

RAPPORT

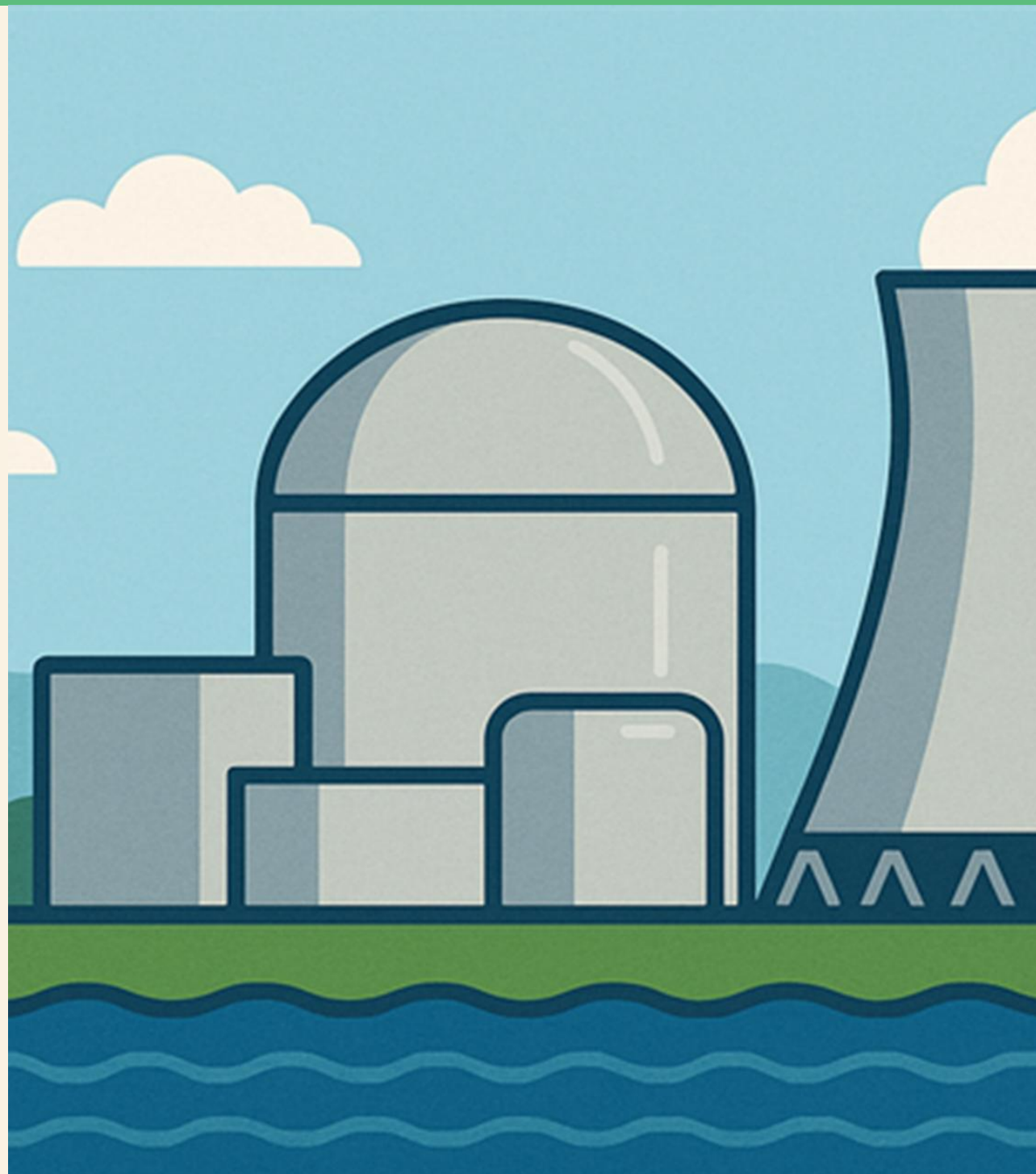
Technische en beleidsmatige verkenning van de rol van SMR's in de provincie Gelderland

Klant: Provincie Gelderland

Referentie: BK9311-MI-RP-260319-1456

Status: Definitief

Datum: 8 mei 2026



HASKONING NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX Amersfoort
Netherlands

Mobility & Infrastructure
Trade register number: 56515154

Telefoon: +31 88 348 20 00
Fax: +31 33 463 36 52
E-mail: info@haskoning.com
Website: haskoning.com

Titel document: Technische en beleidsmatige verkenning van de rol van SMR's in de provincie Gelderland

Referentie: BK9311-MI-RP-260319-1456

Status: Definitief

Datum: 8 mei 2026

Projectnaam

Auteur(s): Niki Lintmeijer, Edward Pfeiffer, Bart Boons, Bas Rooijakkers, Hanna Winters, Ayu Ritzema en Pascal Lamberigts

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. Haskoning Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Let op: dit document bevat mogelijk persoonsgegevens van medewerkers van Haskoning Nederland B.V. Voordat publicatie plaatsvindt (of anderszins openbaarmaking), dient dit document te worden geanonimiseerd of dient toestemming te worden verkregen om dit document met persoonsgegevens te publiceren. Dit hoeft niet als wet- of regelgeving anonimiseren niet toestaat. Dit document kan zijn opgesteld met behulp van kunstmatige intelligentie (AI); alle door AI gegenereerde inhoud is beoordeeld en gevalideerd door onze experts.

Inhoud

Management Samenvatting

2

1 Inleiding

9

1.1 Aanleiding en context

9

1.2 Scope en doelstelling

9

1.3 Aanpak en proces

10

1.4 Leeswijzer

10

2 Over Small Modular Reactors

12

2.1 Wat is een SMR?

12

2.2 Typen SMR's en hun Technology Readiness Levels (TRL)

13

2.3 Toepassingen van SMR's in het algemeen

16

2.4 Toepassingen van SMR's in Gelderland

16

2.5 Onzekerheden en openstaande vragen

18

2.6 Nucleaire brandstofketen

20

2.7 Veiligheidsaspecten van SMR's

21

2.8 SMR-koeling en watergebruik

22

3 Het Gelders energiesysteem

25

3.1 Over het Gelderse energielandschap

25

3.2 Toekomstige elektriciteits- en warmtevraag in de provincie

26

4 Energetische en ruimtelijke verkenning van SMR's in Gelderland: een afwegingskader

32

4.1 Waarom een afwegingskader?

32

4.2 Opzet van het afwegingskader

32

5 Toepassingen van SMR's in beeld

44

5.1 Algemene overwegingen: elektriciteit versus warmte

44

5.2 Toepassing 1: SMR voor elektriciteitsvoorziening van Gelderland

44

5.3 Toepassing 2: SMR voor industriële warmteproductie

49

5.4 Toepassing 3: SMR's in energy hub verband, achter de meter

50

5.5 Toepassing 4: SMR gekoppeld aan stedelijk warmtenet

56

5.6 Toepassing 5: SMR gekoppeld aan waterstof

60

5.7 Algemene inzichten

63

6 Richting een beleidsagenda

67

6.1 Waarom een beleidsagenda?

67

6.2 Overzicht van rollen en verantwoordelijkheden

67

6.3 Bepaling van geschikte rol

68

6.4 Aanzet tot routekaart, benodigde instrumenten en aandachtspunten voor vervolg

71

Bijlagen

A1 Bijlage 1: Verantwoording proces

A2 Bijlage 2: Verantwoording technische verkenning

Begrippenlijst

Afkorting / term	Betekenis
SMR	Small Modular Reactor
Gen III+/Gen IV	Generatie III+/IV: refereert naar type SMR technologie
HT Warmte	Hoge Temperatuur Warmte
LT Warmte	Lage Temperatuur Warmte
HS-station	Hoogspanningsstation
TRL	Technology Readiness Level
MWe	Megawatt elektrisch
MWth	Megawatt thermisch
PJ	Peta Joule (of PJe: Peta Joule elektrisch). 1 PJe = 278 GWhe = 0,278 TWhe
WKK	Warmte Kracht Koppeling
COP	Coefficient of Performance
MKBA	Maatschappelijke Kosten/Baten Analyse
FOAK reactor	<i>First of a Kind</i> reactor
NOAK reactor	<i>Nth of a Kind</i> reactor
PPA	<i>Power Purchasing Agreements</i>
pMIEK	Provinciaal Meerjarenprogramma Infrastructuur Energie en Klimaat
RES-regio	Regionale Energie Strategieregio

Management Samenvatting

Provincie Gelderland verkent de rol van Small Modular Reactors

Provincie Gelderland onderzoekt op verkennende wijze of en hoe kernenergie, in de vorm van Small Modular Reactors (SMR's), in de toekomst een bijdrage kan leveren aan een schoon, betrouwbaar en betaalbaar energiesysteem. Daarbij heeft zij de ambitie uitgesproken om eind 2026 twee mogelijke locaties voor een SMR in beeld te hebben. Om te komen tot een gedegen afweging over de rol van SMR's in de Gelderse energievoorziening voert de provincie meerdere onderzoeken uit in het kader van het Actieplan Kleine modulaire kernreactoren (2024).

Vanuit het Actieplan en op basis van het pMIEK 2.0 heeft de provincie aan Haskoning gevraagd een technische en beleidsmatige verkenning uit te voeren naar de rol van SMR's in de provincie. Het doel van dit onderzoek is verkennen op welke wijze en waar in de provincie een SMR een zinvolle bijdrage kan leveren aan het energiesysteem en welke beleidsontwikkelingen nodig zijn om tot een gedegen afweging te komen over de inzet van SMR's in de provincie. Deze verkenning is tot stand gekomen met behulp van een technische en ruimtelijke analyse, in combinatie met vele gesprekken en enkele werksessies met stakeholders uit de provincie.

Het doel van dit onderzoek is niet om geschikte locaties aan te wijzen voor de SMR. Wél worden in dit rapport met behulp van een afwegingskader kansrijke zones geïnventariseerd waar de SMR op basis van energetische criteria zinvol kan zijn en op basis van omgevingsvoorwaarden zou kunnen passen. Het onderzoeken van de financiële haalbaarheid van SMR's is geen onderdeel van deze verkenning.

Er zijn vele typen SMR's

SMR's zijn kernreactoren met een relatief kleinere vermogensomvang dan conventionele grootschalige kerncentrales. Een belangrijk kenmerk van SMR's is het modulaire ontwerp, bedoeld om de bouwtijd te verkorten, kostenrisico's

te beperken en serieproductie mogelijk te maken. SMR's zijn er in verschillende technische uitvoeringen en ontwikkelstadia, zoals samengevat in Figuur 1.

Waarom een SMR in Gelderland?

De Provincie Gelderland verwacht richting 2050 veel meer elektriciteit nodig te hebben dan vandaag als gevolg van elektrificatie¹. In het Programma Energiesysteem geeft de provincie aan te willen sturen op een brede energiemix, waarbij de leveringszekerheid wordt gewaarborgd en zuinig wordt omgegaan met ruimte. Omdat kernenergie een continue bron is van elektriciteit, kan het bijdragen aan leveringszekerheid en netstabiliteit in een energiesysteem dat steeds meer draait op variabele bronnen zoals zon en wind. SMR's bieden daarnaast voordelen ten opzichte van conventionele kerncentrales door hun modulaire schaal, betere regionale inpasbaarheid en de mogelijkheid om naast elektriciteit ook warmte en, met behulp van elektrolyzers, waterstof te produceren.

Vijf specifieke toepassingen zijn voor Gelderland onderzocht

SMR's kunnen voor meerdere energietoepassingen worden ingezet. De belangrijkste zijn elektriciteitsproductie, warmtevoorziening, waterstofproductie en combinaties hiervan. In deze verkenning zijn vijf specifieke toepassingen onderzocht voor de Gelderse situatie:

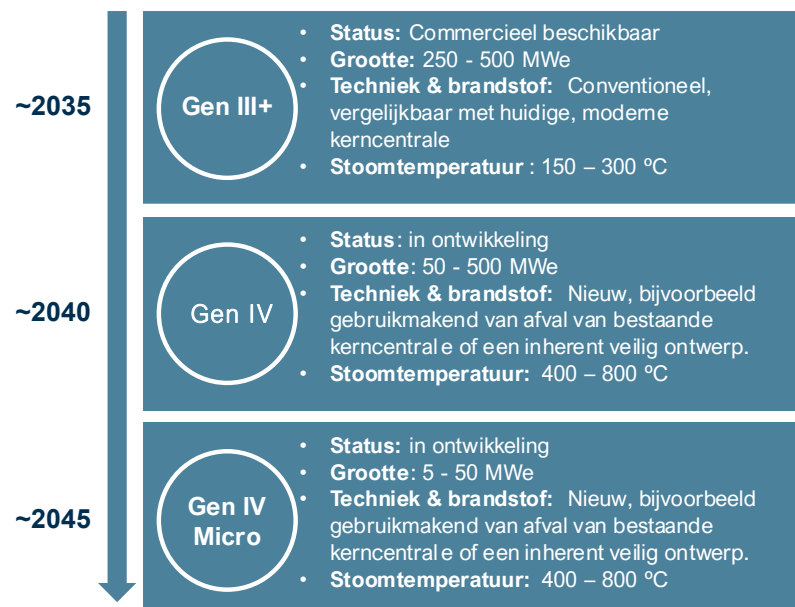
1. SMR (tot 500 MWe) gericht op de Gelderse elektriciteitsvoorziening;
2. SMR gekoppeld aan industriële warmtevraag;
3. SMR in energy hub verband, al dan niet i.c.m. waterstofproductie;
4. SMR gekoppeld aan een (stedelijk) warmtenet;
5. SMR in combinatie met waterstofproductie.

Deze toepassingen zijn specifiek gekozen vanwege de karakteristieken van het Gelders energiesysteem in combinatie met de mogelijkheden van een SMR, en kunnen ook gecombineerd worden ingezet. Zo kan een SMR worden ingezet voor elektriciteit (toepassing 1), en tegelijkertijd zijn restwarmte leveren

¹ Programma Energiesysteem Provincie Gelderland

aan een (stedelijk) warmtenet (toepassing 4). Welke toepassingen het meest zinvol zijn, is afhankelijk van de energetisch-ruimtelijke context in Gelderland.

Figuur 1. Typen SMR's en hun kenmerken. De genoemde tijdlijn is indicatief en afhankelijk van vele factoren.



Het Gelders energiesysteem kent een breed gespreide elektriciteitsvraag, relatief weinig energie-intensieve industrie en afhankelijkheid van import

De provincie Gelderland wordt gekenmerkt door een relatief fijnmazige spreiding van kleinere steden en dorpen, afgewisseld met enkele middelgrote tot grote stedelijke kernen. Energetisch gezien resulteert deze karakteristiek in een breed gespreide elektriciteitsvraag. Gelderland kent daarnaast ongeveer 70 zogenoemde cluster-6 bedrijven die geografisch gespreid gevestigd zijn. In vergelijking met andere provincies is er in Gelderland relatief weinig zware energie-intensieve industrie aanwezig.

² Programma Energiesysteem Gelderland

Het Gelderse energiesysteem kent een sterke afhankelijkheid van import via het landelijke hoogspanningsnet. Elektriciteitsproductie binnen de provincie bestaat voornamelijk uit decentrale bronnen (zon, wind, afval en biomassa), aangevuld met enkele middelgrote installaties gestookt op aardgas, maar zonder grote, continu beschikbare eenheden. De provincie Gelderland is via het regionale 150kV-net gekoppeld met het landelijke 380kV-net. Het landelijke 380kV-net is verbonden met omliggende landen (o.a. Duitsland) en het regionale 150kV-net in Gelderland is verbonden met de regionale 150kV-netten in de Flevopolder en in Utrecht. Deze verbindingen dragen bij aan de stabiliteit en leveringszekerheid van de Gelderse elektriciteitsvoorziening.

Gelderland wil in 2050 klimaatneutraal zijn en in 2030 haar CO₂-uitstoot met 55% reduceren ten opzichte van 1990. Om deze doelen te halen staan de Gelderse industrie, gebouwde omgeving en de agro- en mobiliteitssector voor een toenemende elektrificatie- en verduurzamingsopgave. In het onlangs vastgestelde Programma Energiesysteem wordt een stijging van elektriciteitsvraag verwacht van 36 PJe nu naar 94 tot 120 PJe in 2050.² Tegelijkertijd is de beschikbare transportcapaciteit op het hoogspanningsnet een dominante beperkende factor geworden. Netbeheerder TenneT heeft begin 2026 vastgesteld dat het hoogspanningsnet in Gelderland zijn grenzen nadert. Grootschalige verzwaringen in transportcapaciteit staan gepland en zullen naar verwachting tussen 2035 en 2040 gereed zijn.³

Een afwegingskader helpt om transparante keuzes te maken over de rol van SMR's in de provincie Gelderland

In deze verkenning is door Haskoning, met input van stakeholders, een afwegingskader opgesteld dat inzichtelijk maakt welke aspecten van belang zijn bij het bepalen op welke wijze en waar de SMR een bijdrage kan leveren aan de energievoorziening in de provincie, zie figuur 2. Omdat de SMR een relatief nieuw thema is, zijn nog weinig voorwaarden en eisen op nationaal of provinciaal niveau vastgelegd in beleid en/of wettelijke kaders. Het afwegingskader brengt alle criteria en voorwaarden die belangrijk zijn bij het maken van een integrale afweging over de rol van SMR's in de Gelderse

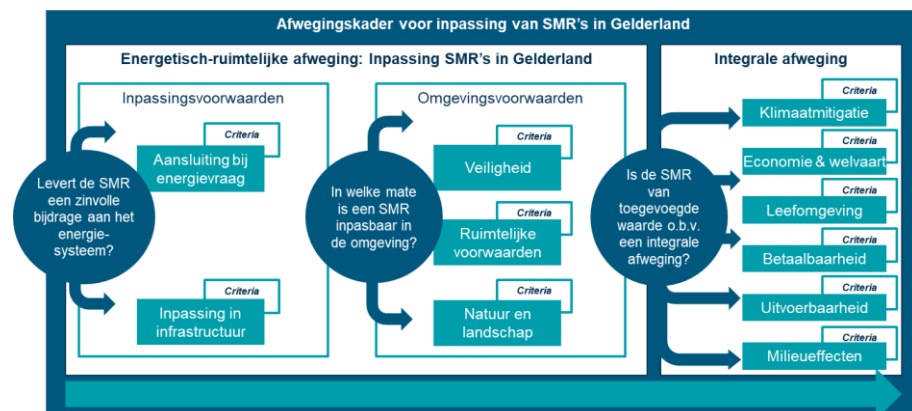
³ Investeringsprogramma (IP) TenneT, Ontwerp Investeringsplan 2026 Net op Land.

energievoorziening bij elkaar, en kan daarmee helpen om de besluitvorming rond de inpassing van SMR's inzichtelijk te maken.

Het afwegingskader is opgebouwd langs drie opeenvolgende stappen die gezamenlijk bepalen of de SMR van toegevoegde waarde is in Gelderland. De eerste twee stappen zijn in dit rapport verkend. De laatste stap betreft een integrale afweging die gemaakt moet worden aan de hand van vervolgstappen.

1. Allereerst wordt gekeken naar **energetische inpassingsvoorwaarden**: kan een SMR een zinvolle bijdrage leveren aan het energiesysteem in Gelderland, op basis van de aard en omvang van de energievraag en de beschikbare of voorziene energie infrastructuur?
2. Vervolgens worden **de omgevingsvoorwaarden** in beeld gebracht, waarbij de vraag centraal staat in welke mate een SMR past binnen de fysieke, ecologische en veiligheidskundige kenmerken en waarden van de omgeving;
3. Indien de eerste twee stappen laten zien dat een SMR mogelijk kansrijk kan zijn, is als derde stap een **integrale afweging** nodig van alle voor- en nadelen op basis waarvan de meerwaarde van een SMR voor Gelderland in bredere zin wordt beoordeeld. Deze factoren zijn in dit rapport niet gewogen.

Figuur 2. Het afwegingskader voor inpassing van SMR's in Gelderland



Grootschalige elektriciteitsproductie en geclusterde warmte/ elektriciteitsvraag zijn in Gelderland het meest kansrijk

Inzichten uit de energetisch-ruimtelijke analyse zijn samengevat in Tabel 1 en op de kaart in Figuur 3. De grootste en meest directe rol voor kernenergie in Gelderland ligt bij een op elektriciteit gerichte, relatief grote SMR ("E-SMR") die bijdraagt aan het waarborgen van de leveringszekerheid van elektriciteit in de provincie. Uit gesprekken met TenneT is daarbij gebleken dat de inzet van een SMR de meeste waarde heeft bij aansluiting op het 150 kV-net, nabij een 380 kV-station waar elektriciteit vanuit het landelijke net Gelderland binnenkomt. Hier heeft een SMR, mits gedimensioneerd naar de elektriciteitsvraag in het verzorgingsgebied en de beschikbare 150 kV capaciteit en zonodig flexibel ingezet, toegevoegde waarde voor de Gelderse elektriciteitsvoorziening. De E-SMR kan hier namelijk helpen om bij de invoeding op het regionale 150 kV net minder afhankelijkheid te creëren van de invoeding via het 380 kV koppelnet. Daarmee kan de E-SMR bijdragen aan het verminderen van congestie op een 380/150 kV knooppunt. Uitgaande van de inzet van een Gen III+ SMR met een vermogen tussen 250 en 500 MWe komen hiervoor locaties in beeld in de nabijheid van 380/150 kV hoogspanningsstations zoals Dodewaard, Wijchen (gepland) en Doetinchem. In principe kunnen ook andere Gelderse 150 kV stations worden overwogen, zolang voldoende aansluitcapaciteit beschikbaar is te maken om het gehele vermogen van de SMR te kunnen dekken.

De inzet van een Gen III+ vereist dat koelwater in voldoende mate in de directe nabijheid beschikbaar moet zijn voor doorstroomkoeling of koeling met koeltorens. Deze combinatie maakt dat de inpasbaarheid van de E-SMR zich vooral concentreert rondom de 380/150 kV knooppunten Dodewaard en Wijchen. TenneT geeft daarbij aan dat het hoogspanningsstation Wijchen vooral gaat bijdragen aan de elektriciteitsvoorziening in het oostelijk deel van Noord-Brabant, waarmee de relevantie voor de systeemfunctie in Gelderland kleiner is.

Optimalisatie van de inzet van een E-SMR is mogelijk door de elektriciteitsproductie te combineren met warmte- en/of waterstofproductie. Warmtekoppeling biedt aanvullende waarde i.c.m. nabijgelegen grote warmtevragers, zowel in de industrie als gebouwde omgeving (stadswarmte).

Daarnaast kan op termijn ook koppeling met waterstofproductie mogelijk worden, afhankelijk van de ontwikkeling van de nationale waterstofbackbone en de mogelijkheden tot ruimtelijke inpassing van elektrolyzers. Haskoning beveelt aan de verdere verkenning van een SMR integraal te doen, waarbij meerdere markten kunnen worden bediend. Dit draagt bij aan optimalisatie van het systeem en vergroot mogelijk de meerwaarde en haalbaarheid.

Voor warmtetoepassingen geldt in het algemeen dat voor afzonderlijke industriële en stedelijke warmtevraagtoepassingen de benodigde capaciteit in Gelderland te klein is ten opzichte van het vermogen en/of warmte dat Gen III+ en Gen IV-SMR's kunnen leveren. Hierdoor ontstaat een structurele mismatch tussen vraag en aanbod. Alleen in geïntegreerde, gecombineerde toepassingen — waar warmte, elektriciteit en bijvoorbeeld waterstofproductie samenkomen — kunnen Gen IV-reactoren een rol spelen, bijvoorbeeld in gebieden als het papiercluster in Eerbeek en het cluster rond Ede-Renkum. Ook deze clusters zijn echter nog relatief klein voor de typisch gehanteerde grens van Gen IV concepten (vanaf 50 MWe of 150 MWth).

Voor de kleinere, individuele vraagtoepassingen zijn micro-SMR's een mogelijke oplossing. Zij sluiten beter aan bij de warmteprofielen die passen bij de gespreide vraag in Gelderland, maar hun commerciële beschikbaarheid is nog onzeker. Micro-SMR's worden veelal pas na 2045 verwacht. Micro-SMR's kunnen vooral relevant worden als warmtevraagtoepassing, of als kleinschalige vorm van elektriciteitsopwekking.

Er zijn nog onzekerheden en vragen rond de SMR

Het thema SMR's in relatie tot het huidige Nederlandse energielandschap is relatief nieuw en de mogelijke inzet van SMR's gaat gepaard met nog onbeantwoorde vragen. Een kernvraag betreft de daadwerkelijke beschikbaarheid en volwassenheid van de technologie: omdat de SMR in een vroeg commercieel stadium staat en bepaalde typen (Gen IV, micro-SMR's) nog in ontwerpfase zijn, zijn planning en kosten nog onzeker. Daarnaast spelen economische onzekerheden een rol. De investeringskosten van SMR's zijn hoog en sterk afhankelijk van de mate van serieproductie en standaardisatie. Het is onzeker of en wanneer deze kosten voldoende zullen dalen om

concurrerend te zijn met andere CO₂-arme alternatieven. Ook is nog onduidelijk welke rol publieke financiering of garanties hierbij moeten spelen.

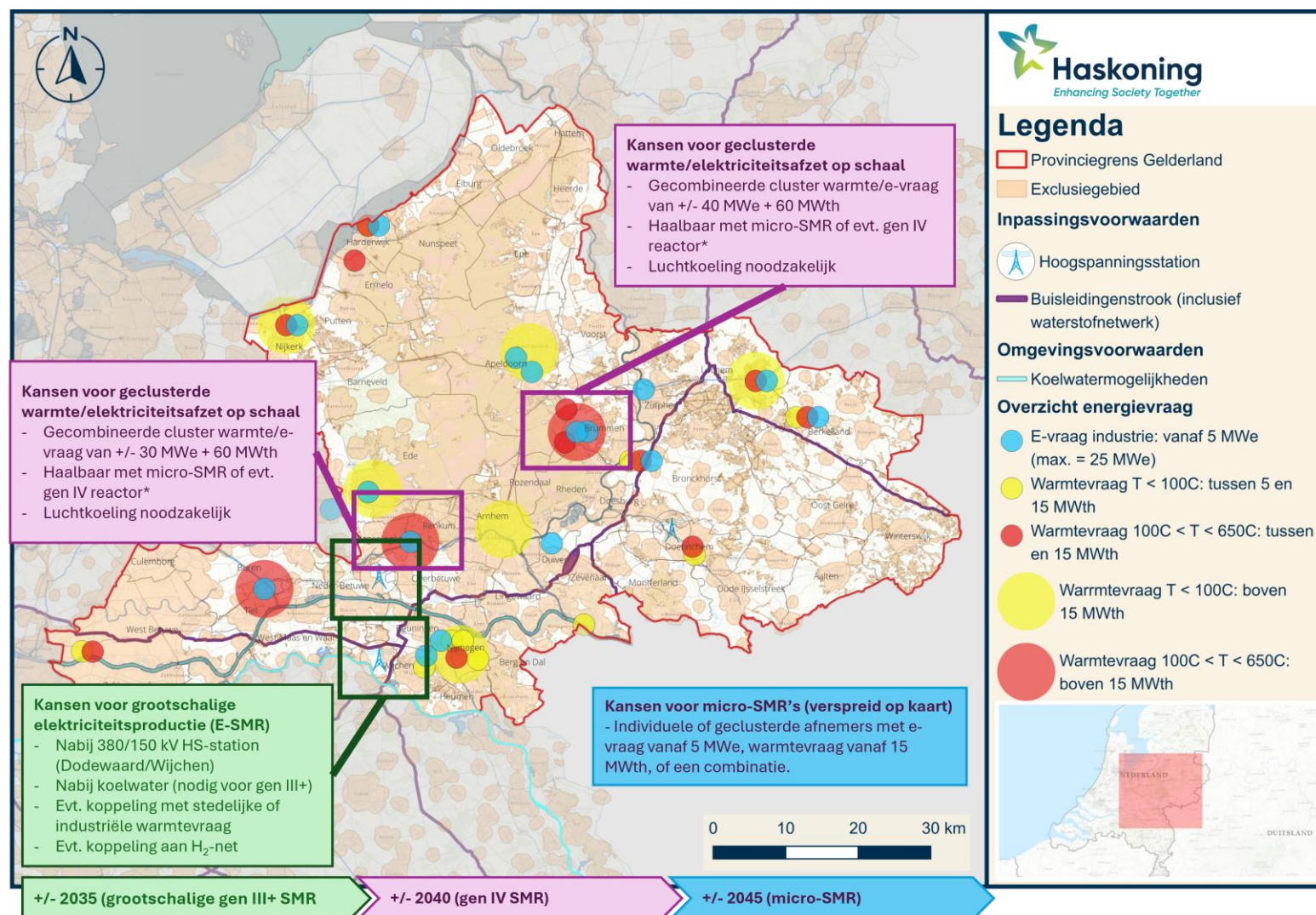
Gesprekken met stakeholders benadrukken daarnaast de maatschappelijke zorg rondom beheer van kernafval. Ook bestaat een sterke behoefte aan helderheid over rollen, verantwoordelijkheden en ambities van verschillende lagen overheden. Met betrekking tot rollen kwam in deze verkenning naar voren dat de verwachtingen van partijen over elkaars rol niet altijd overeenkomen. Ook geven stakeholders aan behoefte te hebben aan een meer integrale analyse van de toegevoegde waarde van de SMR in de provincie in relatie tot andere bronnen.

