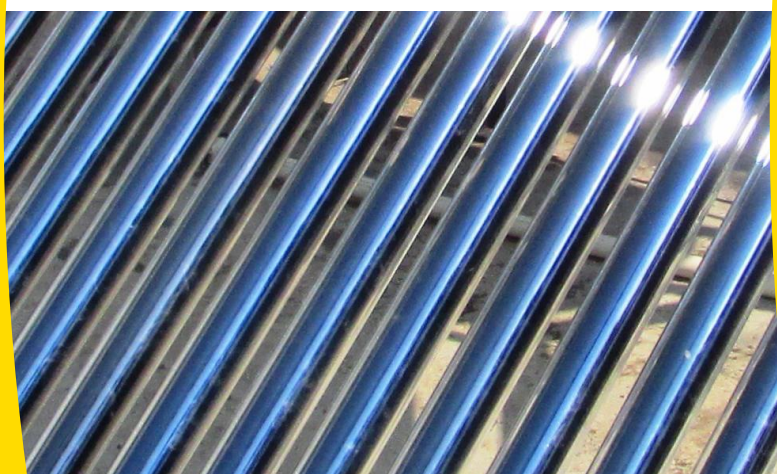




Potentieel zonthermie

RES-regio Rivierenland



Committed to the Environment

Potentieel zonthermie

RES-regio Rivierenland

Dit rapport is geschreven door:
Amanda Bachaus, Joram Dehens, Katja Kruit

Delft, CE Delft, april 2021

Publicatienummer: 21.210137.078

Opdrachtgever: RES-regio Rivierenland

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider [Katja Kruit](#) (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 40 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.



Inhoud

	Samenvatting	3
1	Inleiding	6
	1.1 Inleiding	6
	1.2 Scope zonthermiesystemen	6
	1.3 Potentie van zonthermie	7
	1.4 Leeswijzer	8
2	Zonthermie op daken	9
	2.1 Zonnecollectoren voor ruimteverwarming	9
	2.2 PVT-panelen op daken	13
3	Zonthermie op velden	15
	3.1 Ruimtelijk potentieel	15
	3.2 Technisch potentieel	18
	3.3 Praktisch potentieel	21
4	Conclusie	27
5	Literatuur	29



Samenvatting

Deze studie geeft een verkenning van het potentieel van zonthermie als warmtebron in de RES-regio Rivierenland. Zonthermie is een van de weinige beschikbare bronnen in Rivierenland op hoge temperatuur ($>70^{\circ}\text{C}$), die dus zonder veel elektrische opwaardering ingezet kan worden voor verwarming van de gebouwde omgeving. De studie kijkt naar het potentieel van zonthermische systemen op daken en op velden. Voor beiden is het ruimtelijk, technisch en praktisch potentieel in kaart gebracht.

Zonthermie op dak in Rivierenland

De potentiële opbrengst van zon op dak in Rivierenland is berekend voor zonnecollectoren op grote en kleine daken. Hiertoe hebben we ons gebaseerd op de 'Gelders basis zon-pv op dak' als uitgangspunt voor het ruimtelijk potentieel.

Zonthermie op velden in Rivierenland

De potentiële opbrengst van grootschalige zonnevelden in Rivierenland is bepaald aan de hand van een ruimtelijke analyse van de beleidskaders voor zonnevelden. Er zijn twee varianten in kaart gebracht:

- **Ruim potentieel:** Deze variant volgt de provinciale beleidslijn voor zonne-energie van de provincie Gelderland, waarbij geschikte gebieden en de gebieden die in de beleidslijn als 'misschien' zijn gemarkeerd in aanmerking komen.
- **Beperkt potentieel:** Deze variant volgt de provinciale beleidslijn voor zonne-energie van de provincie Gelderland waarbij enkel geschikte gebieden in aanmerking komen; gebieden die in de Beleidslijn Zonne-energie als 'misschien' zijn gemarkeerd zijn niet meegenomen.

Technisch potentieel in Rivierenland

De technische potentie is de hoeveelheid warmte die het ruimtelijk beschikbaar oppervlak kan leveren. Hier is ook rekening gehouden met thermische opslag. Een seizoensopslag maakt warmte opgewekt in de zomer ook beschikbaar tijdens de winter. Tabel 1 geeft de technische potentie van zonnecollectoren en zonnevelden in Rivierenland weer en de warmtevraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw.

Tabel 1 - Warmtevraag en technische potentie van zon op dak en zonnevelden per gemeente

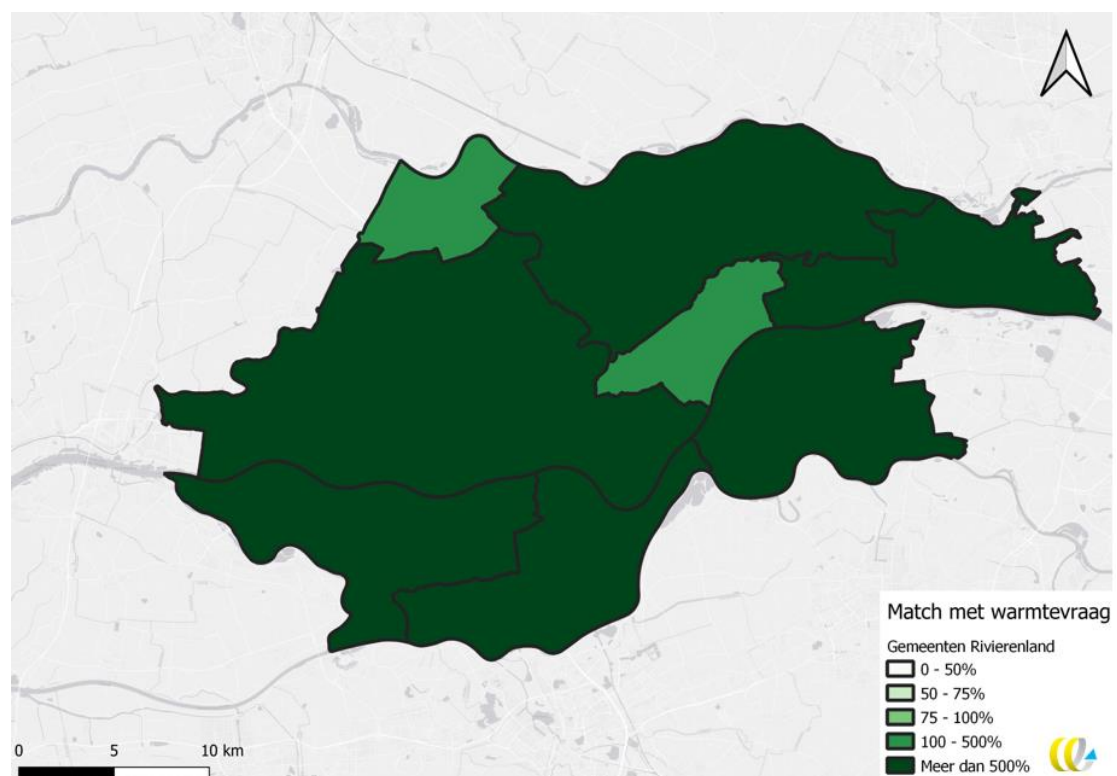
Gemeente	Warmtevraag gebouwde omgeving (PJ)	Warmtevraag glastuinbouw (PJ)	Technische potentie zonnecollectoren voor ruimteverwarming - kleine daken (PJ)	Technische potentie zonnecollectoren voor ruimteverwarming - grote daken (PJ)	Technische potentie zonnevelden - beperkt (PJ)	Technische potentie zonnevelden - ruim (PJ)
Buren	0,7	0,0	0,6	0,7	0,6	15,7
Culemborg	0,6	0,0	0,4	0,8	0,5	0,8
Maasdriel	0,7	0,3	0,5	1,6	6,5	7,4
Neder-Betuwe	0,6	0,1	0,5	1,2	3,5	3,9



Gemeente	Warmtevraag gebouwde omgeving (PJ)	Warmtevraag glastuinbouw (PJ)	Technische potentie zonnecollectoren voor ruimteverwarming - kleine daken (PJ)	Technische potentie zonnecollectoren voor ruimteverwarming - grote daken (PJ)	Technische potentie zonnevelden - beperkt (PJ)	Technische potentie zonnevelden - ruim (PJ)
Tiel	0,9	0,0	0,6	1,5	2,4	3,1
West Betuwe	0,5	0,8	1,0	2,9	10,2	13,7
West Maas en Waal	1,3	0,1	0,4	1,2	8,4	9,8
Zaltbommel	0,7	3,0	0,5	1,5	4,1	7,3
Eindtotaal	6,0	4,3	4,6	11,4	36,2	61,6

De technisch beschikbare potentie is hoog. Zeker in het geval van zonnevelden is de technische potentie meerdere malen hoger dan de warmtevraag van gebouwde omgeving en glastuinbouw tezamen. De gemeenten in Rivierenland hebben een typerend landelijk karakter waar in theorie veel ruimte is en de warmtevraag van de dorp- en stadskernen relatief klein. Hierdoor is er een volledige dekking mogelijk van de warmtevraag met de lokale zonnewarmte, zoals te zien is in Figuur 1.

Figuur 1 - Match warmtevraag gebouwde omgeving en ruime technische potentie op gemeenteniveau



Praktisch potentieel in Rivierenland

Op het gebied van theoretisch en technisch potentieel is er veel mogelijk in Rivierenland. Naast de gebouwde omgeving komt ook de glastuinbouw in aanmerking voor zonthermielevering. Ook hiervoor is meer dan voldoende technisch potentieel beschikbaar.

Het praktisch potentieel is de hoeveelheid warmte die technisch geleverd én afgenomen kan worden. Het vormt de overeenkomst tussen vraag en aanbod. De warmtevraag in Rivierenland is voor het praktische potentieel de bepalende factor. Hierbij speelt de zonfractie, het aandeel dat zonnewarmte kan leveren in de totale warmtevraag, een belangrijke rol. Als bovengrens is, door rekening te houden met de zonfractie, het praktisch potentieel gelimiteerd tot 60% van de vraag.

Zonthermie kan tussen de 50 en 60% (3,1-3,6 PJ) van de warmtelevering in de gebouwde omgeving (6 PJ) voorzien. Het overige gedeelte van de warmtelevering moet worden voorzien door een ander (piek)warmtevoorziening zoals aardgas of een warmtepomp.



