert de gedane investering in de MT-piekvoorziening. Binnen een warmtekavel heeft een warmtebedrijf dus veel mogelijkheden om de optimale systemen vorm te geven.

6.3 Beleidsuitgangspunten voor verdere opschaling

De verwachtingen, constatering en praktijksignalen die in deze publicatie bij elkaar zijn gebracht helpen ons om een aantal overkoepelende uitgangspunten, conclusies en (wenselijke) ontwikkelrichtingen op een rij te zetten.

Benutten van het potentieel

Alle beschreven bronnen en technieken hebben een rol in ons toekomstige warmtesysteem. Bij elk type warmtebron zijn er specifieke uitdagingen in de opschaling die moeten worden op- en aangepakt. Om er zeker van te zijn dat we de warmtevraag in 2050 duurzaam kunnen invullen is het nodig dat alle bronnen zich blijven ontwikkelen en kunnen opschalen om de inzetbaarheid, leveringszekerheid en betaalbaarheid zo ver mogelijk te verbeteren.

Optimale inzet van warmtebronnen betekent ook zo goed mogelijk aansluiten op de lokale warmtevraag en het type net dat daarbij voor de toekomst de meeste maatschappelijke waarde heeft. In de praktijk komt dit erop neer dat we warmtebronnen zoveel mogelijk inzetten op hun eigen temperatuurniveau en opwaarderend waar mogelijk beperken en dicht bij de eindgebruiker laten plaatsvinden. Waar het beleid kan sturen op de ontwikkeling van warmtesystemen is het belangrijk om zo goed mogelijk invulling te geven aan dit principe. Zo is het ook uitgestippeld als 'toekomstbestendige ontwikkelrichting' voor de warmteketen in het Nationaal Plan Energiesysteem. Provincies en gemeenten vertalen dit uitgangspunt naar een regionale bronnenstrategie als onderdeel van een bredere visie op het energiesysteem. Dit kan door de RES-regio en haar RSW te benutten voor het opstellen van een voorkeursvolgorde voor de inzet van bovenlokale bronnen. Het 'Afwegingskader Warmtekeuze' van de provincie Zuid-Holland¹²⁹ is daarvan een goed voorbeeld. Door regionaal maatwerk kan per regio een ander afwegingskader gelden, op landelijk niveau is er (mede daardoor) geen algemeen geldend warmtekader op te stellen anders dan bovengenoemd uitgangspunt.

We moeten benadrukken dat het aanwezig potentieel zo goed mogelijk inzetten niet betekent dat overal elke bron tot ontwikkeling moet of kan komen. Daar waar een warmtenet wenselijk is, zijn de warmtevraag en de business case van het warmtebedrijf leidend voor de lokale bronnenstrategie. In beide gevallen betekent het dat warmtebronnen die niet (goed) bruikbaar blijken, onbenut zullen blijven.

¹²⁹ Provincie Zuid-Holland (2024), [Duurzame warmtebronnen in Zuid-Holland](#)



Warmte in het energiesysteem

De transitie van een vooral fossiele warmtevoorziening naar een mix van duurzame bronnen is een grote verandering. Ons warmtesysteem was er immers aan gewend dat flexibiliteit eenvoudig en tamelijk goedkoop beschikbaar was door aardgas. De warmtebronnen uit hoofdstuk 4 zijn van zichzelf daarentegen grotendeels inflexibel. We moeten daarbij dus aanvullende warmtetechnieken (hoofdstuk 5) gebruiken om bruikbare warmte te leveren op het juiste moment. Daarmee raken de warmtenetten verknoopt met het bredere energiesysteem. Het is belangrijk dat we de voordelen van goede systeemintegratie optimaal benutten en de nodige beleidsmaatregelen vormgeven om dat te stimuleren.

Buffering van warmte die we op piekmomenten uit groene elektriciteit opwekken kan een technisch en financieel verstandige (en daarmee maatschappelijk wenselijke) manier zijn om het elektriciteitsnet slimmer te gebruiken. *Power to heat* en grootschalige warmteopslag zijn technieken die steeds harder nodig zijn voor flexibiliteit in de warmtelevering. Voorlopig is dat ook verreweg de goedkoopste manier om overtollige elektriciteit op te slaan. Bij een goed ontwerp kan een warmtenet netcongestie helpen voorkomen of in ieder geval het moment van optreden vertragen. De juiste (prijs)prikkels en slimme aansturing optimaliseren de functie van warmtenetten binnen het energiesysteem. De praktische en organisatorische uitdagingen vragen de komende jaren nog veel aandacht voordat deze wisselwerking tussen warmtesystemen en het elektriciteitsnet stelselmatig en uit zichzelf verder gaat ontstaan.

Het beleidsuitgangspunt om warmte zo efficiënt mogelijk te gebruiken daar waar het voorhanden is, is niet alleen belangrijk voor een kosteneffectieve warmtetransitie. Het is ook onvermijdelijk bij het streven naar een optimale inrichting van het bredere energiesysteem. Het benutten van aanwezige MT-bronnen bespaart op die plekken veel elektriciteit voor de basislast. Opwaardering is dan niet of veel minder nodig. In delen van het land zijn echter vooral (Z)LT-bronnen zoals aquathermie en datawarmte voorhanden. Daar is het extra belangrijk om die aanwezige energie zo goed mogelijk te gebruiken voor een efficiënte collectieve warmte- en koudevoorziening.

In de warmtesector zien we steeds meer systeeminnovaties en slimme concepten. Zowel op (Z)LT- als MT-niveau. Deze benutten de kansen van flexibele productie en buffering, koudelevering en verkleinen de piekvraag. Effectief beleid om innovaties te stimuleren moet deels bestaan uit het organiseren van financiële prikkels. Zowel aan de kant van de warmtenetten als het elektriciteits-systeem. De huidige subsidies voor warmte, met name de SDE++, zijn nog niet goed geschikt om die prikkel voor flexibiliteit te geven. Dat is één van de verbeterpunten voor het financierings-instrumentarium dat momenteel aandacht krijgt. De behoefte aan lokaal maatwerk, het benutten

van kansen voor systeemintegratie en een toenemende koelbehoefte spelen een steeds grotere rol bij de keuze van gemeenten voor het type warmtesysteem en de wijze waarop warmtebedrijven hun bronnenstrategie vormgeven.

Voorbeeldscenario 3

Warmtecoöperatie start een lokaal ZLT-net dat stapsgewijs doorgroeit

Een groep bewoners van een vrij jonge woonwijk met 300 woningen in een middelgroot dorp langs het Alexanderkanaal heeft de wens om zelf de wijk aardgasvrij te maken. Zij richten een werkgroep op die samen met de wijkbewoners criteria opstelt en daarmee verschillende opties vergelijkt. De werkgroep kijkt onder meer naar de eindgebruikerskosten, leveringszekerheid, mogelijkheden voor koeling, ruimtegebruik, visuele aspecten en de milieu-impact van het materiaalgebruik. Hieruit ontstaat de voorkeur voor een collectief ZLT-warmtenet gevoed door aquathermie uit het kanaal met een WKO.