Tot slot bestaan onzekerheden en vragen op het gebied van wetgeving en ruimtelijke inpassing. De Nederlandse nucleaire regelgeving is primair ingericht op grootschalige kerncentrales. Het is nog onduidelijk in hoeverre procedures, veiligheidscontouren en beoordelingskaders efficiënt toepasbaar zijn op SMR's. Ook ruimtelijke aspecten zoals koelwaterbeschikbaarheid, overstromingsrisico's en nabijheid van beschermde gebieden vragen om een heldere afbakening van randvoorwaarden, criteria en uitsluitingsgebieden. Het afwegingskader opgesteld in deze verkenning doet daar een aanzet toe.

Tabel 1. Mogelijkheden voor vijf specifieke SMR-toepassingen in Gelderland (energetisch-ruimtelijk).

Toepassing	Overwegingen t.a.v. inpassingsvoorwaarden (energetische afweging)	Overwegingen t.a.v. omgevingsvoorwaarden (ruimtelijke afweging)	Overwegingen t.a.v. timing
1. Grote SMR gericht op Gelderse elektriciteitsvoorziening (E-SMR)	Op basis van infrastructuurvoorwaarden komen voor de E-SMR drie kansrijke zones rondom 380/150 KV hoogspanningsknooppunten in beeld, waar een relatief grootschalige SMR kan passen in bestaande en geplande pockets: rondom Doetinchem, rondom Dodewaard en rondom Wijchen. Nabij deze knooppunten kan een SMR, mits juist gedimensioneerd en deels flexibel ingezet, bijdragen aan netstabiliteit, waarbij de locatie Wijchen voornamelijk ontwikkelingen in provincie Noord-Brabant faciliteert.	Kansrijke zones voor de E-SMR ontstaan binnen een straal van 6 km rondom Dodewaard en Wijchen en binnen een straal van 1 km van koelwatermogelijkheden, en buiten de ecologische- en bebouwings-exclusiegebieden (zie kaartmateriaal in Hoofdstuk 5). Rondom Doetinchem is met name de beschikbaarheid van koelwater onzeker. Inpassing nabij het hoogspanningsstation (HS-station) in Rivierenland is minder kansrijk vanwege UNESCO Werelderfgoed, ook is de wijze van netversterking door TenneT van dit station nog niet duidelijk.	Afhankelijk van ruimte op het HS-net en geplande verzwaringen TenneT (tussen 2035-2040).
2. SMR gekoppeld aan industriële warmtevraag	Individuele warmtevraag van industriële bedrijven is te klein om te matchen met de capaciteit van een Gen III+ of Gen IV-kernreactor. Warmtevraag is eventueel geschikt om te matchen met micro-SMR's, of geclusterd binnen een energy hub (toepassing 3). Om deze toepassing voor individuele gebruikers dichterbij te brengen, zouden er grote industriële partijen bij moeten komen, een veelvoud van de huidige grootste stoomgebruikers in Gelderland. Micro-SMR's zouden wel op deze schaal kunnen worden toegepast.	Niet nader onderzocht voor individuele toepassingen vanwege mismatch in schaalgrootte.	Eerst mogelijke beschikbaarheid na 2045 voor de micro-SMR.
3. SMR in energy hub verband	O.b.v. energievraag komen enkele bedrijventerreinen in beeld voor toepassing van SMR's, maar ook voor gecombineerde industriële warmtevraag is de omvang van cluster (warmte)vraag te klein voor Gen III+ en Gen IV SMR-concepten. Micro-SMR's zouden op deze locaties wél passend kunnen zijn, waarbij de clusters rondom Eerbeek en rondom Ede-Renkum groot genoeg kan zijn voor een (kleine) Gen IV reactor. Ook deze clusters zijn echter nog relatief klein voor de typisch gehanteerde grens van gen IV SMR's. Alleen de komst van relatief grote nieuwe afnemers, zoals bijvoorbeeld een datacenter, kan hierbij een uitzondering zijn en een Gen III+ als elektriciteitsproducent uitnuttigen, waarbij ook restwarmte en/of waterstofproductie kan worden meegenomen in de integrale toepassing van een SMR.	Met name de clusters rond Eerbeek en Ede-Renkum (schaalgrootte van enkele tientallen MWth en MWe) komen in beeld als zones waar de Gen IV SMR energetisch en ruimtelijk kan passen, buiten de randen van stedelijk gebied waar energievraag van meerdere industriële partijen kan worden gecombineerd. Luchtkoeling is hier noodzakelijk vanwege afwezigheid van koelwatermogelijkheden.	Eerst mogelijke beschikbaarheid na 2040 voor de gen IV SMR en na 2045 voor de micro-SMR.
4. SMR gekoppeld aan een (stedelijk) warmtenet.	Voor de grootstedelijke gebieden met warmtevraag (Apeldoorn, Ede e.o., Nijmegen, Arnhem) bestaat grotendeels een mismatch tussen het vermogen dat een SMR (Gen III+ of Gen IV) kan leveren en de warmtevraag, ook wanneer gecombineerd met industriële warmtevraag. De SMR is hier met name denkbaar wanneer gekoppeld aan de SMR voor grootschalige elektriciteitsproductie (toepassing 1), waarbij een deel van de restwarmte wordt uitgekoppeld.	Zie toepassing 1. Op basis van omgevingsvoorwaarden van toepassing 1 komt met name regio Nijmegen, en in mindere mate regio Arnhem, in beeld voor koppeling met een stedelijk warmtenet. De relevantie voor de E-SMR is hierbij leidend, waarbij koppeling aan het warmtenet aanvullend is om zo de SMR-restwarmte te benutten.	Zie toepassing 1.
5. SMR in combinatie met waterstof-productie	Gezien de beperkte waterstofvraag van individuele bedrijven in de provincie Gelderland lijkt een SMR in combinatie met waterstofproductie voor directe koppeling aan een afnemer niet voor de hand te liggen, dit verandert wanneer er een grote, geconcentreerde waterstofvraag wordt ontwikkeld. Het succes van deze toepassing is daarmee afhankelijk van de landelijke waterstofbackbone die deels door Gelderland zal lopen. Geschikte zones hangen dan ook samen met de geografische ligging van de waterstofbackbone.	Ruimtelijk inpasbaar binnen een straal van 5 km rondom buisleidingen-netwerk. Waar de straal van 5 km raakt aan koelwatermogelijkheden ontstaan mogelijkheden voor Gen III+ reactoren. Daarbuiten kan de Gen IV SMR worden overwogen. In beide gevallen is koppeling met toepassing 1 mogelijk.	Afhankelijk van ontwikkeling waterstofnetwerk, -prijs en toekomstige -markt.

Figuur 3. Inzichten uit energetisch-ruimtelijke analyse in beeld. NB: Exclusiegebieden betreffen alle gebieden waarvoor in het afwegingskader een uitsluitingscriteria is gehanteerd. Dit betreft een combinatie van woonkernen, Natura 2000, UNESCO Werelderfgoed, Gelders Natuurnetwerk en waterwingebieden.



* Beide clusters vallen net buiten de typisch gehanteerde grens van 50 MWe van de gen IV reactor. Dit type reactor kan hier mogelijk van toepassing zijn ná volledige elektrificatie, of wanneer meerdere afnemers (buiten top-30 bedrijven) worden meegenomen. Nader locatie-specifiek onderzoek zou de haalbaarheid hiervan moeten verkennen.

Provinciale rolbepaling is belangrijk in bepaling van vervolgstappen

In 2025 heeft het Rijk onderzoek gedaan naar het proces in de aanloop naar de ontwikkeling van SMR's in Nederland.⁴ Hierin zijn ook verschillende rollen benoemd die overheden kunnen aannemen in de ontwikkeling van SMR's. Voor de Provincie Gelderland zijn in feite twee hoofdstrategieën te onderscheiden die bepalend zijn in het verkennen van vervolgstappen:

- **Proactief/Actieve industriepolitiek.** In deze strategie is de provincie actieve aanjager van SMR's in de provincie. Dit doet zij onder andere door middel van het vaststellen van een eigen visie en kaders, het integreren van de SMR in de omgevingsvisie en het vastleggen van belangrijke infrastructuurbenodigdheden in de pMIEK. Ook gaat de provincie in deze rol proactief aan de slag met het verkennen van geschikte locaties en toepassingen, het versterken van de kennisketen in Gelderland, het verkennen van financieringsopties en het opstarten van een brede informatiecampagne.
- **Terughoudend/Aan de markt.** Een andere strategie is een meer terughoudende rol vanuit de provincie. In deze strategie laat de provincie de markt aan zet om initiatieven te nemen en zorgt het er alleen voor dat duidelijk is wat wel en niet kan als initiatiefnemers zich melden. In dit geval zal de provincie meer regulerend en afwachtend optreden richting de mogelijke rol van SMR's in het energiesysteem. In deze strategie is het nog steeds belangrijk dat de provincie via beleidskaders randvoorwaarden opstelt, zodat plannen van initiatiefnemers, Rijk of gemeenten daaraan kunnen worden getoetst. Ook past het opstellen van provinciale richtlijnen in veiligheid en toezicht en lange termijnbeleid ten behoeve van de eindberging bij deze rol.

Richting een beleidsagenda

In deze verkenning is samen met stakeholders nagedacht over een mogelijke routekaart voor de ontwikkeling van SMR's in Gelderland. Deze routekaart schetst de fasering en randvoorwaarden voor de mogelijke realisatie, met aandacht voor beleidsmatige voorbereiding en verankering, en vervolgstappen gericht op communicatie, participatie en governance.

De routekaart bevat aanbevelingen voor vervolgstappen in vier categorieën die, afhankelijk van de rolbepaling van de provincie, kunnen worden genomen. In Figuur 35 (Hoofdstuk 6) is aangegeven welke van deze stappen passen bij een meer proactieve rol vanuit de provincie:

- **Verankering in beleid en regels.** Deze categorie bevat activiteiten die de rollen, bevoegdheden en randvoorwaarden concretiseren en vastleggen in beleid, met bijvoorbeeld een vertaling in het Programma Energiesysteem, de provinciale omgevingsvisie, de omgevingsverordening, de provinciale pMIEK-cyclus en aanvullende programma's. Dit creëert duidelijkheid voor besluitvorming en vormt de basis voor toekomstige vergunning- en planprocessen.
- **Economische haalbaarheid, financiering en kennisontwikkeling.** Een belangrijke vervolgstap is de verkenning van economische haalbaarheid, financieringsopties en eigendom, inclusief de rol van publieke middelen. Gelderland kan daarnaast bijdragen aan de doorontwikkeling van de kennisinfrastructuur ten behoeve van de bouw, exploitatie en regelgeving rond SMR's om goed aan te sluiten op initiatieven vanuit de markt.
- **Locatie- en haalbaarheidsbepaling.** Op basis van het voorgestelde afwegingskader (zie figuur 2) kunnen door de provincie kansrijke gebieden verder onderzocht worden via gedetailleerd locatie- en haalbaarheidsonderzoek, aangevuld met o.a. MKBA's en technische analyses. Deze onderzoeken leiden tot concrete go/no-go-momenten voor eventuele vervolgstappen die (private) initiatiefnemers kunnen inzetten richting realisatie.
- **Communicatie, participatie en governance.** Een transparante en vroegtijdige communicatie- en participatieaanpak is nodig, zowel bij de vertaling in beleidskaders als op het niveau van afzonderlijke projecten. Dit vraagt bovendien om duidelijke bestuurlijke afstemming en samenwerking tussen provincie, Rijk, RES regio's, gemeenten, marktpartijen, maatschappelijke organisaties en kennisinstellingen.

⁴ Ministerie van Klimaat en Groene Groei (2025). *Small Modular Reactors in Nederland: bevindingen uit de SMR-simulaties.*

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en context

De transitie van onze huidige energiemix naar klimaatneutrale alternatieven richting 2050 neemt steeds concretere vormen aan. De laatste tijd komt ook kernenergie, waaronder de toepassing van Small Modular Reactors (SMR's), in deze transitie op als een potentieel relevante aanvulling op het energiesysteem. SMR's zijn een nieuwe generatie kernreactoren die zijn ontworpen om kernenergie op kleinere schaal in te zetten dan nu gangbaar is bij de huidige generatie kernreactoren. Dit maakt de techniek mogelijk geschikt voor decentrale toepassingen en voor integratie in regionale energiesystemen. Provincie Gelderland onderzoekt op verkennende wijze hoe kernenergie, in de vorm van SMR's, in de toekomst een bijdrage kan leveren aan een schoon, betrouwbaar en betaalbaar energiesysteem in Gelderland.

In het Gelders coalitieakkoord (2023-2027) is uitgesproken dat de provincie aan het einde van 2026 twee locaties voor een SMR in beeld wil brengen. Als eerste stap hiertoe is in de zomer van 2024 het Actieplan Kleine modulaire kernreactoren vastgesteld. In dit actieplan zijn meerdere activiteiten opgenomen om te komen tot een gedegen afweging over de rol van SMR's in de provinciale energievoorziening, variërend van kennisopbouw tot maatschappelijke dialoog en technische voorbereiding.

Als onderdeel van het Actieplan en de Gelderse pMIEK-cyclus heeft de provincie Gelderland aan Haskoning gevraagd een technische en beleidsmatige verkenning uit te voeren naar de rol van SMR's in het Gelderse energiesysteem. Dit onderzoek bouwt voort op de technische verkenning die door NRG PALLAS in 2025 in opdracht van provincie Gelderland is uitgevoerd. Het onderzoek uitgevoerd door Haskoning is daarmee zowel verdiepend als verbredend, kijkend naar de technische mogelijkheden van de SMR binnen het Gelders energiesysteem, en ook de ruimtelijke en beleidsmatige voorwaarden voor succesvolle inpassing van de SMR.

1.2 Scope en doelstelling

Het thema SMR's in relatie tot het Nederlandse energielandschap is relatief nieuw. Er zijn nog veel onzekerheden over de planning, technische werking, veiligheid, economische haalbaarheid en optimale toepassing van deze technologie in ons energiesysteem. Deze onzekerheden vragen om nadere verkenning en verdieping.

Het doel van dit onderzoek is te verkennen op welke wijze en waar in de provincie Gelderland de SMR een zinvolle bijdrage kan leveren aan het energiesysteem en welke beleidsontwikkelingen nodig zijn om tot een gedegen afweging te komen over de rol van SMR's in de provinciale energievoorziening. De scope van het onderzoek is daarmee tweeledig, bestaande uit:

- Een **technische verkenning** van de rol van SMR's in het Gelders energielandschap aan de hand van energetische en ruimtelijke criteria en randvoorwaarden.
- Een **beleidsmatige verkenning**, waarmee richting wordt gegeven aan een passende beleidsagenda voor de ontwikkeling van SMR's in de provincie.

Om de provincie te ondersteunen bij het in beeld brengen van mogelijke locaties voor de SMR is door Haskoning, met hulp van stakeholders in de provincie, een integraal afwegingskader opgesteld dat richting geeft aan keuzes ten aanzien van de rol van SMR's in de provincie. Het doel van dit onderzoek is daarmee niet om geschikte locaties aan te wijzen voor de SMR. Ook biedt het onderzoek geen integrale afweging van de maatschappelijke waarde van de SMR in vergelijking tot alternatieve duurzame energiebronnen. Wél worden in dit rapport met behulp van het afwegingskader kansrijke zones geïnventariseerd waar de SMR op basis van energetische en ruimtelijke criteria zou kunnen passen. Het afwegingskader biedt vervolgens aanknopingspunten voor de provincie en andere betrokkenen om de volledige integrale afweging ten aanzien van de rol van SMR's in het Gelders energiesysteem in vervolgstappen te kunnen maken.

Tot slot gaat dit rapport niet in op de financiële voorwaarden of business case waaronder de SMR een succesvolle bijdrage kan leveren aan het energiesysteem. Een dergelijke analyse moet onderdeel zijn van verdiepend vervolgonderzoek.

Over de NRG PALLAS studie

In het onderzoek van NRG PALLAS is op hoofdlijnen gekeken naar de technische mogelijkheden voor de inpassing van SMR's, met daarbij aandacht voor de energievraag en de beschikbaarheid van koelwater. Het rapport richt zich met name op SMR-typen die uiterlijk rond 2040 operationeel kunnen zijn.

Uit het onderzoek blijkt dat Gelderland over voldoende koelcapaciteit beschikt binnen het regionale watersysteem om SMR's tot 500 MWe te kunnen inpassen, met name in het riviereengebied en rond de randmeren. Daarnaast laat het onderzoek zien dat er richting 2050 in Gelderland een aanzienlijke behoefte ontstaat aan elektriciteit, warmte en waterstof, waarin de SMR zou kunnen voorzien. Op basis van deze factoren zijn vier gebieden geïdentificeerd als potentieel geschikt voor een SMR: Arnhem-Nijmegen, Rivierenland, IJssel-Zuid en Randmeren.

De verkenning van Haskoning bouwt voort op de inzichten van het NRG PALLAS rapport, maar houdt daarbij een bredere scope aan, zowel op technisch vlak als op beleidsmatig vlak.

1.3 Aanpak en proces

Dit onderzoek is door Haskoning uitgevoerd aan de hand van twee parallelle inhoudelijke sporen. In de beleidsmatige verkenning voerde Haskoning 1-op-1 gesprekken met belanghebbenden om inzicht te krijgen in de mogelijke rol van de SMR binnen de provincie, randvoorwaarden en openstaande vragen en onzekerheden. Haskoning sprak daarvoor onder andere met netbeheerders, projectontwikkelaars, waterschappen, regio's en gemeenten (ambtelijk en enkele wethouders). Een overzicht van gesproken partijen is opgenomen in bijlage 1. Daarnaast organiseerde Haskoning vier thematische werksessies met als doel het integrale afwegingskader te verrijken en aan te scherpen. De werksessies vonden (bijna allemaal) plaats op het provinciehuis in Arnhem met

deelname van een breed aantal partijen. Vier afzonderlijke thema's stonden tijdens de werksessies centraal:

- Ruimtelijke randvoorwaarden;
- Maatschappelijke kansen en uitdagingen;
- Beleidsmatige onderwerpen, rollen en benodigde stappen;
- Afnamebereidheid industrie (i.s.m. het Gelders Energie Akkoord). Deze werksessie vond online plaats.

In de technische verkenning stelde Haskoning, met input uit de werksessies, een energetisch en ruimtelijk afwegingskader op gericht op vijf verschillende energetische toepassingen van de SMR. Ook analyseerde Haskoning de toekomstige energievraag in de provincie en mogelijkheden voor netinpassing. Het eindresultaat van beide verkenningen is een overzicht van kansrijke zones waar de SMR naar verwachting ruimtelijk inpasbaar is en meerwaarde kan bieden in het Gelders energiesysteem. Op basis van de aanduiding van deze gebieden zal de provincie verdere integrale afwegingen kunnen maken over de wenselijkheid en haalbaarheid van de SMR-ontwikkeling in deze zones. Het afwegingskader is daarvoor aangevuld met integrale afwegingscriteria, maar deze zijn in dit rapport niet gewogen. Wel worden aan de hand van een beleidsmatige routekaart aanbevelingen gedaan over vervolgstappen die helpen bij deze verdere duiding.

1.4 Leeswijzer

In dit rapport komen de volgende hoofdstukken aan de orde:

- **Hoofdstuk 2 – Over Small Modular Reactors.** Dit hoofdstuk introduceert de belangrijkste technische kenmerken van SMR's. Er wordt ingegaan op typen SMR en hun Technology Readiness Levels (TRL's), mogelijke toepassingen van SMR's en de vijf toepassingen die in deze verkenning centraal staan. Daarnaast worden relevante onzekerheden, de nucleaire keten en veiligheidsaspecten beschreven.
- **Hoofdstuk 3 – Het Gelderse energiesysteem.** Hoofdstuk 3 schetst de context van het Gelderse energiesysteem. Onderwerpen zijn onder

andere de energie- en warmtevraag in de provincie, de rol van elektrificatie richting 2050, en de warmtevraag van de industrie. De spreiding van elektriciteits- en warmtevraag wordt visueel weergegeven op kaarten, die dienen als basis voor de energetisch-ruimtelijke analyse.

- **Hoofdstuk 4 – Energetische en ruimtelijke verkenning van SMR's in Gelderland: een afwegingskader.** Dit hoofdstuk beschrijft het afwegingskader dat voor deze verkenning is opgesteld. Het bevat gedetailleerde tabellen met de randvoorwaarden en criteria die van toepassing zijn op de inpassing van SMR's in de provincie.
- **Hoofdstuk 5 - Toepassing van SMR's in beeld.** Voor de vijf onderzochte toepassingen worden de energetisch-ruimtelijke afwegingen uitgewerkt. Dit hoofdstuk geeft inzicht in de energetische haalbaarheid van elke toepassing en identificeert de zones waar een SMR, op basis van de criteria uit het afwegingskader, ruimtelijk zou kunnen passen.
- **Hoofdstuk 6 – Richting een beleidsagenda.** Hoofdstuk 6 gaat in op de stappen die nodig zijn om de mogelijke rol van SMR's beleidsmatig te verankeren. Daarbij worden openstaande vragen, rollen en verantwoordelijkheden van betrokken partijen en mogelijke strategische keuzes beschreven. Ook wordt een aanzet gegeven voor een routekaart voor de korte, middellange en lange termijn.

2 Over Small Modular Reactors

Dit hoofdstuk beschrijft de karakteristieken van Small Modular Reactors (SMR's). Eerst wordt ingegaan op de basisprincipes van SMR's en de belangrijkste ontwerpkenmerken die deze reactoren onderscheiden van conventionele kerncentrales. Vervolgens worden de verschillende typen SMR's en hun toepassingsmogelijkheden beschreven. Ook gaat dit hoofdstuk in op veiligheidstechnische aspecten van de SMR en de SMR-keten, van brandstof tot afval. Daarmee vormt dit hoofdstuk de technische basis voor de verdere analyse van de rol van SMR's in Gelderland.

2.1 Wat is een SMR?

SMR's zijn kernreactoren met een relatief kleinere vermogensomvang dan conventionele grootschalige kerncentrales. Waar conventionele kerncentrales doorgaans een elektrisch vermogen hebben van 1.000 tot 1.600 MWe per reactor, ligt het vermogen van SMR's typisch tussen enkele tientallen MWe tot 500 MWe per reactor. De term 'small' verwijst daarmee primair naar het individuele reactorvermogen, niet noodzakelijk naar de totale omvang van de kerncentrale als geheel. Een kerncentrale kan immers uit meerdere reactoren bestaan. Wanneer meerdere reactoren worden geplaatst, is het meest waarschijnlijke scenario dat meerdere van hetzelfde type worden geplaatst, zodat gedeelde infrastructuur en de modulaire bouw optimaal worden benut.

Een belangrijk kenmerk van SMR's is het modulaire ontwerp. In plaats van volledige bouw op locatie, worden onderdelen grotendeels in fabrieken geproduceerd en als modules naar de locatie vervoerd. Deze modules worden op locatie samengebouwd tot een volledige installatie. Dit modulaire principe is bedoeld om de bouwtijd te verkorten, kostenrisico's te beperken en serieproductie mogelijk te maken. Zo wordt naar verwachting het bouwproces beter beheersbaar dan bij grootschalige kerncentrales waardoor vertragingen en kostenoverschrijdingen kunnen worden vermeden. De modulariteit heeft alleen betrekking op de procestechnische onderdelen van de SMR. De civiele en bouwkundige onderdelen worden evenals bij een grote kerncentrale op locatie gebouwd.

SMR's komen voor in verschillende technische uitvoeringen en bevinden zich in verschillende stadia van ontwikkeling. Een groot deel van de zogenaamde "generatie III+" ontwerpen is gebaseerd op de bewezen lichtwater reactortechnologie. Deze technologie wordt ook toegepast in conventionele kerncentrales, maar is bij de SMR compacter uitgevoerd omdat het vermogen al snel een orde kleiner kan zijn. Daarnaast zijn er "generatie IV" ontwerpen die opereren bij hogere temperaturen en gebruikmaken van alternatieve koelmiddelen. Dit zijn de gasgekoelde, vloeibaar metaal gekoelde of gesmolten zoutreactoren. Deze varianten zijn met name interessant voor toepassingen waarbij hoge-temperatuurwarmte nodig is.

"Small" in perspectief

Hoewel SMR's vaak worden gepresenteerd als kleinschalig, is het belangrijk dit te nuanceren. Afhankelijk van het gekozen ontwerp en het aantal reactoren kan een SMR-centrale qua ruimtelijke impact, veiligheidscontouren en koelbehoefte in de buurt komen van een conventionele kerncentrale. Daarmee zijn het grootschalige projecten met betrekking tot investering, financiering, complexiteit en bouwtijd.

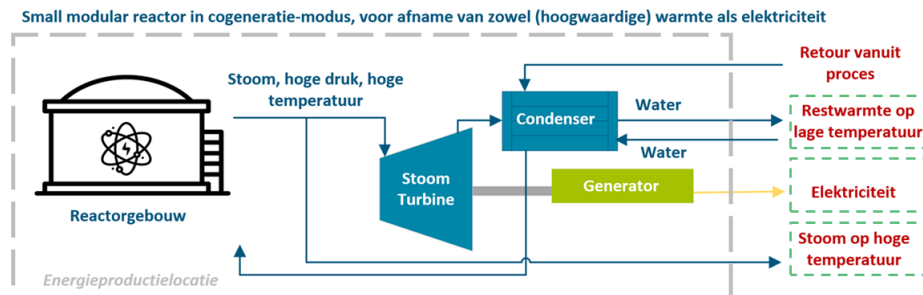
SMR's hebben een vermogen tot 500 MWe en tot 1.500 MWth. Ter vergelijking: de huidige kerncentrale in Borssele, in bedrijf sinds 1973, heeft een elektrisch vermogen van 485 MWe. De voormalige kerncentrale in Dodewaard was een demonstratieproject met een vermogen van 58 MWe. Het elektrisch vermogen van de voormalige kolencentrale Gelderland in Nijmegen was 585 MWe.

Naast deze categorie SMR's worden ook micro-SMR's ontwikkeld, met vermogen in orde van 5 tot 50 MW elektrisch. Micro-SMR's bevinden zich echter nog grotendeels in de ontwikkel- en demonstratiefase en zijn momenteel niet commercieel beschikbaar. De meest concrete, en op termijn realiseerbare SMR-concepten betreffen daarom voornamelijk de grotere ontwerpen (vanaf 50 MWe).

Figuur 4 geeft de essentie van de SMR-werking weer. Bij de splijting van de kernbrandstof onder gecontroleerde condities in het reactorgebouw komt warmte vrij. Deze warmte wordt overgedragen op water en leidt tot de productie van stoom. Met de stoom wordt elektriciteit geproduceerd met behulp van een stoomturbine en een generator. De stoom kan ook als warmtebron worden

ingezet voor industriële processen. Ook stadsverwarming en bijvoorbeeld verwarming van tuinbouwkassen is mogelijk met de warmte van een SMR.

Figuur 4. Technisch concept van de Small Modular Reactor



Waarom een SMR in Gelderland?