1 Inleiding

1.1 Inleiding

Regio Rivierenland is bezig haar Regionale Structuur Warmte op te stellen. In dit kader wil zij een zo volledig mogelijk beeld van de beschikbare duurzame warmtebronnen in de regio.

Tot nu toe is zonthermie in de regio, net als in de meeste andere regio's in Nederland, onderbelicht gebleven. Omdat zonthermie voor de gebouwde omgeving hoogwaardige warmte kan leveren, is er behoefte aan een onderzoek naar het potentieel van zonthermie in de regio. Het doel van dit project is het in kaart brengen van het potentieel voor zonthermie in de energieregio Rivierenland.

1.2 Scope zonthermiesystemen

Binnen de toe te passen systemen voor zonthermie kan onderscheid worden gemaakt tussen individuele systemen en collectieve systemen. In dit onderzoek kijken we naar reguliere collectoren. De geconcentreerde systemen vallen buiten de scope van dit onderzoek.

Individuele systemen (zonthermie op daken)

Binnen individuele systemen bestaan systemen die enkel warm tapwater leveren (waarbij de opbrengst beperkt is tot een deel van de tapwatervraag) en systemen die ook ruimteverwarming leveren (waarbij de opbrengst hoger ligt). Deze systemen worden met name op daken van woningen en utiliteitsgebouwen toegepast. Voor deze individuele systemen zijn verschillende technieken mogelijk, waarbij het grootste onderscheid te maken is tussen standalonezonnecollectoren en photovoltaic thermic (pvt)-panelen, die ook elektriciteit opwekken en waarbij de warmte op een lagere temperatuur wordt opgewekt. Binnen het energiesysteem is ook de koppeling met andere technieken mogelijk, zoals (hybride) warmtepompen.

Binnen deze potentiëstudie kijken we alleen naar **systemen voor ruimteverwarming**. Tapwater wordt buiten beschouwing gelaten. We richten ons hierbij op zonnecollectoren voor ruimteverwarming.

Collectieve systemen (zonthermie op velden)

Collectieve systemen zijn zonthermische velden die invoeden op een warmtenet of grote hoeveelheden warmte leveren aan glastuinbouw of bedrijven. Hiervoor zijn verschillende typen collectoren beschikbaar, maar het systeem zal in bijna alle gevallen bestaan uit de (grootschalige) opwek, seizoensopslag en transport van de warmte.

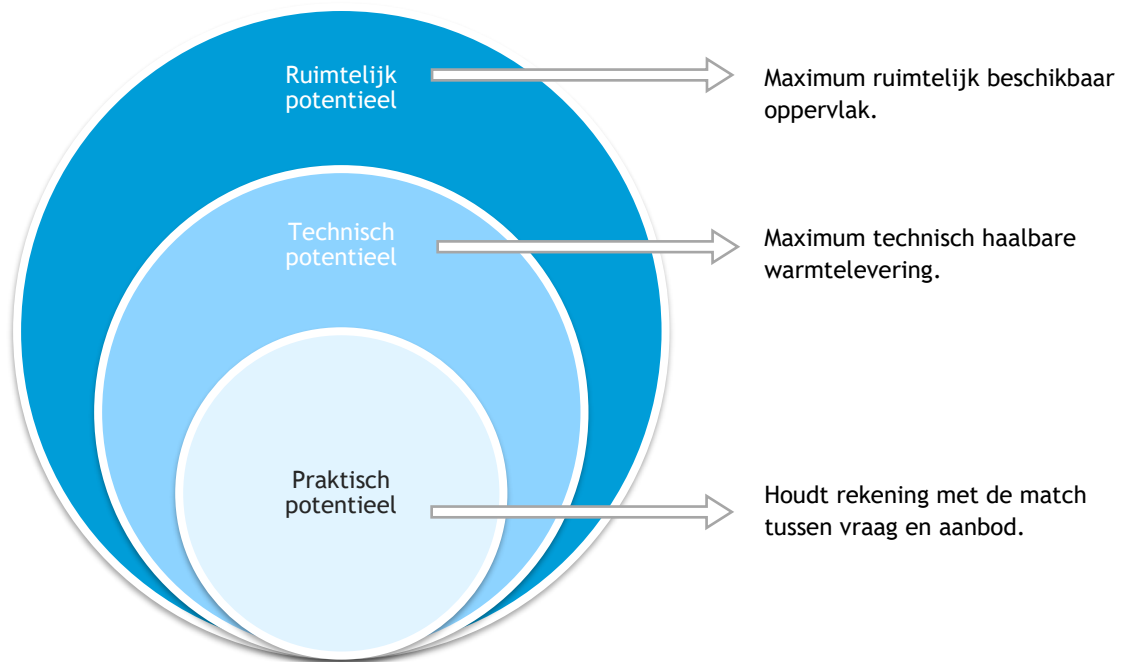
Binnen deze potentiëstudie kijken we naar **collectieve zonthermiesystemen op velden met seizoensopslag**. De opgewekte warmte wordt ingeleverd op warmtenetten.

1.3 Potentie van zonthermie

In deze rapportage geven we een kwantitatieve bepaling van de potentie van zonthermie in de regio Rivierenland. Figuur 2 geeft de definities van de verschillende soorten potentieel weer die in dit onderzoek worden gehanteerd. Hierbij wordt uitgegaan van lokale gegevens en ruimtelijke beperkingen in Rivierenland.

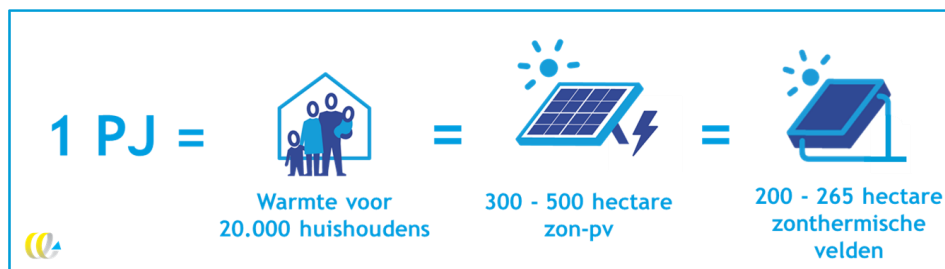
Bij het praktisch potentieel brengen we de vraag en aanbod per gemeente in kaart. Hierbij kijken we naar de warmtevraag in de gebouwde omgeving (woningen, bedrijven en glastuinbouw). De industrie wordt in dit onderzoek niet meegenomen.

Figuur 2 - Verschillende soorten potentieel



De potentie wordt weergegeven in petajoules (PJ). In Figuur 3 is weergegeven wat een PJ betekent wat betreft energievraag en -opwek. De opbrengst van zonthermische velden is weergegeven zonder verliezen van opslag en warmtenet.

Figuur 3 - Weergave van de ruimte die benodigd is voor de opwek van 1 PJ



1.4 Leeswijzer

In Hoofdstuk 2 wordt de potentie van zonthermie op daken berekend. Hoofdstuk 3 geeft een beschrijving van de mogelijkheden van zonthermie op velden. Hoofdstuk 4 geeft de conclusie van dit rapport weer.



2 Zonthermie op daken

In dit hoofdstuk bekijken we het praktisch potentieel van zonthermie op daken. Op daken gemonteerde zonnecollectoren kunnen directbruikbarewarmte op hoge temperaturen (tot 80 °C) aan woningen leveren. Pvt-panelen op daken leveren lagetemperatuurwarmte (tot 25 °C), welke met een warmtepomp en elektriciteit ingezet kan worden om woningen te verwarmen.

2.1 Zonnecollectoren voor ruimteverwarming

Anders dan de beter bekende zonneboiler kunnen zonnecollectoren ook in ruimteverwarming voorzien. De ruimteverwarmingsvraag van een woning is een stuk groter dan de warmtapwatervraag. Het gasverbruik voor ruimteverwarming bedraagt gemiddeld 79% van het totale gasverbruik; dat voor warmtapwater 21% (ACM, 2020).

Zonnecollectoren leveren warmte op hoge temperaturen (tot 80 °C). De zonnwarmte kan rechtstreeks ingezet worden om het gebouw te verwarmen of na opslag met beperkte elektrische opwaardering. Bij lagetemperatuurwarmtebronnen zoals aquathermie is relatief veel elektriciteit nodig om de warmte bruikbaar te maken (TNO, 2020).

Ruimtes worden verwarmd tijdens de donkere wintermaanden, wanneer er weinig zonne-energie beschikbaar is. Om de ruimtewarmtevraag in te vullen is er dus individuele warmteopslag nodig, een techniek die nog in ontwikkeling is. Ter vergelijking is de warmtapwatervraag nagenoeg constant gedurende het jaar en kan dus een groot deel van het warme tapwater tijdens de zomer voorzien worden zonder opslag. Momenteel worden in Nederland voornamelijk kleine zonnecollectorsystemen (<10 m²) zonder opslag geplaatst, waarbij zonthermie een klein deel van de ruimteverwarming levert.

Technisch potentieel zonnecollectoren voor ruimteverwarming

We schatten de potentiële warmtelevering voor ruimteverwarming in op basis van de geschiktheid en het beschikbare oppervlak van daken. Hiervoor baseren we ons op de 'Gelderse basis zon-pv op dak' (Provincie Gelderland, lopend). Deze potentieelbepaling is ingericht voor zon-pv, maar geeft ook algemeen inzicht in het potentieel aan zonne-energie die te vangen is met geschikt dakoppervlak. De bepaling van geschikt dakoppervlak houdt rekening met onder meer de hellingshoek en oriëntatie van het dak, dakobstakels zoals dakkapellen en schaduw van bijvoorbeeld omringende flatgebouwen en bomen.

Zonthermiecollectoren en zon-pv-panelen kunnen op hetzelfde dakoppervlak gemonteerd worden. Ze zijn ruwweg inwisselbaar, waardoor een afweging dient gemaakt te worden tussen hernieuwbare warmteproductie of hernieuwbare elektriciteitsproductie. Zon-pv-collectoren zijn meer onderhevig aan kortstondige schaduwwerking, bijvoorbeeld door de wieken van een windmolen, dan zonnecollectoren. Zonthermiecollectoren zijn daarentegen een stuk zwaarder, omdat er een vloeistof doorheen stroomt. Een dak dient daarom stevig genoeg te zijn. Vooral bij grotere daken en installaties wordt dit een mogelijke belemmering.

