

Nationaal Programma
RES Regionale
Energie
Strategie

NPLW Nationaal
Programma
Lokale Warmtetransitie



Inhoudsopgave

Proclaimer

De factsheet is opgesteld op basis van vragen uit de regio's over de inzet van technologieën voor de RES-opgaves. CE Delft heeft in opdracht van NP RES op basis van de voornaamste objectieve bronnen een overzicht gemaakt van criteria per technologie of bron. NP RES heeft samen met CE Delft afgewogen keuzes gemaakt in het brongebruik op basis van RES relevante criteria. Voor warmte zijn de factsheets van NPLW leidend geweest. Waar aanvullende informatie benodigd was zijn andere bronnen geraadpleegd. Alle bronnen zijn vermeld. In de huidige versie van de NP RES factsheets 'Warmte' 'Elektriciteit en "opslag elektriciteit" zijn conversie en flexibiliteit van energie niet meegenomen. Gezien de taakstelling van de RES wordt voor nu beperkt tot opwekbronnen en -technologie. Informatie en beeldmateriaal mogen vrij geciteerd en gebruikt worden mits duidelijke bronverwijzing naar NP RES.

De factsheets zijn voorgelegd en afgestemd met Ministerie van Economische Zaken en Klimaat, Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, IPO, VNG, Unie van Waterschappen, NVDE, NPLW en Netbeheerders.

1. Introductie	3	Verdieping warmtebronnen	10
2. Facts & Figures	4	Restwarmte	11
3. Warmtenetten	6	Geothermie	14
4. Overzicht Warmtebronnen	7	Aquathermie	16
5. Inhoudelijke uitdagingen RES	9	Biomassa	18
		Afval Energie Centrale's	20
		Groengas	25
		Waterstof	27
		Zonthermie	29
		Warmte- en koudeopslag	32
		Uitleg Criteria	37
		Begrippenlijst	38

1. Introductie

Het Nationaal Programma Regionale Energiestrategie (NP RES) ondersteunt de 30 RES-regio's bij het maken en uitvoeren van de RES'en. Deze factsheet heeft als doel om de RES-regio's objectieve informatie te verschaffen over de meest voorkomende energiebronnen en opslag technieken waar in het RES-traject over wordt gesproken.

Deze factsheet is onderdeel van een set van twee. Voor meer informatie over bronnen voor elektriciteit, zie [de website](#). Beide factsheets hebben dezelfde indeling: allereerst gaan de factsheets in op de doelstelling van de RES en wordt de opgave toegelicht met een aantal voorbeelden. Vervolgens worden de verschillende energiebronnen voor elektriciteit of warmte met elkaar vergeleken. Per energiebron is tot slot een beknopte weergave opgenomen van de belangrijkste cijfers, kansen en aandachtspunten om deze beter te kunnen beoordelen.

De informatie in deze factsheet is beknopt, en daarmee niet uitputtend. Per energiebron zijn links opgenomen naar rapporten en websites met meer informatie.

Warmtetransitie in de RES

In de [Handreiking RES](#) wordt gevraagd om een Regionale Structuur Warmte (RSW) op te stellen en te actualiseren. Het doel van de RSW is om het aanbod van en de vraag naar duurzame warmte in beeld te brengen en om bovengemeentelijke ontwikkelkansen te identificeren ter ondersteuning van de lokale Transitievisies Warmte. Het gaat dan om de bovengemeentelijke warmtevraag, warmtebronnen en warmte-infrastructuur. Daarnaast is ook de verbinding met warmtevraag en -aanbod van de industrie en landbouw (met name de glastuinbouw) van belang. De focus van de RSW ligt dan ook op de warmtebronnen en de warmte-infrastructuur die een bijdrage kunnen leveren aan deze bovengemeentelijke warmteopgave.

Zie voor meer informatie de [website van het NP RES](#).

Warmtebronnen in deze factsheet

In deze factsheet ligt de focus op warmtebronnen die een bijdrage kunnen leveren aan een bovengemeentelijke warmteopgave. De volgende technieken worden behandeld: Restwarmte, geothermie, aquathermie, biomassa, groengas, waterstof & zonthermie. Ook opslag van warmte is onderdeel van deze factsheet.

[Restwarmte](#)
(HT/MT/LT)

[Geothermie](#)

[Aquathermie](#)

[Biomassa](#)

[Afval Energie
Centrale's](#)

[Groengas](#)

[Waterstof](#)

[Zonthermie](#)

Hoewel waterstof en groengas geen energiebron zijn, maar energiedragers, wordt in het document naar al deze bronnen en dragers verwezen als warmtebron. Voor aanvullende informatie over deze warmtebronnen en bronnen die op lokaal niveau een bijdrage kunnen leveren aan de warmtevoorziening (zoals warmtepompen, warmte-koudeopslag of zonthermie), zie de [factsheets Nationaal Programma Lokale Warmtetransitie \(NPLW\)](#).

[Warmte-
koudeopslag](#)

2. Facts & Figures

Om een goed beeld te kunnen vormen van de mogelijke warmtebronnen geven wij allereerst beknopt uitleg over veel voorkomende energiegrootheden. Daarnaast gaan we in op het gebruik van collectieve warmtevoorzieningen (warmtenetten).



Hoeveel verbruikt een gemiddelde woning?

Het aardgasverbruik in een gemiddelde woning in Nederland is **1.280 m³** per jaar. Gasverbruik in m³ kun je omrekenen naar bijvoorbeeld gigajoule (GJ) of kilowattuur (kWh): 1 m³ gas is 0,03165 GJ of 8,79 kWh. Om een gemiddeld huishouden te verwarmen is momenteel dus 40,5 GJ of 11.250 kWh energie nodig. Dat is meer dan vier keer zoveel als het huidige stroomverbruik van een gemiddeld huishouden: het gemiddelde elektriciteitsgebruik per woning is **2.810 kWh**



Hoeveel energie hebben we nodig?

Voor het aardgasvrij maken van **1,5 miljoen** woningen en andere gebouwen, moet meer dan 60 miljoen GJ (omgerekend bijna 1900 miljoen m³) aan aardgas vervangen. Het aardgasverbruik zal voor een deel vervangen worden door hernieuwbare elektriciteit en een deel door alternatieve duurzame energiedragers als warmte en groen gas. Bij elektrisch verwarmen met een warmtepomp zal de elektriciteitsvraag zo'n 3 tot 4 keer lager zijn dan 60 miljoen GJ. Dit komt doordat een warmtepomp naast elektriciteit ook warmte uit de grond, water of lucht gebruikt voor het verwarmen van een woning.



Vraag en aanbod

Vrijwel alle gebouwen in Nederland zijn aangesloten op het aardgasnetwerk. Bij de verduurzaming van de warmtevraag is dit niet meer vanzelfsprekend: niet iedereen zal meer gebruik maken van dezelfde energiedrager.

Het is van belang dat de vraag naar en het aanbod van warmte met elkaar in balans gebracht worden. Hierbij spelen de aanwezigheid van een warmtebron, de woningdichtheid, aansluitkosten, en isolatieniveau allemaal een rol. Alleen door het hele plaatje in beeld te hebben, kan bepaald worden waar welke warmtebron ingezet kan worden. In het samenspel tussen de RSW en de Transitievisie Warmte wordt dit verder inzichtelijk gemaakt.



Individueel vs collectief

Gebouwen kunnen op meerdere manieren worden verwarmd:

- Individueel per gebouw (zoals bijvoorbeeld met HR-ketel of een [\(hybride\) warmtepomp](#));
- Collectief met een warmtenet.

Voor meer informatie over de verschillende manieren van verwarming, zowel individueel als collectief, zie de [factsheets van het NPLW](#) of www.warmtetechnieken.nl.

In deze factsheet worden enkel de warmtebronnen verder toegelicht die geschikt zijn voor bovenregionale warmte-uitwisseling, omdat deze van belang zijn voor de Regionale Structuur Warmte (RSW). Welke oplossing er uiteindelijk per gebouw wordt gekozen is onderdeel van de Transitievisie Warmte.

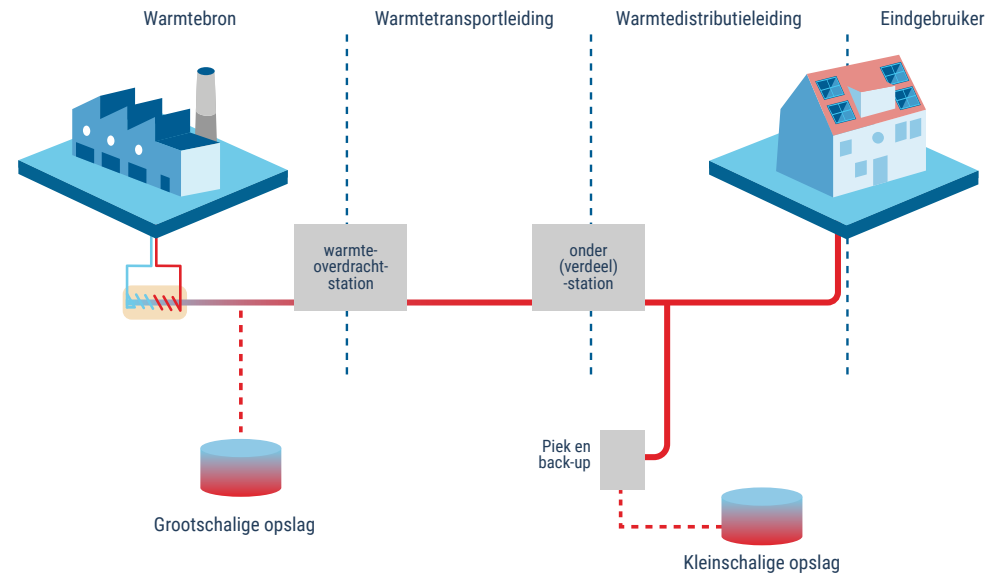
3. Warmtenetten

Warmtenetten vormen de verbinding tussen een groot-schalige warmtebron en de gebouwen van de klant: de eindgebruiker. Daartussen kan er sprake zijn van opslag van warmte, en eventueel een transportnet voor het leveren van warmte over grotere afstanden. Een warmtenet beschikt over een piek- en back-up-voorziening die ervoor zorgt dat bewoners altijd voldoende warmte kunnen krijgen.

De temperatuur van het warmtenet hangt af van de temperatuur van de warmtebron. Over het algemeen geldt: hoe lager de temperatuur van het warmtenet, hoe breder het scala aan bronnen is dat erop aangesloten kan worden.

Het NPLW hanteert de volgende typen warmtenetten, op basis van temperatuur:

- **Hogetemperatuur (HT):** >75 graden. Deze warmte kan in de meeste gebouwen rechtstreeks gebruikt worden. HT-warmtenetten hebben een hoog warmteverlies.
- **Middentemperatuur (MT):** 55-75 graden. Geschikt voor matig geïsoleerde woningen. Er zijn er verschillende typen warmtebronnen die warmte kunnen leveren op deze temperatuur.
- **Lagetemperatuur (LT):** 30-55 graden. Gebouwen moeten goed geïsoleerd zijn en aanpassing in het warmteafgiftesysteem is nodig. Wel kunnen op een LT-warmtenet meerdere bronnen aangesloten worden, zoals restwarmte van supermarkten en datacenters, aquathermie en [warmte-koudeopslag \(WKO\)](#). Tapwater moet separaat via een warmtepomp (bijvoorbeeld een boosterwarmtepomp) opgewarmd worden tot de wettelijke minimum temperatuur van 55°C op het tappunt.
- **Zeer lage temperatuur (ZLT):** 10-30 graden. Deze warmte moet altijd verder worden opgewarmd met een warmtepomp om geschikt te zijn voor ruimteverwarming. Meestal zijn deze netten ook geschikt voor koeling.



Met slim systeemontwerp kunnen warmtenetten van verschillende temperatuurniveaus op elkaar worden aangesloten. Zo kan retourwarmte van een HT-warmtenet gebruikt worden voor een LT-warmtenet.

Waar zijn warmtenetten geschikt?

Een warmtenet aanleggen is meestal een lokale aangelegenheid. Hoe dichter de afnemers bij elkaar staan, hoe minder leiding er hoeft worden aangelegd per gebouw en hoe lager de gemiddelde kosten en de [onrendabele top](#) worden. Uiteraard moet per project berekend worden of er een business-case is, maar over het algemeen geldt dat warmtenetten [rendabeler](#) zijn bij gestapelde bouw dan bij grondgebonden woningen.

Warmte van hoge temperaturen heeft meer energie-inhoud, en is daarom aantrekkelijker om over lange afstanden te transporteren.

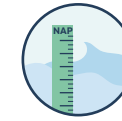
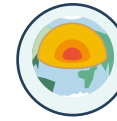
Als vuistregel kan de volgende indeling worden aangehouden.

- **< 75°C:** lokale bronnen, geschikt voor inzet binnen een gemeente, of de direct aansluitende buurgemeenten.
- **>75°C:** geschikt voor bovengemeentelijke warmtenetten door meerdere gemeenten heen.

Bij de distributie van warmte treden warmteverliezen op (warmte koelt af). Vooral oudere warmtenetten hebben hier vaak mee te maken. Moderne warmtenetten zijn beter geïsoleerd en ontworpen, waardoor ze warmte over langere afstanden kunnen vervoeren.

Bij de planning en aanleg van warmtenetten is het van belang dat vraag en aanbod gecombineerd worden: de leverancier dient voldoende zekerheid te hebben dat er genoeg afnemers van warmte zijn voor het realiseren van een warmtebron. Hiervoor moet de warmtevraag geconcentreerd zijn (dichte bebouwing), is er een bron nodig die deze warmte kan leveren, en de gebouwen moeten geschikt zijn voor de temperatuur van het net: hoe lager de temperatuur van het net, hoe beter het isolatieniveau moet zijn.

4. Overzicht Warmtebronnen



In de warmtetransitie kunnen verschillende warmtebronnen worden ingezet. Er zijn echter grote verschillen tussen deze bronnen. De tabel hiernaast geeft een beknopt overzicht van alle warmtebronnen. Warmtekuoepslag is geen bron van warmte, en wordt in de [verdieping](#) afzonderlijk behandeld. Dit overzicht gaat uit van de huidige kennis en stand der techniek. Meer informatie per warmtebron kunt u [hier](#) terugvinden.