De Provincie Gelderland verwacht richting 2050 veel meer elektriciteit nodig te hebben dan vandaag als gevolg van elektrificatie⁵. In het Programma Energiesysteem geeft de provincie aan te willen sturen op een brede energiemix, waarbij de leveringszekerheid wordt gewaarborgd en zuinig wordt omgegaan met ruimte. Omdat kernenergie een continue bron is van elektriciteit, kan het bijdragen aan leveringszekerheid en netstabiliteit in een energiesysteem dat steeds meer draait op variabele bronnen zoals zon en wind. SMR's bieden daarnaast voordelen ten opzichte van conventionele kerncentrales door hun modulaire schaal, betere regionale inpasbaarheid en de mogelijkheid om naast elektriciteit ook warmte en, met behulp van elektrolyzers, waterstof te produceren.

2.2 Typen SMR's en hun Technology Readiness Levels (TRL)

SMR's worden ingedeeld naar technologische generatie. In dit onderzoek wordt onderscheid gemaakt tussen generatie III(+) SMR's, generatie IV-SMR's en de micro-SMR's, een verkleinde uitvoering van de generatie IV-SMR:

- **Generatie III(+)** SMR's zijn gebaseerd op bestaande lichtwater-reactortechnologie, zoals drukwaterreactoren (PWR) en kokend-water reactoren (BWR). De technologie is wereldwijd commercieel in gebruik bij grootschalige kerncentrales en geldt als uitontwikkeld. De SMR-ontwerpen maken gebruik van dezelfde fundamentele veiligheidsprincipes, vaak aangevuld met passieve veiligheidssystemen. De generatie III(+) SMR is primair gericht op elektriciteitsproductie en eventueel levering van warmte op lage- tot middentemperatuur;
- **Generatie IV** SMR's omvatten een bredere groep innovatieve reactorconcepten, zoals hoge temperatuur gasgekoelde reactoren, gesmolten zout reactoren en vloeibaar metaal gekoelde reactoren. Deze ontwerpen kenmerken zich door hogere bedrijfstemperaturen en potentieel hogere energetische efficiëntie. Daardoor zijn zij niet alleen geschikt voor elektriciteitsproductie, maar ook voor industriële proceswarmte en de efficiëntere productie van waterstof (ten opzichte van waterstofproductie met behulp van elektriciteit alleen). Deze technologieën zijn nu nog niet commercieel beschikbaar en bevinden zich nog grotendeels in de demonstratie- of ontwikkelfase;
- **Micro-SMR's** vormen een aparte categorie Gen IV-reactoren met kleine vermogens (veelal onder de 50 MWe). Deze reactoren worden vooral ontworpen voor kleinschalige toepassingen, maar zijn nog in een relatief vroeg stadium van ontwikkeling.

De mate waarin SMR-technologie daadwerkelijk beschikbaar is, wordt uitgedrukt in Technology Readiness Levels (TRL). Hierbij staat TRL 1 voor fundamenteel onderzoek en TRL 9 voor een volledig bewezen, commercieel beschikbare technologie. Generatie III(+) SMR's bevinden zich momenteel volgens het IAEA⁷ in de "licensed / under construction" categorie, wat overeenkomt met de hoogste TRL-categorieën (7 à 8); enkele ontwerpen zijn al vergund of in aanbouw in de Westerse wereld.⁶ Voor generatie IV-SMR's en micro-SMR's geldt dat de ontwerpen zich in een "development / demonstration phase" bevinden, dus een vroegere TRL-fase (3 à 4). Over het algemeen geldt

⁵ Programma Energiesysteem Provincie Gelderland

⁶ Canada's first SMR project: How is CAD 20.9 billion cost calculated? - World Nuclear News

dat technologieën met een lagere TRL grotere onzekerheden kennen in doorlooptijd en technische en economische prestatie.

Hoewel er in Rusland en China inmiddels SMR-projecten operationeel zijn, is de mate waarin deze als representatief kunnen worden beschouwd voor de Europese context beperkt. De gerealiseerde projecten betreffen grotendeels staatsgedreven demonstratieprojecten, waarbij kosten, financieringsstructuren en doorlooptijden niet transparant zijn en moeilijk te vergelijken met marktgedreven projecten in Europa. Daarnaast wijken zowel de toegepaste technologieën als de institutionele context af. De Russische KLT-40S is gebaseerd op maritieme reactoren, terwijl de Chinese HTR-PM een hoge-temperatuurreactor betreft die zich nog in de demonstratiefase bevindt.⁷

SMR-technologieontwikkeling in Nederland

In Nederland zijn er meerdere bedrijven die hun SMR concept aanbieden. Twee Nederlandse bedrijven ontwikkelen een eigen SMR-concept. Dat zijn Thorizon en Allseas. Voor beide technologieën geldt dat er nieuwe brandstof wordt gebruikt waarvoor de leverings- en afvalverwerkingsketen nog moeten worden ontwikkeld.

- **Thorizon:** De Thorizon One reactor is een middelgrote generatie IV-gesmoltenzoutreactor met een elektrisch vermogen van 100 MWe en een thermisch vermogen van 250 MWth. In tegenstelling tot de bij generatie III+ gangbare uraniumpellets maakt deze reactor gebruik van gesmolten zout als drager voor de brandstof (waarin onder andere plutonium uit bestaande Gen III-reactoren is opgelost) en als koelmiddel. Zo wordt de nucleaire brandstof nogmaals gebruikt voor energieopwekking, waardoor de totale hoeveelheid langlevend kernafval wordt verminderd. De aanvang van de bouw van Thorizon One is door Thorizon voorzien vanaf 2030.
- **Allseas:** De Allseas-reactor is een micro-SMR van het type HTGR (High-Temperature Gas-cooled Reactor) met een elektrisch vermogen van 25 MWe en een thermisch vermogen van 70 MWth. De beoogde brandstof is TRISO, die bestaat uit uraniumkorrels met meerdere keramische coatings, wat zorgt voor een hoge veiligheid en robuustheid. De reactor is ontworpen voor maritieme toepassingen, maar kan ook worden ingezet voor civiele doeleinden. Allseas verwacht dat de technologie rond 2030 in een demonstratieproject kan worden getest.

Flexibele inzet SMR

Een SMR beschikt, afhankelijk van het type, over een bepaalde mate van flexibiliteit in de bedrijfsvoering. Zoals weergegeven in Tabel 2 kunnen sommige ontwerpen hun vermogen binnen zekere grenzen regelen. Wel kan de intensieve op- en afschaling van het elektrisch vermogen leiden tot versnelde slijtage en hogere onderhoudskosten. Daarom is een productieprofiel met zo min mogelijk variatie het best bezien van onderhoudskosten en levensduur, maar daarnaast ook vanuit het aantal vollasturen en afzet. Een andere mogelijkheid om een flexibeler inzet te benaderen, is door tijdelijk meer of minder warmte weg te koelen en dus niet alle geproduceerde stoom te gebruiken voor elektriciteitsproductie.

Uit interviews met Original Equipment Manufacturers (OEM's) die Haskoning voor eerdere SMR-projecten uitvoerde wordt het beeld bevestigd van SMR's als kapitaalintensieve installaties die economisch vooral renderen wanneer ze gedurende zoveel mogelijk uren op vol vermogen draaien. Het maximaliseren van de productie is daarmee logisch voor het terugverdienen van de investeringen. Als een SMR zelf niet als flexibele energieopwekker wordt ingezet, kan de match tussen vraag en aanbod in een energiesysteem worden gemaakt met behulp van flexibele afname van elektriciteit of warmte, bijvoorbeeld door inzet van een elektriciteitsoverschot voor de productie van waterstof. Of flexibele afname kan worden bediend door middel van energieopslag, bijvoorbeeld een nageschakelde gesmolten zoutopslag. Bij SMR-toepassingen wordt steeds de balans gezocht tussen dat wat een SMR kan bieden en dat wat de toepassing vraagt. Deze oplossingen, waarbij de SMR zelf in feite niet flexibel produceert maar er nageschakelde techniek wordt toegepast, vergen wel extra investeringen.

Samenvattend zijn SMR's vanuit technisch oogpunt inzetbaar als flexibele energiebron in een energiesysteem. Deze flexibele inzet kan in bepaalde mate worden gerealiseerd door het op- en afregelen van de reactor zelf, dan wel te variëren tussen stoom een elektriciteitsproductie, dan wel door middel van een nageschakeld opslagsysteem of flexibele gebruiker.

⁷ *Technology roadmap for small modular reactor deployment*

Tabel 2. Overzicht SMR-typen en hun toepassingen

	Gen III+ 250 tot 500 MWe 750 tot 1.500 MWth	Gen IV 50 tot 500 MWe 150 tot 1.500 MWth	Micro-SMR's 5 tot 50 MWe <i>Gen III+ óf Gen IV</i>
Voorbeelden	Rolls-Royce SMR (470 MWe) GE Hitachi BWRX-300 (300 MWe) NuScale 4NPM (4 x 77 MWe) Holtec SMR-300 (2 x 320 MWe) Westinghouse AP300 (300 MWe) KHNP i-SMR (4 x 170 MWe)	X-Energy Xe-100 (4 x 80 MWe) Newcleo LFR-AS-200 (2 x 200 MWe) TerraPower Natrium Reactor (335 MWe) Terrestrial IMSR400 (195 MWe) Kairos Power KP-FHR (2 x 75 MWe) Thorizon Thorizon One (100 MWe)	Westinghouse eVinci (~5 MWe) Oklo Aurora (~15 MWe) Allseas (25 MWe)
Toepassing	Grootschalige elektriciteit, basislast (90 tot 95% productiefactor). Sommige SMR's vraagvolgend regelend tussen 50 en 100% van de capaciteit (op- en afschalen met 1 tot 5% per minuut). Ook geschikt voor WKK en koppeling aan (HT-) electrolyser voor productie van 60 tot 90 kton waterstof per jaar.	Bestaat in grote (250 tot 500 MWe) en middelgrote (50 tot 250 MWe) varianten. Elektriciteit is mogelijk, maar Gen IV richt zich vooral op hoge temperatuur proceswarmte voor industrie (250 tot 850 MWth, 400 tot 600°C), WKK en waterstof-productie. Gen IV heeft meer mogelijkheden voor regelbaar vermogen en vraagvolgend (5 tot 15% per minuut) met eventueel batterij-functie doordat de reactor continu kan draaien en warmte (bv gesmolten zout) in tanks wordt opgeslagen.	Kleinschalige elektriciteitsvoorziening, autonome of off-grid toepassingen; beperkte rol in grote warmtenetten
Ruimte	Inrichting: 10 tot 15 ha Tijdelijk bouwterrein: 20 tot 30 ha	Groot (250 tot 500 MWe): Inrichting: 10 tot 15 ha, tijdelijk bouwterrein: 20 tot 30 ha. Middelgroot (50 tot 250 MWe): Inrichting: 3 tot 10 ha, tijdelijk bouwterrein: 6 tot 20 ha	Inrichting: 1 ha Tijdelijk bouwterrein: 2 tot 5 ha
Koeling	Meestal via koelmodules, in een enkel geval via oppervlaktewater. Koelwaterbeschikbaarheid is een vereiste vanwege noodkoeling.	Grote Gen IV reactoren hebben minder koeling nodig voor warmte-toepassing. Bij reactoren die inherent veilig zijn en waarschijnlijk kleiner van schaal, is de beschikbaarheid koelwater t.b.v. noodkoeling mogelijk geen harde vereiste.	Meestal luchtgekoeld of passief.
Beschikbaarheid	De eerste 'First-of-a-kind'-projecten (FOAK's) wereldwijd binnen deze groep worden verwacht rond 2030-2032; leveringscontracten zijn getekend. Naar waarschijnlijkheid operationeel in Nederland vanaf 2035.	Eerste FOAK's 2031-2035, naar verwachting operationeel in NL rond 2040. Voor dit type zijn alleen nog techniek ontwikkelingscontracten getekend.	Eerste demoprojecten verwacht na 2030, commerciële uitrol onzeker (indicatie rond 2045).

2.3 Toepassingen van SMR's in het algemeen

SMR's kunnen voor meerdere energietoepassingen worden ingezet. De belangrijkste zijn elektriciteitsproductie, warmtevoorziening, waterstofproductie en combinaties hiervan (WKK en Energy Hubs). De verschillende toepassingen worden hieronder nader toegelicht.

Elektriciteitsproductie

Elektriciteitsproductie betreft de meest voor de hand liggende toepassing en is voor kerncentrales tot nu toe ook de enige toepassing. SMR's leveren bij voorkeur continu elektriciteit en fungeren daarmee als stabiele, CO₂-vrije basislast-voorziening in het energiesysteem. In tegenstelling tot zon en wind is de productie van elektriciteit bij SMR's niet weersafhankelijk. Ook zorgt de SMR voor een stabiele 50 Hz netfrequentie, wat voor sommige industrieën een essentiële randvoorwaarde is. Deze eigenschappen dragen bij aan de leveringszekerheid, stabiliteit en het kortsluitvermogen van het net, met name in systemen waarin het aandeel niet regelbare hernieuwbare elektriciteit sterk toeneemt. Voor het produceren van elektriciteit wordt ongeveer 35% van de opgewekte warmte/stoom uit het reactorvat omgezet door de stoomturbine in elektriciteit. Het restant komt vrij in de vorm van restwarmte en kan nuttig worden gebruikt, of moet worden weggekoeld, meestal met behulp van oppervlaktewater (afhankelijk van de grootte van de SMR).

Warmtelevering

De tweede belangrijke toepassing is warmtelevering. Bij inzet van een SMR voor warmtelevering wordt de thermische energie uit de reactor direct benut. De kernreactor produceert warmte die via het primaire en secundaire circuit beschikbaar komt in de vorm van stoom of heet water. Verschillende vormen van warmtelevering zijn mogelijk:

- Rechtstreeks als hogedruk stoom voor processen in de industrie die stoom nodig hebben op een temperatuur van 300°C of meer;
- In de vorm van aftapstoom of tegendruk stoom. De stoom komt dan uit de stoomturbine op een lagere temperatuur en druk, maar wel dusdanig hoog dat hiermee industriële processen van stoom kunnen

worden voorzien. Deze vorm van stoomlevering wordt gecombineerd met de productie van elektriciteit, ook wel warmtekrachtkoppeling (WKK) genoemd. Bij het gebruik van stoom of heet water net iets boven de 100°C is de warmte ook inzetbaar voor traditionele stadswarmtenetten op hoge temperatuur. Bij WKK-toepassingen gaat warmtelevering ten koste van de productie van elektriciteit. Het elektrisch rendement daalt, maar daar staat tegenover dat het gecombineerde rendement van elektriciteit en warmte fors toeneemt tot 70 à 90%, afhankelijk van de mate van warmteafname);

- In de vorm van restwarmte die vrijkomt bij het condenseren van de stoom op een temperatuur van om en nabij de 50°C. Warmte van deze temperatuur is inzetbaar in midden- en lage temperatuur warmtenetten en voor de verwarming van glastuinbouwkassen.

Waterstofproductie

De productie van waterstof is het derde toepassingsgebied van SMR's. De SMR levert dan elektriciteit en desgewenst ook warmte aan het elektrolyse proces. Met name hoge-temperatuurreactoren bieden mogelijkheden voor efficiëntere waterstofproductie met SOEC (Solid Oxide Electrolyzer Cells). Deze nieuwe technologie werkt op temperaturen boven de 700°C en belooft daarmee een energetische efficiëntie die tot een kwart hoger ligt ten opzichte van de nu gangbare elektrolyse technieken.

2.4 Toepassingen van SMR's in Gelderland

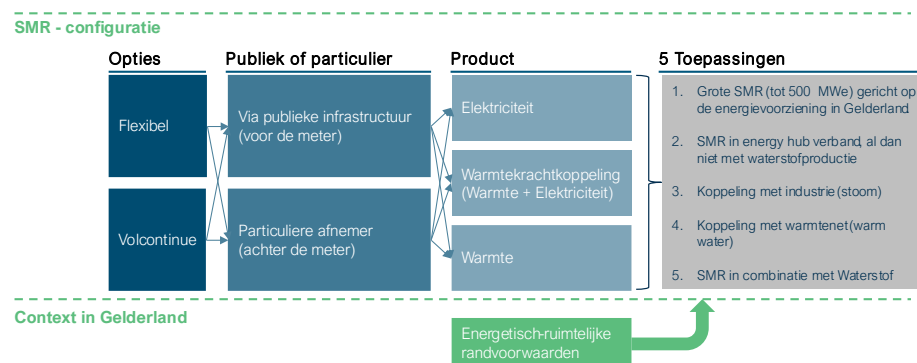
In deze verkenning zijn vijf specifieke toepassingen voor SMR's in Gelderland onderzocht, zie ook Figuur 5:

1. Een SMR gericht op de Gelderse elektriciteitsvoorziening;
2. Een SMR gekoppeld aan industriële warmtevraag;
3. Een SMR in energy hub verband, al dan niet i.c.m. waterstofproductie;
4. Een SMR gekoppeld aan een (stedelijk) warmtenet;
5. Een SMR gericht op de productie van waterstof.

Deze toepassingen zijn specifiek gekozen vanwege de karakteristieken van het Gelders energiesysteem in combinatie met de mogelijkheden van SMR

concepten, en kunnen in combinatie worden ingezet. Zo kan een SMR worden ingezet voor elektriciteitsproductie (toepassing 1), en tegelijkertijd zijn restwarmte leveren aan een (stedelijk) warmtenet (toepassing 4). Welke toepassingen het meest zinvol zijn, is afhankelijk van de energetisch-ruimtelijke context in Gelderland.

Figuur 5. Onderzochte SMR toepassingen



1. SMR (tot 500 MWe) gericht op de Gelderse elektriciteitsvoorziening

Bij de toepassing van de SMR voor elektriciteit is de gedachte om de SMR aanvullend te laten zijn op de hernieuwbare elektriciteitsproductie uit wind, zon en biomassa. De SMR wordt regelbaar ingezet binnen de technische mogelijkheden en wordt zodanig gedimensioneerd dat vraag en aanbod van elektriciteit in Gelderland in grote mate in balans komen. De noodzaak tot structurele import van elektriciteit en daarmee de belasting van het nationale HS-net neemt zo af. De referentie situatie bij het niet toepassen van SMR is:

- Meer (internationale) import van energiedragers en/of;
- Meer wind op zee i.c.m. waterstofproductie en energieopslag;
- Meer wind en zon op land i.c.m. waterstofproductie en energieopslag.

2. SMR gekoppeld aan industriële warmtevraag

Bij het toepassen van de SMR in de industrie wordt beoogd bedrijven van warmte, veelal in de vorm van stoom, te voorzien. De SMR komt dan in de plaats van de stoomketels die nu nog overwegend met aardgas gestookt

worden. De stoomketels kunnen aangehouden worden voor backup en/of pieklast. De referentie situatie bij het niet toepassen van de SMR is:

- Meer inzet op groen gas en/of waterstof als aardgasvervanger;
- Inzet van all electric systemen voor productie van stoom;
- Bij lagere temperaturen: inzet van warmtepompen.

3. SMR in energy hub verband, al dan niet i.c.m. waterstofproductie

De SMR in energy hub verband heeft als streven de SMR gecombineerd te gebruiken, zodat meerdere typen afnemers worden bediend met verschillende vormen van energie. De toepassingen worden dan in meer of mindere mate gecombineerd. Hiermee is de SMR enerzijds gericht op het maximaal benutten van de SMR-capaciteit en anderzijds om met een installatie van zo groot mogelijke energetische betekenis te zijn in regionaal verband. De referentiesituatie bij het niet toepassen van de SMR bestaat uit een combinatie van bovengenoemde referentie situaties:

- Meer (internationale) import van energiedragers;
- Meer zon en wind (op zee), evt. i.c.m. waterstofproductie en energieopslag;
- Meer inzet op groen gas en/of waterstof als aardgasvervanger;
- Inzet van all electric systemen voor productie van stoom;
- Bij lagere temperaturen: inzet van warmtepompen.

4. SMR gekoppeld aan (stedelijk) warmtenet

Bij toepassen van de SMR voor stadsverwarming, al dan niet i.c.m. levering van warmte aan glastuinbouw, gaat het om toepassing in grootstedelijk gebied. De SMR neemt dan het grootste deel (basislast en deels midlast) van de warmtevoorziening voor zijn rekening. Inzet van de SMR kan worden overwogen als hernieuwbare grootschalige warmtebronnen zoals geothermie, aquathermie en biowarmte niet of in onvoldoende mate aanwezig zijn. De referentie situatie bij het niet toepassen van de SMR is dan ook:

- Toepassing van grootschalige duurzame warmtebronnen;
- Geen stadsverwarming, wel kleinschalige collectief of individueel;
- Inzet van groen gas voor ruimteverwarming.

5. SMR in combinatie met waterstofproductie

SMR voor waterstof kan voor Gelderland relevant zijn omdat er enerzijds industrie (o.a. grof keramisch) aanwezig is met hoge temperatuur processen waarbij stoom niet toereikend is of all electric verwarmen zich moeilijk laat toepassen. Anderzijds zal de landelijke waterstofbackbone, de infrastructuur voor het grootschalige transport van waterstof, door Gelderland lopen. Dit maakt dat de afzet van waterstof altijd mogelijk is, hetzij direct of indirect. De referentie situatie bij het niet toepassen van de SMR is:

- Blauwe waterstof gemaakt uit aardgas i.c.m. CCS;
- Groene waterstof gemaakt met elektriciteit uit wind en zon;
- Import van waterstof via de waterstofbackbone uit andere provincies of het buitenland.

Bij elke toepassing geldt dat de dimensionering van de SMR steeds op de vraag moet worden afgestemd. Wanneer de energievraag te klein is, kan dit leiden tot de constatering dat er geen match is met de SMR-technologie, of dat er pas sprake kan zijn van een match wanneer de micro-SMR commercieel beschikbaar is. Deze vorm van matches maakt ook dat op een locatie voornamelijk niet meer dan één SMR wordt geplaatst. Omdat een SMR regulier onderhoud nodig heeft zal of back-up via bijvoorbeeld het elektriciteits- of gasnet nodig zijn, of wordt SMR-onderhoud afgestemd op de onderhoudsperiode in de industrie.

2.5 Onzekerheden en openstaande vragen

De mogelijke inzet van SMR's gaat gepaard met openstaande vragen en onzekerheden, zoals samengevat in de illustratie in Figuur 6. Allereerst spelen **technische en economische onzekerheden**. Een belangrijke onzekerheid betreft de daadwerkelijke beschikbaarheid van de technologie op het gewenste moment. Omdat de SMR in een vroeg commercieel stadium staat (commerciële toepassing is in Europa nog niet gerealiseerd) en bepaalde typen (Gen IV, micro-SMR) nog in ontwerpfase zijn, blijven openstaande vragen ten aanzien van planning, kosten en risico's bestaan, met name voor de eerste FOAK-projecten. Daarnaast spelen economische onzekerheden een rol. De investeringskosten van SMR's zijn hoog en sterk afhankelijk van de mate van serieproductie en standaardisatie. Het is onzeker of en wanneer deze kosten

voldoende zullen dalen om concurrerend te zijn met andere CO₂-arme alternatieven. Ook is nog onduidelijk welke rol publieke financiering of garanties hierbij moeten spelen.

Daarnaast zijn er onzekerheden met betrekking tot **kennis, organisatie en de maatschappelijke rol van kernenergie**. Uit gesprekken met partijen blijkt onder andere dat er onder verschillende partijen behoefte bestaat aan meer duidelijkheid over de rol, ambitie en positionering van betrokken overheden en marktpartijen in de verdere verkenning van SMR's, en hoe deze zich verhouden tot bredere ontwikkelingen in het energiesysteem. Daarbij komt met name de vraag op of een SMR een zinvolle bijdrage levert aan het energiesysteem in vergelijking met alternatieven. Meerdere partijen gaven daarnaast aan behoefte te hebben aan de ontwikkeling van een afwegingskader op landelijk schaalniveau waarin afwegingen die leiden tot een selectie van kansrijke zones centraal worden gecoördineerd. Onzekerheden bestaan bovendien over de onderlinge rolverdeling tussen provincie, regio's, het Rijk, marktpartijen en netbeheerders. Er zijn daarnaast vragen over de organisatorische haalbaarheid, zoals voorwaarden voor samenwerking en de benodigde kennis-, HR- en supply-chaincapaciteit.

Ook is de toegevoegde waarde van een SMR voor het elektriciteitsnet en energiesysteem als geheel niet bewezen. Een integrale systeemanalyse, in samenwerking met netbeheerder(s), is dan ook raadzaam om op groter detailniveau te kunnen vaststellen of een SMR ingepast kan worden en in hoeverre de SMR bijdraagt aan het Gelderse energiesysteem.

Maatschappelijke acceptatie en bestuurlijke besluitvorming spelen een belangrijke rol in de ontwikkeling van SMR's. Kernenergie is een maatschappelijk gevoelig onderwerp en de lokale acceptatie kan sterk variëren. Meerdere gemeenten in provincie Gelderland hebben bijvoorbeeld in de afgelopen jaren standpunten ingenomen tegen de komst van een SMR. Daarbij komt dat de aanwezige kennis over SMR-technologie onder partijen sterk varieert. Voor veel betrokkenen is kernenergie relatief nieuw, waardoor behoefte bestaat aan een heldere informatie- en participatieaanpak.

Tot slot bestaan onzekerheden en vragen op het gebied van **wetgeving en ruimtelijke inpasing**. De Nederlandse nucleaire regelgeving is primair ingericht op grootschalige kerncentrales. Het is nog onduidelijk in hoeverre procedures, veiligheidscontouren en beoordelingskaders efficiënt toepasbaar zijn op SMR's. Ook ruimtelijke aspecten zoals koelwaterbeschikbaarheid, overstromingsrisico's en nabijheid van beschermde gebieden vragen om een heldere afbakening van randvoorwaarden, criteria en uitsluitingsgebieden. Daarnaast vormt de mogelijke invloed van klimaatverandering op koelwaterbeschikbaarheid een aandachtspunt, gezien stijgende temperaturen en mogelijke toekomstige zoetwaterschaarste.

Het is belangrijk om te vermelden dat veel van deze onzekerheden en openstaande vragen niet op zichzelf staan, maar juist elkaar kunnen beïnvloeden en in sommige gevallen versterken. Zo leidt onzekerheid over de staat van de technologie tot onzekerheden in de planning en tijdlijn, maar ook tot onduidelijkheden in de financiële haalbaarheid en financierings-

benodigdheden. Deze aspecten kunnen bovendien leiden tot meer vragen en zorgen van stakeholders. De beleidsagenda van de provincie (zie hoofdstuk 6) moet helpen om dergelijke vragen en onzekerheden stap voor stap weg te nemen, om zo tot een meer samenhangend beeld te komen over de rol van SMR's in de provincie.

Figuur 6. Openstaande vragen en onzekerheden m.b.t. SMR's. Deze inzichten kwamen naar voren in gesprekken met stakeholders en uit eerdere SMR-projecten van Haskoning



2.6 Nucleaire brandstofketen

Waar komt brandstof vandaan?

Voor huidige kerncentrales begint nucleaire brandstof als uraniumerts, dat wereldwijd wordt gewonnen. De grootste uranium producerende landen zijn onder andere Kazachstan, Canada en Australië. Het gewonnen uranium bevat slechts een klein percentage van de splijtbare isotoop uranium-235 (ongeveer 0,7% in natuurlijk uranium). Na winning wordt het uranium eerst chemisch verwerkt (conversie) tot uraniumhexafluoride (UF_6). Vervolgens vindt verrijking plaats, waarbij het aandeel uranium-235 wordt verhoogd tot het gewenste niveau. Voor lichtwaterreactoren, zoals de kerncentrale in Borssele, ligt dit verrijkningsniveau doorgaans tussen de 3% en 5%.

In Nederland en Europa speelt het in Almelo gesitueerde bedrijf Urenco een belangrijke rol in de verrijkingstap. Na verrijking wordt het uranium verder verwerkt door gespecialiseerde brandstoffabrikanten. Hierbij wordt het verrijkte uranium omgezet in uraniumoxidepoeder, geperst tot brandstofpellets en geplaatst in brandstofstaven. Deze staven worden samengevoegd tot splijstofelementen die in de reactor worden gebruikt.

Waar gaat kernaafval naartoe?