Vanuit die werkgroep richt de wijk een warmtecoöperatie op om een projectplan te maken op basis van de opgehaalde wensen en kansen. Dit plan sluit aan bij het lokale Warmteprogramma. Dat maakt de gemeente enthousiast. De gemeente verleent de coöperatie een ontheffing om in de wijk een ‘klein collectief warmtesysteem’ te exploiteren en subsidieert de initiatieffase. Om de potentiële TEO-bron zo goed mogelijk te gebruiken betrekken zij tijdig het waterschap. Deze samenwerking is belangrijk omdat het waterschap een rol heeft bij de regelgeving en eisen die er zijn over bijvoorbeeld waterveiligheid, ecologie, scheepvaart.

De techniekkeuze en business case moeten nu serieuzer uitgewerkt worden omdat daarmee mede het falen of slagen van het project wordt bepaald. De coöperatie heeft daarvoor niet voldoende eigen vermogen. Er is financiële ondersteuning nodig. De coöperatie richt zich daarom tot het Ontwikkelfonds voor warmtecoöperaties en krijgt een lening en deskundige begeleiding voor de ontwikkelfase. De provincie wijst een expert aan die de coöperatie en ontwikkelaar van het systeem helpt bij het bepalen van de meest geschikte plek, de omvang van de WKO en de vergunningsaanvraag begeleidt. De coöperatie betreft de wijkbewoners actief bij het uitwerken van de plannen. Zo ontstaat er brede steun en wordt er al tijdens de ontwikkelfase commitment gevonden bij 85% van de bewoners. Dit geeft voldoende zekerheid voor de benodigde volloop van het systeem en het aanbod dat zij bewoners kunnen doen. Dit maakt de business case solide genoeg om een investeringsbesluit te nemen.



De realisatie start. De coöperatie, de ontwikkelaar van het warmtesysteem en de aannemer werken nauw samen om de aanleg optimaal en met zo min mogelijk overlast te doen. Deze gezamenlijke aanpak zorgt voor lagere kosten van de woningaanpassingen dan wat bij een individuele aanpak zou zijn gelukt. De zichtbaarheid van de aanleg leidt *last minute* tot nog een aantal extra aanmeldingen van resterende woningeigenaren die alsnog willen meedoen met het initiatief. Het waterschap heeft nu een faciliterende rol en gebruikt de kennis en begeleiding die o.a. door de Unie van Waterschappen is ontwikkeld om het TEO-systeem slim en verantwoord aan te leggen in en rondom de waterkering. Nadat het systeem is opgeleverd en ingeregeld duurt het nog een tijdje voordat de WKO is 'opgeladen' en optimaal warmte en koude kan leveren. Na het eerste jaar werkt het warmtenet zoals gehoopt. De bewoners zijn tevreden met hun nieuwe warmtevoorziening. Het rendement van de coöperatie gaat naar andere lokale initiatieven.

Omliggende wijken krijgen hierdoor ook interesse in het warmtenet en de coöperatieve aanpak. De coöperatie gaat met de gemeente in gesprek over de mogelijkheden om het systeem uit te breiden. De gemeente beschrijft in haar Warmteprogramma in welke aangrenzende wijken eenzelfde ZLT-systeem wenselijk is. Zij breidt de ontheffing van de coöperatie uit zodat deze ook voor die wijken de plannen en het draagvlak mag organiseren. In 9 jaar tijd wordt het warmtenet 2 keer uitgebreid naar een naastliggende wijk. De uitwisseling van warmte en koude wordt uitgebreid met restwarmte uit een groot koelmagazijn, een supermarkt, enkele kantoorpanden, een tweede warmtepomp en een extra WKO. Wat begon als wijkinitiatief groeide uit tot een efficiënt en toekomstbestendig 5^e generatie warmtenet.

Kernboodschap: *de energie en betrokkenheid van lokale initiatieven en de expertise die daarmee worden opgedaan zijn van grote waarde. Door zelf de handschoen op te pakken voor een deel van de wijkaanpak kan de gemeente zich op andere wijken richten, al moet de gemeente natuurlijk betrokken blijven en meesturen waar nodig. Warmtecoöperaties verdienen de ruimte en ondersteuning om hun plannen te vormen en te realiseren, allereerst vanuit de gemeente maar bijvoorbeeld ook uit het Ontwikkelfonds warmtecoöperaties. De geslaagde voorbeelden en 'best practices' mogen actief worden verspreid om andere initiatieven aan te jagen. Het is goed denkbaar dat een flink deel van de warmtenetten in 2050 vanuit lokale initiatieven is ontstaan.*

Duurzame bronnenstrategieën

Warmtebedrijven, RES-regio's en gemeenten ontwikkelden de afgelopen jaren onder meer bronnenstrategieën om investeringsplannen te maken voor de verduurzaming van hun warmtelevering en transitievisies warmte om de koers voor de lokale wijkaanpak uit te stippelen.

In hoofdstuk 2 staat welke trends we voorzien in de op- en afbouw van warmtebronnen en hoe de landelijke warmtebronnenmix daardoor verandert. Die trends worden uiteraard mede bepaald en gestuurd of versneld door overheidsbeleid. Naast marktontwikkelingen en innovatie hebben beleidsinstrumenten ook hun weerslag op hoe de business case en bronnenstrategie voor afzonderlijke netten eruit komen te zien. De praktijk laat zien dat bestaande warmtenetten eerst bij de basislastbronnen verduurzaamd worden. Tot nu toe zien we dat warmtebedrijven pas daarna de uitdagingen van flexibiliteit en rentabiliteit van de midden- en pieklast aangaan. Het is belangrijk dat het beleid en de ondersteuning vanuit het Rijk anticiperen op die werkwijze en tijdig mee-groeien om die toenemende complexiteit te hanteren. Naast de eigen duurzaamheidsambities en de financieringsmogelijkheden, is de duurzaamheidsnorm voor warmtenetten in de Wcw (zie [paragraaf 3.2.1 Wet collectieve warmte \(Wcw\)](#)) de sterkste prikkel voor warmtebedrijven om te investeren in duurzame bronnen om hun fossiele warmteproductie te vervangen. De ACM monitort de duurzaamheidsnorm doorlopend om te zorgen dat dit een effectieve en haalbare prikkel blijft. Het ministerie van KGG toetst de norm op de effecten van de investeringszekerheid en betaalbaarheid. Enkele jaren na de inwerkingtreding van de Wcw wordt de duurzaamheidsnorm geëvalueerd.

Het financieren van duurzame basislastbronnen is met de 'hekjes' voor warmtetechnieken in de SDE++ over het algemeen goed mogelijk. De studie van CE Delft uit 2023 die al eerder in dit stuk is genoemd laat ook zien dat er voor de bestaande warmtenetten er een flink aantal projecten in de pijplijn zit tot en met 2030. Als die projecten tijdig worden ingediend en een beschikking krijgen, is het mogelijk om een significant deel van de basislast van de bestaande (middel)grote netten te verduurzamen. Jaarlijks wordt de SDE++ herzien en worden er waar nodig categorieën toegevoegd om aan de financieringsbehoefte voor zoveel mogelijk warmtebronnen te voldoen.