	Restwarmte (HT/MT/LT)	Geothermie	Aquathermie
	Warmte die overblijft bij processen van bedrijven	Gebruik van warmte uit de diepe ondergrond vanaf 500 meter en dieper	Warmte uit oppervlaktewater, afvalwater of drinkwater op lage temperaturen. Het is vaak gecombineerd met een warmte-kuoepslag (wko) installatie
Bijdrage aan de doelen in de RES	Ja	Ja	Ja
Bijdrage aan CO ₂ -reductie 2050	Ja	Ja	Ja
Maatschappelijke Aandachtspunten	Herkomst restwarmte, continuïteit warmtelevering	Effecten op ondergrond, voornamelijk seismiek en grondwater	Bron van lage temperatuur: <ul style="list-style-type: none"> • LT-net alleen geschikt voor goed geïsoleerde woningen (zoals nieuwbouw) • Voor een MT-net is elektrische collectieve opwaardering nodig Robuustheid bron (niet het hele jaar gegarandeerd warmte) Bij TEO: ecologie
Technische realisatie voor 2030			
Doorlooptijd projectontwikkeling zonder aanleg warmtenet	5-15 jaar , verschilt sterk	3,5 - 9,5 jaar	10-15 jaar Voornamelijk afhankelijk van de aanleg van het warmtenet
Kosten (€/MWh)	10 - 37	47-60	TEO: 73-114 TEA: 80
Ruimtelijke impact	n.v.t.	Boorlocatie: 0,6 - 1 hectare Als installatie gereed is: ongeveer 0,3 ha	Afhankelijk van de karakteristieken van de bron
Relevantie voor bovenregionale warmte-uitwisseling	Geen relevantie Duidelijke relevantie HT MT LT	Geen relevantie Duidelijke relevantie 	Geen relevantie Duidelijke relevantie



	Biomassa	Warmte uit afval (AEC)	Groengas	Waterstof	Zonthermie
	Biomassaketel die wordt ingezet om een warmtenet van warmte te voorzien bij pieken in de warmtevraag (pieklasketel)		Biomassavergister in combinatie met opwaarderingsinstallatie om biogas op te waarden tot groengas	Waterstofketel die wordt ingezet om een warmtenet van warmte te voorzien bij pieken in de warmtevraag (pieklasketel)	Opwekking van warmte uit zonnestraling door zonnecollectoren
Bijdrage aan de doelen in de RES	Ja	Ja	Ja	Nee	Ja
Bijdrage aan CO ₂ -reductie 2050	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Maatschappelijke Aandachtspunten	Duurzaamheid en herkomst biomassa, beschikbaarheid, Luchtkwaliteit	Circulaire economie, Continuïteit, Import/export afval, mogelijk tussen 2028 en 2030 onder ETS, nationale CO ₂ -heffing industrie	Duurzaamheid en herkomst van biomassa als grondstof, Beschikbaarheid, kostprijs Verdeling van groengas: wie krijgt het?	Beschikbaarheid, toekomstige kostprijs. Indien er waterstof wordt toegepast die niet groen is, gelden aanvullende aandachtspunten voor duurzaamheid. Hiernaast geldt dat de inzet van groene waterstof bij voorkeur plaatsvindt in sectoren die weinig tot geen alternatieven kennen (industrie, luchtvaart), teneinde het gehele energiesysteem het meest efficiënt in te richten.	Bron vooral op lokaal niveau, Warmtevraag en de warmteopwekking zijn niet altijd gelijktijdig, dus gekoppeld aan een thermische opslag.
Technische realisatie voor 2030					
	Niet te realiseren Zeker te realiseren	Niet te realiseren Zeker te realiseren	Niet te realiseren Zeker te realiseren	Niet te realiseren Zeker te realiseren	Niet te realiseren Zeker te realiseren
			Technisch haalbaar, maar momenteel niet rendabel zonder subsidie	Waterstof is in 2030 nog onvoldoende beschikbaar en te duur	
Doorlooptijd projectontwikkeling	1-2 jaar	Uitkoppelen 1-5 jr, verschilt sterk per AEC	Enkele jaren (afhankelijk van schaal, locatie en type vergister)	Enkele jaren (afhankelijk van schaal en locatie)	Enkele jaren voor grootschalige projecten
Kosten (€/MWh)	34-83	11,90 – 40,50 (SDE++ 2024, categorieën “restwarmtebenutting zonder warmtepomp”).	10-120	Minimaal 150	99-117
Ruimtelijke impact	Onbekend (afhankelijk van schaal en locatie)	N.v.t. (indien huidige 12 AEC's blijven)	Voor een vergister van 10 MW is 0,5-2 ha nodig	Onbekend	Afhankelijk van schaal, kan op daken of veldopstelling
Relevantie voor bovenregionale warmte-uitwisseling					
	Geen relevantie Duidelijke relevantie	Geen relevantie Duidelijke relevantie	Geen relevantie Duidelijke relevantie	Geen relevantie Duidelijke relevantie	Geen relevantie Duidelijke relevantie

5. Inhoudelijke uitdagingen RES

Bovengemeentelijke warmtebronnen benutten voor het energiesysteem

Als onderdeel van de RES 1.0 heeft iedere regio een RSW (Regionale Structuur Warmte) opgeleverd. Het doel van de RSW in deze fase was om het aanbod van en de vraag naar duurzame warmte in beeld te brengen en om bovengemeentelijke ontwikkelkansen te identificeren. Deze inzichten waren input voor de Transitievisie warmte (TVW) die door de gemeente is opgesteld. Het is aan te raden om de RSW regelmatig te actualiseren. Het benutten van warmtebronnen is onderdeel van een robuust, rechtvaardig en duurzaam energiesysteem. Gebruik van warmtebronnen draagt bij aan minder elektrificatie, waardoor de druk op het elektriciteitsnet kan worden verminderd.

Diverse regio's hebben de RSW de afgelopen periode geactualiseerd. Een actueel overzicht van bronnen is belangrijk inclusief duidelijkheid en afspraken over wie welke bron gaat benutten. Ook is en blijft het belangrijk om scherp zicht te hebben waar geen bronnen zijn en dus elektriciteit nodig is om huizen duurzaam te verwarmen. Ook in wijken zal steeds meer sprake zijn van netcongestie. Uitbreiding van het laagspanningsnetwerk is nodig om opwek, mobiliteit en warmtetransitie in de wijken te realiseren. Het concept Nationaal Plan Energiesysteem geeft aan dat het goed benutten van beschikbare warmtebronnen essentieel is voor het toekomstig energiesysteem.

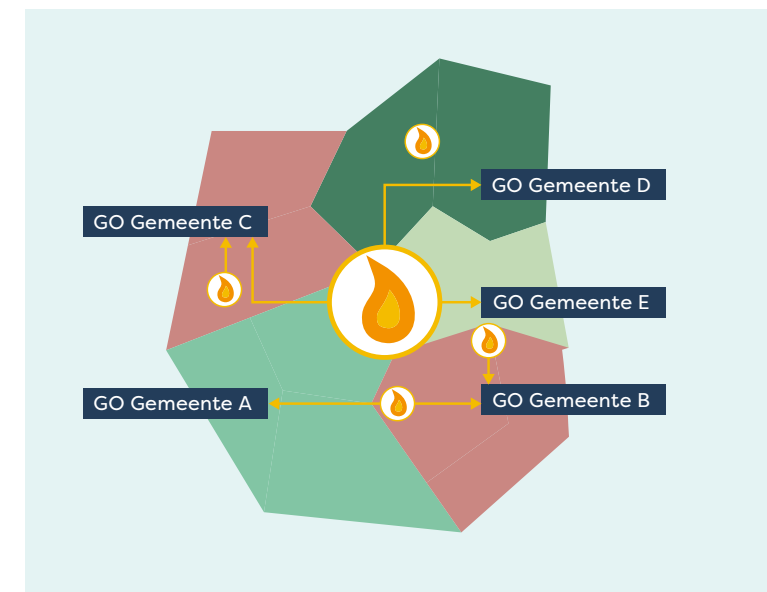
De gemeenten en daarmee ook de regio's staan nu voor de opgave om van identificeren en analyseren van bronnen naar het toewijzen van bronnen te gaan. Hierbij ziet het NP RES samen met het NPLW de volgende te nemen stappen:

1. Warmte en elektriciteit zijn communicerende vaten in het energiesysteem. Het optimaal benutten van warmtebronnen is essentieel. Een volgende stap zetten met betrekking tot het toewijzen en ingebruikname van de bronnen is daarvoor nodig.
2. Maak concreter op wijkniveau hoe de verduurzaming plaats gaat vinden (warmtenet, elektrificatie of hybride). Spreek daarover tijdig met netbeheerders (belasting en uitbreiding net) en provincies (programmeren en prioriteren netinfrastructuur pMIEK) en communiceer hier ook over met betrokkenen zoals gebouw eigenaren, inwoners. Niet kiezen heeft gevolgen die in de praktijk neerkomen op individuele elektrische oplossingen.
3. Maak met elkaar – tussen gemeenten, netbeheerder en provincie - de stap van analyse fase naar toewijzing van bronnen en concretere uitwerking in de praktijk. Denk daarbij aan het koppelen van de warmtebronnen (aan de lokale warmte vraag. Het is belangrijk in aanloop naar het warmteprogramma, (instrument Omgevingswet) dat alvast een concretiseringslag is gemaakt.

Daarnaast is het van belang om inwoners tijdig duidelijkheid te geven over de geplande warmtekeuze. Komt er op termijn een warmtenet of wordt het hoe dan ook elektrificatie? Als je het de komende 10 jaar nog niet weet is een hybride warmtepomp verstandig om desinvesteringen te voorkomen en opties open te houden voor een warmtenet. Duidelijkheid voorkomt dat individuele warmte keuzen de business case van collectieve oplossingen verzwakken.

4. Houd in de warmtetransitie rekening met netcongestie. Het gebruik van duurzame warmtebronnen is anders dan elektriciteit, helpt bij het verlagen van de druk op het elektriciteitsnet en kan vanuit systeem perspectief de voorkeur hebben. In een aantal regio's is de beschikbaarheid van duurzame (bovenlokale) warmtebronnen beperkt of niet aanwezig. Hier zal met name de duurzame warmtevraag worden ingevuld met volledig elektrische-of een hybride vorm van verwarming.

Het vraagt goede en voortdurende afstemming met de netbeheerder en met andere gemeenten in het gebied om te bezien hoe de warmtetransitie van een wijk raakt aan het lokale energiesysteem. Kan de wijk volgens de planning van de TVW of het warmteprogramma verduurzamen of is netuitbreiding nodig en zo ja wanneer is die voorzien?



Verdieping warmtebronnen

De volgende pagina's gaan dieper in op de acht warmtebronnen. We gaan in op de warmtebron, de stand van zaken en ontwikkelingen in de markt. Onder het kopje criteria geven we een onderbouwing voor de hoofdtabel in deze factsheet. Hier bespreken we de belangrijkste randvoorwaarden en criteria die noodzakelijk zijn voor de realisatie van de warmtebron. Tot slot hebben we in de factsheets verwijzingen opgenomen naar websites en rapportages waar meer informatie gevonden kan worden over de specifieke warmtebron.

Restwarmte
(HT/MT/LT)

Geothermie

Aquathermie

Biomassa

Afval energie
centrale's

Groengas

Waterstof

Zonthermie

Warmte- en
koudeopslag



Restwarmte

Bij veel processen in de industrie en bij koeling van bijvoorbeeld datacenters, komt warmte vrij. Wanneer deze warmte niet meer economisch rendabel te gebruiken is wordt dit restwarmte genoemd. Restwarmte is per definitie CO₂-vrij, voor het produceren ervan is immers geen extra energie nodig. Restwarmte wordt in veel gevallen geloosd op het oppervlaktewater of naar de lucht via rookgassen of verdamping via koeltorens. Maar restwarmte kan ook worden ingezet om water in een warmtenet te verwarmen. Een warmtenet brengt het warme water naar bebouwing, waar de warmte kan worden gebruikt voor het verwarmen van kassen, gebouwen en tapwater. Deze factsheet richt zich op de mogelijkheden van afgifte van restwarmte aan een warmtenet.

De restwarmte kan van verschillende temperatuurniveaus zijn (zie tabel). Dit heeft invloed op de toepassing van de warmte, zie ook het hoofdstuk [Warmtenetten](#). In Nederland zijn op dit moment verschillende projecten gerealiseerd waarbij de industrie restwarmte afstaat aan een warmtenet. Uitwisseling van restwarmte tussen verschillende bedrijven wordt al veel gebruikt. Bij restwarmteprojecten gaat het altijd om maatwerk. Naast de levering van restwarmte is er vaak een andere bron nodig die zorgt voor back-up en piekwarmte.

	Voorbeelden van bedrijven met dit soort warmte	Opmerking
> 100 °C (in de vorm van stoom)	Zware industrie	Vaak ook door andere bedrijven in de omgeving te gebruiken
75 °C - 100 °C	Industriële processen, chemie	
55 °C -75 °C	Papierfabriek, elektrolyzers, voedingsmiddelenverwerker	
<55 °C	Bedrijven met koeling: datacenters, supermarkten, ijsbanen	

Ontwikkelingen en relevantie

In 2022 was [6,7%](#) van de woningen aangesloten op een warmtenet. In 2010 was dit nog 4%. In 2022 was [8,8%](#) van de geleverde warmte aan warmtenetten restwarmte. In de aangekondigde wet collectieve warmte krijgt een warmtebedrijf een 'ophaalrecht' een bedrijf met restwarmte is verplicht om gesprekken aan te gaan om te kijken of zij warmte kunnen leveren indien een warmtebedrijf hierom verzoekt. Het bedrijf moet deze warmte om niet leveren, en krijgt enkel een vergoeding voor de gemaakte kosten om de warmte uit te koppelen, de aangekondigde wet bevat hiervoor aanvullende regels.

Alle bedrijven in Nederland hebben vanaf 1 december 2023 de verplichting om de aanwezige warmtestromen in hun bedrijf in kaart te brengen. Dit volgt uit de [onderzoeksplicht](#) uit de Wet milieubeheer/ het Besluit activiteiten Leefomgeving.

Restwarmte is per definitie CO₂-vrij. De primaire energie wordt wel vaak opgewekt met fossiele brandstof. Wanneer een warmtepomp wordt ingezet om de temperatuur van de beschikbare restwarmte te verhogen, is de CO₂-uitstoot gelijk aan die van de elektriciteit die nodig is. Naast restwarmte hebben bedrijven soms ook aftapwarmte, wat vaak wordt verwarmd met restwarmte. Aftapwarmte is warmte uit bijvoorbeeld een afvalverbrandingsinstallatie of energiecentrale. Bij aftapwarmte wordt bewust extra energie gebruikt voor de productie van de warmte. Deze warmte is dus niet CO₂-vrij, en valt niet onder de definitie van restwarmte.



Criteria

- Schaalgrootte:
Afhankelijk van de restwarmtebron, bestaande restwarmtebronnen verwarmen vaak vele duizenden woningen.
- Ruimtebeslag (componenten):
 - Aanpassingen aan het industriële proces
 - Warmtewisselaar op locatie restwarmtebron
 - Aansluiting op warmtenet
 - Extra voorziening nodig voor piekbelasting.
- Doorlooptijd: een restwarmteproject is altijd maatwerk. Technisch is het vaak niet ingewikkeld, organisatorisch wel. De doorlooptijd is voornamelijk afhankelijk van het schaalniveau. Het aansluiten van een restwarmtebron op een bestaand warmtenet kost minimaal 2 jaar. Bij een nieuw warmtenet is de tijdsduur in grote mate afhankelijk van de realisatie van het warmtenet zelf, dit kan vele jaren in beslag nemen.
- Investeringskosten: [618€/kWth tot 1876 €/kWth](#) (afhankelijk van lengte van de transportleiding en het eventueel toepassen van een warmtepomp)
- Kostprijs: [10-37 €/MWh](#)
- Continuïteit warmteafgifte:
 - Veel restwarmtebronnen zijn eindig en het gebruik ervan kan gezien worden als overgangsfase naar andere duurzame energiedragers.
 - Er moet gezorgd worden voor back-upopties, voor het geval de bron verdwijnt of stilligt, daarom is het verstandig om gebruik te maken van meerdere bronnen op één warmtenet.
- Locatie:
 - Restwarmte bevindt zich op plekken met industrie of bedrijven die koeling nodig hebben.
 - Locaties hiervan zijn te vinden in de Warmteatlas.
 - Er is aanvullend, lokaal onderzoek nodig om alle bronnen en hun geschiktheid te bepalen.
- Restwarmtewinning vindt bij voorkeur plaats in de buurt van dichtbebouwd gebied. Transportleiding van een HT-net (> 70 °C) kunnen tientallen kilometers lang zijn, maar voor LT- en MT-warmte is dit minder geschikt.
- Aanbod in de tijd: het aanbod van restwarmte is vaak vrij constant over het jaar heen, maar de vraag naar warmte bestaat vooral in de winter. Meestal wordt een andere warmtebron, vaak een gasketel, gebruikt voor de momenten dat restwarmte niet in de vraag kan voorzien. Vraag en aanbod van warmte kunnen ook in balans gebracht worden door [opslag van warmte in de ondergrond](#).