De opslag van radioactief afval gebeurt bij de Centrale Organisatie voor Radioactief Afval (COVRA). De COVRA heeft als enig bedrijf in Nederland de taak om radioactief afval te verzamelen, verwerken en op te slaan. Bedrijven in Nederland met een vergunning om met radioactieve stoffen te werken, zijn verplicht hun radioactief afval aan COVRA aan te bieden.

Wanneer de splijstaven gebruikt zijn kan een deel van de verbruikte splijststoffen opnieuw worden gebruikt, dit wordt opwerking genoemd. In Frankrijk worden de verbruikte splijststoffen gescheiden van de bruikbare brandstoffen. Het radioactieve afval dat daarbij overblijft gaat naar COVRA. Daar wordt het veilig verpakt en opgeslagen voor ten minste 100 jaar. In 2020 is een vervolgonderzoek gestart, COPERA, dat de definitieve opslag van radioactief materiaal onderzoekt, de zogeheten eindberging.⁸ In voorgaand

onderzoek is vastgesteld dat eindberging van radioactief afval in geschikte, in Nederland voorkomende gesteenteformaties in de diepe ondergrond (zout -en kleiformaties) haalbaar is.

Verschillen SMR III(+) en SMR IV reactoren

Generatie III(+) SMR's maken gebruik van de conventionele lichtwatertechnologie en verrijkt uranium als brandstof. De brandstofketen is internationaal goed ontwikkeld en bestaat uit winning, conversie, verrijking en fabricage van splijstofelementen. Deze keten is commercieel beschikbaar, gestandaardiseerd en grotendeels afgestemd op het huidige wereldwijde reactorpark. Voor Nederland betekent dit dat aansluiting op bestaande infrastructuur, waaronder verrijking capaciteit via Urenco en opwerkingsmogelijkheden in Frankrijk, relatief goed mogelijk is. De technologische en logistieke risico's in de brandstofvoorziening zijn daarmee relatief beperkt en grotendeels bekend.

Generatie IV-reactoren wijken hiervan af doordat zij vaak gebruikmaken van alternatieve koelmiddelen (zoals gesmolten zout, helium of vloeibaar metaal) en andere brandstofvormen, zoals hoogverrijkt uranium, TRISO-deeltjesbrandstof of zelfs hergebruik van plutonium of thorium. Deze brandstofketens zijn minder ver ontwikkeld en vereisen specifieke conversie-, verrijkings- en fabricagefaciliteiten die nog niet op commerciële schaal beschikbaar zijn in Europa. Ook dienen daarvoor gecertificeerde transportvoorzieningen te worden ontwikkeld. Hoewel Gen IV-concepten potentieel efficiënter omgaan met splijstof en minder langlevend afval kunnen produceren, brengt dit op korte termijn meer onzekerheid met zich mee in de leveringsketen, vergunningverlening en industriële opschaling.

Aandachtspunten keten, logistiek en infrastructuur

De inzet van SMR's brengt naast de reactor zelf ook keten- en logistieke aspecten met zich mee. Dit betreft onder meer het transport van splijstof en radioactief afval richting COVRA. Hoewel de frequentie van transportbewegingen relatief beperkt is (indicatie 1 transport per jaar), vraagt dit om

⁸ Onderzoek eindberging - COVRA N.V.

aandacht voor veilige transportketens en mogelijke tijdelijke opslag op locatie, afhankelijk van de gekozen logistieke inrichting. Ook de modulaire bouw van SMR's heeft ruimtelijke implicaties: de aanvoer van grote componenten kan eisen stellen aan infrastructuur, zoals wegversterking of aanleg van losvoorzieningen aan het water.

2.7 Veiligheidsaspecten van SMR's

In tabel 3 worden veiligheidstechnische aspecten van de Gen III+, Gen IV en micro-SMR's weergegeven, gelet op inherente en passieve veiligheid, afvoer van restwarmte, robuustheid tegen externe industriële gevaren, conventionele gevaren en preparatiezones. Samengevat geldt dat SMR's, zowel Gen III+ als Gen IV en micro-SMR's, zijn ontworpen met uitgebreide passieve veiligheidsvoorzieningen en een sterke nadruk op inherente veiligheid. Wel blijven ze volledig onder het bestaande nucleaire veiligheidskader vallen. Gen IV-concepten bieden in theorie aanvullende veiligheidsvoordelen door lagere werkdruk en passieve restwarmteafvoer, maar brengen ook ontwerp-specifieke risico's met zich mee die nog in ontwikkeling en toetsing zijn. Voor alle typen geldt dat de uiteindelijke veiligheidsbeoordeling locatie- en ontwerpafhankelijk is en integraal moet worden afgewogen binnen het Nederlandse vergunningstelsel.

De 'Regeling nucleaire veiligheid kerninstallaties'⁹ (Rnvk) stelt in artikel 6 dat de vergunningverlener alle maatregelen moet nemen om ongevallen te voorkomen of als een ongeval zich voordoet de gevolgen van dit ongeval te beperken. Dit om te vermijden dat:

- Vroegtijdige lozingen zich voordoen;
- Grootschalige lozingen voortkomen waarvan de effecten niet kunnen worden beperkt in tijd en/of ruimte.

In aanvulling op de screeningsafstanden, gepubliceerd door de IAEA in 2015¹⁰ en de bestaande wet- en regelgeving, zoals de Kernenergiewet heeft de ANVS in december 2025 de handreiking Veilig Ontwerp en Bedrijven Kerninstallaties

¹¹ (VOBK) gepubliceerd. Ten aanzien van vroegtijdige lozingen specificeert de VOBK wanneer er sprake is van een vroegtijdige lozing. Er is onder andere sprake van vroegtijdige lozing wanneer:

- Het incident effect leidt tot een evacuatiezone van meer dan 5 km;
- Het incident effect leidt tot schuilen in een zone van meer dan 20 km.

De 5 km zone en de 20 km zone kunnen op deze wijze, voor het scenario van deze vroegtijdige lozingen worden geïnterpreteerd als 'acceptatiecriteria' voor de ruimtelijke inpassing van kerncentrales.

Daarnaast stelt de VOBK dat de veiligheidsregio moet worden betrokken in de locatiekeuze door de mogelijkheden tot het nemen van maatregelen in verschillende scenario's te analyseren. Waterschappen spelen hierin een rol binnen de regionale crisisstructuren, met name bij scenario's die betrekking hebben op waterkwaliteit en waterveiligheid, zoals mogelijke verontreiniging van oppervlaktewater of verstoringen in koelwaterinfrastructuur. Dit vraagt om voorbereiding op dergelijke scenario's en afstemming met bestaande crisisplannen van o.a. waterschappen, gemeenten en veiligheidsregio's.

In aanvulling op deze eerste 'acceptatiecriteria', is uitgebreider onderzoek nodig, op locatieniveau om definitief te concluderen over de geschiktheid van de desbetreffende locatie en aanvullende veiligheidseisen en protocollen.

De veiligheidsafstanden rond een SMR worden niet alleen bepaald door het type en vermogen van de reactor, maar ook door locatie-specifieke factoren, ontwerpkeuzes en de aanwezigheid van andere risicobronnen. De uiteindelijke afstanden en voorwaarden worden per project vastgesteld binnen het vergunningstraject op basis van integrale risicoanalyses.

Bij koppeling van een SMR aan andere gevoelige industrie (bijvoorbeeld waterstofproductie) gelden aanvullende veiligheidseisen. Deze vallen onder strikte industriële veiligheidskaders, waardoor extra maatregelen nodig zijn op het gebied van ontwerp, monitoring en noodprocedures.

⁹ *Regeling nucleaire veiligheid kerninstallaties - BWBR0039625*

¹⁰ *Site Survey and Site Selection for Nuclear Installations | IAEA*

¹¹ *Handreiking VOBK 2025 | Autoriteit NVS*

Veiligheid en koeling

Een kernreactor, zowel conventioneel als een SMR, moet onder alle omstandigheden gekoeld kunnen worden zodat het nucleaire proces beheersbaar blijft, en om de restwarmte af te voeren. Na uitschakeling van de reactor blijft vervalwarmte aanwezig die ook nog gekoeld moet worden. Dit betekent dat het ontwerp altijd moet voorzien in een betrouwbare warmteafvoer, zowel tijdens normaal bedrijf als in noodsituaties.

Bij generatie III(+) SMR's gaat het doorgaans om lichtwaterreactortechnologie in een compact en gemoderniseerd ontwerp. In deze ontwerpen hoeft de warmteafvoer niet uitsluitend afhankelijk te zijn van actieve, pompgedreven koeling uit oppervlaktewater. Moderne SMR-ontwerpen kunnen gebruikmaken van passieve principes zoals natuurlijke circulatie van koelmiddel voor noodsituaties, terwijl de structurele warmteafvoer tijdens normaal bedrijf kan plaatsvinden via koeltorens, luchtkoeling of oppervlaktewater. Dit betekent dat directe nabijheid van groot oppervlaktewater niet in alle gevallen een harde vereiste is, maar dat wel aantoonbaar voldoende koelcapaciteit aanwezig moet zijn voor zowel normaal bedrijf als in noodsituaties.

Generatie IV SMR's ontwerpen zijn overwegend inherent veilig. Met andere woorden: als de actieve koeling wegvalt, neemt de reactiviteit van de core automatisch af door de materiaaleigenschappen van de brandstof. De splijtingsreactie stopt dan vanzelf. Dit kan de harde vereiste van voldoende koelwaterbeschikbaarheid, zoals die voor bijvoorbeeld Gen III+ reactoren geldt, doen komen te vervallen. Tegelijkertijd bestaan er binnen de Gen IV-categorie ontwerpen waarbij aanvullende koelmaatregelen noodzakelijk blijven. Dit geldt bijvoorbeeld voor concepten met hogere thermische vermogens of grotere kernvolumes. De directe nabijheid van oppervlaktewater is dan minder noodzakelijk in de meeste gevallen, waardoor er meer mogelijkheden tot inpassing zijn. In deze verkenning wordt daarom steeds onderscheid gemaakt tussen generatie IV en generatie III(+) m.b.t. de koelwatervereisten. Uiteindelijk zal bij een concreet project en specifiek SMR-type altijd moeten worden getoetst of dit opgaat. Daarnaast is het niet gezegd dat de inherente veiligheid van generatie IV ook door de ANVS en

vergunningverlener als voldoende wordt beschouwd om af te zien van koelwaterbeschikbaarheid voor noodkoeling.

2.8 SMR-koeling en watergebruik

Voor het opereren van een SMR is water nodig. Niet alleen voor koeling, maar ook als proceswater of – indien van toepassing – bij de productie van waterstof. Het is daarbij belangrijk onderscheid te maken tussen watergebruik en waterververbruik. Bij koeling wordt in veel gevallen water onttrokken aan een bron en na opwarming weer teruggevoerd naar het systeem (gebruik). Het daadwerkelijke waterververbruik is beperkt en betreft voornamelijk verliezen door verdamping, bijvoorbeeld bij koeltorens, en aanvullend water dat nodig is voor de stoomcyclus (suppletiewater). Als bron voor koeling wordt oppervlaktewater gebruikt van voldoende grote omvang. Voor waterververbruik wordt, afhankelijk van de vereisten en mogelijkheden, oppervlakte-, grond- en/of drinkwater gebruikt. Afhankelijk van de reactorgrootte van de SMR en de toepassing is er behoefte aan koeling. Koeling is nodig omdat niet alle warmte die vrijkomt bij de nucleaire activiteit in de reactor nuttig kan worden ingezet. Deze 'niet nuttige warmte', ook wel restwarmte genoemd, moet worden weggekoeld. Daarvoor wordt oppervlaktewater gebruikt of wordt de warmte afgegeven aan de buitenlucht. Bij grote SMR's en kerncentrales wordt altijd oppervlaktewater gebruikt. Bij kleinere SMR's, (indicatie tot 100 MWth restwarmte) is ook luchtkoeling mogelijk met tafelkoelers in plaats van koeltorens, zie figuur 7.



Figuur 7. Lage tafelkoelers versus hoge koeltorens

Bij koeling met oppervlaktewater kan doorstroomkoeling worden toegepast. Bij doorstroomkoeling wordt de restwarmte direct afgegeven aan het oppervlaktewater, wat daardoor in temperatuur stijgt. Bij de inzet van tafelkoelers en koeltorens wordt het merendeel van de warmte afgevoerd naar de lucht, waarbij afhankelijk van de technische uitvoering een deel van het gebruikte (oppervlakte)water verdampt.

In de studie van NRG PALLAS is nader ingegaan op de mogelijkheden van SMR-koeling met oppervlaktewater in Gelderland. Daarbij zijn de grote rivieren en de randmeren beschouwd. Dit bracht het inzicht dat op dit moment doorstroomkoeling nog mogelijk is in een aantal situaties. Of dit in de toekomst ook nog zo is, is zeer de vraag. Immers door klimaatverandering wordt het debiet van de rivieren steeds wisselvalliger en nemen de perioden met een laag debiet toe. Ook neemt de temperatuur van het oppervlaktewater toe. Dit maakt dat bij de nadere verkenning de voorkeur omwille van de leveringszekerheid wordt gegeven aan de inzet van koeltorens of, bij kleinere SMR's, aan luchtkoeling. Omdat koeltorens en tafelkoelers ruimte innemen zal hier rekening mee moeten worden gehouden in locatieonderzoek.

Op het watergebruik zijn meerdere uitgangspunten in relatie tot de SMR van toepassing, deze zijn opgenomen in het afwegingskader in hoofdstuk 4:

- Het oppervlaktewater mag niet meer dan 6°C in temperatuur toenemen als gevolg van koeling;
- Temperatuur oppervlaktewater mag niet boven de 25°C komen. Dit werd benadrukt door waterexperts tijdens een van de werksessies;
- Watergebruik is mogelijk begrenst naar jaarhoeveelheid en mogelijk ook naar moment van inname;
- Waterbronnen mogen niet zondermeer worden ingezet en zeker niet voor koeling, denk aan grondwater;
- Niet al het rivierwater wordt gebruikt voor koeling, indicatie tot 10% van het debiet is ecologisch verantwoord mogelijk;
- Water van meren is te gebruiken als koelwater mits er voldoende menging optreedt;

- Bij rivieren moet tussen innamepunt stroomopwaarts en afgifte punt stroomafwaarts voldoende afstand bestaan. Een vuistregel betreft ongeveer 1 km bij doorstroomkoeling, mede afhankelijk van de SMR-omvang.
- Bij het gebruik van oppervlaktewater voor koeling geldt als randvoorwaarde dat lozingen van warmte niet mogen leiden tot een achteruitgang van de ecologische waterkwaliteit (stand-still principe). Dit betekent dat temperatuurstijgingen en eventuele toevoeging van stoffen binnen strikte grenzen moeten blijven, waarbij bevoegde gezagen zoals Rijkswaterstaat toezien op naleving.

Overig watergebruik

Naast het gebruik van water als koelmiddel is ook water nodig voor de bedrijfsvoering. In combinatie met elektrolyse is water nodig voor de productie van waterstof. Afhankelijk van het type reactor kan het zijn dat een noodkoelvoorziening in de directe nabijheid gewenst is in de vorm van een meer, zandput of grindgat.

Tabel 3. Veiligheidstechnische aspecten van de SMR

Veiligheids-aspecten	Generatie III+	Generatie IV en micro-SMR's
Inherente en passieve veiligheid (beheersing reactiviteit en koeling)	Bij Gen III+ SMR's gaat het om lichtwaterreactoren met kleine kern, vergeleken met de klassieke grotere drukwaterreactoren (PWR's) of kokendwaterreactoren (BWR's). De kleinere reactorkern maakt dat de consequenties van een mogelijk incident kleiner zijn dan bij grotere reactoren.	Gen IV-reactoren en micro-SMR's kennen een grotere technologische diversiteit. Veel ontwerpen maken gebruik van inherente veiligheid door specifieke materiaaleigenschappen, lage werkdruk of alternatieve koelmiddelen (bijv. gesmolten zout, helium of vloeibaar metaal). Sommige concepten claimen "walk-away safe" eigenschappen, waarbij bij verlies van externe stroomvoorziening de reactor passief naar een veilige toestand evolueert. De daadwerkelijke veiligheidsperformance is echter sterk ontwerpafhankelijk en nog onderwerp van verdere ontwikkeling en toetsing.
Afvoer van restwarmte	Ten opzichte van de klassieke grote drukwaterreactoren hebben de generatie III+ SMR's verbeterde veiligheidsfuncties. Daarnaast hebben SMR's door hun kleinere omvang en lagere vermogensdichtheid een grotere oppervlakte-volumeverhouding. Hierdoor kunnen ze gebruikmaken van natuurlijke circulatie, zwaartekracht en convectie om restwarmte uit de kern af te voeren.	Veel Gen IV-concepten en micro-SMR's zijn ontworpen met volledig passieve restwarmteafvoer. Voorbeelden zijn gesmoltenzoutreactoren waarbij brandstof bij oververhitting naar subkritische opvangtanks kan afvloeien, of ontwerpen waarbij natuurlijke circulatie voldoende is voor koeling. Dit vermindert afhankelijkheid van actieve systemen, maar vereist nog validatie op commerciële schaal.
Robuustheid tegen externe, industriële gevaren	Net als bij grote kerncentrales wordt rekening gehouden met externe gevaren zoals explosies, branden of transport van gevaarlijke stoffen. Backup-systemen (zoals noodgeneratoren) moeten hiertegen beschermd worden. In industriële clusters is cumulatie van risico's een expliciet aandachtspunt.	Doordat veel Gen IV-ontwerpen minder afhankelijk zijn van actieve koelsystemen en soms bij lagere druk opereren, kan de gevoeligheid voor externe verstoringen kleiner zijn. Tegelijkertijd geldt dat ook hier externe veiligheid integraal moet worden beoordeeld, zeker in industrieclusters met bestaande risicocontouren.
Conventionele gevaren	Deze gevaren spelen ook bij klassieke grote kernreactoren, maar vanwege de kleinere schaal is het makkelijker om te koelen wanneer nodig. SMR's hebben een veel kleinere hoeveelheid radioactief materiaal dan conventionele kerncentrales, waardoor de mogelijke gevolgen van een ongeval aanzienlijk worden beperkt. Door het lagere thermische vermogen kan de warmte gemakkelijker passief worden afgevoerd.	Alternatieve koelmiddelen brengen eigen risico's met zich mee: natrium is reactief met water en lucht, gesmolten zout kan corrosief zijn, en lood vraagt specifieke materiaalkeuzes. Deze risico's moeten ontwerptechnisch worden ondervangen.
Preparatiezones (Emergency Planning Zones)	Er is op dit moment geen formeel onderscheid in wettelijke preparatiezones tussen grote reactoren en SMR's. In het rapport dat Haskoning opstelde voor het Ministerie van KGG ¹² wordt indicatief gewerkt met een 500 m-zone voor ruimtelijke beoordeling. Leveranciers streven naar kleinere noodplanningszones, maar formele vaststelling vindt plaats in het vergunningstraject.	Voor Gen IV en micro-SMR's is nog geen vastgestelde afwijkende preparatiezone. Vanwege de vroege ontwikkelfase wordt in verkenningen uitgegaan van vergelijkbare indicatieve zones als bij Gen III+ SMR's, totdat ontwerp- en veiligheidsanalyses dit anders onderbouwen.

¹² [Ruimtelijke en Energetische inpassing Small Modular Reactors \(SMR's\) bij de industrie | Rapport | Rijksoverheid.nl](#)

3 Het Gelders energiesysteem

Inzicht in de ontwikkeling van het Gelders energiesysteem richting 2050 is nodig om te kunnen bepalen in welke situaties het energetisch zinvol is om een SMR in te zetten, inclusief de daarbij passende schaalgrootte en toepassing. Dit hoofdstuk verkent het Gelders energiesysteem van vandaag en de toekomst. Zo wordt het in hoofdstuk 5 mogelijk om vraag en aanbod van energie zo dicht als mogelijk, binnen de gehanteerde randvoorwaarden, bij elkaar te brengen.

3.1 Over het Gelderse energielandschap

De provincie Gelderland wordt gekenmerkt door een relatief fijnmazige spreiding van kleinere steden en dorpen, afgewisseld met enkele middelgrote stedelijke kernen. Uitzondering hierop vormen de grote steden Nijmegen, Arnhem en Apeldoorn. Energetisch gezien resulteert dit in een breed gespreide elektriciteitsvraag, zonder één dominant zwaartepunt, maar met wel structurele afname over het gehele provinciale grondgebied. Ruimtelijk gezien staat de provincie bekend om zijn uitgestrekte natuurgebieden, waaronder de Veluwe, de aanwezigheid van grote waterwegen (onder andere de Waal, Rijn en IJssel), relatief intensieve agrarische gebieden en gespreide cluster-6 industrie en glastuinbouwgebieden.

Gelderland kent in vergelijking met andere provincies weinig energie-intensieve industrie. De elektriciteitsvraag wordt vooral gedragen door middelzware sectoren zoals papier- en kartonindustrie, grof keramische industrie, agrofood en een brede maak- en logistieke sector. Deze sectoren staan voor een toenemende elektrificatie- en verduurzamingsopgave, wat leidt tot een structureel groeiende vraag naar betrouwbare, voorspelbare en continu beschikbare elektriciteit. In Gelderland zijn bovendien datacenters aanwezig die qua schaalgrootte klein tot middelgroot zijn.

Het Gelderse energiesysteem heeft in beperkte mate eigen grootschalige elektriciteitsproductie en een sterke afhankelijkheid van import via het

landelijke hoogspanningsnet. De huidige productie bestaat voornamelijk uit decentrale bronnen (zon, wind, afval en biomassa), aangevuld met enkele middelgrote WKK-installaties op aardgas. Sinds de sluiting van de Centrale Gelderland 13 Nijmegen eind 2015 beschikt de provincie niet meer over een centrale voor de grootschalige productie van elektriciteit. De provincie is via het en landelijke 380 kV koppelnet van TenneT en via 150 kV hoogspanningslijnen verbonden met omliggende provincies en Duitsland. Deze verbindingen dragen bij aan de stabiliteit en leveringszekerheid van de Gelderse elektriciteitsvoorziening. De komst van een SMR doet de Gelderse elektriciteitsproductie toenemen en daarmee de afhankelijkheid van import uit andere provincies (en het buitenland) doen afnemen.

In 2024 bedroeg het elektriciteitsverbruik in Gelderland 37 PJ. De hernieuwbare elektriciteitsproductie had in 2023 een omvang van 12 PJ. Het is niet bekend welk percentage hiervan direct verbruik is in de provincie, maar naar verwachting betreft dit meer dan 95%. Ook is niet bekend hoeveel elektriciteit met behulp van fossiele brandstof in Gelderland is opgewekt. Naar verwachting is dit minder dan 0,8 PJ, waarvan ongeveer 0,6 PJ voor rekening komt van de fossiele fractie uit afval¹³. Zoals te zien in onderstaande tabel is Gelderland op dit moment dus sterk afhankelijk van de import van energie, zowel elektriciteit als warmte als brandstof. In het Programma Energiesysteem¹⁴ is een inschatting gemaakt van het energiegebruik in Gelderland richting 2050. In paragraaf 3.2 wordt hier nader op ingegaan.

Tabel 4. Energieverbruik provincie Gelderland (Klimaatmonitor 2023/2024) in 2024

Energiedrager	Totaal	Import	Eigen productie
Elektriciteit in PJ	37,0 (10,3 TWhe)	24,2 (6,7 TWhe)	12,8 (3,6 TWhe)
Warmte in PJ	71,5	65,7 (aardgas)	5,8
Brandstof in PJ	62,5	62,4	Nihil

¹³ Klimaatmonitor jaar 2023 en 2024

¹⁴ Programma Energiesysteem

De provincie beschikt over een relatief zware infrastructuur voor het transport van energiedragers. Een belangrijk deel daarvan is doorvoer over de grote rivieren, dit in de vorm van vooral olieproducten en kolen naar het Duitse achterland. Gelderland beschikt over 380 kV infrastructuur en is op dit spanningsniveau ook verbonden met Overijssel, Noord-Brabant en Duitsland. Daarnaast beschikt Gelderland ook over een uitgebreid regionaal 150 kV-netwerk dat direct is verbonden met de provincies Flevoland (Flevopolder) en Utrecht. In Dodewaard en Doetinchem is dit regionale 150 kV-net verbonden met het landelijke 380 kV-net in Gelderland. Gelderland is bovendien een Noord-Zuid 'snelweg' voor het transport van aardgas en beschikt over een hoogcalorisch aardgas interconnectienetwerk met Duitsland. Voorzien is dat dit transportnet op termijn onderdeel wordt van de waterstofbackbone van Nederland. De waterstofbackbone is het nationale leidingnetwerk bedoeld om waterstof te transporteren door Nederland en Europa, deels bestaande uit nieuw te realiseren leidingen en deels bestaande aardgasleidingen die gereed worden gemaakt voor waterstofdistributie.

De beschikbare transportcapaciteit op het regionale 150 kV net, inclusief de koppeling met het landelijke 380 kV hoogspanningsnet en de koppeling met het onderliggende middenspanningsnet van Liander is een beperkende factor geworden in de energietransitie en ontwikkeling van Gelderland. Netbeheerder TenneT heeft begin 2026 vastgesteld dat het HS-net in Gelderland zijn capaciteitsgrenzen nadert en dat zonder aanvullende maatregelen een (gedeeltelijke) aansluitstop dreigt voor nieuwe afname en invoeding¹⁵; dit voor zowel zakelijke als niet-zakelijke aansluitingen. De netcongestie zal naar verwachting richting 2040 afnemen door uitbreiding van de transportcapaciteit door TenneT, met onder meer verzwaringen van de hoogspanningsstations in Doetinchem (uiterlijk 2038) en Dodewaard (2037) en nieuwe stations in omgeving Wijchen (uiterlijk 2036) en Rivierenland (uiterlijk 2039).¹⁶

Afhankelijk van de schaalgrootte van de SMR, is afstemming en mogelijk ook aanpassing van de toekomstige netontwikkeling noodzakelijk. In de voorbereiding van een SMR-project zal dan ook met de netbeheerder(s)

moeten worden nagegaan of en op welke wijze de komst van een SMR netverzwaring teweegbrengt, of juist voorkomt, en of de SMR in de plannen van de netbeheerder(s) richting 2050 past.

3.2 Toekomstige elektriciteits- en warmtevraag in de provincie

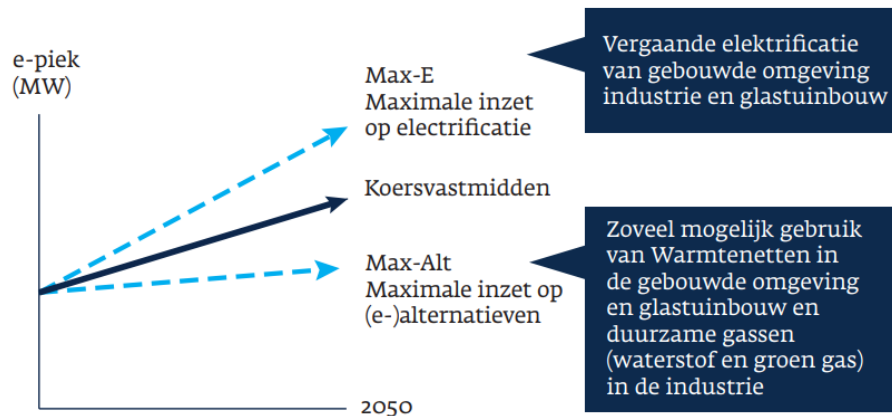
Een SMR heeft een relatief lange verwachte levensduur en de verschillen tussen typen SMR's met betrekking tot stoomtemperatuur, thermisch- en elektrisch vermogen én de tijdlijn waarop zij beschikbaar zijn voor de markt is groot. Dit biedt de mogelijkheid om de SMR op verschillende manieren te matchen met de Gelderse energievraag. Daarvoor is inzicht nodig in de toekomstige ontwikkeling van het energiesysteem en daarbinnen de energie-intensieve industrie in Gelderland in het bijzonder.