Tegelijkertijd is er oog voor de beperkingen van de SDE++ als het gaat om het stimuleren van flexibiliteit en het risico van fluctuerende kosten voor bepaalde technieken. Hoeveel projecten de komende jaren daadwerkelijk uit de pijplijn komen hangt af van de omvang van het subsidiebudget voor warmte en de zekerheid die de SDE++ de komende jaren biedt, en per wanneer een vernieuwd financieringsinstrumentarium vervolgens de genoemde beperkingen wegneemt. De stelselwijziging naar in meerderheid publieke warmtebedrijven in het wetsvoorstel voor de Wcw heeft de afgelopen



tijd ook vertraging gegeven, maar biedt -samen met de Wgiw- vanaf nu de gewenste duidelijkheid en handvatten voor de stelselmatige uitrol en verduurzaming van warmtenetten.

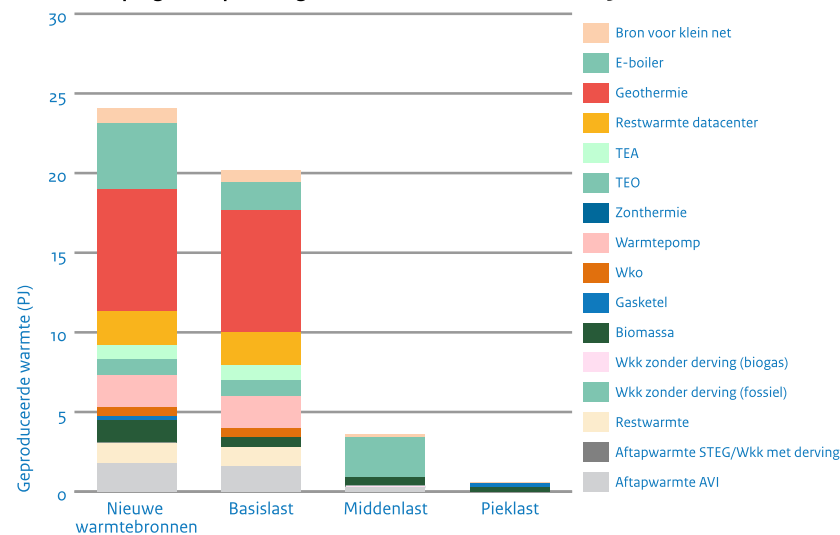
Voor de ontwikkeling en exploitatie van een duurzame warmtebron is een netaansluiting nodig. Warmtebedrijven komen vanwege het volle elektriciteitsnet hiervoor op de wachtlijst te staan. Netcongestie leidt daarmee tot vertraging van warmteprojecten en in sommige gevallen tot onzekere of onrendabele exploitatie van een bron als gevolg van sterk gestegen nettarieven. Dit geldt niet alleen voor E-boilers en warmtepompen maar bijvoorbeeld ook voor de tijdelijke boorinstallatie van een geothermiebron. Dit zijn momenteel grote zorgpunten waar geen snelle oplossing voor bestaat. We verwachten dat netcongestie de komende jaren een factor is die mede bepaalt hoe de bronnenstrategieën van warmtebedrijven en regio's zich kunnen en moeten ontwikkelen. Het Rijk werkt samen met netbeheerders, medeoverheden, marktpartijen en de ACM in onder andere het Landelijk Actieprogramma Netcongestie. Op deze manier willen we de transportcapaciteit op het net zo snel mogelijk vergroten. Het is belangrijk dat ook warmtepartijen tijdig meedoen in de gesprekken tussen deze partijen. Niet alleen om te zorgen dat warmteprojecten voorrang kunnen krijgen en zo snel mogelijk worden gerealiseerd, maar ook omdat de warmte-sector met warmtebuffering kan helpen de behoefte aan transportcapaciteit te beperken.

De analyse van CE Delft laat ook zien dat het na 2030 snel kostbaarder en ingewikkelder wordt om de resterende middenlast en vooral de pieklast te verduurzamen. De rol van warmtebuffering (korte termijnopslag) en seizoensopslag is daarbij essentieel. Voor die fase moet de overheid op tijd sturende en stimulerende beleidskeuzes maken over de rol en doorontwikkeling van elektrificatie en grootschalige (MT en HT) warmteopslag. Omdat er nog niet veel ervaring is met MTO en HTO ligt hier een belangrijke ontwikkelbehoefte. In de Routekaart Energieopslag staan de acties al die nodig zijn om deze technieken te ontwikkelen en belemmeringen in het grootschalige gebruik van seizoensopslag te verhelpen¹³⁰.

Mede door de hogere gasprijzen proberen warmtebedrijven al om het gebruik van piekketels te minimaliseren. Desondanks moeten we richting 2030 een geactualiseerde visie ontwikkelen over het gebruik van schaarse duurzame gassen en de meest hoogwaardige benutting van duurzame biograndstoffen. Die herijking van het beleid moet worden gedaan langs de lijnen die hiervoor in het NPE en het duurzaamheidskader biograndstoffen zijn uitgezet.

¹³⁰ Ministerie van Economische Zaken (EZK, 2023), [Routekaart Energieopslag](#)

Indicatieve prognose opschaling duurzame warmtebronnen tot 2030



Figuur 24 Indicatie van de verwachte groei en rol van duurzame bronnen voor (middel)grote warmtenetten tot 2030, bron CE Delft¹³¹

Toekomstbestendige warmtesystemen hebben financieringsmogelijkheden nodig die niet alleen de business case voor (deel)projecten ondersteunt maar ook de flexibilisering van warmteproductie stimuleert. Op die manier kunnen de instrumenten het beste bijdragen aan de efficiënte werking van het toekomstige energiesysteem. In dat energiesysteem maken variabele elektriciteitsproductie van zon en wind een groot deel van de energievoorziening uit. Het kan voorkomen dat transportcapaciteit op bepaalde uren beperkt is (netcongestie). Bij het door ontwikkelen van de financieringsinstrumenten is het dan ook belangrijk dat het de flexibele inzet van warmtebronnen die elektriciteit gebruiken stimuleert. Zo kunnen we zo goed mogelijk anticiperen op de beschik-

¹³¹ [Verduurzaming Bronnen voor Warmtenetten, CE Delft \(2023\)](#)



baarheid - en het definiëren van wat we onder betaalbaarheid verstaan - van duurzame energie en transportcapaciteit.

Hiernaast verschuift met de invoering van kostengebaseerde tarieven de focus van het financierings-instrumentarium van het mogelijk maken van een rendabele business case, naar het mogelijk maken van een voldoende aantrekkelijk aanbod voor de eindgebruiker. Het kostengebaseerde tarief moet immers (meestal) tot voldoende rendement van een warmtesysteem leiden, maar borgt niet automatisch de betaalbaarheid voor de eindgebruiker. Bij de doorontwikkeling van het financieringsinstrumentarium voor collectieve warmte wordt het borgen van betaalbaarheid dan ook belangrijker.