Meer lezen?

Algemene informatie restwarmte:
[Factsheet restwarmte NPLW](#)

Stand van zaken restwarmte:
[Restwarmte: de stand van zaken](#)

Verkenningen restwarmte Rijkswaterstaat: [Verkenning warmtelozingen en duurzaam hergebruik restwarmte](#)

Beschikbaarheid van restwarmte: www.warmteatlas.nl

Restwarmte uit datacenters:
<https://www.rvo.nl/ndernemen/duurzame-energie-opwekken/restwarmte/restwamte-datacenters>

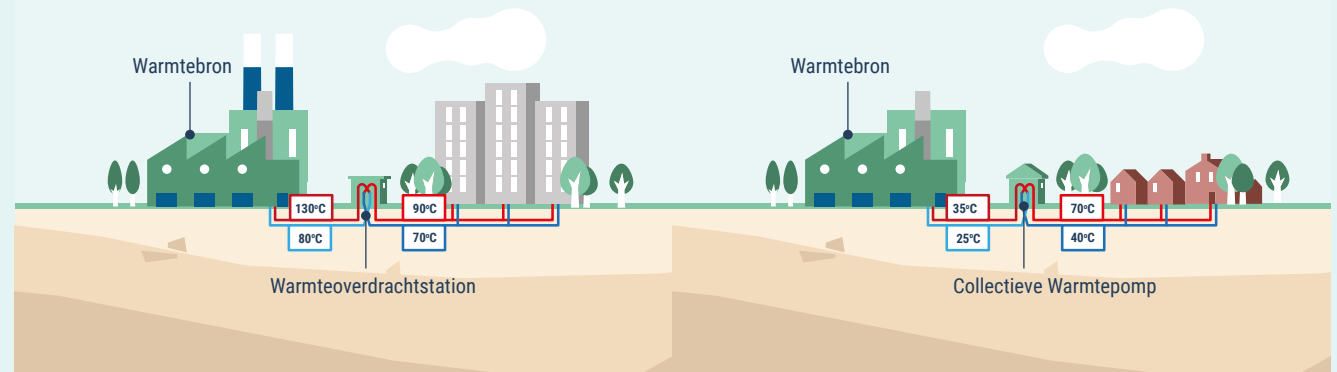
Algemene informatie LT-warmtenet:
[Factsheet LT-warmtenet](#)

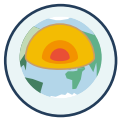
Algemene informatie HT-warmtenet:
[Factsheet HT-warmtenet](#)

Voorbeeld:
Restwarmte

Inzet van restwarmte bij middentemperatuur warmtenetten

Inzet van restwarmte met een lagere temperatuur bij middentemperatuur warmtenetten





Geothermie

In de bodem is warmte opgeslagen: hoe dieper je gaat, hoe warmer het wordt. Geothermie, ook wel aardwarmte genoemd, is het gebruik van deze warmte uit de diepe ondergrond (vanaf 500 meter diepte). Het benutten van warmte (en koude) uit de ondiepe ondergrond (tot 500 meter diepte) wordt bodemenergie genoemd. Bodemenergie kan benut worden met bodemenergiesystemen, zoals een bodemwarmtepomp en een warmtekoudeopslagsysteem (WKO-net). Het NPLW heeft een [factsheet opgesteld over bodemenergie/WKO](#) die hier verder op in gaat.

Om de warmte uit de diepe ondergrond te benutten moeten twee putten, een zogenaamd doublet, worden geboord: de productieput en de injectieput. De productieput pompt het warme water omhoog. Vervolgens wordt de warmte via een warmte-wisselaar afgegeven aan een warmtenet. Het afgekoelde water wordt via de injectieput terug naar dezelfde aardlaag gepompt. Hoe dieper de boring, hoe hoger de temperatuur van het water, en hoe hoger de kosten van de boring. Geothermie is alleen mogelijk op locaties waar voldoende potentie is in de ondergrond. Daarnaast bepaalt de diepte van de boring de temperatuur van het water: op 1 kilometer is de temperatuur ongeveer [40 °C](#), [op 2 kilometer diepte ca. 70 °C](#). Hoeveel woningen verwarmd kunnen worden hangt af van de potentie van de ondergrond en de diepte van de boring. Een gemiddelde put van 15 MW kan ongeveer [7.500 huizen verwarmen](#).

Een geothermieput levert het hele jaar door warmte, deze kan dus niet 'aan' of 'uit' gezet worden. Vandaar dat er altijd een piek/back-upinstallatie nodig is om de piekwarmtevraag in koudere periodes te leveren of als de bron uitvalt.

Ontwikkelingen

Huidige stand geothermie: momenteel wordt er in Nederland op [26 locaties aardwarmte gewonnen](#) (samen leveren deze 6,8 PJ), voornamelijk voor verwarmen van de glastuinbouw. Op dit moment is er één bron actief die primair worden gebruikt voor het verwarmen van woningen: de geothermieput van [Haagse Aardwarmte in Den Haag](#).

De potentie van geothermie is groot: naar verwachting kan de productie opgeschaald worden naar 50 PJ in 2030 en zelfs tot 200 PJ in 2050. Dit komt overeen met de warmtevraag van ongeveer 3,8 miljoen gebouwen. De potentie is niet overal bekend. Deze zogenaamde '[Witte vlekken](#)' zijn in kaart gebracht door TNO. Momenteel wordt met het SCAN-project in kaart gebracht waar de beste kansen zijn om aardwarmte te benutten. Opschalen naar de gebouwde omgeving is een uitdaging, maar wordt onderzocht in diverse projecten waaronder de [Innovatie Roadmap Geothermie Nederland](#). Het Masterplan Aardwarmte geeft aan welke innovaties en verbeteringen nodig zijn zodat geothermie een groot aandeel van de warmtevraag kan invullen. Voor gemeenten is een [handreiking](#) opgesteld hoe om te gaan met geothermieprojecten. Daarnaast is recentelijk een speciaal [testcentrum geopend waarin projecten getest kunnen worden](#).

Ultradiepe geothermie (> 4km), levert warmte van > 120 °C. Hiermee kan ook stoom en elektriciteit worden geproduceerd. Er zijn geen werkende ultradiepe geothermie bronnen in Nederland. Er zijn de afgelopen jaren [vele studies](#) uitgevoerd om de potentie van deze techniek te onderzoeken, maar voorlopig is geconcludeerd dat de kosten voor zo een diepe boring [niet leiden tot een rendabele businesscase](#).

Criteria

Criteria voor het realiseren van een geothermieboring op 2-4 km diepte:

- Vergunning valt onder Mijnbouwwet
- Potentie in de ondergrond (Thermogis) > 7 MW
- Voor concrete projecten is altijd aanvullend onderzoek nodig.
- Voldoende warmtevraag nodig (ca 4.000 woningen)
- Ruimte voor boring: ongeveer één voetbalveld, met tijdelijk een toren van ca. 50 m hoog. Uiteindelijk resteert enkel een gebouw voor de pompen (ca. 100 m²)
- Investeringskosten: [1105-1888 €/kW](#)
- Kostprijs: [47-60 €/MWh](#)
- Doorlooptijd: 3-4 jaar. Hierbij is er vanuit gegaan dat de warmtevraag is geregeld. Als dit is geregeld, is de vergunningverlening een belangrijke factor, maar ook wachttijd op een boortoren en de boring zelf.
- Uitgebreid geologisch onderzoek is nodig voor de boring van start kan gaan. Een belangrijk onderdeel hiervan is de risicoanalyse op o.a. de kans op trillingen in de ondergrond en de kwaliteit van de bodem en het grondwater.

Meer lezen?

Zie de factsheet [geothermie van het NPLW](#),

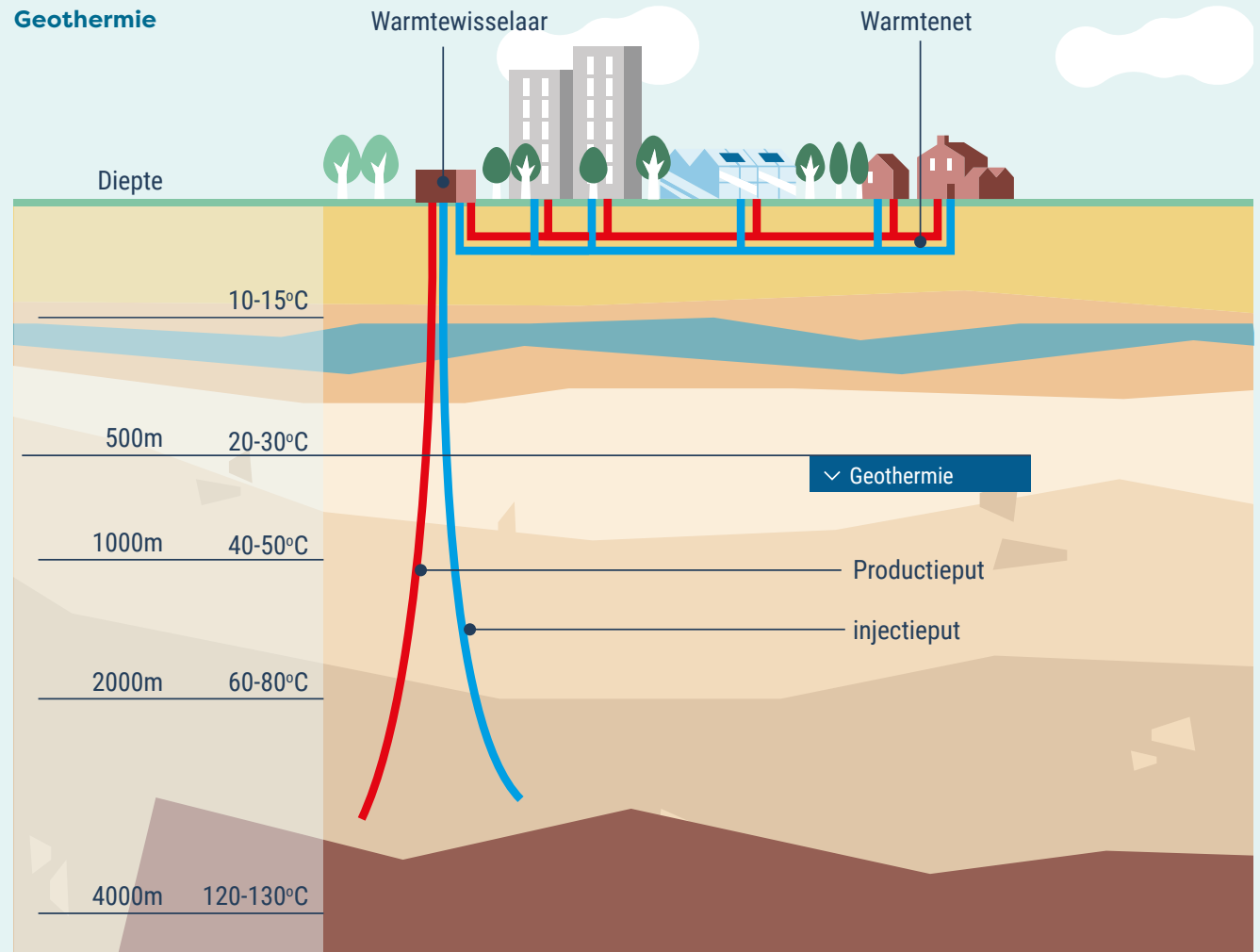
Technische uitleg en aandacht voor de wet- en regelgeving: <https://hoewerkaardwarmte.nl/>

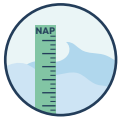
Algemene informatie geothermie / sectororganisatie: www.geothermie.nl

Informatie over ondergrond voor geothermie en de geschiktheid om warmte te winnen: [ThermoGIS](#) of de [Warmteatlas](#)

Voor het realiseren van geothermieprojecten heeft NPLW een [handreiking](#) gepubliceerd met tips over bijvoorbeeld de rol van gemeentes en financieringsmogelijkheden.

Voorbeeld: Geothermie





Aquathermie

Nederland is een waterrijk land, zowel aan de oppervlakte als in de bodem. Aquathermie is de benutting van de warmte én koude uit oppervlaktewater, afvalwater of drinkwater. De warmte of koude kan rechtstreeks benut worden of worden opgeslagen voor gebruik op een later moment. De bodem speelt hierin een centrale rol als buffer. Zo kan de warmte in de zomer worden gewonnen en opgeslagen, en in de winter weer gebruikt worden. Dit principe werkt tegenovergesteld voor koude. Verschillende mogelijkheden van opslag zijn mogelijk, waaronder opslag in de bodem zoals [warmte- en koudeopslag \(WKO\)](#), hoge- of midden temperatuur opslag (HTO/MTO), of een buffervat.

Warmte die gewonnen wordt moet opgevaardeerd worden om tot de gewenste temperatuur te komen. Dit kan centraal met een collectieve warmtepomp, of met een individuele warmtepomp. Er moet dus energie worden toegevoegd, in de vorm van elektriciteit. In beide gevallen wordt de warmte (of koude) via een warmtenet getransporteerd naar de huizen. Dit kan zowel met een lagetemperatuurnet (LT-net) en een midden-temperatuurnet (MT-net). Een LT-net is alleen geschikt voor gebouwen die goed geïsoleerd zijn, voor bestaande bouw is een MT-net vaak geschikter (zie ook de Facts & Figures). De bron van aquathermie mag niet ver weg van de gebruikers af liggen voor een rendabel project, wat ook geldt voor andere bronnen. Voor aquathermie bronnen varieert dit [van enkele honderden meters bij kleine projecten tot maximaal enkele kilometers](#). Aquathermie heeft de potentie om een [aanzienlijke bijdrage](#) te leveren in de energietransitie van de gebouwde omgeving. In het [Netwerk Aquathermie](#) werken verschillende partijen samen om de benutting van aquathermie in de gebouwde omgeving te bevorderen. In Nederland zijn momenteel zo'n [65](#) toepassingen gerealiseerd.

Ontwikkelingen

Verschillende studies hebben de potentie van aquathermie voor het invullen van de warmtevraag in Nederland onderzocht. Belangrijk hierbij is het verschil tussen technische potentie (waar het mogelijk is) en economische potentie (waar het mogelijk en dichtbij voldoende warmtevraag is).

[Het economische potentieel is:](#)

TEO: 150 PJ per jaar (ongeveer 40% van de warmtevraag)

TEA: 56 PJ per jaar

TED: 4-6 PJ per jaar

Vanuit de [Green Deal Aquathermie](#) en van daaruit het [Netwerk Aquathermie](#) wordt gewerkt om deze potentie beter te benutten. Momenteel zijn er nog weinig projecten die bestaande woningen van warmte voorzien. Er zijn grote projecten in ontwikkeling. Ook partijen als waterschappen en drinkwaterbedrijven zijn ook bezig om kennis en ervaring op gebied van aquathermie uit te breiden. Door warmte uit oppervlaktewater te onttrekken kan de waterkwaliteit in de zomer verbeteren.

Innovaties gebeuren vooral op het terrein van de warmtepomp, maar ook op filters en warmtewisselaars: een hoger rendement betekent dat er minder elektriciteit nodig is om de warmte naar de juiste temperatuur te krijgen. Innovaties bestaan ook op het terrein van opslag van hogere temperaturen (HTO), integratie met andere warmtebronnen, en de verduurzaming van de piekvoorziening (is nu vaak nog aardgas).