Energielevering zonthermie versus zon-pv

Een zonthermiecollector levert gemiddeld 2,3 keer meer energie dan een zonnepaneel. De kwaliteit van de energie verschilt wel. Met elektriciteit kan je bijvoorbeeld lagetemperatuurwarmte opwaarderen met een warmtepomp met hoge efficiëntie. Warmte is daarentegen eenvoudiger op te slaan voor langere duur dan elektriciteit. Dit is een belangrijk voordeel voor verwarmingstoepassingen: zonne-energie kan worden opgevangen in de zomer en opgeslagen voor verwarming die nodig is gedurende de winter.

Tabel 2 - Energetische karakteristieken zonthermie en zon-pv

	Zonthermiecollector	Zon-pv-paneel
Vermogen per collector-/ paneeloppervlak	700 W/m ²	200 W/m ² (330 Wp per 60 cells-paneel)
Vollasturen per jaar	600 kWh/kW	900 kWh/kW
Energieopbrengst per collector-/ paneeloppervlak	420 kWh/m ² /jaar (= 1,51 GJ/m ² /jaar)	180 kWh/m ² /jaar (= 0,65 GJ/m ² /jaar)

Bron: (PBL, 2021).

Een gemiddelde woning in Nederland heeft een gasverbruik van ongeveer 35 GJ per jaar. Hiervoor is minstens 25 m² zonnecollectoroppervlak nodig (zonder rekening te houden met opslagverliezen). Het elektriciteitsgebruik van een gemiddelde woning bedraagt 2.730 kWh per jaar. Hiervoor is 15 m² zon-pv-oppervlak nodig (zonder rekening te houden met de tijdstippen waarop elektriciteit geleverd dan wel gebruikt wordt). Verwarmen met een all-electricwarmtepomp verbruikt gemiddeld 2.600 kWh aan elektriciteit en verdubbelt de gemiddelde elektriciteitsvraag (MilieuCentraal, Lopend) (CBS Statline, 2020a)

De zonpotentie is bepaald voor grote daken met meer dan ca. 90 m² geschikte paneel- of collectoroppervlak en kleine daken die minder oppervlak hebben. De grote daken zijn voornamelijk van grote gebouwen met uiteenlopende functies. De vraag is of de stevigheid van de dakconstructie van deze daken geschikt is voor zonnecollectoren. Kleine daken zijn voornamelijk van woningen. Woningdaken zijn vaak stevig genoeg.

De 'Gelderse basis zon-pv op dak' geeft een geschikt paneeloppervlak van 765 ha op grote daken in Rivierenland en 304 ha op kleine daken in Rivierenland. Dit vormt het ruimtelijke potentieel waarop we ons baseren. Wij hebben de ruimtelijk geschikte oppervlakte omgerekend naar de technische potentie van zonthermie met de kentallen in Tabel 2. De technische potentie, hoeveel warmte geproduceerd kan worden met zonnecollectoren op daken, is weergegeven in Tabel 3. Het is onwaarschijnlijk dat alle geschikte dakoppervlak gebruikt zal worden voor zonnecollectoren; zeker omdat in de huidige markt zon-pv financieel gunstiger is (CE Delft, 2020). Zo is men bijvoorbeeld voor de 'Gelderse basis zon-pv op dak' aan het onderzoeken hoeveel geschikt dakoppervlak reeds ingenomen wordt door zon-pv-installaties.

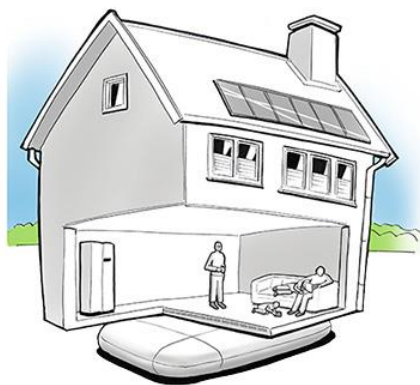


Tabel 3 - Technische potentie ruimteverwarming door zonnecollectoren in gemeenten Rivierenland

Gemeente	Warmtevraag Gebouwde Omgeving (PJ)	Aantal panden met grote daken	Technische potentie zonnecollector op grote daken (PJ)	Aantal panden met kleine daken	Technische potentie zonnecollector op kleine daken (PJ)
Buren	0,7	1.614	0,7	11.361	0,6
Culemborg	0,6	1.164	0,8	10.224	0,4
Maasdriel	0,7	3.323	1,6	10.408	0,5
Neder-Betuwe	0,6	2.353	1,2	9.729	0,5
Tiel	0,9	1.843	1,5	14.254	0,6
West-Betuwe	0,5	5.384	2,9	21.201	1,0
West Maas en Waal	1,3	2.912	1,2	7.720	0,4
Zaltbommel	0,7	2.645	1,5	11.084	0,5
Eindtotaal	6,0	21.238	11,4	95.981	4,6

De technische potentie van zonnecollectoren is voornamelijk beschikbaar in de zomer, terwijl de warmtevraag zich in de winter voordoet. Met behulp van een seizoensopslag-systeem kan de tussentijd overbruggd worden. Individuele opslagsystemen zijn nog volop in ontwikkeling. In Nederland zijn er opslagconstructies beschikbaar voor in de tuin of bufferzakken voor in de kruipruimte, zie Figuur 4. Deze nemen veel ruimte in en zijn niet in iedere woonsituatie toepasbaar. Er wordt op dit gebied momenteel geïnnoveerd door verschillende partijen. Zo is TNO bijvoorbeeld bezig met de ontwikkeling van een thermochemische warmteopslag welke met beperkte ruimte voldoende warmte kan opslaan voor de hele winter (TKI, lopend).

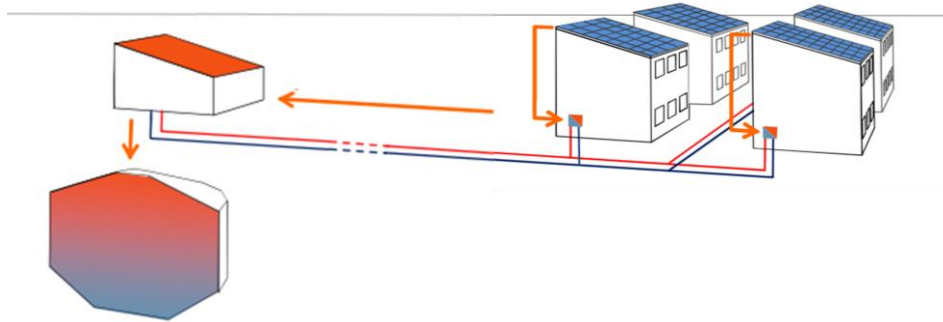
Figuur 4 - HoCoSto (links) en Solar Freezer (rechts)



Bron: (HoCoSto, lopend, SolarFreezer, lopend).

Indien de ruimte ontbreekt in de woning of de tuin kan ook gebruik worden gemaakt van een gedeeld opslagsysteem bij een open ruimte in de buurt, zoals weergegeven Figuur 5.

Figuur 5 - Zonthermiesysteem met zonnecollectoren op daken en een gecentraliseerde opslag



Bron: (SDH, 2012a)

Bij het opslaan van warmte over langere tijd treden er opslagverliezen op. De opslagduur en het type en omvang van het opslagsysteem bepalen hoeveel warmte het systeem verliest aan de omgeving. Gemiddeld wordt zo een 10-20% van de opgeslagen warmte verloren (CE Delft, 2020).

Praktisch potentieel zonnecollectoren voor ruimteverwarming

Hoeveel zonnewarmte aan de gebouwen kan geleverd worden hangt af van de gewenste zonfractie en de toepassing van seizoensopslag. De zonfractie is de maat voor het aandeel van zonwarmte in de totale warmtelevering. Zonder seizoensopslag is tijdens de winter zonnewarmte slechts beperkt beschikbaar. Een zonfractie van maximaal 10-20% is zonder opslag maximaal haalbaar. Met seizoensopslag kan zonnewarmte ook in de winter ingezet worden. Een zonnefractie van 60% wordt vaak aanzien als economisch optimum (TNO, 2020). Het overige gedeelte van de warmtelevering wordt voorzien door een andere (piek)warmtevoorziening zoals een gasketel of een warmtepomp.

In de bepaling van het praktisch potentieel voor zon op daken gaan we uit van een systeem met seizoensopslag en opslagverliezen van 15% en een zonnefractie van 60%. Dit is dus een bovengrens; in de praktijk is waarschijnlijk een deel van de woningen niet geschikt voor een opslagsysteem.

De praktische potentie van zonnecollectoren op grote daken en kleine daken zijn los van elkaar weergegeven in Tabel 4. Deze praktische potenties zijn dus niet optelbaar. De potentie van grote daken voldoet om 60% van de warmtevraag van de gebouwde omgeving te voorzien. De potentie van kleine daken is enkel beperkt in de gemeente West Maas en Waal.

Tabel 4 - Praktische potentie ruimteverwarming door zonnecollectoren in gemeenten Rivierenland

Gemeente	Warmtevraag Gebouwde Omgeving (PJ)	Praktische potentie zonnecollector op grote daken (PJ)	Praktische potentie zonnecollector op kleine daken (PJ)
Buren	0,7	0,4	0,4
Culemborg	0,6	0,3	0,3
Maasdriel	0,7	0,4	0,4
Neder-Betuwe	0,6	0,3	0,3
Tiel	0,9	0,5	0,5
West-Betuwe	0,5	0,3	0,3
West Maas en Waal	1,3	0,8	0,3
Zaltbommel	0,7	0,4	0,4
Eindtotaal	6,0	3,6	3,2

Opmerking: Omwille van de aangenomen zonfractie van 60% vormt 60% de bovengrens van de warmtevraag van de gebouwde omgeving die door zonnewarmte kan ingevuld worden.

2.2 PVT-panelen op daken

Pvt-panelen combineren een zonthermisch systeem met een zon-pv-systeem, waardoor deze naast elektriciteitslevering ook een deel van de ruimtewarmtevraag kan vervullen. Een pvt-paneel levert lage temperatuurwarmte welke met een warmtepomp en elektriciteit gebruikt kan worden voor ruimteverwarming.

PVT-panelen worden in Nederland vaak geïntegreerd in een PVT-warmtepompsysteem (TNO, 2020). Wanneer de zon schijnt warmen de PVT panelen op. Deze zonnewarmte kan efficiënt verder opgewaardeerd worden met een warmtepomp. Bovendien produceren PVT-panelen de nodige elektriciteit zelf bij zonneschijn. Wanneer de zon niet schijnt wordt warmte gewisseld tussen de collector en de buitenlucht. Dan functioneert het systeem wat minder efficiënt als een warmtepomp op buitenlucht, zij het op een geluidsarme manier zonder lawaaierige buiten-unit. Een PVT-warmtepompsysteem kan met elektriciteit steeds warmte voorzien. Bij gebrek aan zonneschijn is er warmtewisseling met buitenlucht mogelijk als warmtebron.