De verduurzamingsopgave ligt voor een deel bij de bestaande HT-warmtenetten in enkele grote steden. Vooralsnog zijn er mogelijkheden om de basislast met bestaande technieken en instrumenten te verduurzamen. Wel verwachten we dat de nettemperatuur daar vroeg of laat zal moeten dalen tot (maximaal) MT-niveau. Zo kunnen we het volledige leveringsprofiel verduurzamen op een betaalbare manier zonder het energiesysteem te veel te belasten. Vervanging van de bestaande infrastructuur daarvoor is een dusdanige investering dat alternatieve routes effectiever kunnen zijn. Eén van de manieren om daarop in te spelen is om grote, centraal gevoede warmtenetten onder te verdelen in kleinere subnetten op wijkniveau. Met daarbij decentrale warmtebronnen zoals wijkwarmtepompen en warmtebuffering.

De warmtevraag bij de gebruikers in de gebouwde omgeving is geen blijvende noodzaak om warmte van meer dan 70 °C te leveren. Er zijn voor zowel woningen als de utiliteitsbouw scherpe doelen voor een minimum isolatieniveau richting 2050. Het isolatiebeleid is niet alleen maar gericht op het verlagen van de benodigde verwarmingstemperatuur (en eventuele koeling). Voor het energiesysteem is minstens zo belangrijk dat goede isolatie helpt om grote en gelijktijdige vraagpieken in de winter te dempen en een meer constante warmtevraag te krijgen. Hoe minder grillig de warmtevraag is, hoe minder piekvermogen warmtenetten en individuele warmtepompen hoeven te leveren op momenten dat dat het energiesysteem mogelijk onder druk zet. Het isolatiebeleid voor de gebouwde omgeving leidt er dus toe dat het 'badkuipprofiel' van warmtevraag (in de zomer een lage warmtebehoefte en in de winter hoog) zo plat mogelijk wordt. Daarmee is het kosteneffectiever in te vullen.

6.4 Tot slot

Voor de komende jaren moet de aandacht van het warmtebronnenbeleid met name blijven liggen bij de snelheid en (investerings)zekerheid waarmee we bronnen kunnen ontwikkelen om vooral de verduurzaming en uitbreiding van bestaande netten te versnellen. Voor de uitrol van nieuwe warmtenetten is de beschikbaarheid van bronnen niet de beperkende factor. Daar wordt het tempo vooral bepaald door de ontwikkeling van een collectieve warmtevraag via de wijkaanpak. De overheid werkt daarom hard aan de randvoorwaarden voor investeringszekerheid, betaalbaarheid, realisatiekracht en sturing die de Wcw, Wgiw en de financieringsinstrumenten invullen. Hoe sneller gemeenten gedegen uitvoeringsplannen kunnen opstellen en daarvoor de hulpmiddelen hebben, hoe beter warmtebedrijven in staat zijn om een solide business case en vlotte aanleg te realiseren.

De verduurzaming van bestaande netten en de uitrol van nieuwe netten is hard nodig om de klimaatdoelen voor de gebouwde omgeving te halen, voor 2030 én daarna. Het rijksbeleid daarvoor ligt met name in het scheppen van de juiste condities door het ondersteunen en faciliteren van gemeenten en warmtebedrijven. De Wcw, Wgiw en een sluitend financierings-instrumentarium voor duurzame collectieve warmtesystemen zijn daarvoor onmisbaar.

Uiteindelijk bepalen de samenwerkende warmtebedrijven, medeoverheden, netbeheerders, sectororganisaties en kennispartners het tempo en succes. Het delen van praktijksignalen, gezamenlijk aanpakken van knelpunten en het bijsturen van werkwijzen blijven doorlopend van belang. Daarbij is een grote rol weggelegd voor het NP RES en NPLW. Zij spelen in op de behoefte bij medeoverheden en richten hun ondersteunende activiteiten daarop.

Dit Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen is een gedeeld fundament voor verdere samenwerking en regie in de opschaling van duurzame warmtenetten. Maar ook als wegwijzer aan de Tweede Kamer om effectief te blijven sturen op de groei van duurzame warmtenetten met maximaal maatschappelijk rendement.



Bijlage A: Methodologie potentieelbepaling

Techniek	Methode bepalen potentiëlen
Geothermie	Voor 2050 komen de schattingen van het trendrapport en de experts van RVO allebei uit op ca. 200 PJ. Als we uitgaan van een warmtevraag van 250 PJ is het niet realistisch dat die volledig wordt ingevuld met geothermie. Voor deze studie is de inschatting dat de helft van de warmtevraag van 250 PJ met geothermie ingevuld kan worden. Dan komt het potentieel uit op 125 PJ voor warmtenetten voor de gebouwde omgeving en glastuinbouw.
Bodem/lage temperatuur aardwarmte	Het trendrapport noemt hier een potentieel van 108 PJ. Dat is hoog voor de warmtevraag aan bronnen van 250 PJ. Onze inschatting is dat 50 PJ een realistischer schatting is. Het kan zeker een belangrijke bijdrage leveren voor situaties waar de afname te laag is voor een geothermiebron of waar de geothermiebron niet aanwezig is. Het potentieel voor bodemenergie in de vorm van WKO overlapt met aquathermie en aerothermie. In dit overzicht is het potentieel opgenomen bij de primaire hernieuwbare bron en niet bij de opslag.
Restwarmte	Potentieel: nu 100 PJ (CE Delft rapport o.b.v. lozingen). Datathermie: 14 PJ LT (rapport DDA) Elektrolyse: 12-24 (TNO 2024) Op basis van een warmtevraag is de inschatting dat maximaal 100 PJ van de 250 PJ warmtevraag is te dekken met MT en LT restwarmte.

Techniek	Methode bepalen potentiëlen
Aquathermie	TEO technisch potentieel: 150 PJ - Nationaal potentieel aquathermie Oppervlaktewater binnen een straal van 5km met buurten met een minimale energiedichtheid voor een warmtenet Warmteonttrekking met maximaal temperatuurverschil van 6 graden C en een maximale lozingstemperatuur van 12 graden C TEO business as usual: 1-2 PJ (CE Delft Rapport obv SDE++) TEO haalbaar: 10-25% van technisch potentieel (percentage o.b.v. expert review. Beredenering: niet overal waar een warmtenet kan komen zal een warmtenet komen, de schatting is nu 1/3 van de gebouwde omgeving. Hiernaast zal TEO niet overal de meest gunstige duurzame bron zijn) TEA technisch potentieel: 56 PJ - Nationaal potentieel aquathermie TEA business as usual: 1-2 PJ (CE Delft Rapport o.b.v. SDE++) TEA haalbaar: 25-50% van theoretisch (percentage o.b.v. expert review. Beredenering: niet overal waar een warmtenet kan komen zal een warmtenet komen, de schatting is nu 1/3 van de gebouwde omgeving. Hiernaast zal TEA niet overal de meest gunstige duurzame bron zijn. Wel heeft TEA met effluent nu een kleinere onrendabele top dat TEO/TED) TED technisch potentieel: 4-6 PJ - Nationaal potentieel aquathermie TED business as usual: 0-1 PJ - (CE Delft Rapport o.b.v. SDE++) TED haalbaar: 25% van technisch potentieel (percentage o.b.v. expert review. Beredenering: niet overal waar een warmtenet kan komen zal een warmtenet komen, de schatting is nu 1/3 van de gebouwde omgeving. Hiernaast zal TED niet overal de meest gunstige duurzame bron zijn) De potentieelschattingen lopen erg uiteen. Op basis van een warmtevraag van 200 PJ is de verwachting dat aquathermie op veel plaatsen een rol kan spelen, maar zeker niet overal. Voor het overzicht is een inschatting gemaakt aan de bovenkant van het realistische potentieel, maar lager dan het trendrapport en het technisch potentieel. Dat komt uit op 60 PJ.