Meer ervaring is nodig om warmtenetten, met name lagetemperatuurnetten, op een kostenefficiëntere manier aan te leggen, en toepassing hiervan in de (bestaande) gebouwde omgeving.

Criteria

Criteria voor warmte uit oppervlaktewater, afvalwater of drinkwater op lage temperaturen:

- Voor de opslag van warmte in de bodem moet de bodem geschikt zijn. De [WKO-bodemenergietool](#) geeft hier een eerste verkenning in
- Voor vergunningaanvragen en ontwerp/haalbaarheidsstudies is aanvullend onderzoek nodig.
- Vergunning nodig van waterbeheerder
- Afstand tot warmtebron: hoe dichter bij de warmtebron hoe beter, voor een grote bron [maximaal 5 km](#)
- Voldoende warmtevraag: per buurt > [2.000 GJ](#)
- Warmtevraag dichtheid: > [600 GJ/ha](#)
- (dit zijn ongeveer [20 woningen per ha](#))
- Woningen moeten voldoende geïsoleerd zijn voor een MT- of LT-warmtenet.
- Voldoende ruimte op het elektriciteitsnet, met name bij individuele opwaardering (bij een LT-net)
- Investeringskosten TEO: [1393-2444 €/kW](#) (Afhankelijk van de capaciteit)
- Kostprijs TEO: [73-114 €/MWh](#) (Afhankelijk van de capaciteit)
- Investeringskosten TEA: [1338 €/kW](#)
- Kostprijs TEA: [80 €/MWh](#)
- Ruimtegebruik: aanleg van opslagsysteem (meestal groten-deels ondergronds) en warmtepomp.



Meer lezen?

Factsheets over [aquathermie](#) & [bodemenergie/WKO](#) van NPLW

[Netwerk Aquathermie](#)

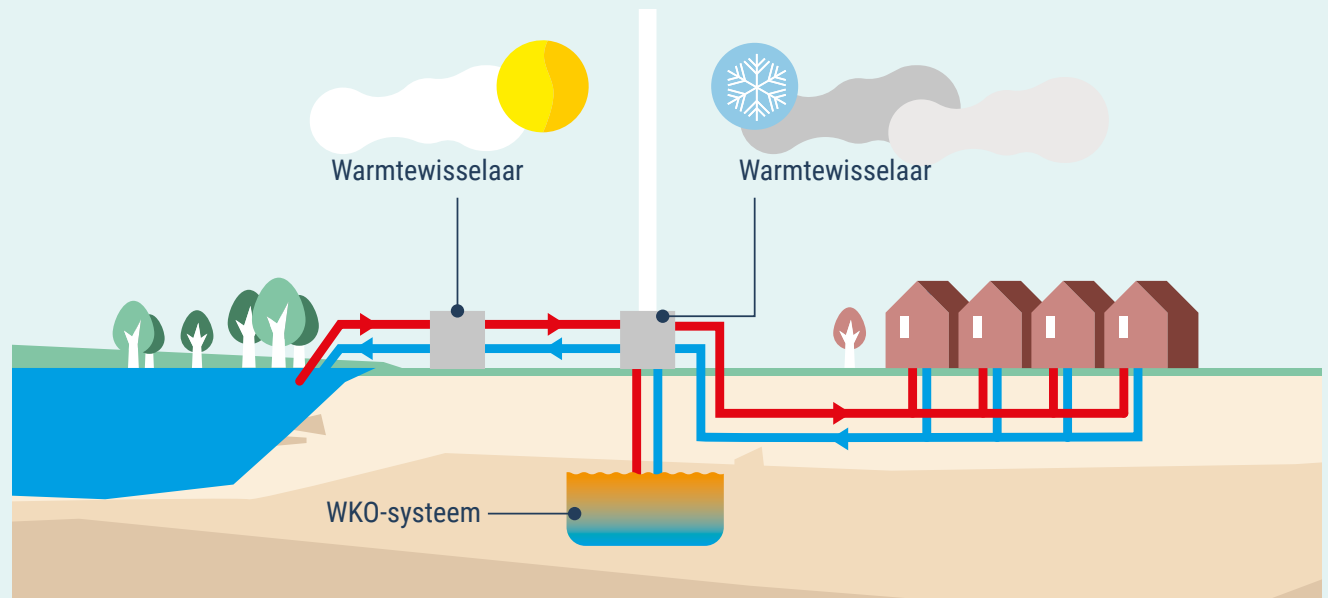
Unie van Waterschappen: <https://www.uvw.nl/thema/duurzaamheid/thermische-energie/>

[Handreiking aquathermie](#) van STOWA (kenniscentrum van de regionale waterbeheerders in Nederland) en informatiepagina's over [TEO](#) en [TEA](#)

Overzicht [praktijk](#) Aquathermie

Voorbeeld:

Thermische energie uit oppervlaktewater (TEO)



Lagere temperatuur water en extra zuurstofopname.
Verkoeling in stedelijke gebieden

Verbeterde waterkwaliteit

- minder kans op blauwalg
- minder kans op botulisme
- minder drijfzand

In de zomer wordt de warmte uit aquathermie opgeslagen in het WKO-systeem.

In de winter wordt de opgeslagen warmte in het WKO-systeem gebruikt om een laagtemperatuur warmtenet te voeden en daarmee woningen te verwarmen.



Biomassa

Biomassa is een stabiele en flexibele warmtebron en omvat veel verschillende soorten (hout, rioolslib, mest, GFT). Het kan in groengas worden omgezet (zie de uitwerking '[Groengas](#)'), maar het kan ook direct in warmte worden omgezet in een warmtecentrale (ketel) of houtkachel. Een ketel kan dienen als basisproductie-eenheid of pieklastvoorziening van een warmtenet. Kleinere ketels kunnen een wijk of flat verwarmen. De temperatuur van de geleverde warmte is hetzelfde als bij een cv-ketel, waardoor radiatoren in gebouwen niet hoeven worden aangepast. Een andere optie is de verbranding van vaste biomassa in kachels en ketels in woningen. Uitstoot van fijnstof is hierbij een punt van aandacht, dit kan met filters en katalysatoren worden beperkt.

Er bestaan veel verschillende typen biomassa. Niet alle typen zijn duurzaam en bovendien is de beschikbaarheid van duurzame biomassa beperkt. [Zie ook de factsheet Elektriciteit.](#)

Ontwikkelingen

De beschikbaarheid van reststromen uit Nederland is beperkt en daarom hebben hoogwaardige toepassingen zoals grondstof in de chemie of als materiaal de voorkeur. Nederland zet erop in om het laagwaardig gebruik van biomassa (zoals bijv. voor warmte of elektriciteit) uit te faseren en na 2030 zal het gebruik van biomassa voor warmtenetten dan ook afgebouwd worden ([Min van I&W, 2020](#)). Er is geen SDE subsidie meer beschikbaar voor warmte met biomassa voor de gebouwde omgeving. Momenteel levert biomassa rond de 4% van de warmtevraag in de subsector woningen van de gebouwde omgeving ([PBL, 2022](#)).

De realisatie van nieuwe bioketels kan tot weerstand bij omwonenden leiden. Meestal gaat dit om zorgen over duurzaamheid en de luchtkwaliteit. De bioketels moeten echter aan strenge uitstooteisen voldoen.

Voorbeeld: Een bioketel en twee hulpketels produceren warmte uit houtsnippers voor het warmtenet in Purmerend. De bioketel heeft een capaciteit van 44 MWth en verstoekt jaarlijks 100.000 ton aan houtsnippers. Deze zijn een bijproduct van natuur- en landschapsbeheer.

Criteria

Criteria voor het plaatsen van een pieklastketel op biomassa voor een warmtenet:

- Schaalgrootte bioketel voor warmtenet: 1-100 MWth*
- Ruimtegebruik: afhankelijk van schaal en locatie
- Doorlooptijd: 1-2 jaar
- Investeringskosten: 200-700 €/kWth*
- Productiekosten warmte: [34-83 €/MWh](#)

* inschatting door CE Delft

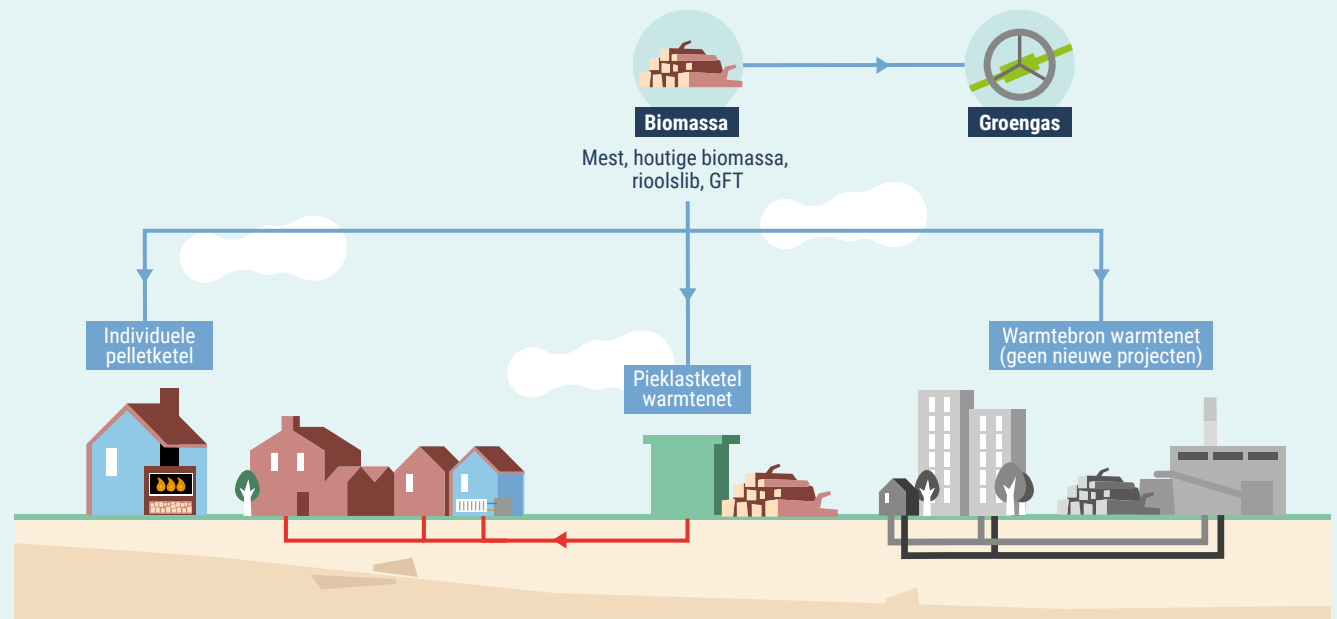


Meer lezen?

Zie de [Factsheet bio-energie](#) voor collectieve verwarming van het NPLW

Website over Biobased Economy:
<https://biobasedeconomy.nl/>

Voorbeeld: Biomassa (warmte)





Afval Energie Centrale's

In Nederland ontstaat jaarlijks ongeveer 60 miljoen ton afval per jaar. Ongeveer 80% hiervan wordt gerecycled, waarvan het overgrote deel bouw en sloopafval is. Van de overgebleven 20% wordt het grootste gedeelte verbrand, een kleiner gedeelte wordt gestort. Het afval wordt verbrand in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI). Wanneer er energie wordt opgewekt door de verbranding van afval, wordt een AVI ook wel een afvalenergiecentrale (AEC) genoemd. Alle AVI's in Nederland benutten de energie uit afvalverbranding en zijn dus AEC's. De energie die vrijkomt bij de verbranding wordt overgedragen aan water die verdamppt tot stoom. Deze stoom kan temperaturen bereiken boven de 400 °C. De stoom kan op verschillende manieren worden gebruikt:

- In de industrie als 'processtoom' op hoge temperatuur (meer dan 100 °C),
- Om warmtenetten op te warmen (minder dan 100 °C).
- Om elektriciteit op te wekken.

Bij AEC's in Nederland wordt warmte en/of stoom in combinatie met elektriciteit geproduceerd. Sommigen richten zich vooral op warmte levering en anderen op vooral elektriciteit.

In een circulaire economie wordt afval zoveel als mogelijk gerecycled of weer ingezet als secundaire grondstof. Toch zal er altijd een deel overblijven dat niet meer bruikbaar is. Hiervoor is verbranding met energierugwinning op dit moment een geschikte verwerkingsmethode. Het verbranden en terugwinnen van de energie uit dit afval blijft dan over als beste alternatief om dit afval alsnog te verwerken. De visie tot 2050 blijkt uit het Rijksbreed programma [Circulaire Economie](#), waarin wordt ingezet op maximaal hergebruik van grondstoffen en dus een krimp in beschikbaarheid van

afval voor de afvalenergiesector: “... zo kan het sluiten van kringlopen in industriële sectoren resulteren in een krimp van de afvalverwerkende sector.”

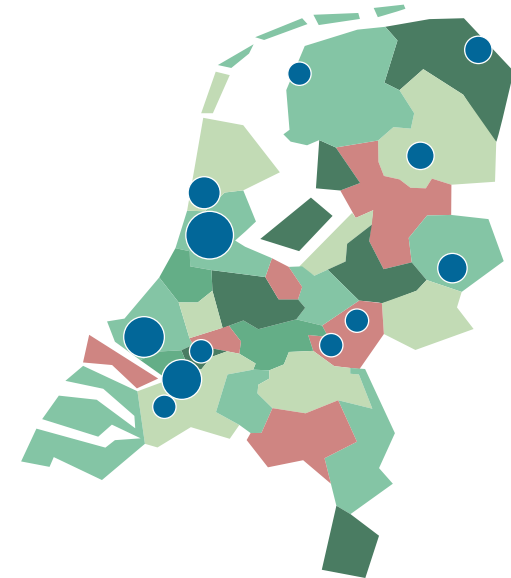
Ontwikkelingen en relevantie

In 2018 werd 15 PJ van de Nederlandse warmtevraag, ingevuld door AEC's ([Royal Haskoning DHV, 2022](#)). Dit komt overeen met 1,5% van de totale warmtevraag in Nederland. Hiervan was 8 PJ stoomlevering aan de industrie, de andere 7 PJ werd geleverd aan de gebouwde omgeving via warmtenetten. Bij optimale benutting van warmtelevering door AEC's (dus geen elektriciteitsproductie meer) kan maximaal 61,5 PJ aan warmte worden geleverd. Dit is een theoretisch maximum. AEC's geven zelf aan hiervan ongeveer de helft uit te kunnen koppelen. Momenteel voorzien AEC's 20% van de warmte voor onze warmtenetten ([Royal Haskoning DHV, 2022](#)). In het [Klimaatakkoord](#) staat de doelstelling om in 2030 zo'n 40 PJ van de Nederlandse warmtebehoefte via warmtenetten in te vullen.

Een AEC kan seizoens flexibiliteit aan het energiesysteem toevoegen door bewust te kiezen in welke mate er in combinatie warmte en elektriciteit geproduceerd wordt. Deze seizoens flexibiliteit is een gunstige eigenschap in een steeds minder flexibel energiesysteem met zon en wind. Hiermee kan een AEC inspelen op lokale situaties zoals netcongestie en hoge warmtevraag door koud weer.