De Provincie Gelderland heeft de ambitie om in 2050 klimaatneutraal te zijn, en in 2030 de CO₂-uitstoot met 55% te reduceren ten opzichte van 1990. Hiermee staan industrie, gebouwde omgeving en de mobiliteitssector voor een grote verduurzamingsopgave. Het Programma Energiesysteem laat zien dat de provincie een grote toename aan elektriciteitsgebruik verwacht richting 2050, aangeduid aan de hand van drie scenario's waarin de elektriciteitsvraag stijgt van 36 PJe nu naar 94 tot 120 PJe in 2050. Uiteraard is het toekomstig elektriciteitsgebruik onderhevig aan onzekerheid, onder andere door bevolkingsgroei of -krimp, eventuele verzwaring van elektriciteitsinfrastructuur, verduurzamingsplannen, en het sluiten of openen van nieuwe industrie. Ook voor deze analyse 2050 is als richtjaar genomen, vanwege het lange termijn karakter van een SMR, de beschikbaarheid van prognoses en data van energiegebruik en de Gelderse ambitie om dan klimaatneutraal te zijn. Er is hierbij zoveel mogelijk gebruik gemaakt van het onlangs vastgestelde Programma Energiesysteem.¹⁷

¹⁵ Aansluitstop dreigt: alles op alles zetten om te voorkomen dat Gelderland stilvalt

¹⁶ Investeringsprogramma (IP) TenneT, Ontwerp Investeringsplan 2026 Net op Land.

¹⁷ Programma Energiesysteem



Figuur 8. Schematisch overzicht van scenario's in Programma Energiesysteem

In het scenario “Koersvaste Middenweg” wordt de volgende mix van energiedragers voorzien in 2050:

- 104 PJe aan elektriciteit;
- 19 PJ aan collectieve warmte;
- 11 PJ gasverbruik (9 voor industrie en 2 voor gebouwde omgeving);
- 7 PJ aan biomassa en -brandstof.

Als dit wordt vergeleken met de huidige energievraag, beschreven in Tabel 4, dan is er een sterke toename van elektriciteitsverbruik te zien ten gevolge van elektrificatie, zo'n 67 PJe. Dit gaat gepaard met een afname in warmtevraag, zelfs wanneer al het (bio)brandstofverbruik en aardgasverbruik zou worden toegeschreven aan warmtevraag.

In het Programma Energiesysteem wordt geen expliciete voorspelling gedaan over de te verwachten elektriciteitsproductie in Gelderland anno 2050 waarin kernenergie een rol zou kunnen spelen. Wel wordt een indicatief voorbeeld doorgewerkt van een mogelijk elektriciteitsaanbod met kernenergie als bron. Een expliciete vertaling naar het inpassen van kernenergie, bijvoorbeeld in de vorm van SMR's, is niet in het Programma Energiesysteem opgenomen. In dit

voorbeeld wordt zowel de toekomstige import als ook de potentie van kernenergie meegenomen. In het Programma staat: *“Gelderland zal ook in de toekomst afhankelijk blijven van energie die buiten de provincie wordt geproduceerd. Om die afhankelijkheid te beperken, en daarmee ook de druk op het hoogspanningsnet, zet Gelderland in op het verhogen van het aanbod van duurzame energie binnen de provincie. Daarin wordt nadrukkelijk kernenergie, gebruik van warmtebronnen en zon op dak meegenomen.”*

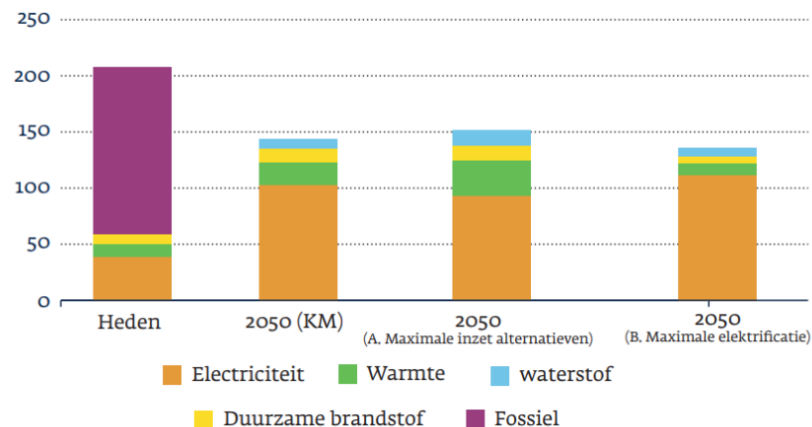
Daarnaast kan de energievraag richting 2050 door de nu nog onzekere toekomst beïnvloed worden. De mogelijke veranderingen aan het energiesysteem, komst van nieuwe (energie-intensieve) bedrijvigheid zoals bijvoorbeeld datacenters, of mogelijke komst van defensie-, circulaire- en maakindustrie, of nieuwe warmte- en waterstofketens zijn buiten beschouwing gelaten. Dit aangezien er geen concrete plannen, data of anderszins bruikbare aanwijzingen zijn waarmee de toekomstige Gelderse energievraag of -aanbod zich laat voorspellen.

3.2.1 Elektrificatie

Een belangrijke factor in het verkennen van toekomstig energiegebruik is de mate van elektrificatie, zoals ook is af te leiden uit het Programma Energiesysteem. Elektrificatie betreft het aanpassen van processen zodat deze door elektriciteit in hun energievoorziening kunnen worden voorzien. In de gebouwde omgeving gaat het hierbij om bijvoorbeeld het vervangen van gasketels door elektrisch aangedreven warmtepompen voor gebouwverwarming. Bij de industrie kan dit, afhankelijk van het proces en temperatuur, met warmtepompen, elektrische boilers of directe elektrificatie.

Aangezien hernieuwbare energie veelal in de vorm van elektriciteit wordt opgewekt, is elektrificatie een cruciale stap in de verduurzaming van de industrie en warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. Ook in het Programma Energiesysteem is een toename van elektriciteitsvraag te zien en een afname van gasgebruik door o.a. de industrie.

Energievraag per drager



Figuur 9. Geschat toekomstig energiegebruik in de provincie Gelderland (in PJ). Afbeelding is afkomstig uit het Programma Energiesysteem.

In Figuur 9 is een sterke toename van elektriciteitsgebruik als geheel te zien, als ook een toename van collectieve warmte. Als gevolg van het uitfasen van aardgas, zal de warmtevoorziening in de gebouwde omgeving deels elektrificeren, evenals de industrie. In een deel van de warmtevraag zal naar verwachting met behulp van warmtenetten worden voorzien.

Gegeven de inherente onzekerheid in uiteindelijke elektriciteits- en warmtevraag op lange termijn, zijn door Haskoning aannames gedaan in aanvulling op het gebruikte Programma Energiesysteem om tot een inschatting te komen van het energiegebruik van de industrie, zoals beschreven in Bijlage 2. Deze aannames zijn gedaan om op individueel bedrijfsniveau een inschatting te kunnen maken van de toekomstige elektriciteits- en warmtevraag na elektrificatie, zodat deze vraag ook ruimtelijk in beeld kan worden gebracht.

3.2.2 Warmtevraag in de industrie

In de context van SMR's is het voor de warmtevraag van belang om onderscheid te maken tussen verschillende temperatuurniveaus, aangezien de

verschillende typen SMR's verschillende temperatuur warmte kunnen leveren. In Figuur 10 is een onderverdeling van warmtelevering aan de industrie op basis van temperatuur weergegeven. De onderverdeling in temperatuur is relevant om te bepalen welk type SMR welke warmtevraag kan bedienen en of de warmtelevering daarbij ten koste gaat van elektriciteitsproductie of niet.

Op basis van de in Bijlage 2 benoemde samengestelde dataset uit 2022 is door Haskoning een categorisering gemaakt van warmtevraag in de industrie, onderverdeeld naar type bedrijven. Deze cijfers worden als bovengrens gehanteerd voor de vraag naar warmte in de industrie in 2050, aangezien dit correspondeert met een situatie zonder verdere elektrificatie van de warmtevraag.

Een belangrijke notie bij deze categorisering van energiegebruik is dat het slechts een eerste onderscheid is, bedoeld om een ruwe inschatting te kunnen maken van waar welke warmte- en elektriciteitsvraag zit en door welk type SMR de warmtevraag bediend zou kunnen worden. Of een bestaand proces dat niet warm water of stoom als warmtebron gebruikt maar bijvoorbeeld de verbranding van aardgas geschikt is om over te gaan op stoom of warmwater, wordt zeker niet alleen bepaald door de temperatuur van dat proces. Zo kan het ombouwen van de procesinstallatie om stoom of warm water als warmtebron te gebruiken technisch, vanuit veiligheid of financieel niet haalbaar zijn.

Zeet hoge temperaturen (> 650°C)

Bij verschillende generatie IV-concepten, zoals *Molten Salt Reactors* (MSR) of *High-temperature Gas-cooled reactors* (HTGR), kan de temperatuur van het koelmiddel in de reactor oplopen tot 650 à 800°C. Deze temperatuur wordt echter niet één-op-één geleverd aan een externe afnemer. Door temperatuurverliezen over warmtewisselaars, veiligheidseisen en materiaalbeperkingen ligt de daadwerkelijk leverbare procestemperatuur doorgaans lager dan de interne reactortemperatuur. In de praktijk betekent dit dat de temperatuur van de extern beschikbare proceswarmte meestal significant lager ligt dan de temperatuur van het primaire koelmiddel.

Er zijn momenteel geen SMR-concepten die aantoonbaar proceswarmte boven de 650°C kunnen leveren, zowel commercieel beschikbare als SMR's die nog in de techniek-ontwikkeling zitten. In de praktijk blijkt dat het realiseren van hogere temperaturen technisch uitdagender is dan eerder voorzien. Dit hangt samen met materiaalgedrag bij hoge temperaturen, corrosie, en de noodzaak tot kwalificatie en langdurige demonstratie van componenten. In de *International Atomic Energy Agency (IAEA) Technology Roadmap*¹⁸ wordt expliciet aangegeven dat verdere verhoging van procestemperaturen aanvullende brandstof- en materiaalontwikkeling vereist, wat de ontwikkeltijd van dergelijke concepten verlengt.

Warmtelevering aan de industrie				
	Temperatuur < 100 °C	100 °C < T < 300 °C	300 °C < T < 650 °C	T > 650 °C
Vorm	Warm water	Stoom	Stoom of hete verbrandingsgassen	Hete verbrandingsgassen
Haalbaar voor SMR	Gen III+ & Gen IV	Gen III+ & Gen IV	Gen IV	Geen
Uitkoppeling	Restwarmte (niet ten koste van E-productie)	Hoogwaardige warmte (ten koste van E-productie)	Hoogwaardige warmte (ten koste van E-productie)	Temperatuur buiten bereik van SMR stoomproductie
Fossiel alternatief	Aardgasverbranding	Aardgasverbranding	Aardgasverbranding	Aardgasverbranding
Emissieneutraal of emissievrij alternatief	Geothermie Warmtepomp E-Boiler	Geothermie Warmtepomp E-Boiler	Waterstof(dragers) Biobrandstoffen CO ₂ -afvang	Waterstof(dragers) Biobrandstoffen CO ₂ -afvang

Figuur 10. Warmtelevering aan de industrie gecategoriseerd naar temperatuurniveau

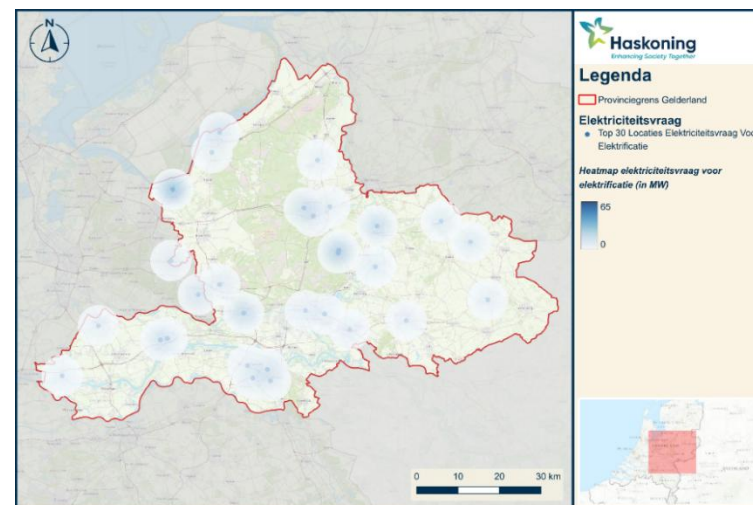
¹⁸ *Technology roadmap for small modular reactor deployment*

3.2.3 Energievraag van de industrie op de kaart

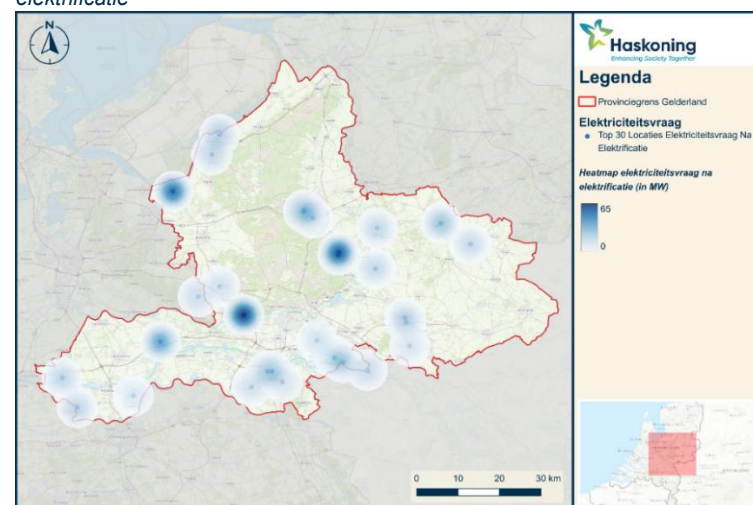
Op basis van de data over de energievraag van de industrie zijn verschillende kaarten van energievraag gegenereerd. Deze dienen als een eerste uitgangspunt bij het bepalen van energetisch zinvolle locaties voor de toepassing van SMR's, zoals verder beschreven in hoofdstuk 4 en hoofdstuk 5. Bij het industrieel warmte- en elektriciteitsverbruik wordt uitgegaan van de top-30 van de meest energie-intensieve bedrijven in Gelderland. Deze top 30 omvat ruim 50% van de totale industriële warmtevraag. Ook stedelijke warmtevraag is in kaart gebracht, deze analyse wordt integraal getoond in hoofdstuk 5.

Onderstaande kaarten tonen meerdere configuraties van energievraag: de huidige (2022) elektriciteitsvraag van top-30 bedrijven, de geschatte elektriciteitsvraag na volledige elektrificatie van de warmtevraag, en de geschatte industriële warmtevraag in 2022 in verschillende temperatuurbreedtes. Bij deze afbeeldingen is de top 30 op basis van de warmtevraag in de desbetreffende temperatuurbreedte weergegeven.

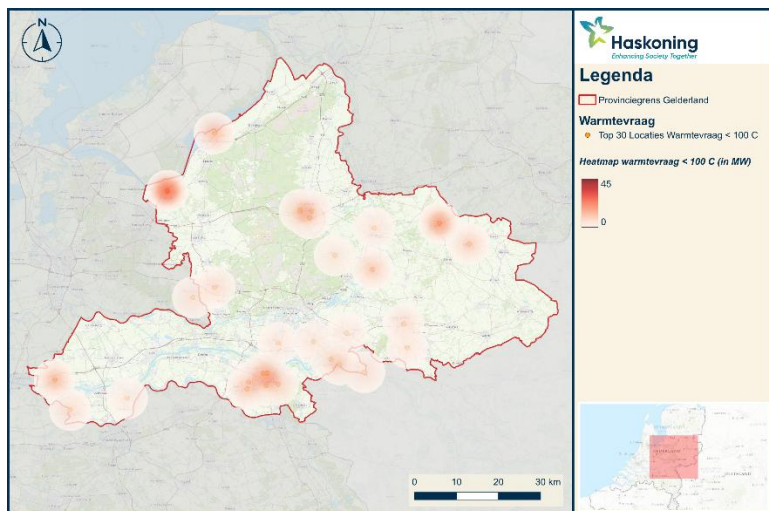
Figuur 11 Geschatte elektriciteitsvraag in 2022 door de top 30 industriële partijen



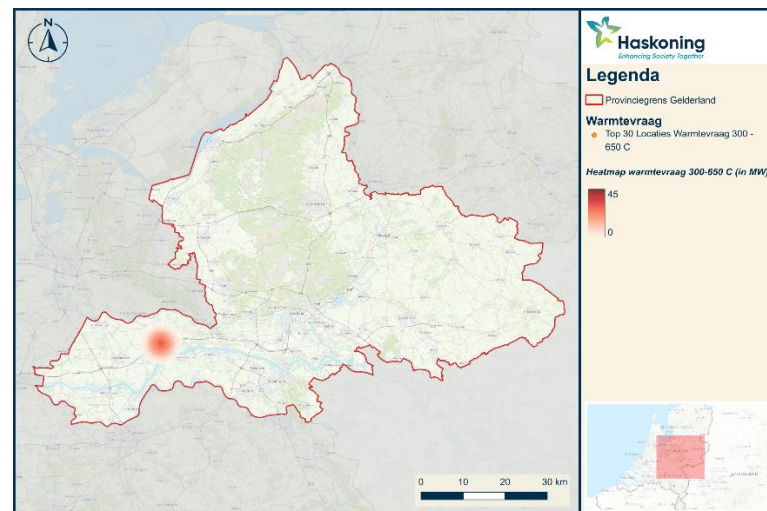
Figuur 12. Geschatte elektriciteitsvraag door de top 30 industriële partijen na volledige elektrificatie



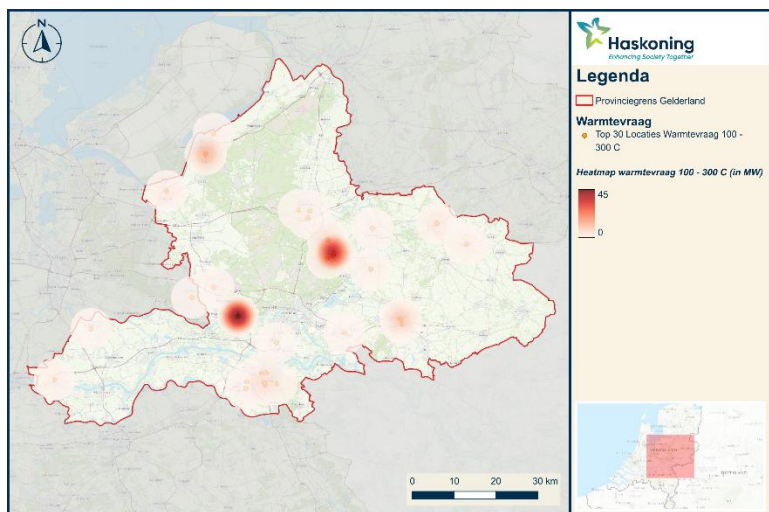
Figuur 13. Geschatte industriële warmtevraag in 2022, temperatuurbandbreedte: onder de 100°C



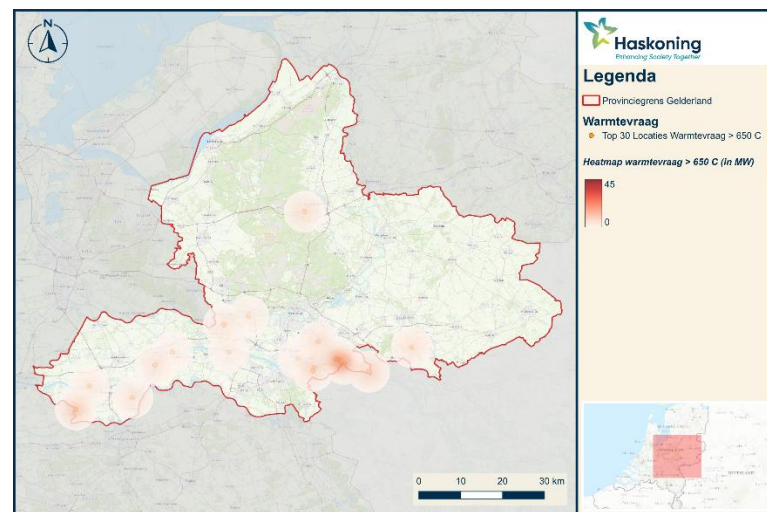
Figuur 15. Geschatte Industriële warmtevraag in 2022, bandbreedte: 300°C tot 650°C



Figuur 14. Geschatte industriële warmtevraag in 2022, bandbreedte: 100°C tot 300°C



Figuur 16. Geschatte industriële warmtevraag in 2022, temperatuurbandbreedte: Boven 650°C



4 Energetische en ruimtelijke verkenning van SMR's in Gelderland: een afwegingskader

In het vorige hoofdstuk is het Gelderse energiesysteem beschreven en is verkend hoe de toekomstige vraag naar elektriciteit en warmte er energetisch-ruimtelijk uit ziet in de provincie. In dit hoofdstuk vertalen we deze inzichten naar een integraal afwegingskader, waarin ruimtelijke, technische, en beleidsmatige aspecten samenkomen. In het volgende hoofdstuk worden de vijf toepassingen van dit onderzoek aan dit afwegingskader getoetst en wordt met behulp van kaarten inzichtelijk gemaakt waar SMR's naar verwachting ruimtelijk inpasbaar zijn en meerwaarde kunnen bieden binnen het Gelderse energiesysteem.

4.1 Waarom een afwegingskader?

Er zijn verschillende randvoorwaarden en criteria die meewegen in de afweging van geschikte gebieden en locaties voor SMR's in de provincie Gelderland. Daarbij gaat het uiteraard om energetische karakteristieken, zoals beschreven in hoofdstuk 3, maar ook om ruimtelijke en maatschappelijke randvoorwaarden. Voor de provincie is het van belang om transparant te kunnen zijn over de verschillende afwegingen die moeten worden gemaakt en deze met stakeholders te kunnen afstemmen en toetsen. Daarmee ontstaat behoefte aan een afwegingskader dat inzichtelijk maakt welke aspecten van belang zijn het bepalen of, hoe en waar de SMR een bijdrage kan leveren binnen de provincie. Het afwegingskader helpt in de gesprekken met stakeholders, maar ook om de besluitvorming rond de mogelijke inpassing van SMR's inzichtelijk te maken.

Als onderdeel van deze verkenning stelde Haskoning een afwegingskader op, dat in verschillende iteraties is aangepast op basis van input van stakeholders. Het afwegingskader dient in eerste instantie als transparante basis voor gesprek, door te laten zien welke afwegingen op welk moment moeten worden gemaakt en waarom. Het afwegingskader zoals gepresenteerd in dit rapport is daarmee voornamelijk een ondersteunend raamwerk, maar kan ook op een formelere manier in verdere beleidskaders door de provincie worden overgenomen.

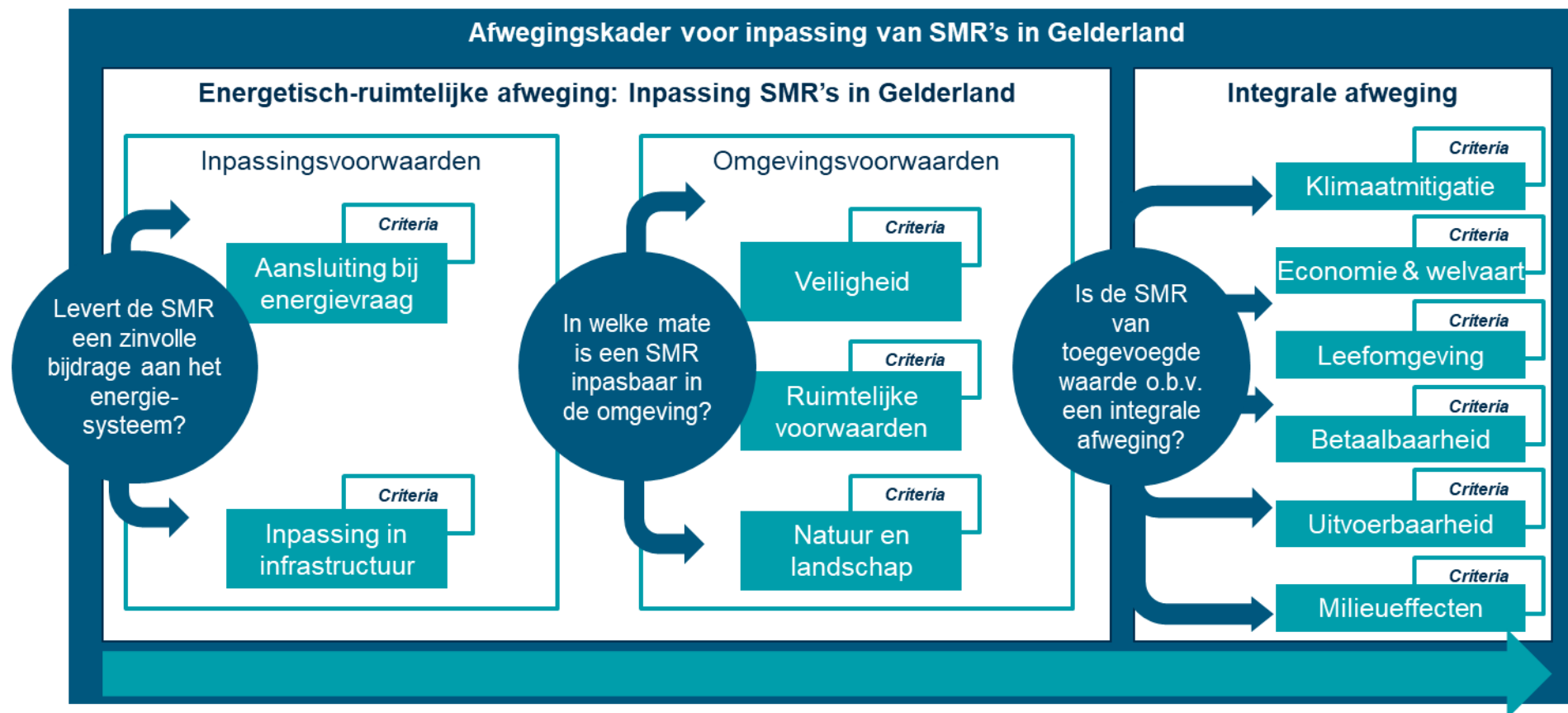
4.2 Opzet van het afwegingskader

Het afwegingskader is opgebouwd langs drie opeenvolgende stappen die gezamenlijk bepalen of de SMR van toegevoegde waarde is in Gelderland:

1. Allereerst wordt gekeken naar energetische **inpassingsvoorwaarden**: kan een SMR een zinvolle bijdrage leveren aan het energiesysteem in Gelderland, op basis van de aard en omvang van de energievraag en de beschikbare of voorziene energie infrastructuur?
2. Vervolgens worden de **omgevingsvoorwaarden** in beeld gebracht, waarbij de vraag centraal staat in welke mate een SMR past binnen de fysieke, ecologische en veiligheidskundige kenmerken en waarden van de omgeving;
3. Indien de eerste twee stappen laten zien dat een SMR mogelijk kansrijk kan zijn, is als derde stap een **integrale afweging** nodig van alle voor- en nadelen op basis waarvan de meerwaarde van een SMR voor Gelderland in bredere zin wordt beoordeeld. Deze factoren zijn in dit rapport niet gewogen, maar dienen in vervolgstappen te worden beoordeeld.

In onderstaande figuur is het afwegingskader afgebeeld met bijbehorende stappen en thema's. Elk thema bestaat uit verschillende criteria. Enkele van deze criteria bestaan uit "harde" eisen en randvoorwaarden die zijn bepaald in wetgeving of provinciale kaders. De meeste criteria zijn echter nog niet in wetgeving vastgelegd. In deze gevallen zijn door Haskoning voorlopig aannames gedaan op basis van recente studies. Naarmate gaandeweg meer kennis beschikbaar komt, kan ook dit afwegingskader verder worden aangescherpt.

Figuur 17. Afwegingskader voor inpassing van SMR's in Gelderland



4.2.1 Inpassingsvoorwaarden

De inpassing in het energiesysteem richt zich op de mate waarin een technologie aansluit bij de verwachte energievraag en de beschikbare of geplande energie-infrastructuur. Hierin worden twee categorieën onderscheiden:

1. **Aansluiting bij de (toekomstige) energievraag**, gericht op de nabijheid van grote elektriciteitsverbruikers, warmtevraag in industriële processen en warmtevraag in de gebouwde omgeving, waaronder gebieden met stadsverwarming of bestaande warmtenetten. Deze criteria geven inzicht in de potentiële koppelkansen en de mate waarin de technologie logisch past binnen regionale energievraagprofielen;
2. **Inpassing in energie infrastructuur**, gericht op beschikbare en toekomstige infrastructuurontwikkelingen in de provincie. Hierbij gaat het onder andere om de nabijheid en beschikbare capaciteit van hoogspanningsstations. Voor specifieke toepassingen wordt daarnaast gekeken naar de afstand tot de waterstofbackbone en mogelijke koppelmogelijkheden met elektrolyse of industriële afnemers.