Een PVT-warmtepompsysteem is een individuele warmtetechniek die qua werking overeenkomt met de andere warmtepomptechnieken (bodemwarmtepomp en luchtwarmtepomp). Een warmtepomp is niet geschikt voor iedere woning. Om een woning met een warmtepomp te verwarmen dient de woning voldoende geïsoleerd te zijn en te beschikken over lage temperatuur afgiftesystemen.

Praktisch potentieel PVT-panelen

Om een woning volledig te verwarmen met een PVT-systeem heb je gemiddeld een dakoppervlak van 25 m² nodig (afhankelijk van de warmtevraag van de woning) (CE Delft, 2020). Iedere woning met voldoende dakoppervlak kan met een PVT-warmtepompsysteem zijn volledige warmtevraag aardgasvrij voorzien. Het potentieel wordt niet zozeer bepaald door de capaciteit van de zoninstraling, maar door de capaciteit om ook wanneer de zon niet schijnt voldoende warmte uit te wisselen met de omgeving.

De minimale beschikbare grootte van het dakoppervlak van een individuele woning bepaalt of er voldoende PVT-panelen op geplaatst kunnen worden, en of de woning bijgevolg in aanmerking komt voor een PVT-warmtepompsysteem. Bovendien moet de woningen ook voldoende geïsoleerd zijn om met een warmtepomp verwarmd te kunnen worden. In deze studie hebben we niet bepaald hoeveel woningen in Rivierenland in aanmerking komen. Verder onderzoek en maatwerk op woningniveau kunnen uitwijzen of aan de voorwaarden wordt voldaan.

PVT-panelen kunnen ook net zoals bij collectoren ingezet worden samen met een collectieve opslag. Zij dienen dan voornamelijk als regeneratie van bijvoorbeeld een wko-systeem (TNO, 2020).

3 Zonthermie op velden

Voor het bepalen van de potentie van zonthermie op velden richten we ons specifiek op grootschalige collectieve zonthermische systemen inclusief seizoensopslag.

Er zijn twee scenario's doorgerekend. In het Scenario Ruim potentieel worden alleen de gebieden waar zonneparken niet mogelijk zijn volgens de Beleidslijn Zonne-energie van de provincie Gelderland buiten beschouwing gelaten. In het Scenario Beperkt potentieel nemen we ook de gebieden waar zonneparken onder voorwaarden mogelijk zijn niet mee in de berekening.

Voor elk scenario worden drie verschillende soorten potentieel bepaald: ruimtelijk potentieel, technisch potentieel en praktisch potentieel:

- Het **ruimtelijk potentieel** is een weergave van de beschikbare ruimte voor zonthermische velden. Hierbij wordt rekening gehouden met beperkingen op ruimtegebruik voor natuur, stedelijk gebied, recreatiedomein e.d. Het resultaat is een beschikbaar oppervlak.
- Om het **technisch potentieel** te bepalen is rekening gehouden met locaties waar behalve zonthermische opwek ook collectieve seizoensopslag mogelijk is. Zonder seizoensopslag kan immers zonthermie niet gedurende een groot gedeelte van het jaar worden benut. Op basis van de keuze van opslagsysteem wordt de potentiële warmteopbrengst bepaald.
- Het **praktisch potentieel** is dat deel van het technisch potentieel dat ook daadwerkelijk gekoppeld kan worden aan mogelijke afnamelocaties. Bij collectieve systemen zijn dat de mogelijke afname van gebouwde omgeving en glastuinbouw. Dit is belangrijk omdat de (rendabele) transportafstanden bij thermische energie beperkt zijn, in tegenstelling tot elektriciteit. We brengen hiervoor potentiële warmtevraaglocaties in kaart vanuit de gebouwde omgeving, glastuinbouw en industrie.

De potentie wordt uitgedrukt in hectares en PJ per jaar en wordt onderverdeeld naar gemeentes binnen Rivierenland.

NB: Het doel van de potentiëstudie is niet om gebieden weer te geven waar zonpotentie is toegestaan. Het biedt inzichten in de omvang en de mogelijkheden die zonthermie heeft in Rivierenland. Het vormt hierbij een ruwe schatting van het potentieel. Maatwerk is steeds nodig om locaties te selecteren voor het opstarten van een project. De ruimtelijke kwaliteit is erg belangrijk bij de daadwerkelijke bepaling of een locatie geschikt is.

3.1 Ruimtelijk potentieel

De potentiebepaling van zonthermie bestaat uit twee scenario's: ruim potentieel en beperkt potentieel.

Ruim ruimtelijk potentieel

Als eerste uitgangspunt beschouwen we de kaartlaag 'zonpotentie velden' van RVO welke de denkbare locaties weergeeft voor zonnepanelen in veldopstelling. Dit zijn gras- en akkerlanden buiten de bebouwing, exclusief gebieden die tot Natura 2000 behoren.

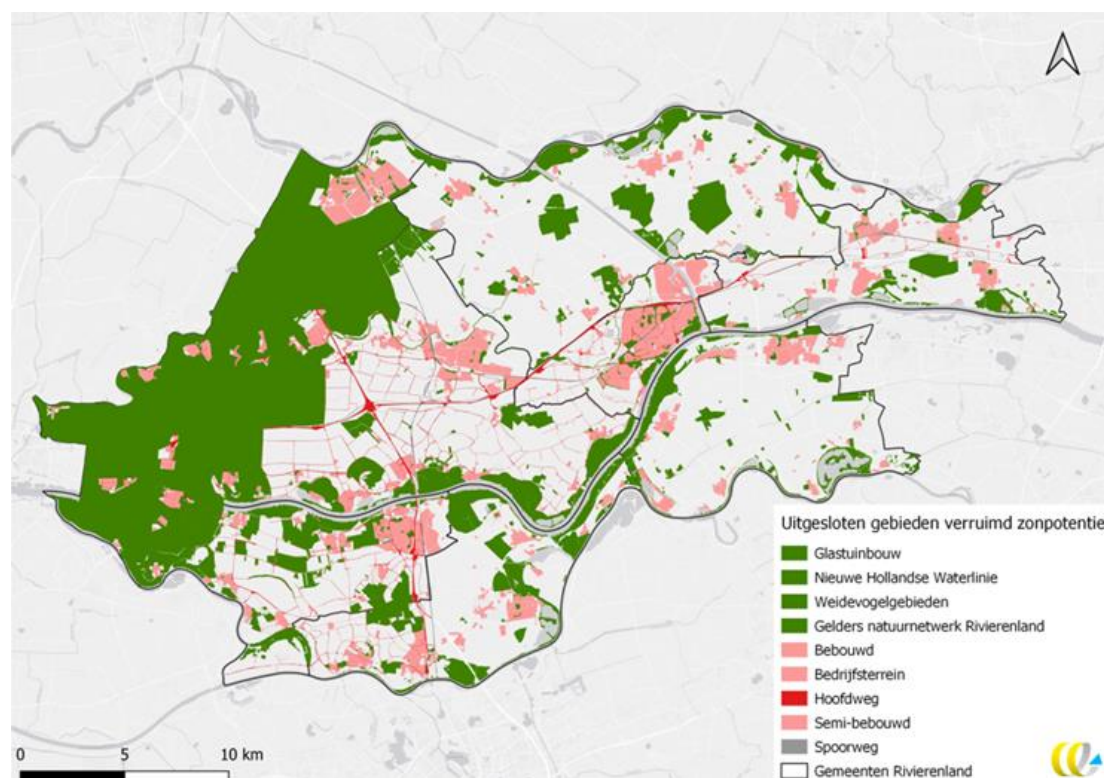


Vervolgens halen we hier de gebieden vanaf, waarvoor het onwaarschijnlijk is dat zonthermie hier kans maakt. Een overzicht van deze gebieden is te zien in Tabel 5.

Tabel 5 - Gebieden die uitgesloten worden voor ruime ruimtelijke potentie

Gebied	Bron
Gelders natuurnetwerk	Beleidslijn Zonne-energie (Provincie Gelderland, s.d.)
Weidevogelgebieden	Beleidslijn Zonne-energie (Provincie Gelderland, sd)
Nieuwe Hollandse Waterlinie	Beleidslijn Zonne-energie (Provincie Gelderland, sd)
Glastuinbouw	Beleidslijn Zonne-energie (Provincie Gelderland, sd)
Gebouwde omgeving	Bestand bodemgebruik (CBS, 2019)
Bedrijfsterrein	Bestand bodemgebruik (CBS, 2019)
Recreatie	Bestand bodemgebruik (CBS, 2019)
Semi-bebouwd	Bestand bodemgebruik (CBS, 2019)
Spoorweg	Bestand bodemgebruik (CBS, 2019)
Hoofdweg	Bestand bodemgebruik (CBS, 2019)