Het benutten van de warmte uit de hoge temperatuur stoom wordt 'aftapwarmte' genoemd. Aftapwarmte gaat ten koste van elektriciteitsproductie. Deze warmte is op dit moment niet

CO₂-vrij, en valt niet onder de definitie van restwarmte. De CO₂ uitstoot van deze warmte is afhankelijk van welk type afval wordt verbrand in de installatie en door het percentage biogeen afval dat in de AEC wordt verbrand. In 2024 wordt [54%](#) van de energie uit afvalverbranding als hernieuwbaar bestempeld. Aftapwarmte uit AEC's voldoet aan de CO₂-norm in de Wet Collectieve Warmte voor 2030 ([Rijksoverheid, 2022](#)). Richting 2050 zal de CO₂-norm verder worden aangescherpt. De CO₂-emissie van AEC's kan door CO₂-afvang omlaag worden gebracht (zie hoofdstuk 'Vervolgontwikkelingen en relevantie').



Figuur 1 – Kaart van alle 12 afvalverbrandingsinstallaties in Nederland. De grootte van de bolletjes geeft de thermische capaciteit weer van de AEC's ([Rijkswaterstaat, 2023](#)).



Afvalhiërarchie

Figuur 2 – De ladder van [Lansink](#).

LADDER VAN LANSINK 2.0



Powered by Recycling.nl

Afval wordt volgens de afvalhiërarchie verwerkt (zie Figuur 2). Het voorkomen van afval heeft de voorkeur, en het storten van afval is het laatste station. In Nederland wordt momenteel 80% van het afval gerecycled. Van de andere 20% wordt het grootste gedeelte verbrand en wordt de vrijgekomen energie omgezet in warmte of elektriciteit. Alle afvalverbrandingsinstallaties (AVI's) in Nederland doen aan terugwinning van energie uit afval (de D in de ladder van Lansink).

Vervolgontwikkelingen en relevantie

Het is onzeker hoeveel warmte uit AEC's zal worden gewonnen in de toekomst. In een [kamerbrief \(2022\)](#) heeft de Minister van I&W aangegeven dat er een beleidsvisie afvalverbranding richting 2050 wordt opgesteld. Deze is nog niet gepubliceerd. Vooralsnog is nog niet wettelijk vastgelegd dat er minder afvalverbranding zal plaatsvinden in de toekomst en is het dus onzeker wat er met de sector zal gaan gebeuren in de komende decennia. Een [verkenning van onderzoeksbureau Rebel](#) heeft vier toekomstscenario's in kaart gebracht voor afvalverbranding in Nederland. Het onderzoek concludeert dat er een duidelijk geformuleerd raamwerk met afspraken nodig is om de sector perspectief te bieden. Maatwerkafspraken met AEC's via de beleidsvisie zullen mogelijk meer duidelijkheid verschaffen over de toekomst van de sector. Voor gemeenten is het belangrijk om de ontwikkelingen bij AEC's in de gaten te houden.

Net als veel andere industrie in Nederland zijn AEC's momenteel bezig met het ontwikkelen van CO₂-afvanginstallaties om de uitstoot van CO₂ te verminderen. Momenteel staan er drie grootschalige CO₂-afvanginstallaties bij AEC's in Nederland ([Twence](#), [AVR Duiven](#), [HVC Alkmaar](#)) en zijn er meerdere SDE++ beschikkingen verleend ([PBL, 2023](#)) voor Carbon Capture and Utilization and Storage (CCU/S). Het afgevangen CO₂ wordt momenteel geleverd aan de glastuinbouw en permanent opgeslagen (zowel CCS als CCU). Er zijn ook ontwikkelingen voor CCS bij AEC's. Het brandbare afval is een mix van een biogene en fossiele fractie. De emissies van het biogene en fossiele gedeelte tellen boekhoudkundig gezien anders mee. Het afvangen en opslaan van CO₂-emissies afkomstig van biogeen afval leidt in de toekomst namelijk tot negatieve CO₂-emissies,

terwijl het afvangen van fossiele CO₂ telt op dit moment al mee voor onze nationale CO₂-reductie opgave onder de Klimaatwet. Onderzoeksbureau [CE Delft](#) ziet een realistisch potentieel van negatieve emissies bij AEC's van 1,4 Mton in 2030 en 4,8 Mton CO₂-equivalent in 2050¹. Richting en na 2050 zullen negatieve emissies steeds belangrijker worden voor het behalen van de klimaatdoelen. In het [Kabinetsbesluit Voorjaar 2023](#) staat dat er maximaal 2 Mton negatieve emissies mogen worden gerealiseerd bij AVI's.

Het Rijk ziet warmte uit afval als een transitiewarmtebron: *“De komende decennia zal die warmtelevering worden overgenomen door duurzame (CO₂-vrije en/of hernieuwbare) warmtebronnen: met name restwarmte, geothermie, aquathermie, zonthermie en omgevingswarmte uit de lucht.”* ([NPE](#)) Een voorbeeld is het warmtenet [Amernet](#) dat tot 2027 gevoed wordt door warmte uit de Amercentrale (80% biomassa, 20% steenkool). Het Amernet zal daarna alternatieve warmtebronnen nodig hebben om operationeel te blijven, waarvan warmte uit de afvalenergiecentrale Attero in Moerdijk een optie kan zijn.

Indien een AEC warmte levert aan een warmtenet, zal een back-up bron noodzakelijk zijn, omdat afvalverbrandingslijnen om de paar jaar onderhoud vereisen en ook te maken kunnen hebben met onverwachte uitval, recentelijk door bijvoorbeeld [lachgas cilinders](#). AEC's hebben meerdere verbrandingslijnen om een continue warmteproductie te kunnen leveren en eventuele calamiteiten op te kunnen vangen. Eens per vier jaar vindt een totale stop plaats, waardoor een AEC tijdelijk geen warmte kan leveren. Deze totale stop vindt vaak in de zomer

¹ Ter beeldvorming, in 2023 was de uitstoot van heel Nederland 150 Mton CO₂-equivalent (CBS, 2024).



plaats, wanneer er weinig warmtevraag is. Een warmtenet dient in het algemeen meerdere warmtebronnen te hebben, zoals geothermie en restwarmte, om afhankelijkheid van een enkele bron te voorkomen.

Criteria

Schaalgrootte: Opgesteld thermisch vermogen van AEC's in Nederland ([Rijkswaterstaat, 2023](#)): 106 MW_{th} - 495 MW_{th}.

Investeringskosten: 397- 1328 €/kW_{th} ([SDE++ 2024, categorieën "restwarmtebenutting zonder warmtepomp"](#))

Kosten: 11,90 – 40,50 €/MWh_{th} ([SDE++ 2024, categorieën "restwarmtebenutting zonder warmtepomp"](#)).

Vollasturen: 5500 uren/jaar ([SDE++ 2024, categorieën "restwarmtebenutting zonder warmtepomp"](#)).

Temperatuurniveaus: van lage tot hoge temperatuur warmte. In de vorm van warm water of stoom.

Ruimtebeslag. Op het terrein van de AEC zullen nieuwe buisleidingen, pompen, warmtewisselaars en -buffers nodig zijn.

Meer lezen?

Rapport over de rol van verbranding van afval in Nederland: [Royal Haskoning DHV, 2022](#)

Cijfers over afvalverbranding in Nederland: [Rijkswaterstaat, 2023](#)

Italiaans restafval verbranden in Nederland. Milieukundige analyse: [CE Delft](#)

Eurostat Statistieken over afvalverwerking: [Eurostat, 2024](#)

Europese afvalstort richtlijn: [Landfill Directive](#)

Informatie over verwerking van afval in Nederland: [Milieu Centraal, 2024](#)

Nationaal Programma Circulaire Economie 2023 – 2030: [Nationaal Programma Circulaire Economie](#)

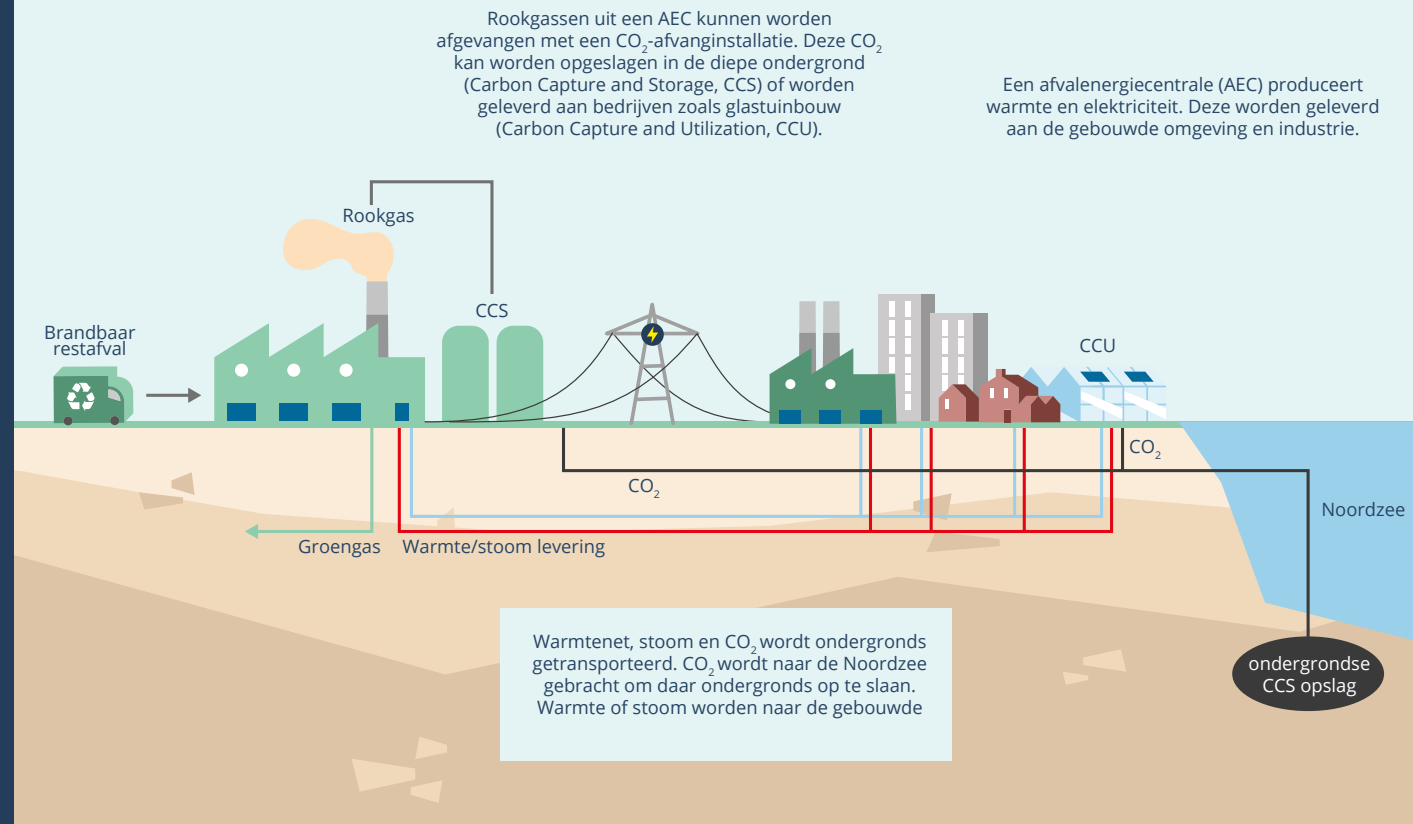
Rebel studie naar toekomstscenario's afvalverbranding: [Rebel, 2021](#)

Rapport over verbranding van afval vs vergassing: [CE Delft, 2023](#)

State-of-the-art afvalenergiecentrale: [Amager Bakke](#)



Voorbeeld: Afval Energie Centrale's





Alle bronnen:

Rapport over de rol van verbranding van afval in Nederland: [Royal Haskoning DHV, 2022](#)

Cijfers over afvalverbranding in Nederland: [Rijkswaterstaat, 2023](#)

Nationaal Plan Energiesysteem: [Nationaal Plan Energiesysteem \(NPE\)](#)

Achtergrondnotitie van Klimaatakkoord - Vraag en aanbod duurzame warmte en duurzame gassen: [Klimaatakkoord](#)

Berekeningsfactoren afvalstoffen AVI's 2014-2023: [NEA](#)

Onderzoek aanscherping CO₂-normen in de Wet Collectieve Warmte: [Rijksoverheid, 2022](#)

CBS informatie over CO₂-equivalenten: [CBS, 2019](#)

Italiaans restafval verbranden in Nederland. Milieukundige analyse: [CE Delft](#)

Global Methane Assessment: [Verenigde Naties, 2021](#)

Eurostat Statistieken over afvalverwerking: [Eurostat, 2024](#)

Europese afvalstort richtlijn: [Landfill Directive](#)

[Informatie over verwerking van afval in Nederland: Milieu Centraal, 2024](#)

Nationaal Programma Circulaire Economie 2023 – 2030: [Nationaal Programma Circulaire Economie](#)

Landelijk Afvalbeheer Plan 3: [LAP3](#)

Rijksbreed programma Circulaire Economie: [Circulaire Economie](#)

Eindadvies SDE++ 2024: [PBL, 2023](#)

Rapport over koolstofverwijdering voor klimaatbeleid: [CE Delft](#)

Memo aan Provinciale Staten van gedeputeerde Spierings over Toekomst Amernet, beschikbare bronnen vanaf 2027: [Amernet](#)



Groengas

Groengas is geen energiebron, maar een energiedrager, en kan worden geproduceerd uit allerlei soorten biomassa. Groengas heeft dezelfde samenstelling en kwaliteit als aardgas en kan daarom in het aardgasnet worden geïnjecteerd. Allocatie aan specifieke gebouwen of wijken is voornamelijk niet mogelijk. Groen gas wordt geproduceerd uit biomassa (zoals rioolslib en mest) die wordt vergist en opgewaardeerd. Het kan ook via (superkritische) vergassing en methanisering tot groengas worden verwerkt. Bij vergisting resteert een deel van de biomassa als digestaat, dat als meststof kan worden gebruikt. Vergassing heeft een hogere groengasopbrengst dan vergisting, maar moet de stap naar marktintroductie nog voltooien. De nationale groengasproductie in 2022 was ca. **230 miljoen m³** (0,6% van het nationale aardgasverbruik)([Gasunie, 2023](#)). Hiermee kunnen zo'n 150.000 huishoudens worden voorzien.

Er bestaan veel verschillende typen biomassa. Niet alle typen zijn even duurzaam. Daarnaast is de beschikbaarheid van duurzame biomassa beperkt. [Zie hierover de uitwerking 'Biomassa' in de factsheet Elektriciteit.](#)

Ontwikkelingen

Nederland streeft naar een doelmatige en hoogwaardige inzet van het beperkt beschikbare groengas (Routekaart Groen Gas). Tot 2030 zal groen gas primair worden ingezet in de gebouwde omgeving (d.w.z. administratief, via bijmenging in het aardgasnetwerk). Na 2030 blijft groengas schaars maar wordt het mogelijk ook ingezet in andere sectoren. Maar voor de gebouwde omgeving blijft groen gas het sluitstuk voor locaties waar alternatieven niet realistisch zijn ([NPE, 2023](#)).

Nederland heeft het doel om in 2030 minimaal 1,6 miljard m³ groengas te produceren ([Kamerbrief bijmengverplichting groengas, 2023](#)). Momenteel ligt de productie onder de 0,3 miljard m³. Technisch is opschaling haalbaar: er zijn voldoende biomassa-reststromen in Nederland en (superkritische) vergassing en mestvergisting kunnen grote bijdragen leveren. Echter, er moeten nog veel installaties worden gerealiseerd om het doel te halen.