Gezamenlijk bieden deze criteria inzicht in de mate waarin de SMR-technologie technisch en systemisch kan worden ingepast in het energiesysteem. Deze criteria worden toegelicht in Tabel 5. Deze verzameling aan randvoorwaarden is niet uitputtend en kan eventueel worden aangevuld met vervolgstudies, waarin gedetailleerder naar zoekgebieden en locatie specifieke criteria wordt gekeken.

4.2.2 Omgevingsvoorwaarden

De inpassing van een SMR heeft implicaties voor de omgeving en de omgeving waarin een SMR wordt geplaatst kan invloed hebben op de SMR. In het afwegingskader zijn de omgevingsvoorwaarden onderverdeeld in aspecten

rondom veiligheid, ruimtelijke voorwaarden en voorwaarden rond natuur en landschap:

1. **Veiligheidscriteria** zijn onder andere gericht op veiligheidsrichtlijnen en afstanden, waarvoor recent concretere voorschriften zijn gepubliceerd¹⁹;
2. **Ruimtelijke voorwaarden** omvatten onder meer de fysieke kenmerken van het gebied, zoals de beschikbaarheid van koelwater, de afstand tot bebouwing, de logistieke mogelijkheden voor zwaar transport, bouwlogistiek en hulpdiensten en overstromingsrisico's;
3. De categorie **natuur en landschap** richt zich op de bescherming van natuurwaarden, ecologische structuren en cultuurhistorische landschappen.

De voorwaarden in deze categorie sluiten aan bij de sturende principes uit de Gelderse Omgevingsvisie 'Gaaf Gelderland' en het Beleidskader Energiesysteem, zoals zorgvuldig ruimtegebruik, waterveiligheid, ecologische kwaliteit en klimaatbestendigheid, maar zijn specifiek uitgewerkt voor deze verkenning naar mogelijke SMR-inpassingen. De criteria van omgevingsvoorwaarden worden toegelicht in Tabel 6.

4.2.3 Integrale afweging

Naast de inpassing in het energiesysteem en de inpassing in de ruimte is er uiteindelijk een integrale afweging te maken over de ontwikkeling van SMR's in Gelderland. In deze integrale afweging gaat het naast de bijdrage aan of effecten van SMR's op klimaatmitigatie, economie en leefomgeving ook over betaalbaarheid en uitvoerbaarheid. Deze criteria worden in dit rapport niet verkend of getoetst, maar dienen als verder aanknopingspunt voor de provincie en betrokken partijen. Deze criteria zijn nader toegelicht in Tabel 7.

¹⁹ [Handreiking VOBK 2025 | Autoriteit NVS](#)

Tabel 5. Inpassingsvoorwaarden uit het afwegingskader.

Categorie	Criterium	Relevante voorwaarden	Toepassing-specifiek ²⁰					Aanname
			1	2	3	4	5	
Aansluiting bij energievraag	Nabijheid van (grote) elektriciteitsvraag	Afhankelijk van de toepassing is de nabijheid van (grote) elektriciteitsvraag belangrijk in het bepalen van de toegevoegde waarde en locatie van de SMR. Dit geldt met name voor Gen IV/micro-SMR's die direct elektriciteit leveren aan grote afnemers, zoals industriële clusters en datacenters. Een Gen III+ SMR zal vanwege haar omvang direct op het HS-net worden aangesloten, waarmee nabijheid van elektriciteitsvraag minder relevant is.	X		X			Een grote en basislast elektriciteitsvraag vergroot de kans dat een SMR rendabel en effectief kan worden ingebed. Hierbij geldt dat elektriciteitsvraag aanwezig moet zijn binnen een radius die proportioneel is aan het vermogen in MW: hoe groter de vraag, hoe groter de afstand mag zijn. Bij aansluiting op een HS-net gaat Haskoning uit van 6 km. Bij een directe aansluiting is dit bij voorkeur niet meer dan 1 km.
	Nabijheid van (grote) warmtevraag industrie	Een SMR levert nuttige warmte die direct kan worden ingezet in de industrie. Een geschikte locatie voor de SMR is daarmee een locatie waarin (industriële) warmtevraag aanwezig is binnen een technisch haalbare afstand gegeven de relevante temperatuurklasse. Een substantiële, structurele warmtevraag bepaalt of een SMR zijn warmte nuttig kan inzetten. De onderscheidde temperatuurcategorieën zijn: • T < 100°C (levering in vorm van warm water) • 100°C<T<300°C (levering in vorm van stoom) • 300°C<T<650°C (levering in vorm van stoom – alleen beschikbaar in Gen IV) • T > 650°C (levering in vorm van stoom – Bij geen van de SMR-leveranciers beschikbaar)			X	X		Warmtetransport over grotere afstanden brengt hogere verliezen van warmte en kosten met zich mee. Transport op hogere temperaturen vereist beter geïsoleerde leidingen, zwaardere materialen, meer veiligheidsmaatregelen en extra energie om warmteverliezen te compenseren. Deze factoren maken het systeem duurder en beperken de economisch rendabele transportafstand. Lage temperatuurwarmte kan worden vervoerd via relatief eenvoudige geïsoleerde warmwater-leidingen maar ook hier is de nabijheid van afnemers essentieel. Als vuistregel geldt: hoe groter de warmtevraag, hoe groter de mogelijke transportafstand. Deze verkenning gaat uit van een realistische transportafstand van maximaal 3 km voor transport van stoom.
	Nabijheid van stedelijke warmtevraag	Specifiek voor koppeling van een SMR aan een stedelijk warmtenet is grootschalige warmtevraag in de gebouwde omgeving een belangrijke voorwaarde. Hierbij gaat het om warmtevraag <100°C. Hieronder valt ook de warmtevraag van de glastuinbouw, ter referentie: het warmtenet van Lingewaard, waarop 14 glastuinbouwbedrijven zijn				X		Warmtetransport over grotere afstanden brengt hogere verliezen van warmte en kosten met zich mee. Als vuistregel geldt: hoe groter de warmtevraag, hoe groter de mogelijke transportafstand. Typische transportafstanden liggen in de orde grootte van enkele kilometers. Het grootste, langste warmtenet in

²⁰ Refereert aan de vijf toepassingen die in deze studie zijn onderzocht en zijn geïntroduceerd in hoofdstuk 2.

		aangesloten, heeft een jaarlijks warmteverbruik van 450 TJ, dat vertaalt zich in een thermisch vermogen van 20 tot 25 MW _{th} .					Nederland is WarmtelinQ ²¹ , dat zelfs warmte transporteert over enkele tientallen kilometers.
	Nabijheid van waterstofvraag	De inzet van een SMR voor de toepassing van waterstof heeft meerwaarde wanneer er aanwezigheid is van bestaande of toekomstige waterstofvraag. Hierbij geldt de mogelijkheid tot koppeling met waterstofproductie voor invoeding op de backbone wanneer deze infrastructuur nabij is (zie "inpassing in infrastructuur").				X	Een SMR is relevant voor waterstofproductie wanneer substantiële regionale afname gegarandeerd is, of wanneer invoeding op landelijke backbone mogelijk is. Deze verkenning houdt een afstand van maximaal 5 km aan voor koppeling aan directe vraag. De aanleg van een nieuwe waterstofleiding is op zichzelf een aanzienlijk project. Ter indicatie: aanleg van alleen een middelgrote pijpleiding (zonder compressiestation) van 5 km heeft een CAPEX van zo'n 11 miljoen euro. ²²
Inpassing in infrastructuur	Nabijheid van HS-station	Een belangrijke voorwaarde voor de inpassing van een SMR is toegang tot 380 kV infrastructuur. Voor kleinere SMR's (tot 50 MWe) is inpassing op 150 kV mogelijk.	X		X		Deze verkenning houdt een contourafstand van 6 km tot een HS-station (380 kV) aan voor het bepalen van geschikte locaties voor de SMR tussen 50 en 300 MWe.
	Beschikbaarheid van transportcapaciteit	Beschikbare transportcapaciteit op 380 kV (of 150 kV, afhankelijk van de toepassing) is een harde voorwaarde. Gezien de mate van netcongestie in Gelderland hangt beschikbaarheid af van bestaande capaciteitsuitbreidingen van TenneT.	X		X		Transportcapaciteit is mogelijk beschikbaar wanneer capaciteit van de SMR past binnen geplande capaciteitsuitbreiding en geen reserveringen bekend zijn. Ook als speciaal voor een SMR nieuwe infrastructuur wordt mee-ontwikkeld, dan moet de beoogde productiecapaciteit in het toekomstig beoogde elektriciteitssysteem passen. Afstemming met TenneT is hiervoor noodzakelijk. Door te dimensioneren en te opereren op de elektriciteitsvraag in een TenneT "pocket" wordt de noodzaak voor transportcapaciteit minder.
	Nabijheid van waterstofnetwerk	Voor een SMR gekoppeld aan waterstofproductie is nabijheid van waterstofinfrastructuur nodig, tenzij beschikbare waterstof direct wordt gekoppeld aan nabije waterstofvraag. Nabijheid van de backbone maakt koppeling aan landelijke waterstofinfrastructuur mogelijk.			X	X	Deze verkenning houdt een afstand tot 5 km van de waterstofbackbone aan voor het bepalen van geschikte locaties voor deze toepassing. Een grotere afstand tot de backbone is mogelijk, maar verslechtert mogelijk de business case.

²¹ [WarmtelinQ](#)

²² [ehb-report-220428-17h00-interactive-1.pdf](#)

		Alleen locaties nabij de backbone zijn daarmee kansrijk voor integratie in het nationale waterstofsysteem.						
--	--	--	--	--	--	--	--	--

Tabel 6. Omgevingsvoorwaarden uit het afwegingskader.

Categorie	Criterium	Relevante voorwaarden	Toepassing-specifiek					Aanname
			1	2	3	4	5	
Veiligheid	Veiligheids-richtlijnen- en afstanden	Voor SMR's bestaan in Nederland nog geen vastgestelde veiligheidsafstanden tot gevoelige objecten. Er zijn drie verschillende richtlijnen voor afstanden waar rekening mee moet worden gehouden. Deze staan los van elkaar en moeten apart worden beoordeeld: • Screening afstanden volgens SSG-35: dit zijn richtafstanden van IAEA die gebruikt worden om geschikte locaties voor de bouw van een nucleaire installatie te screenen. Deze afstanden zijn geen uitsluitingscriteria; • Preparatiezone (EPZ): zone waarbinnen bepaalde noodmaatregelen moeten zijn voorbereid; • Richtafstand vanuit ruimtelijke reservering: Afstand die gehouden moet worden van gevoelige objecten. Hier zijn op dit moment nog geen ruimtelijke kaders voor.	X	X	X	X	X	Voorlopige veiligheidsafstanden (zoals ± 500 m bij Gen III+) zijn gebaseerd op recente SMR-studies, omdat nationale SMR-specifieke kaders met betrekking tot afstanden en exclusiezones nog ontbreken. In lijn met recente SMR-studies wordt in deze verkenning gewerkt met een veiligheidsafstand van 500 meter.
	Afstand tot infrastructuur	In het kader van veiligheid dient een SMR op afstand te worden gebouwd van belangrijke infrastructuur, zoals buisleidingen, hoogspanningsleidingen, spoorlijnen en wegen.	X	X	X	X	X	Buisleidingen, hoogspanningsleidingen, spoorlijnen en wegen gelden als exclusiegebied – een SMR kan niet worden gebouwd op locaties waar deze infrastructuur doorheen loopt.
	Aardbevings-gevoeligheid	Een SMR vraagt om stabiele bodemcondities die voldoen aan funderings- en seismische veiligheidsnormen. Afstand tot actieve breuklijnen is daarmee essentieel.	X	X	X	X	X	In Gelderland zijn geen actieve breuklijnen. Dit criterium is daarom niet relevant als uitsluitingsgrond.

	Natuurbrand risico	Uit gesprekken met stakeholders kwam afstand tot risicogebieden voor natuurbranden naar boven als omgevingsvoorwaarde voor de SMR.	X	X	X	X	X	Regionale natuurbrandkaarten zijn meegenomen in beoordeling, maar niet als uitsluitingsgrond. Een verhoogd natuurbrandrisico betekent aanvullende eisen.
Ruimtelijke voorwaarden	Koelwater-mogelijkheden	Voor de inpassing van SMR's is de beschikbaarheid van koelwater een belangrijke randvoorwaarde, met name voor de GenIII+/GenIV SMRs (>250 MWe). Doorstroomkoeling met oppervlaktewater is energetisch efficiënter en vraagt minder ruimte op de locatie dan koelen met koeltorens of koelmodules. Koeling met water is alleen mogelijk nabij grote waterwegen en meren.	X				X	Koelwater moet gegarandeerd beschikbaar zijn, ook onder klimaatverandering. Oppervlaktewaterkoeling is mogelijk binnen een afstand van 1 km van groot oppervlaktewater. Benodigde koelwatervolumes zijn beschikbaar onder verschillende klimaatscenario's.
	Waterkwaliteit	Koelwater kan impact hebben op de waterkwaliteit en ecologie. Uit gesprekken met waterschappen kwam naar voren dat thermische lozingen de watertemperatuur niet boven 25°C mogen brengen. Daarnaast mag er geen gebruik worden gemaakt van grond/drinkwater voor koelprocessen.	X	X	X	X	X	De SMR maakt alleen gebruik van oppervlaktewater voor koelprocessen. Gebruik van grond/drinkwater wordt uitgesloten. SMR's worden niet geplaatst in of nabij waterwingebieden (afstand minimaal 600 meter).
	Afstand tot bebouwing en kwetsbare functies	Afstanden van de SMR tot woongebieden en kwetsbare functies moeten beleidsmatig acceptabel zijn en binnen geldende normen blijven. De omgevingswet maakt onderscheid tussen beperkt kwetsbare locaties, kwetsbare gebouwen (woningen en kantoren) en zeer kwetsbare gebouwen (scholen en ziekenhuizen). Voor de laatste categorie geldt een extra beschermingsopgave vanwege de extra druk op de hulpdiensten in het geval van een incident. Er zijn geen vaste afstanden in de wet opgenomen over de afstand die gehouden moet worden tussen deze locaties en een kerncentrale of nucleaire instelling.	X	X	X	X	X	Deze verkenning houdt een minimale afstand tot bevolkingskernen (woongebieden, scholen, ziekenhuizen) van 600 meter aan.
	Geluidshinder en aanzicht	Factoren waar, naast veiligheid, rekening mee moeten worden gehouden zijn geluidshinder en aanzicht. Er zijn nog geen gegevens bekend over welke afstand (gemiddeld) aangehouden moet worden om aan geluidsnormen te kunnen voldoen bij een SMR. Wel bestaan vanuit de VNG-Handreiking Activiteiten en Milieuzonering voor reguliere industriële activiteiten richtafstanden voor geur (10 meter) en geluid (500 meter). Deze zijn niet specifiek voor SMR's.	X	X	X	X	X	Gezien de compactheid en lage geluidsproductie van SMR's, voornamelijk afkomstig van ondersteunende installaties, is de verwachting is dat een richtafstand van 600 meter (gelijk aan de veronderstelde afstand tot bebouwing) afdoende is.

	Logistieke bereikbaarheid	De SMR moet bereikbaar zijn voor zwaar transport, bouwlogistiek, en hulpdiensten via wegen en waterwegen. Ook moet de SMR op gepaste afstand van vitale infrastructuur, zoals ziekenhuizen, zijn gesitueerd. Hulpdiensten moeten bovenwinds kunnen aanrijden.	X	X	X	X	X	In deze verkenning is geen vaste afstand tot (snel)wegen gehanteerd bij het afbakenen van potentiële SMR-locaties. De logistieke bereikbaarheid tijdens de bouwfase wordt verondersteld in principe realiseerbaar te zijn, maar de daadwerkelijke maakbaarheid kan per locatie sterk verschillen.
Natuur en landschap	Ecologie	Een belangrijke omgevingsvoorwaarde is dat de SMR zich bevindt buiten beschermde gebieden, waaronder Natura 2000, UNESCO Werelderfgoed, Gelders natuurnetwerk (GNN) en archeologische gebieden van groot belang.	X	X	X	X	X	Beschermde gebieden zijn in deze verkenning uitgesloten voor SMR-locaties.
	Hoogwater-bescherming	De SMR-locatie moet voldoende bestand zijn tegen overstromingsrisico's, ook in de toekomst.	X	X	X	X	X	Overstromingsgevoelige gebieden zijn in deze verkenning in kaart gebracht op basis van bestaande risicokaarten, maar niet meegenomen als uitsluitingsgrond. Als locaties binnen overstromingsgevoelige gebieden vallen, zal er moeten worden onderzocht of het mogelijk is om overstromingsrisico's afdoende te beheersen op een manier die in lijn is met het water en bodem sturend principe.

Tabel 7. Integrale afwegingen uit het afwegingskader

Categorie	Criterium	Relevante afwegingen
Klimaat-mitigatie	Bijdrage aan klimaatdoelen	De mate waarin de SMR bijdraagt aan klimaatdoelstellingen en het beleid van de provincie om in 2050 klimaatneutraal te zijn is een belangrijke afweging voor het bepalen van kansrijkheid van de SMR. Integraal zicht op het energiesysteem in de provincie helpt om deze afweging te kunnen maken.
	Afweging t.o.v. hernieuwbare energiebronnen	De meerwaarde van een SMR hangt af van haar rol naast o.a. zon, wind, geothermie en waterstof en of zij een unieke systeembijdrage levert die andere bronnen niet of moeilijker kunnen leveren. Integraal zicht op het energiesysteem in de provincie, eventueel i.c.m. MKBA-analyse, helpt om deze afweging te kunnen maken.
Economie en welvaart	Bijdrage aan leveringszekerheid	De mate waarin een SMR bijdraagt aan het bestendigen van de leveringszekerheid van energie door op elk moment voldoende energie te leveren om aan de vraag van gebruikers te voldoen, nu en in de toekomst, tegen aanvaardbare maatschappelijke risico's en kosten. De manier waarop een SMR dit kan doen is wanneer zij bijdraagt aan het waarborgen van leveringszekerheid en beschikbaarheid van stabiele, basislast capaciteit.

	Impact op regionale supply chain en nieuwe bedrijvigheid industrie	In hoeverre stimuleert de inpassing van een SMR economische ontwikkeling van de regio. Dit kan wanneer zij regionale industrie en ketens versterkt of uitbreidingskansen biedt. De komst van een SMR kan specifieke bedrijvigheid in de regio aantrekken in zowel de bouw- als exploitatiefase (gespecialiseerde toeleveranciers, productiefabrieken, aannemers). Ook kan een SMR een aanzuigende werking hebben op industrie door beschikbaarheid van stabiele, basislast elektriciteit of warmte, zoals bijvoorbeeld datacenters. Nieuwe bedrijvigheid kan in de provincie ontstaan, maar vraagt om aanvullende ruimtelijke ordening en goede afstemming met bestaande economische systemen.
	Werkgelegenheid tijdens bouw/ exploitatie	Voor de bouw en exploitatie van SMR's is veel specialistische kennis nodig en een groot aantal arbeidskrachten. Dit biedt kansen voor werkgelegenheid in Gelderland, maar vraagt ook om investering in kennis en beschikbaarheid van voorzieningen.
	Kennisontwikkeling	Beschikbaarheid van kennis is een randvoorwaarde voor de succesvolle ontwikkeling van SMR's. Dit vraagt om specifieke kennisontwikkeling en nauwe samenwerking met onderwijsinstellingen.
Leefomgeving en acceptatie	Ruimtelijke ordening	Een SMR moet passen binnen de lange termijn ruimtelijke plannen van de provincie met het oog op wonen, werken, natuur en landschap. Het aanwijzen van een locatie voor een SMR kan concurreren met andere maatschappelijke functies.
	Externe risico's	Een SMR kan gevoelig zijn voor externe risico's zoals extreme weersomstandigheden, cyberdreiging of militaire risico's. Dergelijke risico's moeten transparant, beheersbaar en aanvaardbaar zijn.
	Maatschappelijke en bestuurlijke acceptatie	Lokale bereidheid om de ontwikkeling van de SMR te ondersteunen kan een belangrijke afweging zijn in de bepaling van geschikte locaties of doorontwikkeling van de SMR.
Betaalbaarheid	Kosten	De afweging of de SMR van toegevoegde waarde is in de provincie zal in grote mate afhangen van de kosten (CAPEX en variabele kosten), juist ook in vergelijking met andere bronnen. Nadere business case analyses en MKBA-analyses zijn nodig om deze afweging te kunnen maken.
	Investeringsbereidheid	De haalbaarheid van ontwikkeling van SMR's is mede afhankelijk van de bereidheid van private of publieke partijen om de SMR te financieren. Dit kunnen directe afnemers zijn (bijvoorbeeld uit de industrie), private financieringspartijen of publieke gelden. Ook zal de ontwikkeling van SMR's vragen om lange termijn afnamecontracten om voldoende afzet over lange termijn te garanderen. Afnemende partijen moeten bereid zijn zich hierop vast te leggen.
Uitvoerbaarheid	Technische haalbaarheid en volwassenheid technologie	De SMR moet technisch beschikbaar zijn (TRL>9) binnen de gewenste termijn waarin deze van toegevoegde waarde wordt geacht voor het energiesysteem.
	Organisatorische haalbaarheid	Personeelstekorten of knelpunten in de regionale supply chain kunnen de organisatorische haalbaarheid van de SMR beperken. Ook blijkt in de praktijk dat de ontwikkeling van nucleaire installaties kan leiden tot vertragingen en kostenoverschrijdingen. Dergelijke projectrisico's moeten inzichtelijk en beheersbaar worden gemaakt.
Milieueffecten	Beheer van nucleair en overige afvalstromen	Een SMR vereist robuuste oplossingen voor het beheer, transport en opslag van nucleair en niet-nucleair afval. Afvalbeheer moet voldoen aan wettelijke en maatschappelijke eisen. Hoewel afvalbeheer en eindberging op nationaal niveau zijn geborgd, kan de provincie kan hiervoor aanvullende kaders stellen.

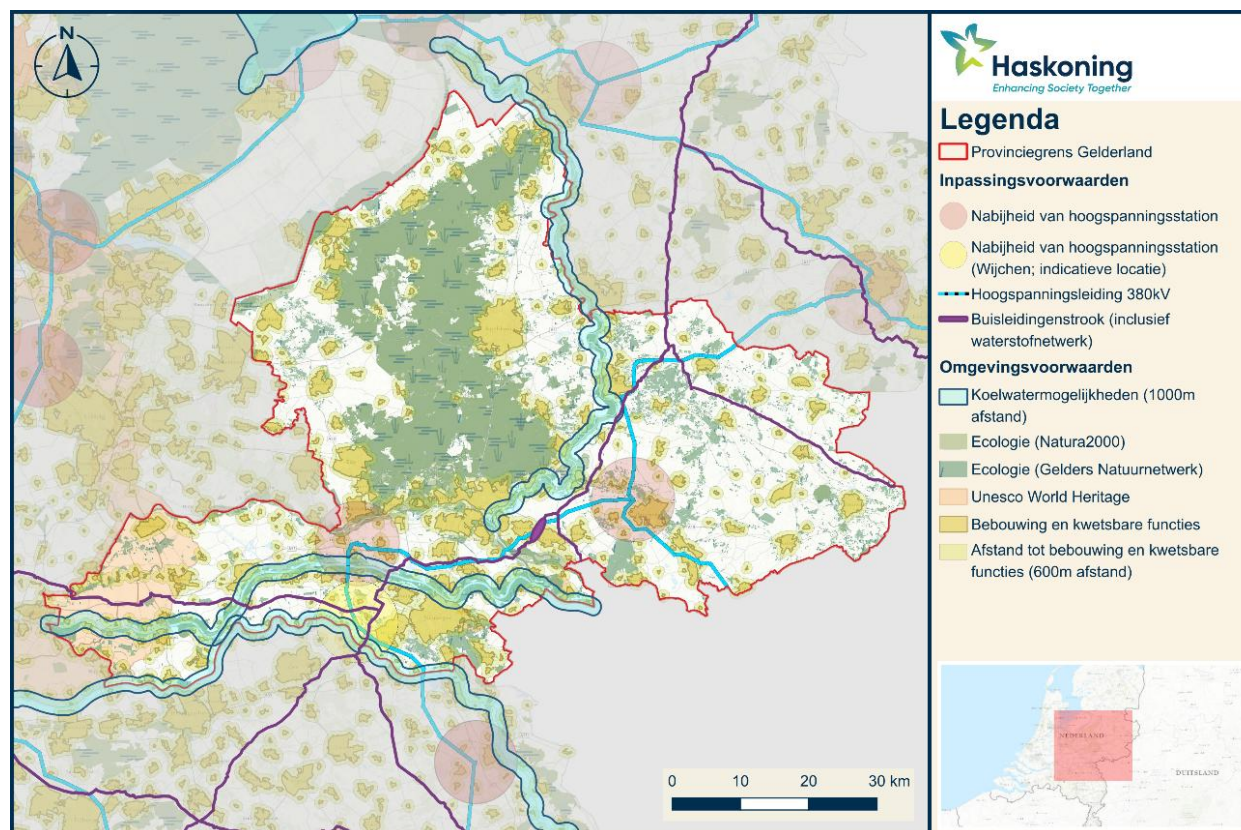
	Impact op waterkwaliteit	Koelwater kan impact hebben op de waterkwaliteit. Uit gesprekken met waterschappen kwam naar voren dat thermische lozingen de watertemperatuur niet boven 25°C mogen brengen. Daarnaast mag er geen gebruik worden gemaakt van grond/drinkwater voor koelprocessen.
	Water en bodem sturend	Bij de afweging of de SMR past binnen de provincie is water en bodem sturend een belangrijk leidend principe.
	Milieu impact van bouw en gebouw	Er is een impact op het milieu door de komst van een SMR op directe en indirecte omgeving. Dit geldt zowel voor de bouwphase als voor het gebouw zelf. Impact is bijvoorbeeld de verdwijning van natuur en het ontstaan van meer verharding, wat effect heeft op zaken als hittestress, verminderde infiltratie van regenwater, verdroging en afstroom van vervuilende stoffen. Dit moet passen binnen de kaders van milieu- en natuurbeheer van de omgeving.