Techniek	Methode bepalen potentiëlen
Zonthermie	Haalbaar potentieel: De potentieelstudie “ aanzet tot Routekaart Zonthermie” door TNO74 presenteert 10 PJ (zonder opslag) tot 21 PJ (met opslag) voor toepassing van zonthermie in blokverwarming en (bestaande en nieuwe) stadswarmtenetten. Voor land- en tuinbouw en veeteelt komt daar nog 3 PJ bij (opsplitsing naar alleen ‘glastuinbouw’ was niet aanwezig). Dit is dus exclusief individuele toepassingen en toepassingen in utiliteit of industrie. Er is geen theoretisch potentieel berekend. Voor deze studie is een potentieel van 25 PJ voor zonnewarmte voor warmtenetten aangehouden.
Aerothermie	Haalbaar potentieel: Eigen inschatting op basis van 430.000 woningen (CBS, 2023) met blokverwarming (voor de grotere warmtenetten wordt aangenomen dat een andere bron dan aerothermie wordt toegepast). Elke woning (appartement) heeft een geschat gasverbruik (verwarming + warmwater + koken) van 800 m³/jaar. De totaal benodigde hoeveelheid warmte is 11 PJ. Voor het jaarrendement (SCOP) wordt 350% aangenomen. Er is dan 8 PJ aan duurzame warmte geoogst. Het haalbare potentieel is ingeschat op 1-10 PJ (voor woningen). Er is geen inschatting voor ‘glastuinbouw’. Er is geen theoretisch potentieel berekend. De verwachting is dat aerothermie veel op gebouwniveau ingezet wordt en mogelijk bij kleine warmtenetten. Het kan ook een tijdelijke oplossing zijn, totdat aangesloten kan worden op een groter net met een bron waar minder elektriciteit voor nodig is. Omdat het potentieel van aerothermie in theorie oneindig is maar wordt beperkt door de inzetbaarheid m.b.t. het elektriciteitsnet en bovengenoemde afwegingen, kan het niet met een reële en relevante verwachting worden opgenomen in het potentieeloverzicht.
E-boiler	Haalbaar potentieel: Ca. 10 % elektriciteitsproductie (40 PJ) en ca. 15% van de warmtevraag (de 15% staat nu als maximumbijdrage in de NTA 8800). Dat komt uit op 38 PJ.

Techniek	Methode bepalen potentiëlen
Warmteopslag	Op dit moment wordt er circa 500 PJ opgeslagen in de Nederlandse gasopslagen. Deze opslag wordt voornamelijk ingezet voor warmtevoorziening in de winterpiek. In de toekomst zullen we deze seizoensafhankelijk aan warmtevraag houden. Daarnaast krijgen we te maken met verschillende bronnen en warmteaanbod profielen. Warmteopslag kan daarbij een verbindende functie bieden om warmtevraag en -aanbod met elkaar te matchen. De precieze potentie van warmteopslag is nog onduidelijk, maar een zekerheid is dat de potentie groot zal zijn. Dit omdat de energie van de bron en de energie binnen het warmtenet efficiënter, en kosteneffectiever ingezet kan worden. kGILpY.pdf (overheid.nl): Op basis van de verschillende scenario's kan warmteproductie uit de warmtebuffers in 2050 tussen ongeveer 0,5 en 4,5 TWh opleveren. Dit is gelijk aan de hoeveelheid secundaire warmtebronnen (bijv. gas, biomassa, elektriciteit) die bespaard worden. Door de scenario's aan te passen ten aanzien van een betere aansluiting van basislast op warmtebuffering kan de omvang van de geleverde warmte uit buffers uitkomen op 6 tot 8 TWh (dit is 22 tot 30 PJ). CE Delft Power-to-heat: Groot potentieel voor warmteopslag in warmtenetten - Energy Storage NL. De potentiële opslagcapaciteit van alle warmteopslag in warmtenetten samen is 0,6 PJ in 2030 en 1,4 PJ in 2050. Dit lijkt weinig ten opzichte van de totale warmtevraag, maar deze opslag wordt meerdere keren per jaar opgeladen en ontladen. Netbeheer Nederland (overheid.nl): Richting 2050 groeit het opgesteld vermogen industriële flexibele power-to-heat tot 6-11 GW. In de scenario's wordt ervan uitgegaan dat flexibele power-to-heat installaties in tijden van elektrische overschottenproductie uit wind en zon, extra warmte kunnen leveren aan regionale warmtenetten. Dit heeft een flexibele bijdrage van 3 tot 17 TWh over het jaar. Bij inzet van deze flexibele power-to-heat zal de warmteproductie uit andere bronnen zoals gasketels teruggeschakeld worden en overschotten worden opgeslagen in warmteopslag. Warmteopslag is geen aparte bron, maar maakt het mogelijk om meer duurzame bronnen in te zetten. Er is daarom geen apart potentieel opgenomen in het potentieeloverzicht.
Piekvoorziening	Nationale productie biomassa: Probos rapport. Nationale productie groen gas: scenariostudie groen gasproductie CE delft 2023. Haalbaar potentieel 2030 = 1,3 tot 1,8 bcm. De technische potentie is hoger, deze is sterk afhankelijk van waar biograndstoffen ingezet worden en in hoeverre import een rol gaat spelen. Nationale productie waterstof: NPE (2021) De piek kan voor een groot deel vervangen worden door warmteopslag. In de meeste projecten is nu 5 tot 10% voorzien als piekvraag. De piekvoorziening is niet als aparte bron opgenomen in het potentieeloverzicht.



Bijlage B: Categoriisering van de praktijksignalen voor beleidsoverweging

Bij het schrijven van het 'Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen' zijn vertegenwoordigers van de medeoverheden, programma's en sectorpartijen van het begin tot het eind betrokken (zie bijlage C). Zij zijn geconsulteerd om de informatie en cijfers zo volledig mogelijk te krijgen en hebben ook hun visie en verwachtingen ingebracht. Ook hebben zij constatering en aandachtspunten uit de praktijk ingebracht die wat hen betreft nog niet of niet voldoende in huidige afspraken en beleid zijn afgedekt. Deze praktijksignalen zijn per bron en techniek ongefilterd in aparte kaders opgesomd.

Deze publicatie is beleidsarm en bedoeld als neutrale onderligger voor verdere uitwerking en stimulering van de collectieve warmtetransitie. Het is aan het volgende kabinet om te wegen welke praktijksignalen zij kan en wil meenemen in verdere beleidsontwikkeling op de warmtetechnieken. In deze bijlage doen we een eerste aanzet voor een appreciatie van de signalen door ze te categoriseren naar het type uitwerking dat voor de hand ligt. Een deel van de suggesties is onderdeel van lopend beleid of wordt daarin opgenomen, daarbij geven we een korte toelichting of reactie. Andere signalen staan nog buiten de huidige beleidsaanpak en moeten door een volgend kabinet worden beoordeeld en, wellicht, uitgewerkt. Daarbij ligt de bal overigens niet alleen bij het Rijk; ook de sectorpartijen zelf houden hun rol en verantwoordelijkheid om de verduurzaming van warmtenetten verder te brengen.