Lokaal geproduceerd groengas is niet per se lokaal beschikbaar: als het in het gasnet wordt geïnjecteerd, kan het nationaal worden verhandeld dankzij het systeem van garanties van oorsprong. Het aanbod van grondstoffen voor groengas kan fluctueren met de seizoenen, maar er zijn voldoende alternatieve grondstoffen om een jaarlijks constante productie op peil te houden.

Criteria

Criteria voor de plaatsing van een conventionele vergister in combinatie met opwaarderingsinstallatie:

- Schaalgrootte vergister: **0,2-40 MWoutput**
- Ruimtegebruik: voor een vergister van 10 MW is ca. 0,5-2 ha nodig
- Doorlooptijd: enkele jaren (afhankelijk van schaal, locatie en type vergister)
- Investeringskosten grote vergister met opwaarderingsinstallatie: 1.000-2.000 €/kWoutput*
- Productiekosten groengas: **10-120 €/MWh**
- Schaalgrootte vergasser: 15-350 MWoutput*

* inschatting door CE Delft

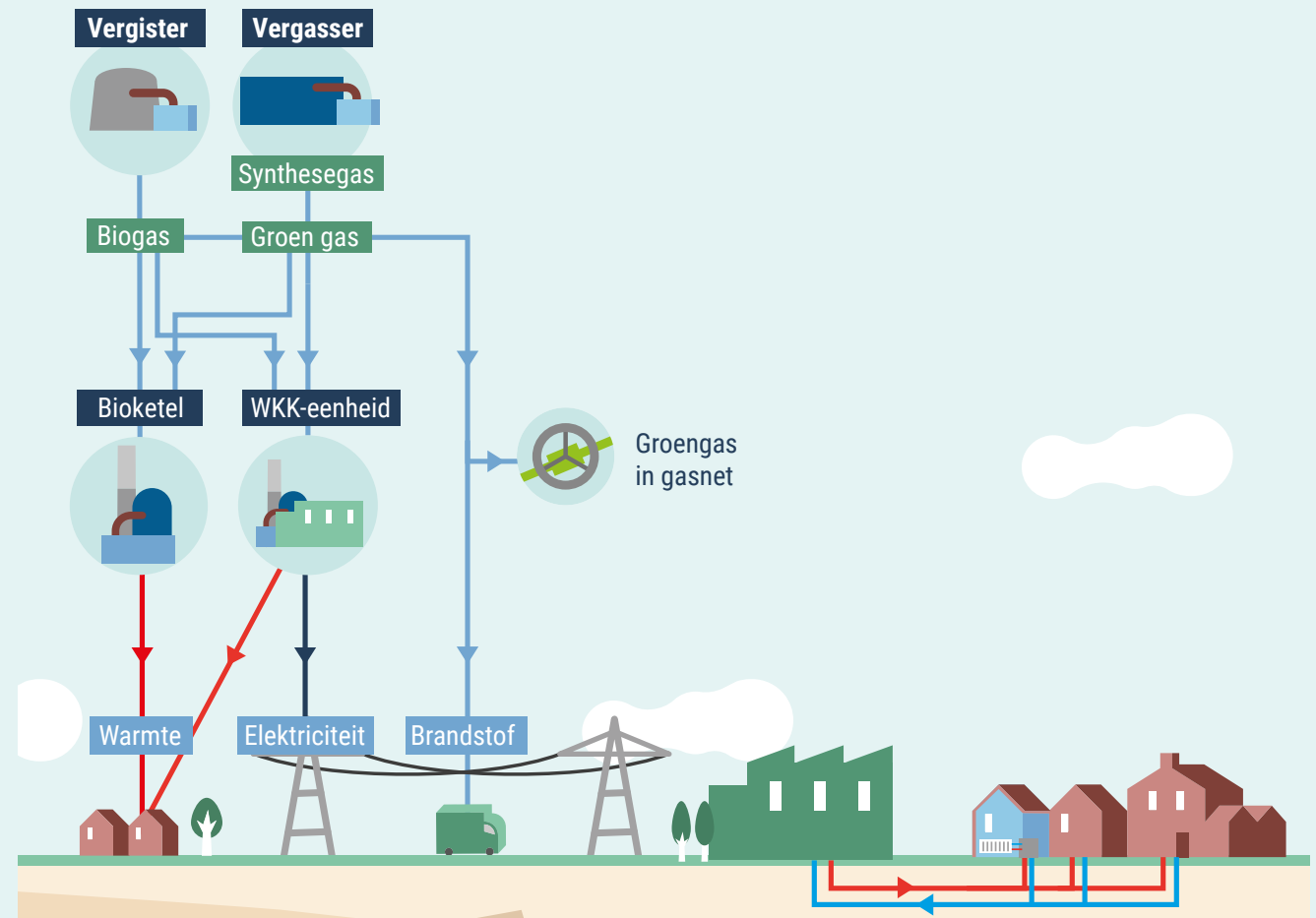
Meer lezen?

[Routekaart Groen Gas](#)

Zie voor meer informatie over de inzet van groengas in de gebouwde omgeving [de Factsheet groengas](#) van het NPLW.

Zie [deze rapportage](#) voor een inventarisatie van het potentieel van lokale biomassa en groengas in Nederland

Voorbeeld:
Groen Gas



Waterstof

Waterstof is geen energiebron, maar een energiedrager. Het kan geproduceerd worden uit aardgas (grijze waterstof), uit aardgas met afvang en opslag van de CO₂ (blauwe waterstof) en met behulp van hernieuwbare elektriciteit (groene waterstof). ([zie de uitwerking 'Waterstof' in de factsheet Elektriciteit](#)). Er zijn verschillende technieken waarmee waterstof in warmte kan worden omgezet: de waterstof-cv-ketel, de katalytische boiler en de brandstofcel. Ook is een hybride variant met een waterstof cv-ketel en een elektrische warmtepomp mogelijk, waarmee elektriciteit de basislast heeft en waterstof in de pieklast voorziet.

In de toekomst zou waterstof ook aan huishoudens en bedrijven kunnen worden geleverd via het distributienet dat momenteel door aardgas wordt gebruikt. Bijmenging van waterstof in het bestaande aardgasnet kan zonder aanpassingen tot ca. 20%. Levering van 100% waterstof aan gebouwen vereist aanpassingen aan de gasmeter en de cv-ketel. Als het aardgasnetwerk niet kan worden benut, is de aanleg van nieuwe waterstofleidingen een (duurder) alternatief. Na enkele aanpassingen in de woning is het gebruik van waterstof in huizen niet minder veilig dan aardgas. De bestaande aardgasnetten zijn grotendeels ook te gebruiken voor transport van waterstofgas.

Ontwikkelingen

Het Klimaatakkoord bevat de ambitie om 3-4 GW aan elektrolysecapaciteit te realiseren in 2030. Hiermee kan ca. 33-44 PJ groene waterstof worden geproduceerd, wat gelijk staat aan ongeveer 3% van het huidige nationale aardgasverbruik. Groene waterstof is ook in 2030 echter nog niet concurrerend. De netbeheerders gaan uit van een prijs van 57 EUR/MWh voor waterstof in 2030, bijna vier keer de veronderstelde prijs van aardgas in 2030 (14,5 EUR/MWh) ([Netbeheer Nederland, 2023](#)). In 2021 lag de aardgasprijs rond de 31 EUR/MWh. De groothandels elektriciteitsprijs was in 2020 33 EUR/MWh ([PBL, 2022](#)). Door de beperkte beschikbaarheid en de hoge kostprijs wordt groene waterstof voorlopig niet als optie gezien in de warmtetransitie. Het Nationaal Plan Energiesysteem voorziet inzet van hernieuwbare waterstof vooral in de industrie en mobiliteit ([NPE, 2023](#)).

De huishoudelijke warmtetechnieken op waterstof komen net op de markt en zijn nog niet volledig uitontwikkeld. Brandstofcellen zijn nog veel te duur, maar produceren ook elektriciteit en kunnen zo bijdragen aan de netbalans. De waterstof-cv-ketel is qua techniek vergelijkbaar met de cv-ketel op aardgas. Pilots met waterstof in de gebouwde omgeving zijn kleinschalig en nog in ontwikkeling.

De inzet van groene waterstof vindt vanuit het perspectief op het meest efficiënte energiesysteem bij voorkeur plaats in sectoren die weinig tot geen alternatieven kennen (industrie, luchtvaart).

Criteria

Criteria voor de plaatsing van een pieklastketel op waterstof voor een warmtenet:

- Schaalgrootte waterstofketel voor warmtenet: 1-100 MWth*
- Ruimtegebruik: onbekend
- Doorlooptijd: enkele jaren (afhankelijk van schaal en locatie)
- Investeringskosten: 200-900 €/kWth*
- Productiekosten warmte uit waterstof: onbekend, maar kostprijs van groene waterstof minimaal 150 EUR/MWh in 2030 ([Europese Commissie, 2023](#)).
- Aanschafkosten waterstof-cv-ketel: **1.500-2.000 €**

Meer lezen?

Bekijk de [Kabinetsvisie waterstof](#)

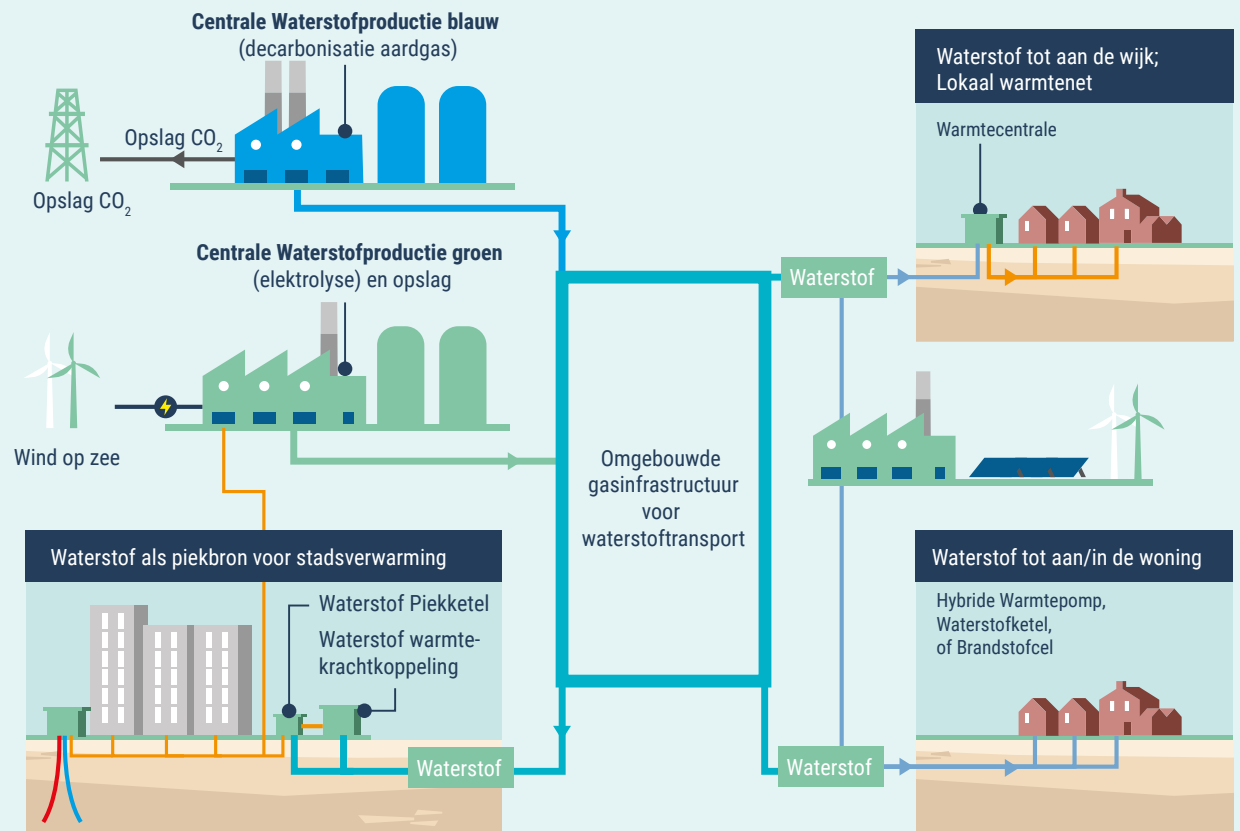
Zie voor meer informatie voor de inzet van groengas in de gebouwde omgeving de [Factsheet waterstof van het NPLW](#)

Berenschot heeft de potentie van [waterstof voor warmtenetten](#) onderzocht

Zie de volgende rapporten voor achtergrondinformatie over de inzet van waterstof in de gebouwde omgeving

- Kennisdocument CE Delft
- Rapport TNO
- [Working paper Stedin](#)

Voorbeeld: Waterstof





Zonthermie

Zonthermie is de opwekking van warmte uit zonnestraling, niet te verwarren met zon-PV die elektriciteit opwekken. In principe loopt een (koud)warmtewisselend medium door buizen heen die de zonnestraling opvangt, zogenaamde zonnecollector, waardoor het medium opwarmt tot 40-90°C afhankelijk van het type collector. Zonthermie wordt toegepast in diverse vormen, bijvoorbeeld als een zonneboiler op het dak van een individueel gebouw of als een grootschalig zonthermiesysteem in veldopstelling voor collectieve warmtenetten of bedrijfsprocessen.

Er zijn verschillende types zonnecollectoren, namelijk vlakkeplaat- of vacuümbuiscollectoren en PVT-systemen. De vlakkeplaatcollector is het meest voorkomende type collector die met een absorbeerplaat de warmte van de zon opvangt. Vacuümbuiscollectoren, die bestaan uit geïsoleerde buizen, hebben een iets hoger rendement en kunnen hogere temperaturen opleveren omdat zij minder energie verliezen. Er zijn ook collectoren die tegelijk warmte en elektriciteit opwekken, zogenaamde PVT-systemen (PV voor photovoltaic, het elektrisch deel en T voor thermal, het thermisch deel). Deze PVT-systemen leveren warmte op lage temperaturen en zijn vaak gekoppeld aan warmtepompen als warmte- en elektriciteitsbron.

De warmtevraag is niet altijd gelijktijdig met de zonnestraling en hierdoor is er vaak een opslag gekoppeld aan de collectoren. Het zijn opslagvaten in individuele woningen of gebouwen die de warmte aanhoudt voor een dag. Op grotere schaal, vooral voor de warmtenetten, is het ook mogelijk om de zonthermie aan een seizoenopslag te koppelen zoals een ATES, BTES of PTES zodat in de zomer opgewekte warmte gebruikt kan worden in de winter.

Ontwikkelingen en relevantie

Zonthermiesystemen zijn een bewezen technologie. In Nederland is er meer dan **660.000 m²** aan zonthermie in gebruik en leveren deze systemen totaal **1.168 TJ** warmte. Ruim 60% van deze systemen zijn zonneboilers voor individuele woningen. In het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) is zonthermie ook opgenomen als een van de bronnen in het realiseren van de doelstelling om Nederlandse huizen aardgas vrij te maken. Gezien het potentiële geschikt dakoppervlak voor zonenergie in Nederland, geschat **126 km^{2,1}**, wordt de potentie van zonthermie nog niet voldoende benut in de gebouwde omgeving.

In Nederland is de potentie van zonthermie als een bron voor de warmtenetten wel bekend. In een aantal voorbeeld projecten wordt er al toegepast. In 2023 is er gestart met de bouw van het [zonnewarmtepark van Warmtestad](#) in Groningen de grootste van Nederland met een oppervlakte van 12 hectare en een grote buffertank voor opslag(TTES). Het zal duurzame warmte leveren aan het Groningse warmtenet met een aandeel van 25 procent van alle warmte die de ruim 12.500 aangesloten huishoudens gebruiken.