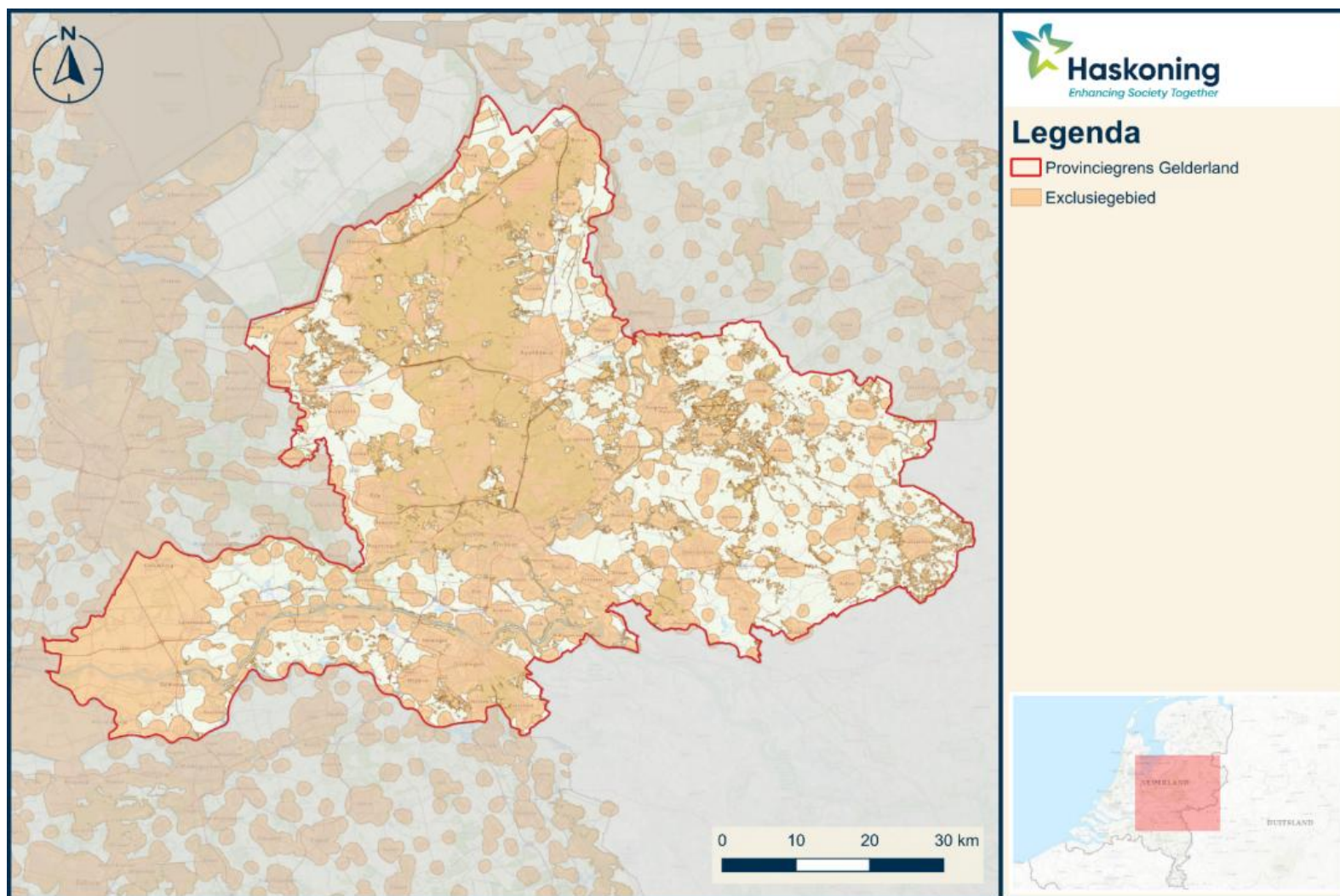
4.2.4 Afwegingscriteria in beeld gebracht

Bovenstaande tabellen geven een overzicht van voorwaarden waar rekening mee moet worden gehouden in de besluitvorming richting de mogelijke inpassing van SMR's in het energiesysteem. De meeste energetisch-ruimtelijke criteria zijn ook zichtbaar te maken op de kaart van Gelderland. In Figuur 18 zijn inpassings- en omgevingsvoorwaarden die zijn meegenomen bij de beoordeling van SMR-toepassingen weergegeven voor de provincie als geheel. De kaart laat zien waar

belangrijke infrastructuur uit de inpassingsvoorwaarden (HS-stations, buisleidingen) en belangrijke landschappelijke functies die onderdeel zijn van de omgevingsvoorwaarden zich bevinden. In Figuur 19 zijn vervolgens alle criteria waarvoor een uitsluiting geldt (o.a. ecologische zones, bebouwing en kritische functies) weergegeven als exclusiegebied. Deze kaart geeft een indruk van waar SMR's op basis van deze criteria niet ingepast kunnen worden. In Hoofdstuk 5 worden deze exclusiegebieden opnieuw getoond, maar dan ingezoomd op gebieden waar SMR-toepassingen energetisch zinvol zijn.

Figuur 18. Visualisatie van inpassings- en omgevingsvoorwaarden. Deze figuur geeft een overzicht van de belangrijkste inpassings- en omgevingsvoorwaarden die een rol spelen bij de bepaling van gebieden waar de SMR passend kan zijn. De aanduiding van mogelijk kansrijke zones zijn per toepassing verschillend; hierop wordt nader ingezoomd in hoofdstuk 5. Deze figuur laat dan ook géén overzicht van kansrijke inpassingszones zien.





Figuur 19. Visualisatie van exclusiegebieden SMR's in Gelderland. Exclusiegebieden betreffen alle gebieden waarvoor in het afwegingskader een uitsluitingscriteria is gehanteerd. Dit betreft een combinatie van woonkernen, Natura 2000, UNESCO Werelderfgoed, Gelders Natuurnetwerk en waterwingebieden.

5 Toepassingen van SMR's in beeld

Zoals beschreven in hoofdstuk 4 zijn voor het bepalen van zinvolle toepassingen van SMR's zowel energetische als ruimtelijke afwegingen van belang. In dit hoofdstuk zijn voor de vijf onderzochte toepassingen deze energetische en ruimtelijke afwegingen beschreven. Het resultaat is inzicht in de energetische haalbaarheid per toepassing én een overzicht van kansrijke zones waar de SMR op basis van energetisch-ruimtelijke criteria kan passen.

5.1 Algemene overwegingen: elektriciteit versus warmte

Voor de inschatting van een energetische match is het belangrijk dat de energieproductie van een SMR aansluit bij de aard, de schaal en het profiel van de lokale energievraag. In deze verkenning wordt zowel gekeken naar de match voor inpassing op het gebied van elektriciteit, als naar inpassing op het gebied van warmte. Deze verschillen fundamenteel van elkaar: elektriciteit is relatief eenvoudig te transporteren en flexibel inzetbaar, terwijl warmte sterk locatie gebonden is en een directe koppeling tussen bron en afnemer vereist. Deze verschillen zijn aangeduid in Tabel 8 en vormen een belangrijk uitgangspunt in de beschrijving van de verschillende toepassingen in de rest van dit hoofdstuk.

Tabel 8. Overwegingen bij het inpassen van een SMR als elektriciteit- en als warmteproducent

Overweging	Elektriciteit	Warmte
Locatie t.o.v. afnemer	Niet bepalend. Voorwaarde: transport via het publieke net (m.u.v. energy hub)	Bepalend. Locatie van SMR noodzakelijkerwijs relatief dichtbij afnemer van warmte
Locatie t.o.v. infrastructuur	Bepalend. Locatie dichtbij elektriciteitsinfrastructuur noodzakelijk, afhankelijk van schaal van SMR	Bepalend. Realiseren van warmte-infrastructuur is kostbaar en complex. Er treden verliezen op.

Waarde	Elektriciteit is relatief hoogwaardig (hoge prijs per MWh energie).	Warmte is relatief laagwaardig (lage prijs per MWh energie).
--------	---	--

5.2 Toepassing 1: SMR voor elektriciteitsvoorziening van Gelderland

In deze toepassing levert de SMR ("E-SMR") elektriciteit aan het openbare net dat wordt beheerd door TenneT, op een spanningsniveau van 150 kV. De toepassing is voorzien op relatief korte termijn, gericht op realisatie tussen 2035 en 2040. Daarbij wordt gebruik gemaakt van de generatie III+ reactor. Dit type reactor heeft een vermogen in de range van 250 tot 500 MWe. Ter vergelijking: de kerncentrale in Borssele heeft een vermogen van 485 MWe. De levering van elektriciteit vindt plaats binnen een regelbereik van 50% tot 100%. De regelsnelheid is ter indicatie een half procentpunt per minuut: in 100 minuten kan neerwaarts geregeld worden van 100% naar 50%. Deze regelsnelheid kan verschillen per type SMR. Het elektrisch rendement van deze reactor is 35%, waarmee 65% restwarmte resteert op lage temperatuur (indicatie 45°C) die moet worden weggekoeld of nuttig kan worden gebruikt (zie toepassing 4). Doorstroomkoeling heeft voor deze toepassing niet de voorkeur vanwege de omvang van de thermische lozing op het Gelderse oppervlaktewater systeem. Koeling met behulp van koeltorens is daarmee het meest waarschijnlijk. De toepassing van een gesloten luchtkoelsysteem ligt niet voor de hand vanwege de omvang van de SMR. Daarom ligt voor Gen III+ SMR's koeling m.b.v. koeltorens het meest voor de hand. Hierbij wordt de warmte afgevoerd naar de lucht, en is nog wel aanvullen de wateraanvoer nodig vanwege verdamping (make-up water). Voldoende structurele beschikbaarheid van koelwater is een randvoorwaarde voor Gen III+ SMR's.

5.2.1 Relevantie van de E-SMR in het Gelders energiesysteem

De basisgedachte bij de toepassing van een SMR voor grootschalige elektriciteitsproductie is dat de provincie Gelderland binnen haar eigen provinciegrenzen zoveel mogelijk zelfvoorzienend wordt in de behoefte aan

elektriciteit, aanvullend op hernieuwbare decentrale bronnen zoals wind, zon-PV en biomassa. Een E-SMR binnen de provinciegrenzen betekent echter niet dat uitbreiding van het nationale en regionale elektriciteitsnet achterwege kan blijven, een E-SMR zal uiteraard moeten worden geïntegreerd in het energiesysteem, wat ook uitbreiding tot gevolg kan hebben. Of een E-SMR tot minder netuitbreidingen en de daarmee gepaard gaande kosten leidt ten opzichte van het alternatief, bijvoorbeeld het importeren via het hoogspanningsnet, moet blijken uit gedetailleerd locatieonderzoek. Nationaal kan een E-SMR verzwaring van het net niet of beperkt vermijden, omdat aanvullende capaciteit nodig blijft bij uitval of gepland onderhoud van één of meerdere reactorunits.

Bij toepassing van SMR's met meerdere modules kan het effect van onderhoud wel worden beperkt, doordat individuele units tijdelijk uit bedrijf kunnen worden genomen terwijl andere units blijven produceren. Hierdoor neemt de totale productiecapaciteit minder sterk af dan bij één grote centrale. Dit verhoogt de beschikbaarheid van de installatie, maar neemt de behoefte aan back-upcapaciteit en netondersteuning niet volledig weg. Wel wordt het nationale hoogspanningsnet minder intensief gebruikt bij inzet van een provinciale E-SMR, zodat er meer speelruimte ontstaat in de transportcapaciteit. Het effect hiervan zou met een doorrekening, bijvoorbeeld gekoppeld aan één van de recente Netbeheer Nederland scenario's, door TenneT moeten worden bepaald.

Dimensionering van de E-SMR

De huidige elektriciteitsbehoefte in Gelderland is 37 PJ_e, zoals weergegeven in Hoofdstuk 3. Deze behoefte gaat richting 2050 toenemen als gevolg van elektrificatie. Verschillende scenario's uit het Programma Energiesysteem van Gelderland laten een range in de elektriciteitsvraag zien van 100 tot 120 PJ_e in 2050. In dezelfde scenario's varieert de importbehoefte, in aanvulling op hernieuwbare decentrale bronnen, tussen de 35 tot 53 PJ_e in 2050.²³ De provincie heeft de wens om leveringszekerheid in de provincie te waarborgen en netcongestie te verzachten, onder andere door het vergroten van

decentrale, duurzame elektriciteitsproductie in de provincie. Haskoning heeft de importbehoefte uit scenario's van het Programma Energiesysteem genomen als bovengrens van de hoeveelheid additionele decentrale opwek die in het systeem zou passen (aanvullend op wind en zon), met een marge van 10% om flexibiliteit te behouden. Als we ervan uitgaan dat deze importbehoefte tot 90% daalt, dan blijft een maximale behoefte van 30 tot 45 PJ_e over voor grootschalige opwek van elektriciteit binnen de provinciegrenzen.

Met een opgesteld vermogen van 485 MWe produceert de kerncentrale in Borssele 4 TW_{he} per jaar, dat is ruim 14 PJ_e per jaar. De centrale wordt in basislast ingezet, het aantal vollasturen per jaar bedraagt 8.250 (94% benuttingsgraad). Verwacht wordt dat een E-SMR in Gelderland enigszins regelbaar wordt ingezet en meer in "mid-load" zal draaien, om zo actief bij te dragen aan de balans tussen vraag en aanbod van elektriciteit in Gelderland. Op momenten dat er veel aanbod is van wind en zon-PV dan zal de E-SMR terug kunnen regelen. In de nacht, maar juist ook in de winter in periode van Dunkelflaute (periodes met weinig zon/wind) zal de E-SMR op vol vermogen draaien. Dit betekent dat het aantal vollasturen lager zal zijn dan bij de kerncentrale Borssele. Ervanuit gaande dat het regelbereik ten volle wordt benut zal de gemiddelde belasting bij in bedrijf zijn rond de 75% bedragen. Het aantal vollasturen per jaar is dan 6.200. Het bijbehorende elektrisch vermogen dat hieruit resulteert is weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 9. Elektriciteitsvraag en bijpassend vermogen SMR

Elektriciteitsvraag (in PJ _e)	Elektriciteitsvraag (in TW _{he})	Bijpassend vermogen SMR (in GWe)
30	8,4	1,4
45	12,6	2,0

Uitgaande van de 300 MWe SMR zoals die op dit moment door GE Vernova / Hitachi gebouwd wordt in Darlington (Ontario, Canada) kan de E-SMR toepassing in Gelderland daarmee een omvang van vier reactoren of meer

²³ Uit Energie Transitie Model (ETM) scenario's onderliggend aan Programma Energiesysteem

bevatten. Valt de ontwikkeling van de elektriciteitsvraag lager uit, of blijft een substantiële en structurele import van elektriciteit aanvaardbaar, dan volstaat een lager aantal reactoren.

De inzet van vier reactoren zou, gezien de optimale inpassing in de elektriciteits-infrastructuur in Gelderland, tot één reactor per zogenaamde TenneT “pocket” kunnen leiden. Hierbij ligt aansluiting op 150 kV in de nabijheid van een TenneT 380 kV/150 kV station het meest voor de hand. In principe kunnen ook andere Gelderse 150 kV stations worden overwogen, waarbij de volgende randvoorwaarden bepalend zijn:

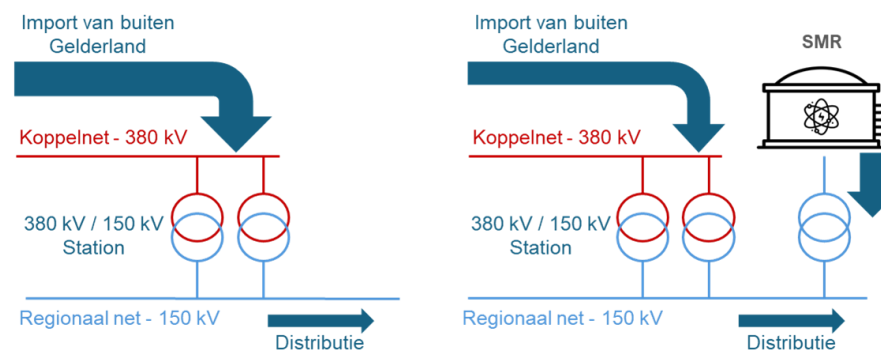
- Capaciteit van de verbindingen van het 150 kV station moet voldoende zijn om het gehele vermogen van de SMR af te kunnen voeren (dit geldt ook wanneer de verbinding met de grootste capaciteit uitvalt), dit maakt dan relatief kleine 150 kV stations afvallen en alleen grotere knooppunten overblijven;
- Ook moet er aansluitcapaciteit beschikbaar zijn, dan wel de mogelijkheid zijn om het station uit te breiden om een aansluiting voor de E-SMR te kunnen realiseren.

Het spanningsniveau waarop aangesloten wordt, de inpasbaarheid en de invloed op het elektriciteitssysteem is sterk afhankelijk van het uiteindelijk aan te sluiten totale vermogen. Ook is de verdeling van het totaal geïnstalleerde vermogen van belang, volgens TenneT. Zo vraagt 500 MWe op één locatie een andere inpassing dan 100 MWe op vijf locaties. Op basis van deze randvoorwaarden en het aan te sluiten vermogen is verdiepend onderzoek met TenneT nodig om de juiste aansluitlocatie te kunnen bepalen.

Tot slot is het doel van de E-SMR van belang bij de bepaling van de randvoorwaarden: de E-SMR kan helpen om bij de invoeding op het regionale 150 kV net minder afhankelijkheid te creëren van de invoeding via het 380 kV koppelnet. Daarmee kan de E-SMR bijdragen aan het verminderen van congestie op een 380 kV/150 kV knooppunt. Via het 380 kV koppelnet wordt immers een groot deel van de elektriciteit geïmporteerd van buiten Gelderland.

In Figuur 20 is schematisch weergegeven hoe een E-SMR, gekoppeld aan de 150 kV zijde van een 380 kV/150 kV station kan bijdragen aan verminderde import (en daarmee afhankelijkheid) van het 380 kV koppelnet.

Figuur 20 Schematische weergave van verminderde import via het 380 kV koppelnet als gevolg van invoeding door een E-SMR op het 150 kV net



Op basis van deze uitgangspunten kwamen in overleg met TenneT de 380 kV/150 kV knooppunten als meest logische en kansrijke locaties naar voren om een E-SMR aan te kunnen koppelen. Daarom zijn de huidige, en toekomstige 380 kV/150 kV stations als uitgangspunt genomen voor de inpassing van een E-SMR. De volgende 380 kV/150 kV stations zijn richting 2050 in Gelderland aanwezig (status januari 2026)²⁴:

- Dodewaard (DOD), bestaand;
- Doetinchem (DTC), bestaand;
- Rivierenland (RVD) in studie;
- Wijchen (WCN) in studie. Uit gesprekken met TenneT is gebleken dat het te bouwen station in Wijchen voornamelijk het elektriciteitssysteem in Noord-Brabant zal faciliteren, waarmee de relevantie voor de systeemfunctie in provincie Gelderland kleiner is.

Een 380 kV/150 kV station kan, afhankelijk van de technische uitvoering, 1 tot 1,5 GWe verwerken. Op dit moment is nog niet bekend wat de exacte

²⁴ Investeringsprogramma (IP) TenneT, Ontwerp Investeringsplan 2026 Net op Land.

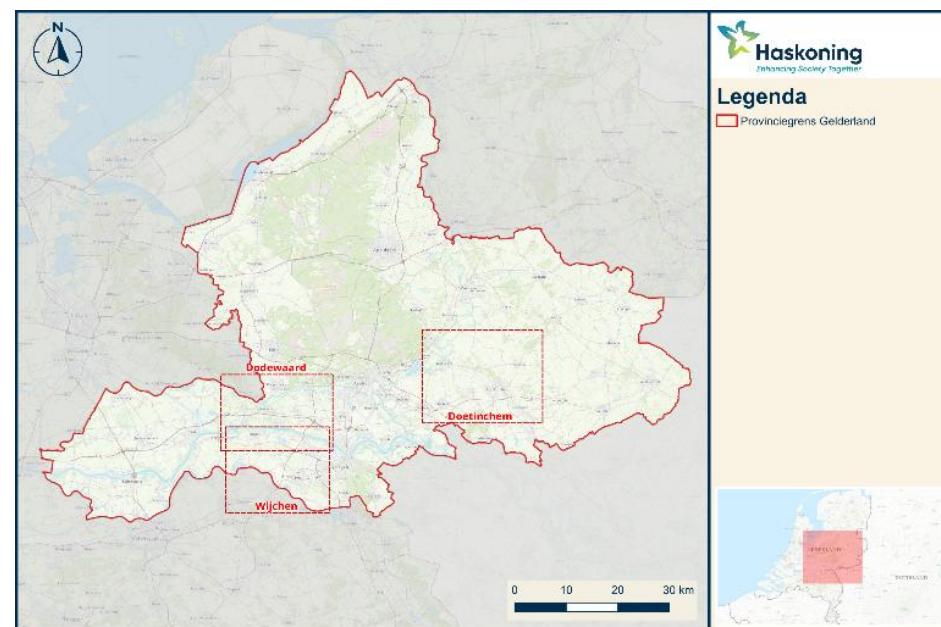
beschikbaarheid is per station, hoe de E-SMR zich technisch in laat passen op het HS-station, en op welke termijn. In gesprek met TenneT bleek bovendien dat kleinere SMR-vermogens ook op andere locaties binnen deze pockets mogelijk zijn. Ruimte, beschikbaarheid en timing van de pockets zijn hiermee dan ook leidend voor de dimensionering van de E-SMR en moeten blijken uit vervolgonderzoek.

5.2.2 Ruimtelijke inpassing van de E-SMR o.b.v. omgevingsvoorwaarden

De E-SMR ligt bij voorkeur op een afstand kleiner dan 6 km van een 380 kV / 150 kV station en op een afstand kleiner dan 1 km van groot oppervlaktewater. De ruimtelijke inpassing is verkend in de omgeving van de bestaande hoogspanningsstations Doetinchem en Dodewaard en het nieuwe te bouwen station bij Wijchen.

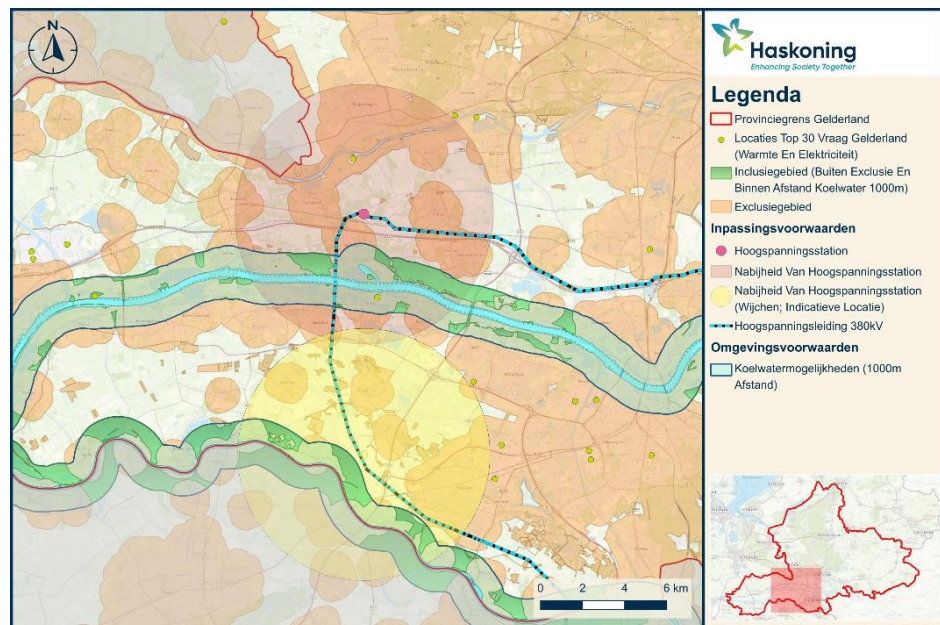
Een verkenning voor Rivierenland is niet uitgevoerd omdat enerzijds hier nog geen locatiestudie voor een hoogspanningsstation loopt, en anderzijds een groot deel van het westelijk Rivierenland onderdeel uitmaakt van het UNESCO Werelderfgoed en zich daarmee niet leent voor plaatsing van E-SMR.

Figuur 21. Aanduiding van focusgebieden voor de E-SMR in Gelderland



De resultaten van de verkenning Dodewaard en omgeving en Wijchen en omgeving zijn weergegeven in onderstaande figuur. HS-station Dodewaard ligt in het midden van de rode cirkel, zie rode punt. De locatie van het HS-station in Wijchen is in studie en nog niet vastgesteld door TenneT, de gele cirkel is daarom een indicatie en deze kan nog van positie veranderen. De donkergroene gebieden laten de inclusiezones zien waarbij rekening is gehouden met de nabijheid van de rivier. Bij voorkeur wordt voor de E-SMR gebruik gemaakt van de inclusiezones die binnen de HS-cirkel liggen. Zowel nabij HS-station Dodewaard als HS-station Wijchen (in studie) zijn enkele zones aanwezig die zich lenen voor plaatsing van de 300 MWe E-SMR, respectievelijk langs de Waal en langs de Maas.

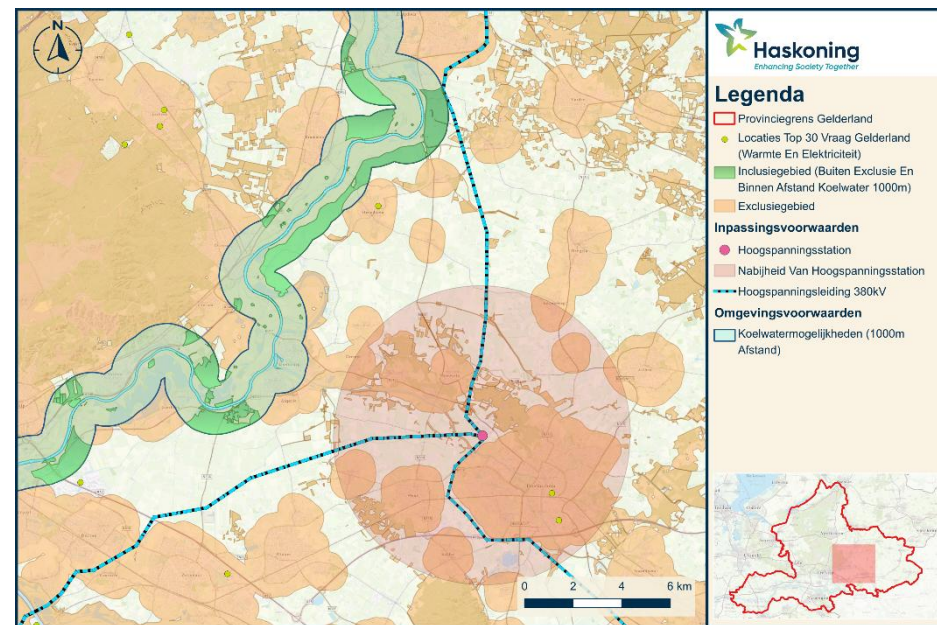
Figuur 22. Ruimtelijke verkenning E-SMR omgeving Dodewaard en Wijchen



De resultaten van de verkenning Doetinchem en omgeving zijn weergegeven in onderstaande figuur. Uit de figuur blijkt dat de inclusiezones langs de IJssel allen op meer dan 6 km afstand liggen van het HS-station. Dit maakt dat plaatsing van een E-SMR niet kansrijk is, tenzij een afstand van meer dan 6 km technisch overbrugbaar blijkt te zijn.

In de voorgaande NRG PALLAS studie wordt de locatie Wijchen niet als een kansrijk gebied gezien vanwege gebrek aan voldoende koelwater uit de Maas. In de studie van NRG PALLAS wordt overwegend gekeken naar doorstroomkoeling. Wanneer gebruik gemaakt wordt van een koeltoren dat is het naar de huidige inzichten wel mogelijk om de Maas als koelwaterbron te gebruiken.

Figuur 23. Ruimtelijke verkenning E-SMR omgeving Doetinchem



5.2.3 Energetisch-ruimtelijke inzichten

De E-SMR kan deels voorzien in de vraag naar elektriciteit in Gelderland, om zo de behoefte aan geïmporteerde elektriciteit op middellange- tot lange termijn te verkleinen. Op basis van infrastructuurvoorwaarden komt de E-SMR voor drie gebieden rondom HS-stations in beeld. Het gaat daarbij om een E-SMR van ongeveer 300 MWe die ingepast wordt in TenneT-pockets Doetinchem, Dodewaard en Wijchen (in studie). Kansrijke zones voor de E-SMR zijn aanwezig binnen een straal van 6 km van de HS-stations Dodewaard en Wijchen (in studie), dit in de nabijheid van groot oppervlaktewater en buiten de ecologische- en bebouwingsexclusiegebieden. Rondom Doetinchem is geen sprake van nabijheid groot oppervlaktewater op een afstand binnen de 6 km van het HS-station.

5.3 Toepassing 2: SMR voor industriële warmteproductie

Zoals beschreven in paragraaf 3.2, bestaat een groot deel van de industriële energievraag uit warmte, die in veel sectoren wordt geleverd in de vorm van stoom. Deze stoom wordt momenteel grotendeels geproduceerd met aardgasgestookte ketels of WKK-installaties, wat leidt tot NOx en CO₂-emissies. Voor deze toepassing zijn slechts beperkt haalbare koolstofvrije alternatieven beschikbaar. Elektrificatie via warmtepompen of elektrische boilers is soms technisch of economisch niet toepasbaar bij de vereiste temperaturen, terwijl duurzame brandstoffen zoals waterstof schaars, duur en concurrerend ingezet moeten worden in andere sectoren. Stoomlevering door een SMR biedt mogelijk een onderscheidende meerwaarde. Een SMR kan continu en betrouwbaar koolstofvrije stoom leveren op de temperatuur- en drukniveaus die in de industrie gangbaar zijn.