1. Onderdeel van lopend beleid of al toegezegde maatregelen

- Geothermie: De overheid kan bijdragen door duidelijke publiekrechtelijke regels, alsmede heldere beleidskaders en toezicht. Dit draagt ook bij aan voorspelbaarheid en vergroot de investeringszekerheid. Het reduceren van doorlooptijden van vergunningsaanvragen, meer flexibiliteit en afstemming ten aanzien van subsidies en garanties, alsook het zorgdragen voor een efficiëntere samenwerking in de warmteketen, kan helpen de ontwikkeltijd van geothermieprojecten te verkorten. Dit reduceert risico's en zorgt voor minder kosten. *> dit is al toegezegd in Kamerbrieven over de Taskforce versnelling geothermie. I.k.v. de lopende modernisering van de Mijnbouwwet kan het regelgevend kader voor geothermie worden aangepast.*
- Geothermie: Stimuleer actief de ontwikkeling van ondiepe geothermieprojecten (500-1.500 meter), daar waar diepe geothermie niet kan of te grootschalig is voor de toepassing. Zorg hierbij voor passende ondersteuning zoals een instrument voor vroege-fase-opstapeling waarmee we in

korte tijd een flink aantal voorbeeldprojecten kunnen realiseren. *> dit is al toegezegd met het fiche voor LT-geothermie voor het Klimaatfonds*

- Aquathermie: Kennis delen over prestaties, ontwerpkeuzes, vergunningsproces (Versnellingsplan Aquathermie) *> zoals benoemd is dit één van de actielijnen van het versnellingsplan, waarbij de Unie van Waterschappen en Rijkswaterstaat een rol spelen als kennishouders*
- Zonthermie: De onbekendheid van zonnewarmte en de omvangrijke installatie waar het meestal om gaat maakt het lastig om te investeren in opleiding en uitvoeringscapaciteit. Door het aanbieden van meer en gestandaardiseerde opleidingen vergroten we de capaciteit en verlagen we de kosten. De noodzaak om op deze manier het *human capital* te versterken is overigens een belangrijk aandachtspunt voor de hele warmtesector. *> de benodigde uitvoeringskracht en krapte op de arbeidsmarkt zijn over de breedte van de energietransitie een zorgpunt. Wat de Topsector Energie doet aan het versterken van human capital wordt kort beschreven in hoofdstuk 3*
- Aquathermie: Ontwikkeling van normering en ontwerpstandaarden verlagen kosten en doorlooptijden. Denk hierbij aan technische afspraken (NTA) voor uitkoppeling van TEO, TEA en TED of aan een NTA voor financiering van aquathermie-projecten.
- Aquathermie: Er is een standaard nodig voor een beoordelingskader en eisen voor de watervergunning bij warmteonttrekking en koudelozing.
- Aquathermie: Er is verder onderzoek nodig naar de milieu-impact van koudelozing om normen en een standaard vast te kunnen stellen.
- Aquathermie: Er is een standaard nodig voor een beoordelingskader en eisen bij het doorkruisen van een (water)kering: dijken en damwanden.
- Aquathermie: Verduidelijking van de lijn in het verdelingsvraagstuk van TEO doordat rivieren grenzen tussen provincie, gemeente en waterschap overschrijden. Hiervoor zijn onderlinge coördinatie (besluitvormingskader) en samenwerkingsverbanden tussen de betrokken partijen nodig. Dit kan worden versterkt door verdere steun en betrokkenheid bij programma 'Warmte uit water'.
- Aquathermie: De waterbeheerders hebben een grotere faciliterende rol nodig. Daar is meer en ontwikkeling van kennis voor nodig. Vanuit de waterschappen en/of Rijkswaterstaat kunnen bijvoorbeeld expertteams gevormd worden die een lokaal bevoegd gezag ondersteunen bij de beoordeling van een vergunningsaanvraag en de daaropvolgende stappen om een aquathermieproject te faciliteren.



- Zonthermie: Het vergelijken van kosten van andere technieken moet binnen dezelfde systeemgrenzen gebeuren (bijvoorbeeld dezelfde aanvoertemperaturen en hetzelfde aantal woningen vergelijken). Ook de externe kosten moeten we meenemen. Denk hierbij aan kosten voor CO₂-uitstoot. > *dit advies geldt in brede zin en is niet beperkt tot zonthermie. Technieken moeten consistent op hun kosten, baten en kansen worden beoordeeld. Uitgangspunten zoals het wel of niet meenemen van externe kosten bepalen het beeld voor de gehele energietransitie, deze zijn voor afzonderlijke technieken daarom weer irrelevant.*

2. Mee te nemen in lopend beleid

- Geothermie: Zorg ervoor dat ook in nieuwe gebieden ('witte en data-arme gebieden') projecten van de grond kunnen komen. Het SCAN-programma kan niet overal alles in kaart brengen, dus er blijft een onzekerheid over de ondergrond in bepaalde gebieden. Dit vermindert pas wanneer er daar een of enkele werkende projecten zijn. Daarom is het belangrijk om in deze gebieden actief de markt 'los te trekken'. Oplossingen kunnen zijn:
 - Aangepaste garantieregeling (RNES 'witte gebieden') met een hoger acceptabel risicoprofiel
 - Ondersteunen van proefboringen van marktpartijen (vanuit capex-subsidie),
 - Ondersteunen van een beperkt aantal commerciële voorbeeldprojecten in 'witte/data-arme gebieden' (capex-subsidie). > *Reactie: een capex-subsidie voor commerciële (proef)projecten is niet te rijmen met Europese staatssteunregels. Een solide garantieregeling zou voldoende zekerheid moeten geven om ook in de 'witte gebieden' proefboringen en projecten van de grond te krijgen. De RNES wordt momenteel geëvalueerd. Op basis van de uitkomsten kan een volgend kabinet besluiten over de mogelijke voortzetting en aanpassing van de regeling om de ontwikkeling van geothermie ook in de witte gebieden te ondersteunen.*
- Restwarmte: We moeten bij realisatie van nieuwe restwarmtebronnen direct het restwarmtepotentieel onderzoeken en de installaties in ieder geval voorbereiden op uitkoppeling. > *Dit is onderdeel van de implementatie van de herziene EED*
- Restwarmte: We moeten restwarmte-uitkoppeling meenemen in bestemmingsplannen en algemene ruimtelijke ordening en vraag en aanbod van warmte bij elkaar brengen in het plan. > *Gemeenten en provincies hebben de positie hierop te sturen, waar o.a. de RES-aanpak bij kunnen helpen. Het Rijk verkent of en hoe het kan sturen op de allocatie van nieuwe restwarmtebronnen zoals elektrolyzers (zie hoofdstuk 4.2)*
- Warmtepompen: De inzet van hoge temperatuur-warmtepompen wordt momenteel niet ondersteund binnen de SDE++-regeling. Het gaat dan om warmtepompen die bijvoorbeeld invoeden via een transportleiding zoals WarmtelinQ. > *Het toevoegen en aanpassen van techniek-categorieën in de SDE++ gebeurt jaarlijks voor elke nieuwe openstellingsronde. Deze suggestie kan (en is) via de consultatie op het PBL-advies worden ingebracht*