In combinatie met een warmte- en koudeopslag (wko) zullen de PVT-panelen op de daken van de bewoners van [het Ramplaan-kwartier in Haarlem](#) warmte leveren op een zeer lage temperatuur zonnewarmte buurtwarmtenet.

Een andere voorbeeld is de toepassing van [zonthermie bij een lokaal warmtenet in Nagele](#). Door 180 zonnecollectoren opgewekte warmte wordt opgeslagen in een PTES seizoenbuffer van 1.000 m³ en wordt toegevoerd in acht rijtjeswoningen.

Zonnethermiesystemen zijn ook toepasbaar in de industrie in alle sectoren waar vraag is naar warm water met een temperatuur van minder dan 90oC. Bijvoorbeeld, in 2019 is [het grootste zonnewarmtesysteem van Nederland](#) in bedrijf genomen door een fresiateller met een oppervlakte van 9.300 m².

1 Hier is uitgegaan van het geschikt dakoppervlak voor PV panelen in Nederland terwijl de zonnecollectoren zwaarder zijn en daardoor worden ze mogelijk ongeschikt voor een groter aantal gebouwen.

Criteria

Hieronder beschrijven wij de criteria voor zonthermie toepassingen op een grote schaal zoals voor een warmtenet of de industrie. Op de website van Milieucentraal zijn [tips en informatie over zonneboilers](#) te vinden voor kleinschalige toepassingen op individueel gebouw niveau.

- Investeringskosten zonthermie systemen
 - Groter dan 140 kWth (~200 m²) en kleiner dan 1 MWth (~1425 m²): [544 €/kWth](#)
 - Groter dan 1 MWth (~1425 m²): [435 €/kWth](#)
- Kosten zonthermie
 - Groter dan 140 kWth (~200 m²) en kleiner dan 1 MWth (~1425 m²): [117 €/MWh](#)
 - Groter dan 1 MWth (~1425 m²): [99 €/MWh](#)
- Investeringskosten PVT met warmtepomp
 - PVT met een nieuwe warmtepomp: [870 €/kWp](#)
 - PVT met een bestaande warmtepomp: [610 €/kWp](#)
- Vollasturen: [600 uren per jaar](#)
- Gemiddelde levensduur van zonnecollectoren: 20 jaar
- Temperatuurniveaus

PVT panelen	: 15-40oC
Vlakkeplaatcollector	: 40-60oC
Vacuümbuiscollector	: 60-90oC
- Het gewicht van collectoren exclusief de benodigde ballast is [10 tot 20 kg/m²](#).

Vervolg ontwikkelingen en relevantie

Zonthermie is een bewezen en ontwikkelde techniek welke relatief weinig gebruikt wordt in Nederland. In de komende jaren wordt lage temperatuurverwarming standaard en de zonthermie is, in de vorm van zonnecollectoren of zonneboilers, een goed oplossing voor zowel op individuele woning niveau en als een duurzame warmte bron voor de warmtenetten. Gepaard met de ontwikkelingen in de warmteopslag technieken wordt de grootschalige opwekking van zonwarmte populairder voor warmtenetten en industrie.

Naar verwachting zullen PVT-panelen nog verder worden onderzocht en ontwikkeld om hogere rendementen te bereiken. De grootste potentie voor deze technologie ligt in de combinatie van PVT-panelen met warmtepompen en ook warmteopslag systemen zoals PCM (phase change materials).



Meer lezen?

Zie de factsheet van zonnewarmte van het NPLW: [Zonnewarmte factsheet NPLW](#).

[De factsheet van zonneboilers van CE Delft](#).

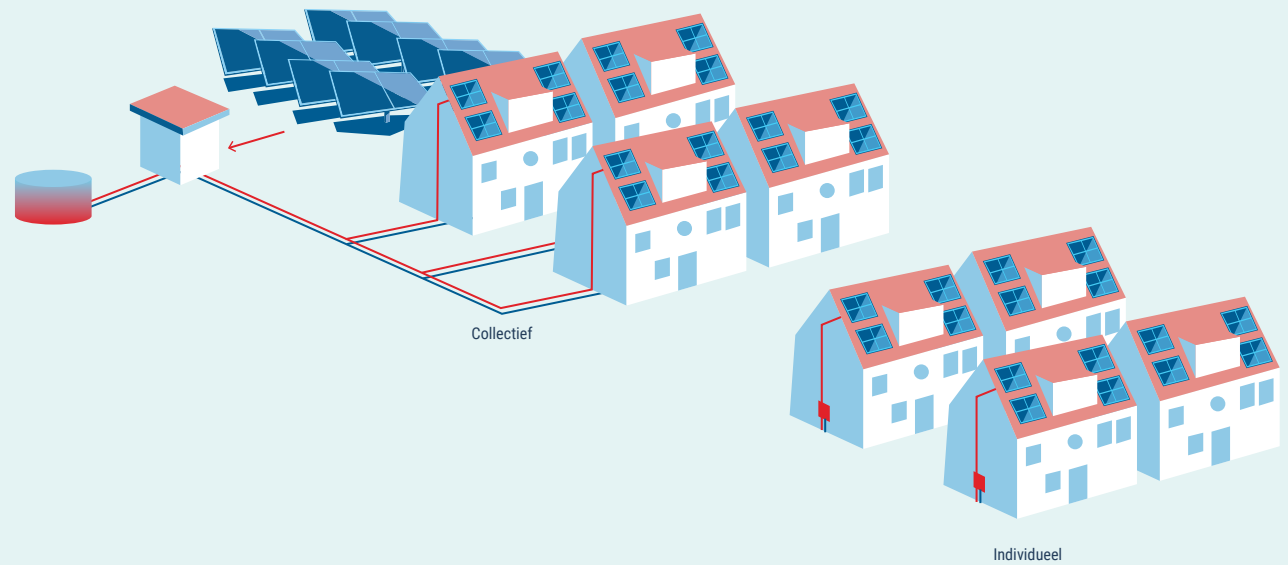
[Brochure zonthermische daken van RVO](#).

[Kerngegevens over het toepassen van duurzame warmte bij bedrijven door zonneboilers, een factsheet van RVO](#).

[De routekaart van zonnewarmte door TNO](#).

[Praktische tips en voorbeelden van zonneboilers door Milieu Centraal](#).

Voorbeeld: Zonthermie



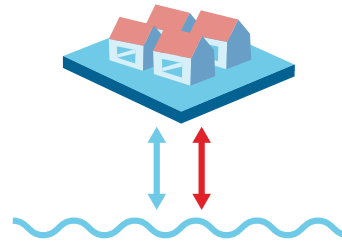


Warmte- en koudeopslag

Warmte- en koudeopslag is het tijdelijk opslaan van thermische energie zodat je deze energie later kan gebruiken wanneer dat nodig is. Hiervoor wordt meestal water gebruikt in een buffervat of in ondergrondse lagen, maar ook de faseovergangen of thermochemische eigenschappen van materialen kunnen worden benut.

De toepassingen zijn mogelijk in individuele woningen en gebouwen, of in collectieve systemen zoals warmtenetten. Naast de schaal van een opslagtechniek speelt ook de tijdscomponent een rol: hoe lang moet de warmte of koude opgeslagen worden. Afhankelijk van het type opslag kan het voor een aantal uren, dagen, weken of zelfs voor een heel seizoen worden opgeslagen.

Hieronder beschrijven wij de meest voorkomende type warmte- en koudeopslag technieken.



ATES: Aquifer Thermal Energy Storage

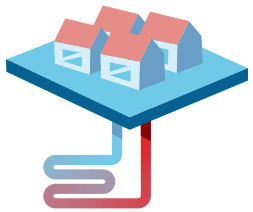
ATES is thermische opslag in de aquifer, een watervoerende laag in de bodem op een diepte van 100 tot 500 meter. Een ATES bestaat uit twee boorputten, een warme en een koude put, die thermische energie in de bodem injecteren. Warmte wordt in de zomer in de grondwaterlagen geïnjecteerd voor gebruik in de winter. Koude uit de winter kan ook in de bodem worden geïnjecteerd voor koeling in de zomer.

Er zijn drie types ATES, namelijk een warmte-koude opslag (wko), hoge temperatuur opslag (HTO) en midden temperatuur opslag (MTO). Bij wko, wordt warmte met een temperatuur van maximaal 25°C opgeslagen op een diepte tussen 50 tot 150 m onder het maaiveld. Er zijn reeds ruim [3.000 wko systemen](#) in bedrijf in Nederland.

Middentemperatuur opslag slaat warmte op met temperaturen tussen de 25-en 45°C, veelal op diepten dieper dan 200 meter. Er zijn [zes MTO's](#) in Nederland in gebruik.

Hoge temperatuuropslag slaat warmte op met temperaturen tussen de 50-en 90°C, veelal op diepten dieper dan 200 meter. Momenteel is er [één operationeel HTO](#) in Nederland, namelijk in glastuinbouwgebied Agriport A7 in Middenmeer, van ECW Energy.

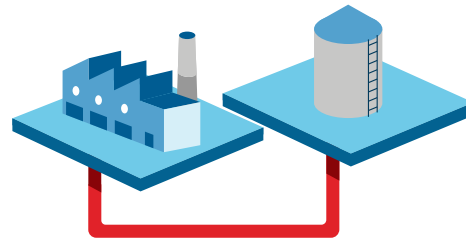
MTO en HTO zijn nog volop in ontwikkeling. Gezien het grote potentieel wordt gewerkt aan het verbeteren van de technieken en het rendement van MTO en HTO. Het Rijk heeft in het Nationaal Programma Energiesysteem (NPE) aangekondigd te onderzoeken hoe obstakels in de wet- en regelgeving voor de toepassing van deze technieken kunnen worden weggenomen.



BTES: Borehole Thermal Energy Storage

BTES is een gesloten bodemenergiesysteem. Bij een gesloten opslag in de bodem wordt een circuliatiemedium rondgepompt door de leidingen in de boorgaten, zogenaamde bodemlussen, om de warmte en koude uit de bodem te onttrekken. Het zijn ondiepe systemen met een maximale diepte van 200m, dus vaak verticaal toegepast maar ook horizontale toepassingen zijn mogelijk. Het belangrijkste voordeel is zijn lagere onderhoudskosten ten opzichte van open systemen zoals ATEs en BTES heeft relatief minder impact op het bodem-ecosysteem.

BTES systemen worden in Nederland vooral op kleine schaal toegepast, met name bij grondgebonden woningen. Dankzij de geschikte bodem eigenschappen worden ze vaak in verticale vorm toegepast maar horizontale toepassing is ook mogelijk hoewel het ruimtebeslag veel groter wordt. Momenteel zijn er meer dan [50.000](#) gesloten systemen met bodemlussen in Nederland.

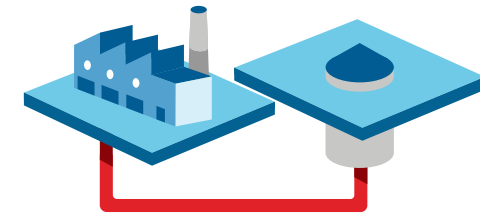


TTES: opslag in watertanks

Tank Thermal Energy Storage (TTES), oftewel thermische opslag in watertanks, wordt veel toegepast. Het wordt toegepast op een heel kleine schaal bijvoorbeeld als een boiler vat in de keukens voor warm tapwater, maar ook op grote schaal bijvoorbeeld als buffer voor een warmtenet of een industrieel proces.

Opslagtanks kunnen warmte zowel op korte termijn (uren en dagen) als op lange termijn (maanden en zelfs een seizoen) vasthouden. Op woningniveau worden naar schatting bijna [1 miljoen](#) kleine warmwaterboilervaten voor korte-termijn opslag (typisch met een capaciteit van 1-50 kW en een maximale temperatuur tot 90°C) toegepast in Nederland. Op grotere schaal, van 100 kW tot 150 kW, wordt korte-termijn TTES toegepast in Nederland in warmtenetten en de industrie om piekwarmtevraag te verminderen, in de glastuinbouw als buffer.

Opslagtanks zijn ook ondergronds toegepast, een groot ondergronds buffervat gevuld met water voor het opslaan van warmte en koude voor een seizoen.

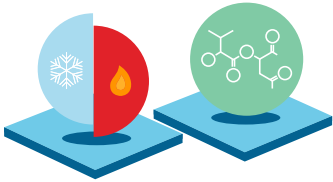


PTES: Pit Thermal Energy Storage

Pit Thermal Energy Storage (PTES), oftewel een thermische opslagput, is de opslag van warmte in een geïsoleerd gat in de grond. De kuilen/putten, typisch 5 tot 15 meter diep, worden gevuld met water of water in combinatie met grind op maximaal 90 °C. Deze techniek is geschikt op grotere schaal, bijvoorbeeld voor warmtenetten, en wordt ingezet voor langdurige opslag over een seizoen. Onlangs is het voornamelijk toegepast in combinatie met zonnearmtesystemen in Denemarken en Duitsland.

Hoewel deze techniek nog vrijwel niet is toegepast in Nederland, biedt ze kansen voor thermische opslag voor warmtenetten, met name in combinatie met zonthermie, vanwege haar lagere investeringskosten. Het grote ruimtebeslag vormt echter de belangrijkste uitdaging bij de uitvoering.

Voor een [pilot project in Nagele](#) is een PTES operationeel sinds begin 2022. De warmte op een temperatuur van 95 graden opgewekt door zonnecollectoren wordt opgeslagen in een geïsoleerde seizoensbuffer van 1.000 m³ die onder een nabijgelegen grasveld is ingegraven.



Overige kansrijke technieken: PCM en TCM

Voor warmteopslag zijn er kansrijke alternatieven die nog in ontwikkeling zijn. PCM (Phase Change Materials) en TCM (Thermochemical Materials) zijn veelbelovende alternatieven of aanvullingen voor bestaande warmteopslag systemen. In Nederland worden deze twee technieken nog weinig toegepast maar is onderzoek naar de toepassing volop in ontwikkeling.

PCM-opslag is een vorm van thermische energieopslag waarbij gebruikt wordt gemaakt van faseovergangen van materialen voor het opnemen of afgeven van warmte. Bij het opslaan van warmte wordt de energie toegevoerd aan het PCM- en hierdoor vindt de overgang plaats tussen fasetoestanden (vast, vloeibaar en gasvormig). Wanneer warmte wordt vrijgegeven, gaat materie terug naar zijn originele toestand en geeft het de opgeslagen warmte weer af. PCM is vooral bedoeld als een korte termijn opslag, namelijk over een aantal uren. De grootste potentie van PCM ligt in de optimale benutting van zonne- en windenergie en ook in de gebouwverwarming en koeling.

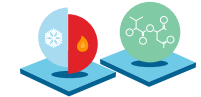
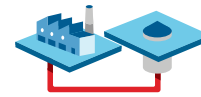
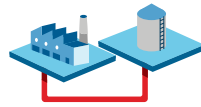
Een type PCM is een ijsbuffer, bijvoorbeeld in [Goes voor het verwarmen van meer dan 80 appartementen](#).

TCM-opslag, ofwel thermochemische energie opslag, verwijst naar een vorm van thermische energieopslag waarbij energie wordt opgeslagen in de vorm van chemische reacties en vervolgens later weer wordt vrijgegeven door die reacties om te keren. Een voorbeeld van TCM is zout, waarin de reactie-energie gebruikt wordt die ontstaat wanneer zouten worden gehydrateerd of gedehydrateerd. Warmte (bijvoorbeeld van een zonnecollector) wordt opgeslagen door het verdampen van het water en wanneer er weer water wordt toegevoegd, komt warmte vrij.