Figuur 6 - Overzicht uitgesloten gebieden bij ruim potentieel



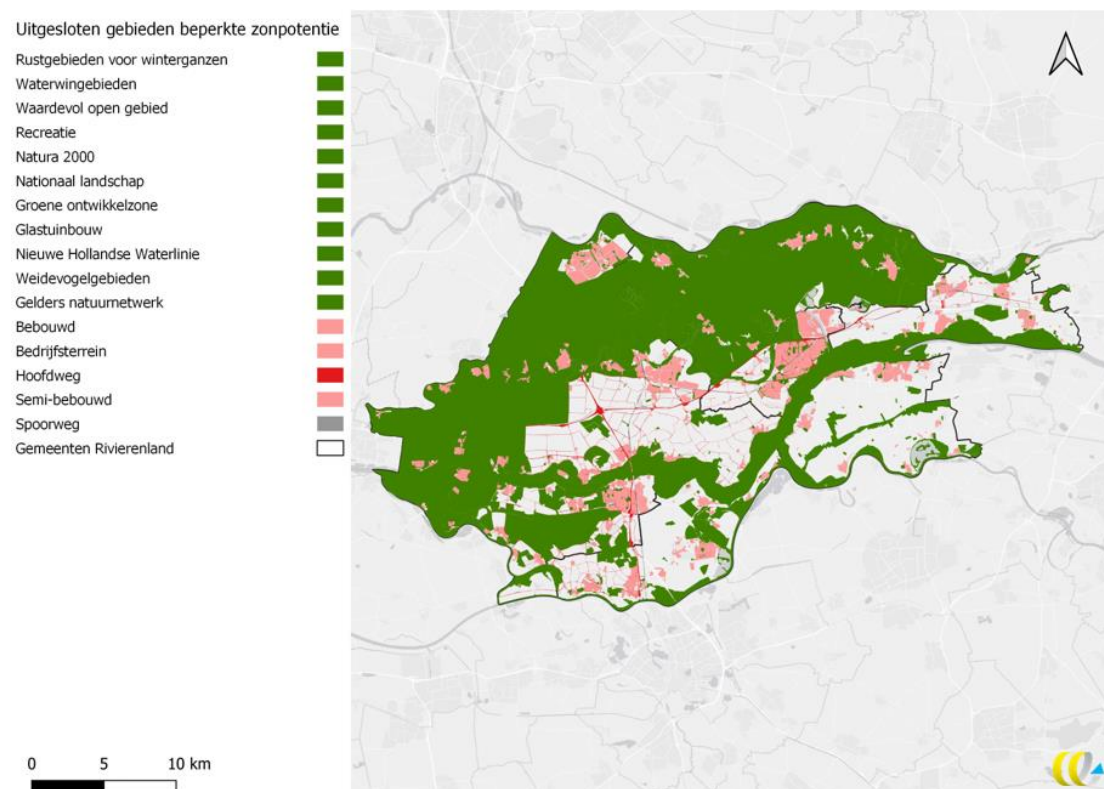
Beperkt ruimtelijk potentieel

Dit ruimtelijk potentieel wordt bepaald op basis van het ruime potentieel. Dit potentieel wordt ingeperkt door de gebieden die in de Beleidslijn Zonne-energie als ‘misschien’ zijn gemarkeerd. In Tabel 6 staat een overzicht van de gebieden die in de beperkte variant aanvullend worden uitgesloten.

Tabel 6 - Gebieden die uitgesloten worden voor beperkte ruimtelijk potentieel

Gebied	Bron
Rustgebieden voor winterganzen	Beleidslijn Zonne-energie
Natura 2000-gebieden	Beleidslijn Zonne-energie
Waterwingebied	Beleidslijn Zonne-energie
Groene ontwikkelzone	Beleidslijn Zonne-energie
Waardevol open gebied	Beleidslijn Zonne-energie
Dagrecreatieterreinen	Beleidslijn Zonne-energie
Nationaal landschap	Beleidslijn Zonne-energie

Figuur 7 - Overzicht uitgesloten gebieden bij beperkt potentieel



Resultaat

In Tabel 7 wordt weergegeven wat de zonthermische potentie is in oppervlakte (ha). Ter referentie wordt ook de oppervlakte van de gemeente ernaast weergegeven.

Tabel 7 - Ruimtelijke potentie zonthermie in ha

Gemeente	Ruim potentieel (ha)	Beperkt potentieel (ha)	Oppervlakte gemeente (ha)
Buren	7.095	277	14.292
Culemborg	384	236	3.114
Maasdriel	3.415	3.063	7.546
Neder-Betuwe	1.905	1.726	6.746
Tiel	1.359	1.130	3.551
West Betuwe	6.279	4.866	22.912
West Maas en Waal	4.757	4.169	8.521
Zaltbommel	3.391	1.954	8.904
Totaal	28.584	17.451	75.586
Percentage	38%	23%	100%

3.2 Technisch potentieel

Het technisch potentieel houdt rekening met de mogelijkheid van thermische opslag. Thermische opslag verplaatst het zomerse aanbod van zonthermische warmte naar de winterse warmtevraag. Bij de huidige generatie warmtesystemen, derdegeneratiewarmtenetten, zijn de financieel voordeligste opslagsystemen HTO-aquiferopslag (ATES) en pit thermal energy storage (PTES)-systemen (CE Delft, 2020). Een ATES slaat met een grondwaterpomp warmte op in ondergrondse waterlagen. Een PTES is een uitgegraven bassin gevuld met water en bedekt met isolatiemateriaal. In Nederland wordt momenteel onderzoek gedaan naar de ontwikkeling van ATES-systemen die warmte op hogere temperaturen opslaan (>25°C), onder meer in het Warming Up programma (WarmingUp, lopend). De resultaten lijken veelbelovend, zeker in Nederland waar de ondergrond goed geschikt is voor aquiferopslag. Waar mogelijk verdient HTO-aquiferopslag de voorkeur omdat deze weinig ruimtegebruik vraagt en financieel voordeliger is.

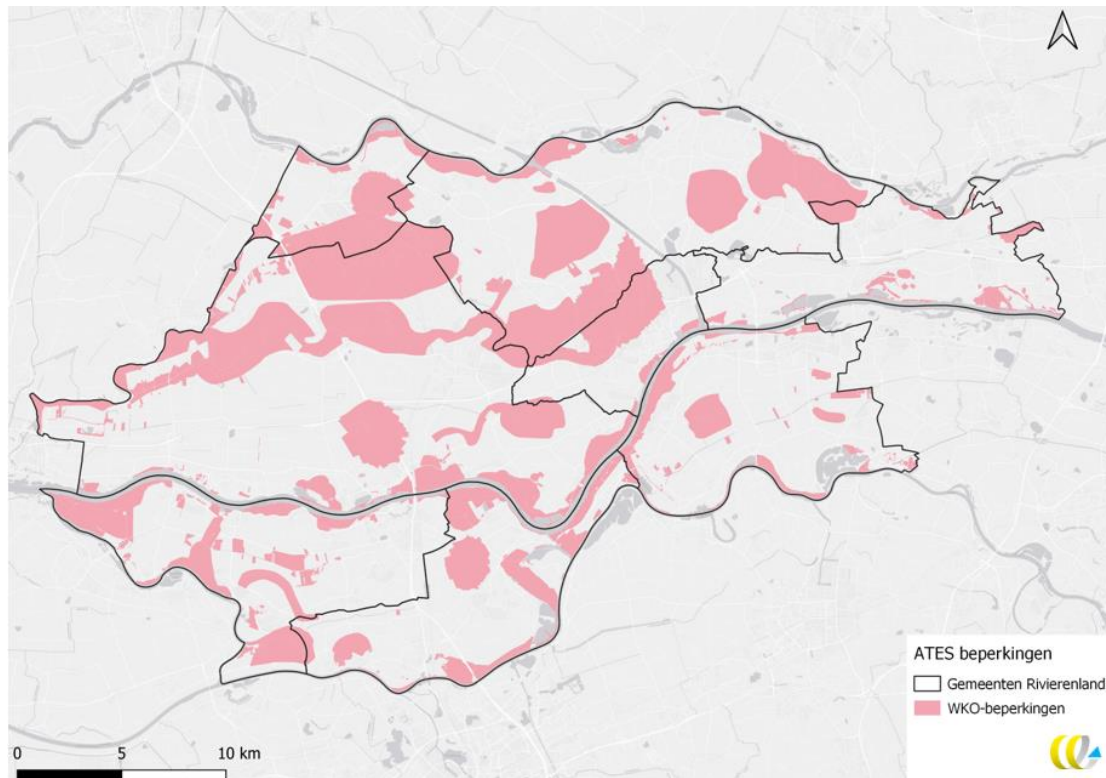
Mogelijkheid voor aquiferopslag (ATES)

De beperkingsgebieden in Tabel 8 uitgesloten voor aquiferopslag. De wko-gebieden zijn afkomstig van de warmteatlas (RVO, lopend).

Tabel 8 - Beperkingsgebieden voor openbodempopslagsystemen

Typen	Hoe meenemen?
Wko-verbodsgebieden	Uitsluiten voor ATES
Wko-restricties speciaal provinciaal beleid	Uitsluiten voor ATES
Wko-restrictie ordening	Uitsluiten voor ATES
Wko-restrictie diepte	Uitsluiten voor ATES
Wko-aardkundige waarde	Uitsluiten voor ATES
Wko-aandachtsgebied natuur	Uitsluiten voor ATES
Grondwaterbeschermingsgebieden	Uitsluiten voor ATES

Figuur 8 - ATEs-beperkingsgebieden



Landgebruik

In de gebieden waar er geen mogelijkheid is voor aquiferopslag, wordt er een percentage van het oppervlak gereserveerd voor pit thermal energy storage. Tussen de 10 en 15% van het landgebruik is nodig voor een PTES.

Het volledige landoppervlak kan niet volledig worden gevuld met zonnecollectoren. Voor één m² zonnecollectoroppervlak is ongeveer drie tot vier m² land nodig (SDH, 2012b). Er is immers ruimte nodig voor onderhoud, om ervoor te zorgen dat collectoren geen schaduw op elkaar werpen en ruimte voor de landschappelijke inpassing. Deze overwegingen gelden eveneens voor zon-pv-veldopstellingen.

De berekening wordt uitgevoerd met de middenwaarde van 3,5 m² land per m² collector.

$$Oppervlak_{collector} = \frac{Oppervlak_{land}}{3,5}$$

Deze verhouding tussen brutolandoppervlak en nettocollectoroppervlak komt nagenoeg overeen met gerealiseerde projecten in Nederland zoals zoneiland Almere en productie-locaties in bijvoorbeeld Vojens, Gram en Dronninglund in Denemarken. In Denemarken waar veel open ruimte beschikbaar is, is er echter geen sprake van dubbel ruimtegebruik. Het is immers mogelijk om bovenop een pitopslag extra zonnecollectoren te plaatsen en zo het landgebruik te verminderen en optimaler te benutten.

Warmteopbrengst en efficiëntie zonnecollectoren

Voor gebruik in de gebouwde omgeving zijn er twee dominante types zonnecollectoren namelijk de vlakkeplaatzonnecollectoren en de vacuümbuiszonnecollectoren. Deze hebben een gelijkaardige efficiëntie ten opzichte van het brutocollectoroppervlak (Olczak et al., 2020).

Een generieke berekeningsmethodiek op basis van de conceptadviezen SDE+-subsidie-regeling wordt gehanteerd om het vermogen en opbrengst per collectoroppervlak te bepalen (PBL, 2020).

$$Vermogen = 0,7 \text{ kW/m}^2 \cdot Oppervlak_{collector}$$

$$Opbrengst = 420 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot Oppervlak_{collector} \text{ oftewel } 1,512 \frac{\text{GJ}}{\text{m}^2} \cdot Oppervlak_{collector}$$

Het vermogen van de installatie bedraagt 0,7 kW per m² collectoroppervlak. Het aantal vollasturen van de installatie bedraagt 600 uur. Dit levert een jaarlijkse warmteopbrengst van ca. 420 kWh per m² of 1,512 GJ/m².