- Aerothermie: In de SDE++ is een COP-eis gesteld van 3, welke door bepaalde marktpartijen als belemmerend wordt gezien. > *zie bovenstaande punt*
- Warmtepompen: De elektriciteitsvraag van HT-warmtepompen verhoogt de vraag naar netcapaciteit. Als we de ontwikkeling van HT-warmtepompen willen ondersteunen, moeten we goed kijken hoe we netcongestie kunnen voorkomen en omgaan met hoge nettarieven (bijvoorbeeld door warmtepompen flexibel in te zetten, in combinatie met warmte-opslag. > *het omgaan met en beperken van netcongestie bij de elektrificatie van collectieve warmte is één van de aandachtspunten in de Landelijke Aanpak Netcongestie (paragraaf 6.3 gaat hier verder op in)*
- E-boilers: E-boilers dragen niet bij aan de doelstelling voor hernieuwbare warmte die de EU stelt volgens de nieuwe RED III-richtlijn. Ze dragen wel bij aan de doelen voor verduurzaming van warmtenetten volgens de Nederlandse afspraken. Het is wenselijk om verder uit te zoeken hoe E-boilers (zo goed mogelijk kunnen) bijdragen aan de verschillende duurzaamheidsdoelstellingen.
- Piekvoorziening: Sterkere beleidsinzet op woningisolatie dempt de piekvraag naar warmte in de winter, wat de vereiste piekcapaciteit helpt beperken. Een constantere warmtevraag voorkomt onnodige druk op het energiesysteem en zorgt dat de resterende piekvraag (kosten) effectiever kan worden geleverd. > *Dit effect geldt ook voor de route met individuele warmtepompen. Evt. kan hierop sterker gestuurd worden door versnelling van het isolatiepad dat de standaard E- en streefwaarden en het NIP bewerkstelligen.*

3. Te overwegen voor mogelijk nieuwe of herziene maatregelen

Conform adviezen rapport Van Hulst

- Restwarmte: We beperken de bijbehorende onzekerheid over het toekomstig restwarmteaanbod van individuele restwarmtebronnen door een mix van verschillende (rest)warmtebronnen aan te sluiten. We kunnen vanuit grote industrieclusters en bedrijventerreinen zo'n stabiele warmtestroom ontsluiten, als het lukt om het vereiste (regionale) warmtetransport te realiseren. De afstand naar de gebouwde omgeving en/of glastuinbouw die we moeten overbruggen kan ertoe leiden dat een project een individueel warmtebedrijf boven het hoofd groeit. De overheden kunnen dit ondersteunen door de regie te pakken en bijvoorbeeld een nationale deelneming aanwijzen.
- Restwarmte: Subsidie of ondersteuning voor haalbaarheidsstudies voor grootschalige restwarmte-uitkoppeling verkleint het risico van de voorinvestering.
- Restwarmte: Het verstrekken van een investeringssubsidie voor regionale warmte-infrastructuur is een andere belangrijke impuls. Deze projecten vallen namelijk buiten het bereik van de huidige WIS en SDE++ regelingen.



- Warmteopslag: Het is noodzakelijk om kennisontwikkeling en kostendaling te stimuleren voor het gebruik van midden- en hoge temperatuur-opslag. Zo versnellen we de ontwikkeling van (kosten)effectieve warmtenetten. Dit kunnen we doen door het vormen of financieren van gerichte pilotprojecten of een pilotprogramma.
- Aquathermie: Kennisontwikkeling en het verlagen van kosten van aquathermie stimuleren de versnelling van de opschaling met gerichte pilotprojecten of -programma.
- Zonthermie: Kennisontwikkeling en kostendaling van zonthermie stimuleren het gebruik en versnellen de opschaling. Dit gaat met name over de interactie met seizoensopslag, gebouw-integratie en optimale inpassing in warmtenetten. Hiervoor zijn gerichte pilotprojecten of een breder pilotprogramma nodig.

Financieringskader: meewegen bij aanpassing van de ISDE

- Aerothermie: De huidige inrichting van het ISDE werkt in het nadeel van collectieve warmtepompen omdat er voor warmtepompen van > 70 kW een lagere subsidie wordt toegekend. Hier is extra beleidsinzet gewenst om dit onbedoelde effect te repareren.

Financieringskader: mogelijk te dekken uit het Klimaatfonds

- Restwarmte: Een restwarmteproducent kan niet altijd een langjarige leveringsgarantie afgeven voor de terugverdienperiode van de investering van het warmtebedrijf. Het opzetten of uitbreiden van een landelijk garantiefonds kan het financieel risico van het wegvallen van een bron dekken. Dit verkleint het investeringsrisico voor warmtebedrijven flink.
- Zonthermie: De verschillende mogelijkheden om zonthermie in te passen onderzoeken we niet (genoeg). Ook ruimtebeslag (hoeveelheid grondoppervlak die grootschalige collectorvelden innemen) moeten we onderzoeken. Zo brengen we beter de kansen en uitdagingen in beeld.
- Ontwikkel een nieuw financieel instrument dat aansluit bij de hoge ontwikkelkosten en specifieke risico's die de snelle opschaling van geothermie als grootschalige warmtebron remmen. Als gekozen wordt voor een 50% CAPEX subsidie in combinatie met 50% exploitatie-subsidie (à la de SDE++) zal dit meerdere problemen mitigeren (o.a. volloop) en tot een lagere warmtekostprijs leiden.

Maatregelen die geen directe financiële dekking vergen

- Restwarmte: We moeten nauwkeurig(er) restwarmtebronnen in kaart brengen en dit openbaar maken. Zo geeft de rapportage van de onderzoeks- en informatieplicht voor Energiebesparing inzicht in het restwarmtepotentieel dat relatief eenvoudig beschikbaar kan worden gemaakt voor medeoverheden en warmtebedrijven.

- Restwarmte: Een 'keurmerk' voor maatschappelijk verantwoord ondernemen door bedrijven die restwarmte leveren aan hun omgeving vergroot de bereidheid van producenten om deze projecten aan te gaan.
- Piekvoorziening: We kunnen constateren dat gerichte inzet van biomassa voor duurzame piekvoorziening in de toekomst verstandig is om twee redenen. We gaan er dus vanuit dat we biomassa zo hoogwaardig mogelijk willen gebruiken. Verder is de piekvoorziening in warmtenetten vooralsnog erg moeilijk en duur om te verduurzamen. Een volgend kabinet kan een actualisatie van het Duurzaamheidskader biograndstoffen overwegen. Hoewel verduurzaming van de piekvoorziening in warmtenetten pas rond 2040 aan de orde komt, is het belangrijk dat de warmtesector daarvoor zicht heeft op de (on)mogelijkheden¹³⁴.
- Warmteopslag: Daarnaast moeten we inzetten op ruimtelijke inpassing van zowel bovengrondse als ondergrondse opslagsystemen; daar ligt mogelijk een rol voor het NP RES.