TCM-opslag heeft een relatief hoog efficiëntie waardoor het mogelijk wordt om energie over langere termijnen vast te houden, zelfs voor een seizoen. In Nederland wordt al tien jaar aan een type TCM systeem gewerkt voor woningen, namelijk een [warmtebatterij, zogenaamd Celcius](#), die warmte in zout opslaat via een thermochemische reactie.

Voor zowel PCM als TCM zijn de hoge kosten, de materiaalkeuze en de complexiteit van het beheer de grootste uitdagingen waaraan gewerkt wordt. Deze technologieën zijn voornamelijk interessant op een individueel niveau, bijvoorbeeld in gebouwen, of in industriële processen. Er ligt ook potentie in het toepassen van deze technieken voor collectieve warmteopslag.

Criteria



Criteria	ATES	TTES	PTES	BTES	PCM/TCM
Vermogen	50 kW- 30 MW	1 kW- 150 MW	1-15 MW	50 kW-1 MW	Kan diverse, afhankelijk van de toepassing
Temperatuurniveau	LT, MT en HT	MT, HT	MT, HT	LT, MT, HT	LT, MT, HT
Toepasbaarheid in de tijd	Seizoen	Uur, dag, seizoen	Seizoen	Seizoen	Uren tot Weken
Toepasbaar voor bron	Restwarmte, aquathermie, zonthermie, geothermie*	Zonthermie, Restwarmte, Geothermie.	Van buurtniveau tot hoogspanningsnet	Alle niveaus	Alle niveaus
Duurzame elektriciteit	Zonthermie, restwarmte, geothermie	Zonthermie, restwarmte, aquathermie, geothermie*	Zonthermie, duurzame elektriciteit	Zeker te realiseren	Mogelijk te realiseren
Toepasbaarheid schaal en typische omvang per niveau	Typisch op wijk/buurt niveau	Woning (1-50kW), Industrie (100 kW-150 MW) en Warmtenet (1-5MW)	Warmtenet (1-5 MW)	Vooral op een kleine schaal, van 1 tot 50 woningen,	Vooral in individuele woningen, gebouwen of processen
Technische realisatie voor 2030	wko al breed toegepast, MTO en HTO in ontwikkeling,	Korte-termijn opslag zeker te realiseren, Lange-termijn opslag is in ontwikkeling	Zeker te realiseren	Al breed toegepast	Op kleine schaal zeker te realiseren, grote schaal is nog in ontwikkeling
Kosten Investeringskosten per kWh/MWh	Wko €500-1.000 per MWh MTO & HTO €200-300 per MWh	Kleine schaal (Woning) €20-50 per kWh Grote schaal (warmtenetten) €2.000-4.000 per MWh	€400-1.400 per MWh	HTO- €250-700 per MWh	PCM €53.000-106.000 per MWh en TCM €10.000-130.000 per MWh
Efficiëntie % warmte toegevoerd/ onttrokken	Wko: 75% HTO/MTO: 50-85%	85%-99%	<81%	45-60% of 70-90%	Nog in ontwikkeling
Randvoorwaarden	Vergunning tot 500 m diepte, maximaal 25oC toegestaan in verband met het Waterbesluit	Groot ruimtebeslag voor toepassingen op grotere schaal	Geen vergunningen nodig maar wel een groot ruimtebeslag	Voor gesloten bodemsystemen met een klein vermogen, minder dan 70 kW, is tot op heden enkel een meldingsplicht. Grotere systemen vereisen een vergunning.	Geschikte materiaalkeuze, goed beheersing van het proces en geschikt op kleine schaal

* Vooral geschikt voor hoge temperatuur opslag (HTO)



Meer lezen?

De factsheet van het NPLW over [warmteopslag](#)

[De Routekaart Energieopslag](#) brengt de huidige status van warmteopslag systemen in Nederland en welke acties ondernomen moeten worden om energieopslag te bevorderen.

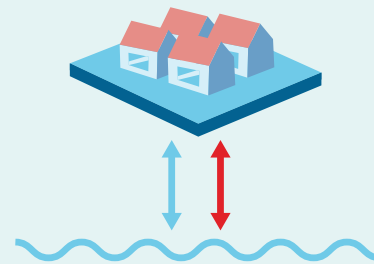
Het CE Delft onderzoek [over de kansen voor thermische opslagsystemen](#) gaat in op de businesscase van verschillende opties.

In deze studie [naar power-to-heat en opslag in de gebouwde omgeving](#) onderzoekt CE Delft de opties voor warmteopslag voor het verduurzamen van warmtenetten door het omzetten van hernieuwbare elektriciteit in warmte.

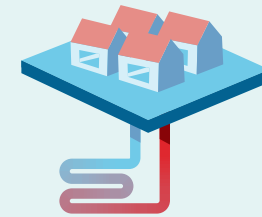
Een onderzoek van EBN en IF Technology brengt [de laatste stand van kennis over HTO](#) in kaart. Ook geeft een EU pilot project voor HTO een goed beeld van de huidige stand van de techniek.

Binnen het project WarmingUP is een studie uitgevoerd over de inpassing van HTO in Rotterdam.

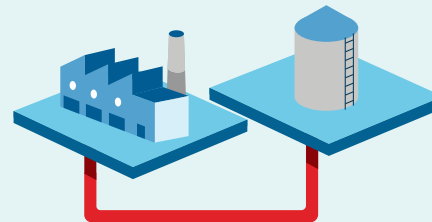
Voorbeeld:
warmte- en koudeopslag



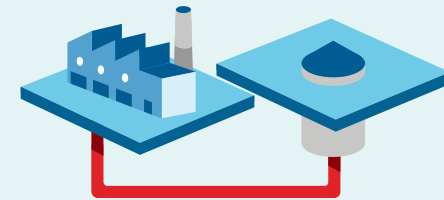
ATES: Aquifer Thermal Energy Storage



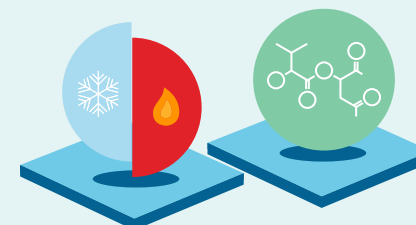
BTES: Borehole Thermal Energy Storage



TTES: opslag in watertanks



PTES: Pit Thermal Energy Storage



PCM en TCM

Uitleg Criteria

Bijdrage aan de doelen van de RES

Kan de warmtebron bijdragen aan bovenregionale warmte-uitwisseling voor 2030?

Bijdrage aan CO₂-reductie 2050

Los van de RES-doelstelling: kan de warmtebron bijdragen aan het doel van een CO₂-neutrale energievoorziening in 2050?

Technische realisatie voor 2030

Is het technisch mogelijk om een project met deze warmtebron uiterlijk in 2030 te realiseren als nu gestart wordt?

Aandachtspunten

Wat zijn de maatschappelijke discussies die gevoerd worden over deze warmtebron? Wij gaan hierbij niet in op de feiten in deze discussies, en of de argumenten gegrond zijn. In de nadere uitwerking per energiebron staat de feitelijke informatie.

Doorlooptijd projectontwikkeling

Wat is de gemiddelde doorlooptijd van een project totdat het project operationeel is? Hierbij wordt enkel gekeken naar de realisatie van de warmtevoorziening, en niet de realisatie van het benodigde warmtenet. Dit laatste duurt meerdere jaren.

Kosten

Wat zijn de kosten van deze warmtebron? Om een objectieve vergelijking te geven, is de prijs van energie uit een warmtebron uitgedrukt in een prijs per megawattuur (MWh). Dit heet de levelised cost of energy (LCOE). Het zijn de totale kosten over de levensduur van het project gedeeld door de hoeveelheid geproduceerde energie. Dit is tevens de minimale prijs per MWh die nodig is om de installatie te bouwen en energie te produceren, inclusief de kosten benodigd voor onderhoud en personeel. Ter referentie, de gemiddelde groothandelsprijs van aardgas in 2019 was **16 €/MWh**, en de verwachting is dat deze in 2030 deze prijs tussen de **21 en 46 €/mWh** gaat liggen.

NB: In de kosten die hier genoemd worden zitten dus niet de kosten van het aanleggen van een warmtenet, alleen de kosten van de bron die het warmtenet voedt.

Ruimtelijke impact

Verschillende technieken hebben een verschillende ruimtelijk impact. We geven het ruimtebeslag weer van de centrale of installatie die nodig is om warmte te produceren. Er is hierbij niet gekeken naar de ruimtelijke impact van materiaalgebruik, grondstoffenwinning, warmtenet et cetera). Voor meer informatie over energiedichtheid: zie het boek [Energie en Ruimte](#).

Bijdrage aan bovengemeentelijke warmte-uitwisseling

De focus in de RES ligt op die warmtebronnen die een bijdrage kunnen leveren aan de bovengemeentelijke warmteopgave. Wij geven aan in hoeverre de warmtebron hier een bijdrage aan kan leveren.

Begrippenlijst

Maattermen

kilo	duizend, 1.000 (10^3)
Mega	miljoen, 1.000.000 (10^6)
Giga	miljard, 1.000.000.000 (10^9)
Tera	biljoen, 1.000.000.000.000 (10^{12})
Peta	biljard, 1.000.000.000.000.000 (10^{15})
ha	hectare, oppervlak van 100 x 100 meter

Vermogen

W	watt: maat voor vermogen om energie te leveren
kW	kilowatt: factor duizend meer vermogen dan Watt
MW	megawatt: factor miljoen meer vermogen dan Watt
GW	gigawatt: factor miljard meer vermogen dan Watt
MWe, GWe	megawatt of gigawatt vermogen specifiek aan de elektrische zijde van een installatie, bijvoorbeeld het outputvermogen van een centrale of het inputvermogen van een elektrolyser
MW_{th}, GW_{th}	megawatt of gigawatt vermogen specifiek aan de thermische (warmte) zijde van een installatie
kWp, MWp	piekvermogen: het vermogen dat maximaal gehaald kan worden onder optimale omstandigheden.

Energie

J	joule: maat voor energie, 1 J = 1 W vermogen gedurende 1 seconde
GJ	gigajoule: 10^9 Joule aan energie
TJ	terajoule: 10^{12} Joule aan energie
PJ	petajoule: 10^{15} Joule aan energie
Wh	wattuur: maat voor energie, 1 Wh = 1 W vermogen gedurende 1 uur = 3.600 J
kWh	kilowattuur: 10^3 Wh aan energie
MWh	megawattuur: 10^6 Wh aan energie
GWh	gigawattuur: 10^9 Wh aan energie
TWh	terawattuur: 10^{12} Wh aan energie

Begrippenlijst

Aquathermie	Aquathermie is de verzamelterm voor verwarmen en koelen (thermische energie) met water. Het gaat om warmte en koude uit oppervlaktewater (TEO), afvalwater (TEA), drinkwater (TED) en rioolwater (riothermie).	Elektrolyser	Een installatie waarmee waterstof wordt geproduceerd door middel van elektrolyse.	Lagetemperatuur (LT)	In deze factsheet worden deze temperatuurniveaus gebruikt voor water voor een warmtenet met een temperatuur van 30-55 graden.
Biogas	Biogas is gas dat verkregen wordt bij de vergisting van organisch materiaal (biomassa). Het kan worden opgewerkt tot groen gas, door middel van verwijdering van CO ₂ en verontreinigende stoffen.	Grijze waterstof	Waterstof geproduceerd uit fossiele energie.	Middentemperatuur (MT)	In deze factsheet worden deze temperatuurniveaus gebruikt voor water voor een warmtenet met een temperatuur van 55-75 graden.
Biomassa	Plantaardig en dierlijk (rest)materiaal, dat als grondstof kan worden gebruikt voor de productie van hernieuwbare energiedragers en direct als brandstof voor de productie van elektriciteit en warmte.	Groene waterstof	Waterstof geproduceerd uit hernieuwbare energie.	RES	Regionale Energiestrategie.
Blauwe waterstof	Waterstof geproduceerd uit fossiele energie met toepassing van CCS.	Groen gas	Gas gemaakt uit organisch materiaal (biomassa) met dezelfde samenstelling en hetzelfde kwaliteitsniveau als aardgas. Hierdoor kan het direct op het aardgasnet worden ingevoerd.	Restwarmte	Restwarmte is warmte die vrijkomt bij een industrieel productieproces en daarbij niet meer economisch rendabel te gebruiken is. Zonder aansluiting op een warmtenet wordt deze warmte vaak geloosd.
Brandstof-cel	Een brandstofcel zet waterstof of een ander gas direct om in elektriciteit en warmte door middel van een elektrochemische reactie.	Hogetemperatuur (HT)	In deze factsheet worden deze temperatuurniveaus gebruikt voor water voor een warmtenet met een temperatuur van >75 graden.	SDE++-subsidie	Subsidie Stimulering Duurzame Energieopwekking.
CCS	Carbon-capture and storage.	Houtpellets	Houtpellets zijn snippers hout of houtafval (zoals zaagsel), in de vorm van staafjes samengeperst. Zij kunnen worden verbrand om elektriciteit en warmte te produceren.	Synthesegas	Synthesegas is gas dat verkregen wordt bij de vergassing van organisch materiaal (biomassa). Het bestaat voornamelijk uit waterstof en koolmonoxide en kan worden omgezet in groengas door middel van methanisering.
Elektrolyse	Een elektrochemisch proces waarbij waterstof wordt geproduceerd door elektriciteit door puur water te leiden. Het water wordt hierbij gesplitst in waterstof in zuurstof.	Hybride warmte-pomp	Een gecombineerde verwarmingsinstallatie waarbij naast een gasgestookte CV-ketel ook gebruik wordt gemaakt van een warmtepomp.		

Super-kritische vergassing

Superkritische (water)vergassing is een vorm van vergassing waarbij natte biomassa wordt opgelost in superkritisch water. Deze technologie is geschikt voor natte biomassastromen en kent een zeer hoog energierendement.

Vergassing

Vergassing is een innovatieve technologie waarmee specifieke biomassastromen, zoals hout en mest, worden omgezet in synthesegas. Dit gas kan vervolgens in groengas worden omgezet.

Vergisting

Techniek om organisch materiaal (biomassa) om te zetten in biogas.

Vollasturen

Het aantal uren per jaar dat een elektriciteitsopwekker omgerekend op volledig vermogen draait. Dit wordt berekend als de jaarlijkse energieproductie gedeeld door het maximale vermogen. Twee uur op halve kracht telt dus ook als één vollastuur.

Warmtekrachtkoppeling (WKK)

De gecombineerde productie en benutting van elektriciteit en warmte, bijvoorbeeld een gasturbine die elektriciteit produceert waarbij de restwarmte in een warmtenet wordt geleid.

Warmtenet

Een warmtenet verbindt de warmtebron met de gebruiker van warmte.

Waterstof

Waterstof is een gas. Bij verbranding van dit gas komt geen CO₂ vrij. Waterstof moet worden geproduceerd uit andere energiebronnen, zoals windenergie of aardgas. Zie ook: groene waterstof, blauwe waterstof, grijze waterstof.

WKO

Warmte-koude-opslag in de bodem. In de zomer wordt warmte uit water gewonnen en opgeslagen in een WKO. Deze warmte wordt in de winter gebruikt voor verwarming van gebouwen.

Nationaal Programma
RES Regionale
Energie
Strategie

www.regionale-energiestrategie.nl

Factsheet Warmte

Deze factsheet is een publicatie van het [Nationaal Programma RES](#), en is ontwikkeld in samenwerking met [CE Delft](#).

Versie

juli 2024

Ontwerp

[Studio Duel, Den Haag](#)