Warmteverliezen

Verder is er rekening gehouden met de volgende verliezen tot aan de eindafnemer:

- **Thermische opslagverliezen:** warmte wordt verloren aan de omgeving wanneer dit wordt opgeslagen gedurende langere tijd. Deze zijn afhankelijk van het opslagtype:
 - ATES: ca. 40% (IF Technology, 2019);
 - PTES: ca. 20% (IEA ECES Annex 30, 2018).
- **Leidingverliezen warmtenetwerk:** tussen de warmtevoorziening en de gebruiker van warmte zit een warmtedistributienet. In dit leidingnetwerk wordt warmte verloren aan de ondergrond:
 - leidingverlies tot in de woning: ca. 25% (CE Delft et al., 2019).

Resultaat

Het technisch potentieel aan zonthermische warmte die effectief bij de afnemer geleverd kan worden, is weergegeven in Tabel 9 voor de ruime technische potentie en Tabel 10 voor de beperkte technische potentie.

Tabel 9 - Ruime technische potentie in PJ

Gemeente	PTES (ATES niet mogelijk)	ATES mogelijk	Totaal
Buren	7,6	8,1	15,7
Culemborg	0,3	0,5	0,8
Maasdriel	3,1	4,3	7,4
Neder-Betuwe	0,8	3,1	3,9
Tiel	1,5	1,6	3,1
West-Betuwe	6,0	7,7	13,7
West Maas en Driel	2,1	7,6	9,8
Zaltbommel	2,9	4,4	7,3
Eindtotaal	24,1	37,5	61,6



Tabel 10 - Beperkt technisch potentieel in PJ

Gemeente	PTES (ATES niet mogelijk)	ATES mogelijk-	Totaal
Buren	0,1	0,5	0,6
Culemborg	0,1	0,4	0,5
Maasdriel	2,2	4,3	6,5
Neder-Betuwe	0,4	3,1	3,5
Tiel	0,9	1,5	2,4
West Betuwe	3,0	7,2	10,2
West Maas en Waal	1,3	7,1	8,4
Zaltbommel	1,2	2,9	4,1
Eindtotaal	9,3	26,9	36,2

3.3 Praktisch potentieel

Het praktisch potentieel wordt bepaald door de mate waarin het zonthermischwarmte-potentieel de totale warmtevraag van de gebouwde omgeving en glastuinbouw lokaal kan vervullen. Belangrijk hierbij is de match tussen de grootte van vraag en aanbod, het temperatuurniveau en de maximale afstand tussen vraag en aanbod.

Tabel 11 - Bepaling van warmtevraag gebouwde omgeving en glastuinbouw

Sector	Warmtevraag
Gebouwde omgeving	De warmtevraag van de gebouwde omgeving is vastgesteld op basis van gasverbruiksdata op PC-6-niveau in Rivierenland. (RES-regio Rivierenland, s.d)
Glastuinbouw	Oppervlak uit bestand bodemgebruik en vermenigvuldiging met kental per teelttype: <ul style="list-style-type: none"> – verdeling van het oppervlak per teelttype voor regio Rivierenland beschikbaar uit CBS (CBS Statline, 2020b); – warmtebehoefte per oppervlak per teeltsoort¹: <ul style="list-style-type: none"> • bloemkwekerij 970 MJ/m²; • boomkwekerij 323 MJ/m²; • fruit 462 MJ/m²; • glasgroente 562 MJ/m².

De warmtevraag uiteengezet naar de verschillende gemeentes is in Tabel 12 weergegeven in PJ. Deze cijfers geven de absolute warmtevraag weer.

Tabel 12 - Huidige warmtevraag woningen en glastuinbouw per gemeente

Warmtevraag	Warmtevraag glastuinbouw (PJ/jaar)	Warmtevraag gebouwde omgeving (PJ/jaar)	Warmtevraag totaal (PJ/jaar)
Buren	0,0	0,7	0,8
Culemborg	0,0	0,6	0,6
Maasdriel	0,3	0,7	1,0
Neder-Betuwe	0,1	0,6	0,6

¹ Deze warmtevraag is door CE Delft berekend op basis van gegevens uit CBS, gegevens over elektriciteitsconsumptie van LEI (Velden & Smit, 2014) de aanname dat elektriciteitsinkoop ruim 50% van de consumptie is, en de helft van de elektriciteitsproductie voor eigen gebruik.



Warmtevraag	Warmtevraag glastuinbouw (PJ/jaar)	Warmtevraag gebouwde omgeving (PJ/jaar)	Warmtevraag totaal (PJ/jaar)
Tiel	0,0	0,9	0,9
West-Betuwe	0,8	0,5	1,3
West Maas en Waal	0,1	1,3	1,3
Zaltbommel	3,0	0,7	3,7
Totaal	4,3	6,0	10,3

Uitgangspunten voor berekening

Voor het berekenen van de mate waarin de warmtevraag kan worden ingevuld door zonthermie zijn twee factoren van belang: de zonfractie en de opbrengstefficiëntie.

De zonfractie, de fractiezonwarmte in de totale warmtelevering, is een belangrijke factor in match tussen vraag en aanbod. In stadsverwarmingsprojecten in Denemarken met seizoensopslag wordt een zonfractie tot 60% bereikt (TNO, 2020). Het overige gedeelte wordt voorzien door een ander (piek)warmtevoorziening. We gaan net zoals bij zon op daken uit van een zonthermiesysteem met seizoensopslag en een realistische zonfractie van 60% voor de bepaling van het praktisch potentieel. Met andere woorden: maximaal 60% van de warmtevraag kan vervuld worden door zonpotentie.

De opbrengstefficiëntie is afhankelijk van het temperatuurniveau van de warmtelevering. Tabel 13 geeft de temperatuurniveaus van de warmtevraag weer.

Tabel 13 - Temperatuurniveaus van de warmtevraag glastuinbouw en gebouwde omgeving

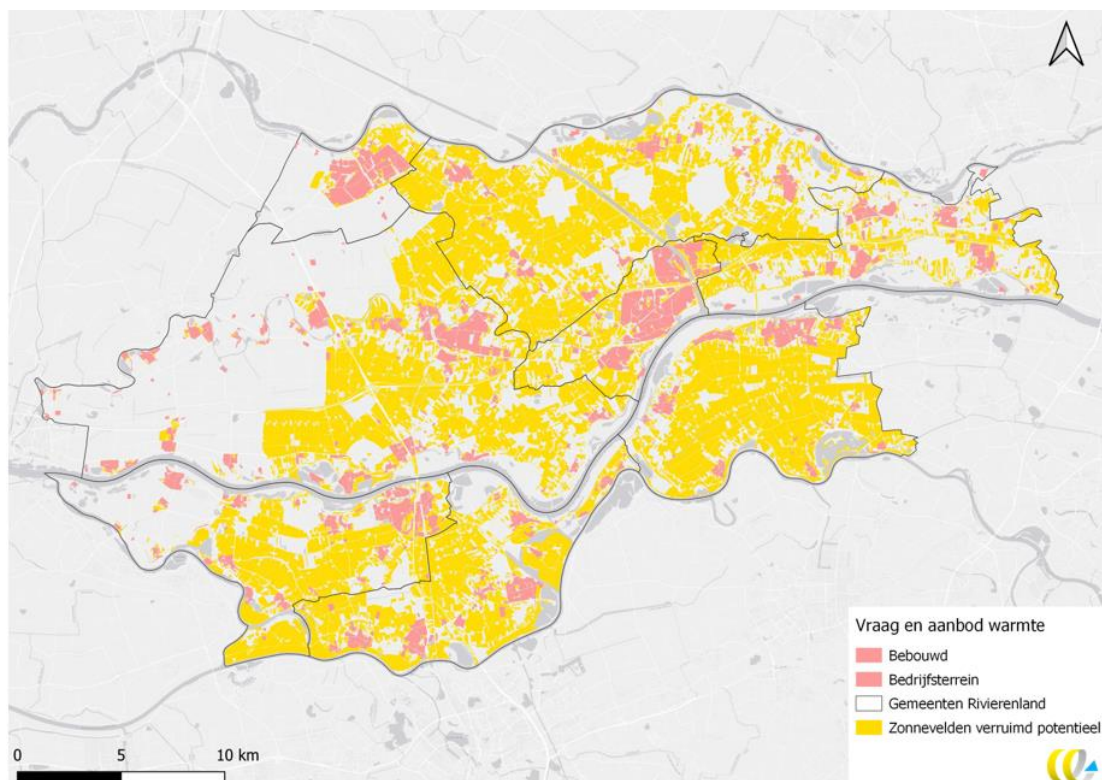
	Temperatuurrange	Glastuinbouw	Gebouwde omgeving
HT	>70°C		✓
MT	55°C-70°C	✓	✓
LT	<55°C	✓	✓

Het SDE+-conceptadvies voor zonthermie is opgesteld op basis van levering aan een warmtewet (PBL, 2020). Er is aangenomen dat hiermee een MT-net (70°C) bedoeld wordt. Er kan rekening gehouden worden met een hoger dan wel lager rendement voor lagere en hogere temperatuurlevering. In deze studie berekenen we de opbrengsten standaard voor 70°C. Hierover kan een bandbreedte van -14% voor HT-opwek (80°C) en +65% voor LT-levering (40°C) geplaatst worden (SDH, 2012c).