Maatregelen ten bate van aanpak netcongestie en optimalisatie van het energiesysteem (conform uitgangspunten in het NPE)

- E-boilers en collectieve warmtepompen: De huidige hoge nettarieven zijn een probleem. Flexibeler nettarieven, eventueel gekoppeld aan de capaciteit op het net, biedt een oplossing. Dit probleem speelt ook bij elektriciteitsopslag. Het is wenselijk dat we de nettarieven meer flexibel kunnen vaststellen, zodat we voor de inzet van onder meer E-boilers niet onnodig hoge nettarieven betalen.
- E-boilers en collectieve warmtepompen: het sturen van gebruik op basis van de dynamische referentieprijs is wenselijk om de optimale inzet van E-boilers en warmtepompen met warmtebuffering in het energiesysteem te borgen. Dat betekent dat het zichtbaar is of we de E-boiler alleen inzetten op momenten dat er geen fossiele elektriciteitsopwekking is. Nu speelt dit alleen achteraf in de rapportage. Het kan ook een rol spelen bij de toekenning van subsidie.
- Warmteopslag: Om de markt te stimuleren is het belangrijk dat warmteopslag in het hele energiesysteem rendabel is. Hiervoor moeten we passend beleid ontwikkelen dat stuurt op flexibilisering van de warmtevraag. Daarbij helpt ook een instrument zoals een vroege-fase-opstalingsfonds. Daarmee realiseren we in korte tijd een flink aantal voorbeeldprojecten.
- Warmteopslag: Op dit moment krijgen warmtebedrijven vanuit de netwerkbedrijven nog niet altijd een vergoeding voor de inzet van P2H, als dat bijdraagt aan het stabiliseren en ontlasten van het energiesysteem. Het is denkbaar dat met zo'n vergoeding voor systeemintegratie, de wisselwerking tussen delen van het energiesysteem zo wordt geoptimaliseerd dat het op nationaal niveau de netto efficiëntie, optimale inzet van energie(bronnen) en kosteneffectiviteit flink versterkt.
- Warmteopslag: Er is beleid nodig voor de ondersteuning van energy hubs. Het lokaal organiseren van collectieve flexibiliteit draagt bij aan het voorkomen en beperken van de congestie-



problemen. Deze ontwikkeling komt vooral vanuit bedrijven(terreinen) die beperkt worden in hun groei en/of elektrificatie. Voor zover (collectieve) warmte per project een rol speelt, zal de stimulering van deze hubs ook bijdragen aan de implementatie van warmteopslag-technieken.

- Piekvoorziening: Het is van belang om aandacht te (blijven) houden voor het verdelingsvraagstuk: wat is maatschappelijk de beste verdeling van de schaarse duurzame grondstoffen in de toekomst. Het Nationaal Plan Energiesysteem zet hiervoor de richtingen uit. De komende jaren worden dit verder verkend en waar nodig bijgesteld. Voor de collectieve warmtevoorziening is het belangrijk dat er in 2050 tussen de 10 en 30 PJ beschikbaar is voor een toekomstbestendige piekvoorziening.

Belangrijke vraagstukken die aandacht vragen, maar (momenteel) strijdig zijn met staand beleid

- Piekvoorziening, gerelateerd: We moeten het gebruik van biomassa als transitiebandstof voor de collectieve midden- en pieklast richting 2050 (blijven) ondersteunen. Bijvoorbeeld door de SDE++-regeling aan te passen. Categorie biomassaketel aanpassen naar categorie voor midden- en pieklast (circa 1.000-2.000 vollasturen).

Signalen die niet te rijmen zijn met de beleidsdoelen of anderszins onbruikbaar zijn

- Piekvoorziening: We hebben tussendoelen nodig voor de verduurzaming van de pieklast in warmtenetten tussen 2030 en 2050. *> we streven niet naar aparte tussendoelen voor de bronnen, verduurzaming van de pieklast komt voor elk net op het passende moment tot stand onder de duurzaamheidsnorm in de Wcw.*
- Piekvoorziening: We moeten (aard)gasketels voor collectieve piekwarmte en back-upvoorziening kunnen blijven gebruiken tot aan 2050. *> staan klimaatdoelen en duurzaamheidsnorm Wcw niet toe.*



Bijlage C: Geconsulteerde sectorpartijen

- Ministerie van BZK
www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-binnenlandse-zaken-en-koninkrijksrelaties
- Ministerie van LNV
www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-landbouw-natuur-en-voedselkwaliteit
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO)
www.rvo.nl
- Interprovinciaal Overleg (IPO)
www.ipo.nl
- Vereniging van Nederlandse Gemeenten (VNG)
www.vng.nl
- Unie van Waterschappen
www.unievanwaterschappen.nl
- Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie (NPLW)
www.nplw.nl
- Nationaal Programma Regionale Energiestrategie (NP RES)
www.regionale-energiestrategie.nl
- Nederlandse Vereniging Duurzame Energie (NVDE)
www.nvde.nl
- Stichting Warmtenetwerk
www.warmtenetwerk.nl
- Energie Beheer Nederland (EBN)
www.ebn.nl
- Energie Samen
www.energiesamen.nu
- Topconsortium voor Kennis en Innovatie (TKI) Urban Energy
www.topsectorenergie.nl/en/maak-kennis-met-tse/tki-urban-energy/
- Nederlandse organisatie voor Toegepast-Natuurwetenschappelijk Onderzoek (TNO) www.tno.nl
- Klimaatgarant
www.klimaatgarant.nl
- Natuur en Milieu
www.natuurenmilieu.nl
- Netbeheer Nederland
www.netbeheernederland.nl
- Energie Nederland
www.energie-nederland.nl
- Holland Solar
www.hollandsolar.nl
- Uniper
www.uniper.energy
- Vattenfall
www.vattenfall.nl
- Geothermie Nederland
www.geothermie.nl
- HVC Groep
www.hvcgroep.nl
- Glastuinbouw Nederland
www.glastuinbouwnederland.nl
- Branchevereniging Bodemenergie
www.branchevereniging.bodemenergie.nl
- Eteck
www.eteck.nl

Dit is een publicatie van:

Ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG)
Bezuidenhoutseweg 73 | 2594 AC Den Haag
Postbus 20401 | 2500 EK Den Haag

Contact

www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-klimaat-en-groene-groei

© Klimaat en Groene Groei | augustus 2024
Publicatienummer: RVO-134-2024/RP-DUZA

Het ministerie van Klimaat en Groene Groei werkt samen met zijn partners aan een schoner en sterker Nederland. Door te werken aan een klimaatneutrale samenleving en door te investeren in mensen, innovatie en duurzame energie. Zodat we de kansen kunnen pakken voor een duurzame toekomst en ervoor zorgen dat iedereen hieraan een bijdrage kan leveren. Nu én later.

Foto omslag: Rob Poelenjee

Het Ontwikkelperspectief duurzame warmtebronnen
is ontwikkeld in samenwerking met:



Rijksdienst voor Ondernemend
Nederland

Nationaal Programma
RES Regionale
Energie
Strategie

NPLW Nationaal
Programma
Lokale Warmtetransitie