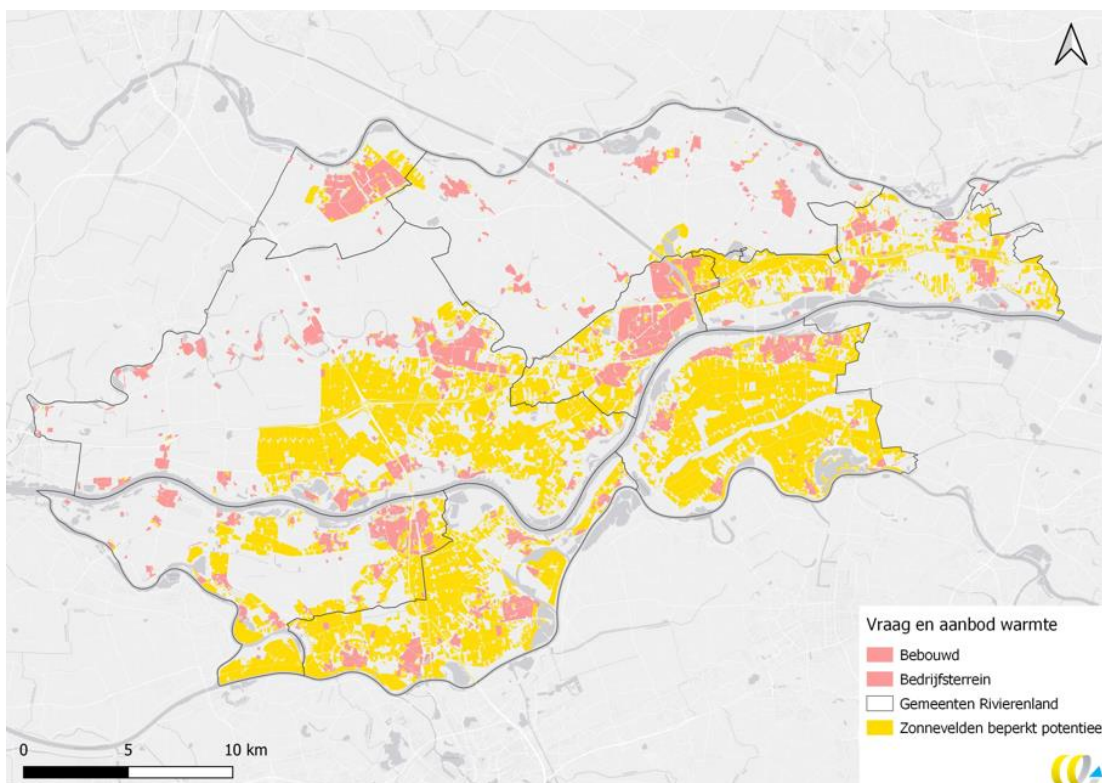
Match tussen vraag en aanbod op gemeentelijk niveau

Indien de zonthermische warmte zou worden benut, zijn er keuzes nodig welke gebieden over de warmte kunnen beschikken. Hoe de beschikbare warmte verdeeld wordt over de verschillende vraagclusters blijft een open vraag. Een mogelijke verdeling om de resultaten inzichtelijk te maken is gebeurd op gemeentelijk niveau, zie Figuur 9 en Figuur 10 Figuur 12. Hierbij worden zowel de locaties van de vraag vanuit de gebouwde omgeving en bedrijfsterrainen in kaart gebracht als de locaties van mogelijke zonnevelden.

Figuur 9 - Locaties van vraag en aanbod: ruim potentieel scenario

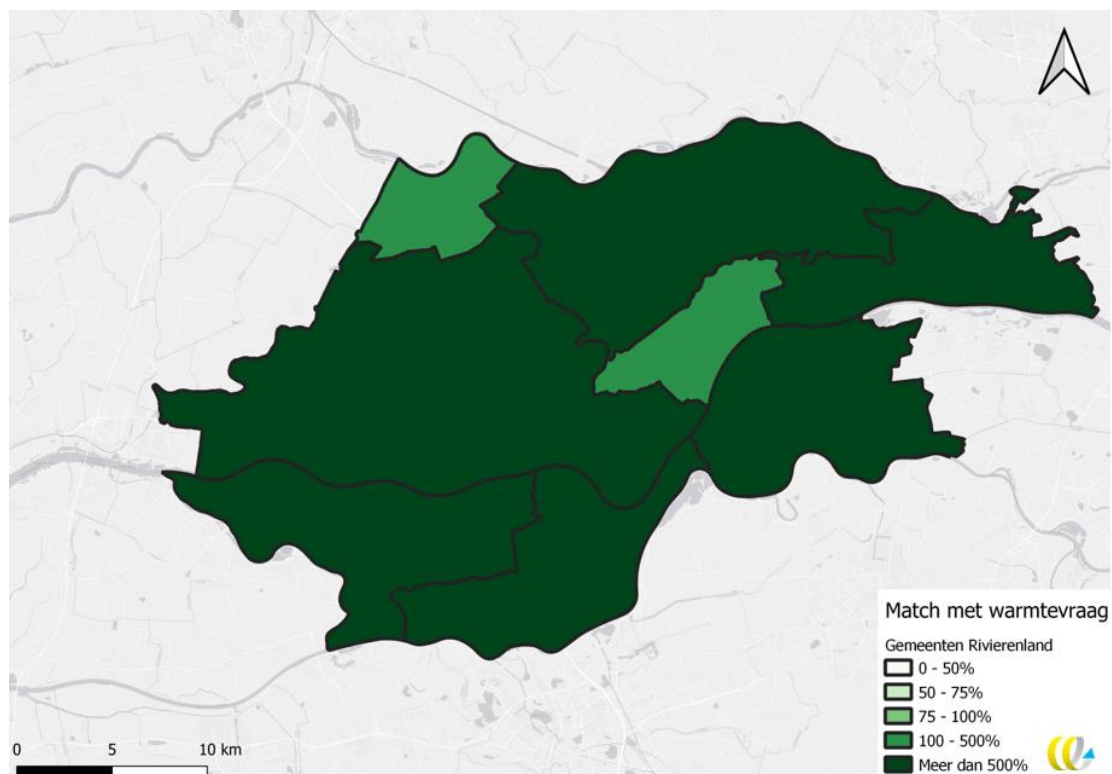


Figuur 10 - Locaties van vraag en aanbod: beperkt potentieel scenario

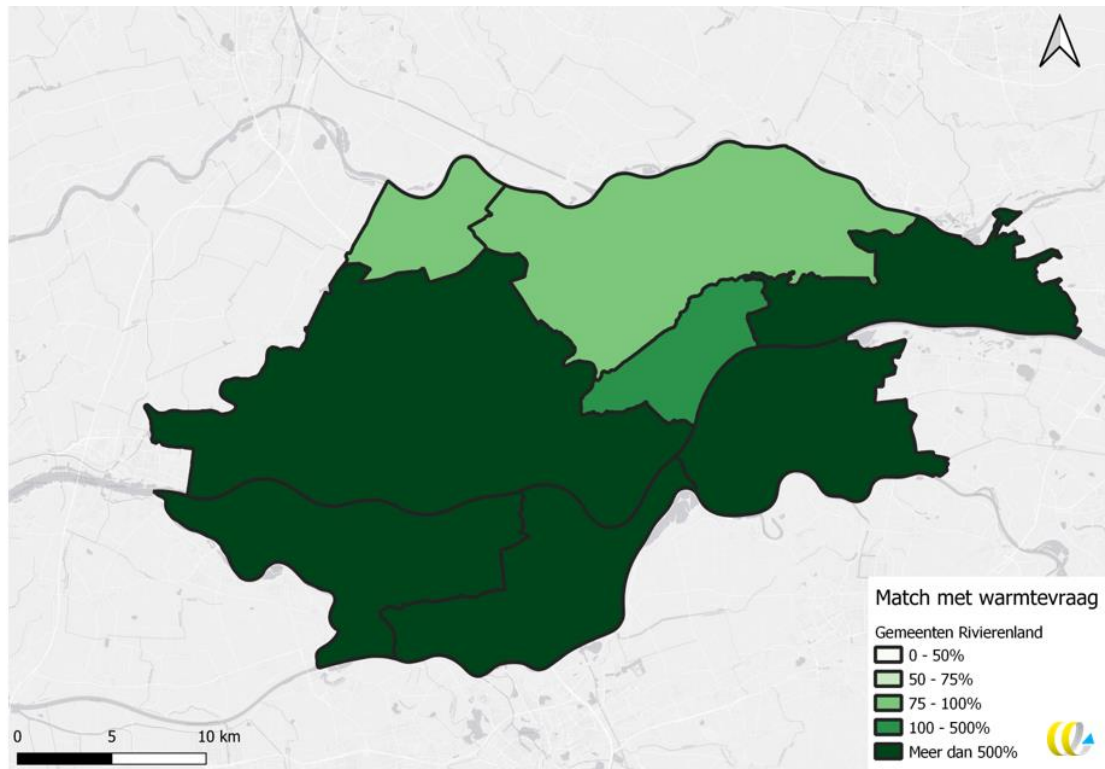


Om een goede inschatting te geven van de potentie wordt per gemeente gekeken in welke mate warmte lokaal beschikbaar is. Een percentage geeft aan hoeveel van de warmtevraag in de gemeente vervuld kan worden door de technische potentie (Figuur 11 en Figuur 12)

Figuur 11 - Match warmtevraag gebouwde omgeving en ruime technische potentie op gemeenteniveau



Figuur 12 - Match warmtevraag gebouwde omgeving en beperkte zonthermische potentie op gemeenteniveau



In veel gemeenten is de technische potentiële productie van zonthermische warmte hoger dan de warmtevraag. De gemeenten in Rivierenland hebben een typerend landelijk karakter waar in theorie veel ruimte is en de warmtevraag van de dorp- en stadskernen relatief klein. Hierdoor is er een volledige dekking mogelijk van de warmtevraag met de lokale zonnewarmte.

De potentiële productie is in Tabel 14 en Tabel 15 gemaximaliseerd op 60% van de geschikte warmtevraag van die gemeente. Dit is in lijn met een zonnefractie van 60%. Daarnaast komen dorps- of stadskernen en kassen die verder liggen dan twee km van potentiële zonthermievelden niet in aanmerking voor de praktische potentie. Warmtetransport over langere afstanden is vaak niet rendabel. In deze potentieberekeningen hebben wij twee km gehanteerd als een harde grens. In praktijk kan hiervan afgeweken worden en is maatwerk nodig. Zo kan het financieel gunstig zijn om grote hoeveelheden warmte over wat langere afstanden te transporteren. Op eenzelfde wijze kan het dat de transportkosten over een afstand van twee km bij een klein zonthermieveld niet in verhouding staan tot de opbrengsten.

Tabel 14 - Praktisch potentieel gemaximaliseerd op de warmtevraag - Beperkt scenario

Opbrengst (PJ)	Warmtevraag Gebouwde omgeving	Warmtevraag Glastuinbouw	Praktische potentie Gebouwde omgeving	Praktische potentie Gebouwde omgeving + Glastuinbouw
Buren	0,7	0,0	0,2	0,2
Culemborg	0,6	0,0	0,3	0,3
Maasdriel	0,7	0,3	0,4	0,6
Neder-Betuwe	0,6	0,1	0,3	0,4
Tiel	0,9	0,0	0,5	0,5
West Betuwe	0,5	0,8	0,3	0,8
West Maas en Waal	1,3	0,1	0,6	0,6
Zaltbommel	0,7	3,0	0,4	1,9
Eindtotaal	6,0	4,3	3,1	5,5

Tabel 15 - Praktisch potentieel gemaximaliseerd op de warmtevraag - Ruim scenario

Opbrengst (PJ)	Warmtevraag Gebouwde omgeving	Warmtevraag Glastuinbouw	Praktische potentie Gebouwde omgeving	Praktische potentie Gebouwde omgeving + Glastuinbouw
Buren	0,7	0,0	0,4	0,5
Culemborg	0,6	0,0	0,3	0,3
Maasdriel	0,7	0,3	0,4	0,6
Neder-Betuwe	0,6	0,1	0,3	0,4
Tiel	0,9	0,0	0,5	0,5
West Betuwe	0,5	0,8	0,3	0,8
West Maas en Waal	1,3	0,1	0,6	0,6
Zaltbommel	0,7	3,0	0,4	2,2
Eindtotaal	6,0	4,3	3,4	6,0

Niet alle dorp- en stadskernen kunnen bediend worden met zonthermie, omdat sommige kernen verder dan twee km verwijderd zijn van potentiële zonthermievelden. Voor de dorp- en stadskernen en glastuinbouw die wel in de nabijheid van potentiële zonthermievelden liggen, is voldoende zonthermiepotentie in alle gemeentes beschikbaar. In het ruime scenario komen net wat meer dorp- en stadskernen en kassen in aanmerking voor zonthermiesystemen, met name in het noorden van Rivierenland, waardoor de praktische potentie wat hoger is.

De dorp- en stadskernen die niet in de buurt liggen van potentiële zonthermievelden in Rivierenland kunnen mogelijk wel gebruik maken van potentiële zonthermievelden in aangrenzende gemeenten. We hebben immers geen rekening gehouden met levering aan aangrenzende gemeenten.

4 Conclusie

Zonnecollectoren op daken of velden leveren warmte op hoge temperaturen (>70°C). Zonthermie is een duurzame warmtebron die rechtstreeks, zonder veel elektrische opwaardering, ingezet kan worden voor de verwarming van de gebouwde omgeving en glastuinbouw in Rivierenland. In de potentiebepaling is rekening gehouden met seizoensopslag zodat de opgewekte warmte uit de zomer kan worden ingezet voor verwarming in de winter.

De totale warmtevraag en technische opwekpotentie van zonnecollectoren op daken en zonthermische velden is per gemeente weergegeven in Tabel 16. De technisch beschikbare potentie uit de onderstaande tabel is hoog. Zeker in het geval van zonnevelden is de technische potentie meerdere malen hoger dan de warmtevraag van gebouwde omgeving en glastuinbouw tezamen.

Tabel 16 - Warmtevraag en technische potentie van zon op dak en zonnevelden per gemeente

Gemeente	Warmtevraag gebouwde omgeving (PJ)	Warmtevraag glastuinbouw (PJ)	Technische potentie zonnecollectoren voor ruimteverwarming - kleine daken (PJ)	Technische potentie zonnecollectoren voor ruimteverwarming - grote daken (PJ)	Technische potentie zonnevelden - beperkt (PJ)	Technische potentie zonnevelden - ruim (PJ)
Buren	0,7	0,0	0,6	0,7	0,6	15,7
Culemborg	0,6	0,0	0,4	0,8	0,5	0,8
Maasdriel	0,7	0,3	0,5	1,6	6,5	7,4
Neder-Betuwe	0,6	0,1	0,5	1,2	3,5	3,9
Tiel	0,9	0,0	0,6	1,5	2,4	3,1
West Betuwe	0,5	0,8	1,0	2,9	10,2	13,7
West Maas en Waal	1,3	0,1	0,4	1,2	8,4	9,8
Zaltbommel	0,7	3,0	0,5	1,5	4,1	7,3
Eindtotaal	6,0	4,3	4,6	11,4	36,2	61,6

De praktische potentie maximeert de technische zonthermievastpotentie op de warmtevraag die in aanmerking komt voor zonthermie. Tussen de 50 en 60% van de warmtelevering in de gebouwde omgeving kan voorzien worden door zonthermie. De bovengrens hierbij is de zonfractie van 60%, welke gehanteerd is als uitgangspunt voor een realistisch zonthermiesysteem.

Tabel 17 - Warmtevraag en praktische potentie van zon op dak en zonnevelden (enkel gebouwde omgeving)

Gemeente	Warmtevraag gebouwde omgeving (PJ)	Praktische potentie zonnecollectoren voor ruimteverwarming - kleine daken (PJ)	Praktische potentie zonnecollectoren voor ruimteverwarming - grote daken (PJ)	Praktische potentie zonnevelden - beperkt (PJ)	Praktische potentie zonnevelden - ruim (PJ)
Buren	0,7	0,4	0,4	0,2	0,4
Culemborg	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3
Maasdriel	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4
Neder-Betuwe	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3
Tiel	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5
West Betuwe	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3
West Maas en Waal	1,3	0,8	0,3	0,6	0,6
Zaltbommel	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4
Eindtotaal	6,0	3,6	3,2	3,1	3,4

Zoals Tabel 16 laat zien, kunnen zonnecollectoren op daken voor ruimteverwarming voorzien in 60% van de warmtevraag van Rivierenland. Dit komt overeen met de hier gehanteerde zonnefractie, maar gaat er ook vanuit dat elke woning gebruik kan maken van individuele seizoensopslag. Dit soort opslag is op individuele schaal niet overal technisch en economisch haalbaar. Daarnaast is het onwaarschijnlijk dat alle daken gebruikt zullen worden voor zonnecollectoren, omdat in de huidige markt zon-pv financieel gunstiger is.

Het technisch potentieel van zonthermische velden is 61,6 PJ in het ruime scenario en 36,2 PJ in het beperkte scenario. Het praktisch potentieel van alleen de gebouwde omgeving is respectievelijk 3,4 PJ en 3,1 PJ. Ook op velden is er concurrentie met zon-pv. Daarnaast zijn er ook andere functies en projecten die op zoek gaan naar dezelfde ruimte in de nabijheid van dorps- en stadskernen, zoals nieuwbouwprojecten.

5 Literatuur

ACM, 2020. Tarievenbesluit warmteleveranciers 2020. Den Haag, Autoriteit Consument & Markt (ACM).

CBS. 2019. *Bestand bodemgebruik 2015* [Online]. [Accessed 2021].

CBS Statline. 2020a. *Energieverbruik particuliere woningen; woningtype en regio's* [Online]. CBS. Available: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/81528NED/table?fromstatweb> [Accessed].

CBS Statline. 2020b. *Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar omvangsklasse en regio* [Online]. CBS. Available: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/80787ned/table?ts=1616691018968> [Accessed maart 2021].

CE Delft, 2020. Kansen voor thermische opslagsystemen. Delft: CE Delft.

CE Delft, PBL, Ecorys & Objectvision, 2019. Functioneel ontwerp Vesta 4.0. Delft, CE Delft.

HoCoSto. lopend. *HoCoSto* [Online]. Available: <https://www.hocosto.com/news/> [Accessed 5 maart 2021].

IEA ECES Annex 30. 2018. *Applications of thermal energy storage in the energy transition: Benchmarks and developments* [Online]. Available: <https://www.eces-a30.org/wp-content/uploads/Applications-of-Thermal-Energy-Storage-in-the-Energy-Transition-Annex-30-Report.pdf> [Accessed 2020].

IF Technology. 2019. *Hoge Temperatuur Opslag (HTO) Workshop Kopper Cress* [Online]. Available: <https://www.gebruikersplatformbodemenergie.nl/wp-content/uploads/2019/06/Benno-Drijver-IF-Technology.pdf> [Accessed 2020].

MilieuCentraal. Lopend. *Volledige warmtepomp* [Online]. Available: <https://www.milieucentraal.nl/energie-besparen/duurzaam-verwarmen-en-koelen/volledige-warmtepomp/> [Accessed 18 maart 2021].

Olczak, Matuszewska & Zabalgo, 2020. The Comparison of Solar Energy Gaining Effectiveness between Flat Plate Collectors and Evacuated Tube Collectors with Heat Pipe: Case Study. *Energies*, 13.

PBL, 2020. Conceptadvies SDE++ 2021. Den Haag, Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

PBL, 2021. Eindadvies basisbedragen SDE++ 2021.

Provincie Gelderland, lopend. Gelderse basis ZonPV-op-dak.

Provincie Gelderland, s.d. Beleidslijn Zonne-energie : Niet formeel tbv. zonthermie. Arnhem: Provincie Gelderland.



RES-regio Rivierenland, s.d. Verbruiksdata Rivierenland ; Warmtevraag van de gebouwde omgeving.

RVO. lopend. *Warmteatlas* [Online]. Available: <https://rvo.b3p.nl/viewer/app/Warmteatlas/v2> [Accessed 8 februari 2021].

SDH, 2012a. Categories of different solar district heating systems. Solar District Heating (SDH).

SDH. 2012b. *Solar district heating guidelines : Where to place the solar collectors Chapter Preliminary investigations , version 2.2.3* [Online]. Available: https://www.euroheat.org/wp-content/uploads/2016/04/SDHtake-off_SDH_Guidelines.pdf [Accessed].

SDH. 2012c. *Solar district heating guidelines : Solar Collectors Chapter:Components, version 7.1-3* [Online]. Available: https://www.solar-district-heating.eu/wp-content/uploads/2018/06/SDH-WP3_FS-7-1_SolarCollectors_version3.pdf [Accessed 2020].

SolarFreezer. lopend. *Solar Freezer* [Online]. Available: <https://www.solarfreezer.nl/> [Accessed 5 maart 2021].

TKI. lopend. *Warmteopslag* [Online]. Available: <https://www.topsectorenergie.nl/tki-urban-energy/kennisdossiers/warmteopslag> [Accessed 13 november 2020].

TNO, 2020. Aanzet tot Routekaart Zonnewarmte. Eindhoven: TNO.

Velden & Smit, 2014. Energiemonitor van de Nederlandse glastuinbouw 2013. Wageningen, LEI Wageningen UR.

WarmingUp. lopend. *Ondergrondse Warmteopslag* [Online]. Available: <https://www.warmingup.info/thema/5/ondergrondse-warmteopslag> [Accessed 11 december 2020].