In deze verkenning heeft Haskoning met name gekeken naar directe levering van warmte of stoom aan industriële partijen. Anders dan elektriciteit, heeft warmte in de vorm van warm water (< 100°C) en zeker in de vorm van stoom (> 100°C) niet vanzelfsprekend een netwerk om op in te voeden waarbij een verdeelde groep afnemers kan worden bediend. Voor warmte met een temperatuur onder de 100°C kan er uiteraard worden gecombineerd met stadswarmte, deze combinatie is daarom onderzocht in toepassing 4 (zie paragraaf 5.5).

De temperatuurbreedtes vormen een belangrijk onderscheidend criterium voor het toepassen van een SMR. In hoofdstuk 3 is de geografische ligging van verschillende warmtevragers voor verschillende temperatuurbreedtes afgebeeld en nader toegelicht.

In deze analyse is uitgegaan van de huidige warmtevraag van bedrijven. Afgezien van mogelijk nieuwe bedrijven en gepaard gaande warmtevraag, geldt dit als bovengrens van de industriële warmtevraag in de vorm van warm water of stoom dat mogelijk door een SMR geleverd zou kunnen worden. Een deel van de warmtevraag zal in de toekomst worden geëlektrificeerd en

daarmee in de vorm van externe levering van warm water of stoom afnemen, zoals besproken in hoofdstuk 3.

Tabel 10. Individuele warmtevraag industriële partijen, gecategoriseerd naar temperatuur (analyse op basis van openbaar beschikbare data). Elke warmtecategorie laat de 5 grootste warmtevragen zien van individuele partijen.

Warmte T < 100°C	Warmte 100°C < T < 300°C	Warmte 300°C < T < 650°C	Warmte T > 650°C
MWth	MWth	MWth	MWth
23	45	26	9
15	32	0	9
11	13	0	7
11	9	0	6
9	6	0	6

Temperatuurbreedte < 100°C

Deze temperatuurbreedte van de warmtevraag kan worden gewonnen en gedistribueerd in de vorm van warm water uit de restwarmte van de SMR en hoeft daarom nauwelijks ten koste te gaan van de elektriciteitsproductie. Ook kan een deel van de restwarmte worden uitgekoppeld, er is geen noodzaak om het volledige vermogen aan restwarmte in te zetten voor de veilige operatie van een SMR.

In totaal, verspreid over de provincie, is ongeveer 330 MWth aan industriële warmtevraag aanwezig in Gelderland met een temperatuur onder de 100°C. In Tabel 10 is te zien dat er geen individuele partijen zijn die in de buurt komen van de om en nabij 600 MWth restwarmte van een Gen III+ SMR. Ook de rond

de 100 MWth restwarmte afkomstig van een Gen IV SMR is te groot voor levering aan individuele industriële partijen. Individuele warmtelevering voor industriële partijen in deze temperatuurcategorie zal dus pas relevant worden bij micro-SMR's, commercieel beschikbaar naar verwachting vanaf 2045.

Als alternatief voor de warmtelevering aan individuele bedrijven, zijn er twee logische combinaties te maken: ofwel een geclusterde warmtevraag van nabijgelegen bedrijven, dan betreft het een toepassing in een energy hub. Hierop is nader ingegaan in paragraaf 5.4, dit betreft dezelfde concentratie van warmtevraag.

De andere combinatie is met de gebouwde omgeving, in paragraaf 5.5 wordt nader ingegaan op de toepassing van SMR's als warmtevoorziening in de gebouwde omgeving. De warmtevraag van industriële partijen dient dan als aanvulling op de warmtevraag vanuit de gebouwde omgeving.

Temperatuurbandbreedte $100^{\circ}\text{C} < T < 300^{\circ}\text{C}$

In deze temperatuurbandbreedte kunnen zowel Gen III+ als Gen IV SMR's warmte leveren aan industriële partijen in de vorm van stoom. De uitgekoppelde stoom gaat dan wel ten koste van elektriciteitsproductie. In hoofdstuk 3 is de warmtevraag in deze temperatuurbandbreedte geografisch weergegeven.

Zoals in Tabel 10 te zien is, geldt ook hier dat de industriële warmtevraag in de vorm van stoom in deze temperatuurbandbreedte veel kleiner is dan kan worden geleverd door een Gen III+ of Gen IV SMR. Individuele warmtelevering voor industriële partijen zal ook hier dus eerder relevant worden voor micro-SMR's, beschikbaar vanaf 2045. Ook hier geldt dat de warmtevraag van meerdere bedrijven zou kunnen worden gecombineerd in een energy hub, nader uitgewerkt in paragraaf 5.4.

Temperatuurbandbreedte $300^{\circ}\text{C} < T < 650^{\circ}\text{C}$

In deze temperatuurbandbreedte zou een Gen IV SMR wél en een Gen III+ SMR géén stoom kunnen leveren, waarmee de Gen IV dus specifieke meerwaarde kan leveren. Binnen Gelderland is er slechts één type industrie,

en één daadwerkelijk opererend bedrijf dat een warmtevraag in deze temperatuurbandbreedte heeft, namelijk asfaltproductie. Dit betreft een geschatte warmtevraag van ongeveer 26 MWth. Wederom is deze warmtevraag met name geschikt om te matchen met een micro-SMR's, die na 2045 beschikbaar is. Omdat het aantal vollasturen van asfaltproductie beperkt is sluit dit niet goed aan bij het streven om SMR's een groot aantal draaiuren per jaar te laten maken.

5.3.1 Energetisch-ruimtelijke inzichten

In Gelderland geldt dat de individuele vraag van industriële bedrijven te klein is om te matchen met de capaciteit van een Gen III+ of Gen IV-kernreactor. De warmtevraag van deze bedrijven is eventueel geschikt om te matchen met micro-SMR's, die na 2045 beschikbaar zijn. Om de toepassing van Gen III+ of Gen IV als stoomleverancier dichterbij te brengen, zouden er dus grote industriële partijen bij moeten komen, een veelvoud van de huidige grootste stoomgebruikers in Gelderland. Om een SMR mogelijk te maken, zou de afname mee kunnen worden ontwikkeld met de SMR zelf. Hier is echter op dit moment geen betrouwbare inschatting over te maken en deze ontwikkeling is daarom niet verondersteld in de toekomstige stoomvraag. Op basis van bovenstaande analyse zijn dan ook voor deze toepassing individueel geen ruimtelijke zones bepaald. Wel kan industriële warmtelevering worden gecombineerd met de kansrijke zones voor energy hubs en de toepassing van een stedelijk warmtenet zoals beschreven in paragraaf 5.4 en 5.5.

5.4 Toepassing 3: SMR's in energy hub verband, achter de meter

In deze toepassing wordt de SMR gepositioneerd als een geïntegreerde energy hub. De SMR fungeert in deze situatie als een centrale bron van elektriciteit en, waar relevant, warmte, gericht op het autonoom maken van gebieden met een geconcentreerde grootschalige energievraag. Voor de provincie Gelderland is deze toepassing met name relevant in gebieden waar:

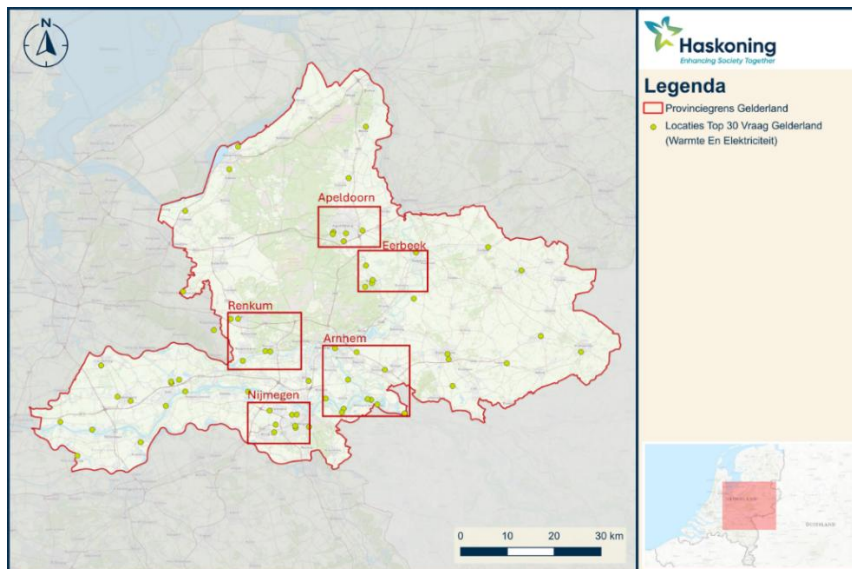
- Meerdere energie-intensieve bedrijven geografisch geclusterd zijn;
- Sprake is van netcongestie of beperkte transportcapaciteit;

- Elektrificatie van industriële processen voorzien is;
- En/of een substantiële warmtevraag aanwezig is (lage, midden- of hoge temperaturen).

Op basis van de analyse van elektriciteits- en warmtevraag zijn voor deze toepassing de potentiële clusters in beeld gebracht, waaronder:

- Eerbeek (papierindustrie en aanverwante bedrijvigheid);
- Apeldoorn (Ecofactorij, Zuid-Westpoort en Malkenschoten);
- Renkum – Ede – Veenendaal (Parenco en omliggende terreinen);
- Nijmegen (West Kanaaldijk, TPN-West, Winkelsteeg, NXP en Bijsterhuizen);
- Steenfabrieken ten oosten van Arnhem (Rijnzone).

Figuur 24. Aanduiding van focusgebieden: geclusterde energievraag van de industrie



Wanneer de SMR wordt gepositioneerd binnen een energy hub kan deze op twee manieren ingezet worden:

- **Optie 1.** De SMR vervangt de nog (deels) fossiele processen en de industrie elektrificeert niet. In dit geval levert de SMR:
 - Elektriciteit (MWe)
 - Lage-temperatuurwarmte (< 100°C)
 - Middentemperatuurwarmte (100 tot 300°C)
 - Hogetemperatuurwarmte (300 tot 650°C);
- **Optie 2.** In deze variant wordt uitgegaan van een toekomstscenario waarin industriële processen grotendeels zijn geëlektrificeerd. Hier zal de SMR primair een vol continue elektriciteitsbron zijn, en ondersteunen bij netcongestie. Hier is ook de mogelijkheid om de SMR in te zetten als voeding voor elektrolyzers voor de productie van waterstof.

Het totale elektrische en thermische vermogen is voor beide opties, voor de vijf mogelijke clusters, weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11. Overzicht elektrische en thermische vraag van clusters bedrijven Gelderland (analyse op basis van openbaar beschikbare data)

Gebied	Optie 1: voor elektrificatie, directe warmtelevering				Optie 2: na volledige elektrificatie	
	Elektrisch vermogen	Warmte < 100°C	Warmte 100°C < T < 300°C	Warmte	Warmte T > 650°C	Elektrisch vermogen
	MWe	MWth	MWth	MWth	MWth	MWe
Eerbeek	41	16	45	0	0	112
Apeldoorn	20	11	1	0	0	34
Ede-Renkum	31	17	46	0	8	115
Nijmegen	23	15	6	0	0	47
Steenfabrieken	22	33	1	0	39	107

Tabel 11 laat zien dat de elektrische vermogensvraag van de onderzochte clusters in de orde van grootte ligt van enkele tientallen megawatt per cluster, ook na elektrificatie. Zelfs bij clustering van meerdere terreinen blijft de totale vraag in de meeste gevallen onder de 100 MWe. Dit ligt substantieel onder de capaciteit van veel Gen III(+) SMR-ontwerpen. Inzet van een dergelijke reactor zou leiden tot structurele overdimensionering, waarbij een groot deel van de productie alsnog aan het landelijke net moet worden geleverd. Daarmee verschuift de rol van de SMR van “lokale energy hub” naar feitelijk een reguliere elektriciteitscentrale met regionale inpassing. Om beter aan te sluiten bij de Gelderse schaal zou eerder een reactor in de orde van 50 tot 150 MWe, of kleiner, passend zijn. Dit type valt binnen generatie IV-concepten. Als het vermogen daaronder valt, dan is een micro-SMR het meest geschikt.

Voor de gebieden bij Apeldoorn en Nijmegen is het vermogen dusdanig klein dat hier een micro-SMR de meest toepasbare oplossing is. Omdat de micro-SMR op een relatief klein oppervlak past en pas na 2045 commercieel beschikbaar is, zijn deze clusters niet nader onderzocht op omgevingsvoorwaarden. Op de gebieden Eerbeek, Ede-Renkum en het steenfabrieken gebied ten oosten van Arnhem wordt in onderstaande paragrafen nader ingezoomd. Het is belangrijk om te vermelden dat deze uitwerking puur gaat om een theoretische uitwerking van energetische factoren binnen de clusters, op basis van openbaar beschikbare data. De wenselijkheid of ambitie voor inpassing van de SMR is met deze clusters niet besproken.

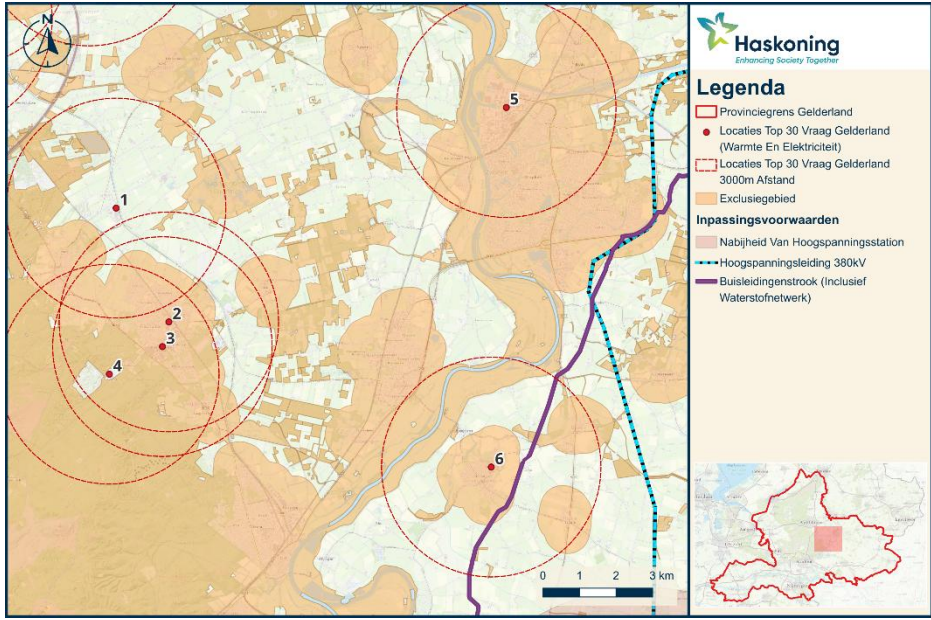
5.4.1 Industrieel cluster Eerbeek

Het industrieel cluster in Eerbeek wordt gedomineerd door de papier- en kartonindustrie, met een continue vraag naar processtoom in het middentemperatuurbereik (met name 100 tot 300°C). Deze warmtevraag is grotendeels basislast en sluit qua profiel goed aan bij een reactor die primair warmte levert. Voor Eerbeek is een warmtegedreven WKK-configuratie worden doorgerekend waarbij:

- De warmtevraag van 45 MWth (100 tot 300°C) als processtoom direct uit de turbine wordt afgetakt.
- Deze stoomextractie leidt tot een beperkte reductie van de elektrische productie, maar bij een netto elektriciteitsvraag van ongeveer 41 MWe blijft dit technisch goed combineerbaar.
- Uitgaande van een conventionele turbineconfiguratie (≈33% elektrisch rendement zonder warmtelevering), is voor de 41 MWe een thermisch vermogen van 124 MWth nodig.
 - Het thermische vermogen in totaal is dan 45+123 = ongeveer 170 MWth
 - Voor restwarmte blijft dan $124 \times (1-0,33) = 83$ MWth over, dit is genoeg om de warmtevraag van 16 MWth, onder de 100 graden te dekken. Er moet dus nog een substantieel deel worden weggekoeld. Dan wel aan de lucht, dan wel m.b.v. koelwater.

In deze configuratie kan zowel de processtoom als de gevraagde elektriciteit binnen het cluster worden geleverd. Het totale energetische rendement van de installatie wordt daarbij aanzienlijk verhoogd ten opzichte van een zuiver elektriciteitsbedrijf. De Eerbeekse vraagstructuur, continue processtoom gecombineerd met een stabiele elektriciteitsvraag past daarmee technisch goed bij een middelgrote, warmtegedreven WKK-opstelling, waarbij de SMR primair warmte levert en elektriciteit als co-product produceert.

Figuur 25. Detailweergave Eerbeek. Het exclusiegebied is aangegeven in oranje



Tabel 12. Bedrijven energiehubs Eerbeek (analyse op basis van openbaar beschikbare data)

Bedrijf	Optie 1					Optie 2
	Elektrisch vermogen (MWe)	Warmte < 100°C (MWth)	Warmte 100°C < T <300°C (MWth)	Warmte 300°C < T <650°C (MWth)	Warmte T >650°C (MWth)	
1. Smart packaging solution	2	0	6	0	0	9
2. Mayr-Melnhof Eerbeek B.V.	9	0	32	0	0	47
3. Eerbeek Zuid	9	3	0	0	0	14
4. Neenah Coldenhove Holdings B.V.	1	0	5	0	0	7
5. De Mars	13	4	0	0	0	18
6. Aviko Steenderen	6	9	2	0	0	18

In Figuur 24 wordt ingezoomd op het gebied rondom Eerbeek. Hierop zijn de verschillende kernbedrijven zichtbaar, waarbij per bedrijf een straal van 3 kilometer is gehanteerd als praktische bovengrens voor een technisch en economisch haalbare stoomverbinding tussen bedrijven binnen een energy hub-configuratie. Bij grotere afstanden nemen warmteverliezen, drukverliezen en investeringskosten voor hogedrukstoomleidingen aanzienlijk toe, waardoor de efficiëntie en haalbaarheid van directe warmtekoppeling afnemen. De 3 km-radius markeert daarmee het gebied waarbinnen industriële warmtevraag realistisch kan worden gekoppeld aan een centrale warmtebron zoals een SMR in deze casussen.

Zoals te zien in de tabel liggen in Eerbeek alleen bedrijven 1, 2, 3 en 4 in nabijheid van elkaar met:

- Een totale potentiële stoomvraag van ongeveer 43 MWth, en een e-vraag van 21 MWe vóór elektrificatie.
- Óf een e-vraag van 77 MWe na elektrificatie.

Vóór elektrificatie is het vermogen alleen geschikt voor de micro-SMR in dit gebied, tenzij meerdere afnemers (buiten de top-30 bedrijven) ook gekoppeld kunnen worden aan de reactor. Ná elektrificatie is dit gebied potentieel interessant voor een Gen IV reactor.

5.4.2 Industrieel cluster Ede-Renkum

Voor het industriële gebied rondom Ede-Renkum kan eenzelfde warmtegedreven WKK-configuratie worden doorgerekend als bij Eerbeek, waarbij:

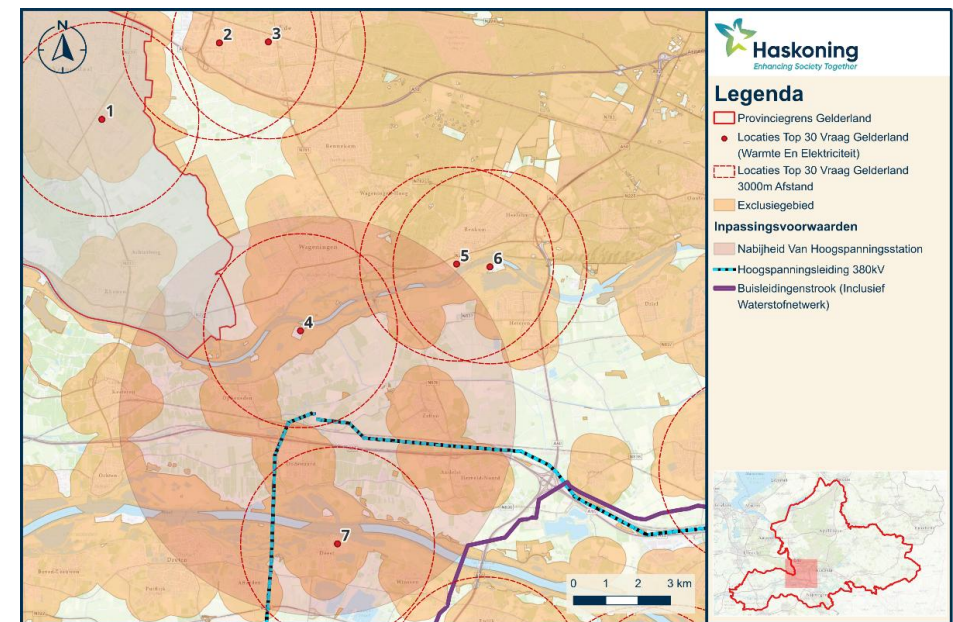
- De warmtevraag van 46 MWth (100 tot 300°C) als processtoom direct uit de turbine wordt afgetakt;
- De rest van de stoom wordt gebruikt om elektrisch vermogen van 28 MWe op te wekken met een rendement van ongeveer 33% (en 0,15 MWe verlies per 1 MWth processtoom aftakking).

Het reactorvermogen zal dan rond de 110 MWth liggen, of rond de 40 MWe. 40 MWe zit net onder de ondergrens van de Gen IV SMR's, wat betekent dat nog ongeveer 10 MWe “over” zou zijn voor gebruik door andere bedrijven in de buurt.

Zoals te zien in de detailweergave in Figuur 25 is er sprake van één dominante industriële warmtevraaglocatie: Smurfit Westrock Parenco, een grote papierproductielocatie aan de Rijn. Binnen een straal van 3 km is wel overige bedrijvigheid aanwezig, maar er is in de bronnen geen aanwijzing voor meerdere vergelijkbaar grootschalige proceswarmtevragers die samen een robuust “achter-de-meter” stoomcluster vormen.

Rond Ede-Stad liggen juist meerdere bedrijventerreinen in en rondom de kern, waaronder Frankeneng, Heestereng en Bedrijvenpark De Vallei. Deze terreinen zijn ruimtelijk nabij elkaar gelegen langs de A12/A30-corridor en vormen daarmee een geografisch cluster dat binnen (of rond) een 3 km-zoekgebied kan vallen. De vermogensvraag is hier echter te klein (ongeveer 20 MWe en 15 MWth) voor commercieel beschikbare SMR-concepten, wat dit gebied alleen geschikt maakt voor micro-SMR's.

Figuur 26. Detailweergave Renkum. Het exclusiegebied is aangegeven in oranje



Tabel 13. Bedrijven energiehub Ede-Renkum (analyse op basis van openbaar beschikbare data)

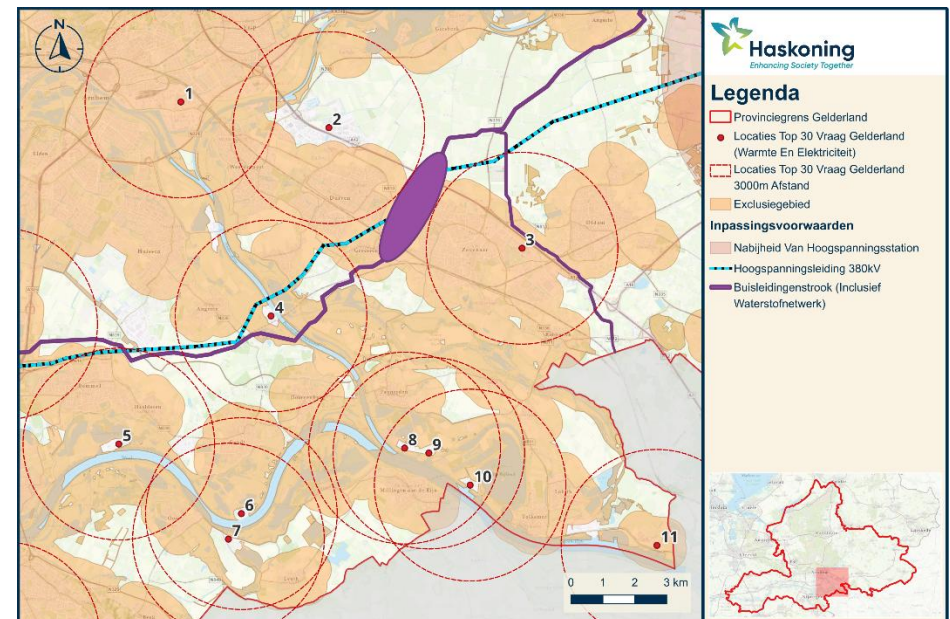
Bedrijf	Optie 1					Optie 2
	Elektrisch vermogen (MWe)	Warmte < 100 C (MWth)	Warmte 100 C < T < 300 C (MWth)	Warmte 300 C < T < 650 C (MWth)	Warmte T > 650 C (MWth)	Elektrisch vermogen (MWe)
1. Ambacht/Nijverkamp	8	4	0	0	0	13
2. Heestereng	4	2	0	0	0	6
3. Frankeneng	5	6	1	0	0	13
4. Steenfabriek Wolfswaard	1	2	0	0	4	8
5. Smurfit Kappa Parenco B.V.	13	0	45	0	0	66
6. Steenfabriek Heteren	1	2	0	0	4	8
7. Dakpan-fabriek Narvik Deest	0	1	0	0	2	4

5.4.3 Steenfabrieken

De steenfabrieken in de Rijnzone kenmerken zich door een zeer hoge warmtevraag in het temperatuurbereik boven 650°C, noodzakelijk voor het bakproces in tunnelovens. Dit temperatuurniveau ligt aanzienlijk hoger dan het bereik waarin de meeste SMR-concepten proceswarmte kunnen leveren. Ook bij hogere temperatuurreactoren is directe levering op dit niveau technisch complex en doorgaans niet voorzien als standaardtoepassing. Daarmee is directe vervanging van de primaire ovenwarmte door een SMR thermisch niet vanzelfsprekend.

Elektrificatie van deze processen is theoretisch mogelijk (bijvoorbeeld via elektrische ovens of indirecte verhitting), maar brengt aanzienlijke technische en economische complicaties met zich mee. Het gaat om hoge vermogenspieken, aanpassing of vervanging van bestaande oveninstallaties, impact op productkwaliteit en een sterke toename van de elektriciteitsvraag. Bovendien vraagt volledige elektrificatie van dit type industrie om forse netverzwaring en langdurige investeringscycli. In deze regio lijkt een SMR daarom minder geschikt als directe warmtebron voor het primaire proces; een rol als elektriciteitsleverancier zou denkbaar zijn, maar lost de kern van de hoge-temperatuurwarmtevraag niet op.

Figuur 27. Detailweergave rondom de steenfabrieken. Het exclusiegebied is aangegeven in oranje



Tabel 14. Bedrijven energiehub steenfabrieken (analyse op basis van openbaar beschikbare data)

Bedrijf	Optie 1					Optie 2
	Elektrisch vermogen (MWe)	Warmte < 100°C (MWth)	Warmte 100°C < T < 300°C (MWth)	Warmte 300°C < T < 650°C (MWth)	Warmte T > 650°C (MWth)	Elektrisch vermogen (MWe)
1. Het Broek	4	2	0	0	0	7
2. Centerpoort-Totaal	5	1	0	0	0	7
3. Hengelder	5	3	0	0	0	8
4. Steenfabriek Huissenswaard	1	4	0	0	6	12
5. Steenfabriek Bommel	0	1	0	0	1	3
6. De Zandberg	1	2	0	0	4	8
7. Steenfabriek Erlecom	1	2	0	0	4	8
8. Steenfabriek Kijfwaard West	1	4	0	0	6	13
9. Steenfabriek Kijfwaard Oost	1	2	0	0	3	7
10. Kleiwarenfabriek Bylandt Tolkamer	2	6	0	0	9	19
11. Steenfabriek Spijk	1	5	0	0	7	16

5.4.4 Energetisch-ruimtelijke inzichten

Uit de energetische analyse van industrieclusters blijkt dat een handvol gebieden in beeld komt voor toepassing van commercieel beschikbare SMR-

concepten. Voor grootschalige SMR-concepten (Gen III+) geldt een duidelijke mismatch tussen huidige omvang van clustervraag en capaciteit van de SMR. Om beter aan te sluiten bij de Gelderse vraag zouden alleen kleinere generatie-IV reactoren (ordegrootte 50 tot 150 MWe), of micro-SMR's passend zijn. Voor de Gen IV reactoren komt eventueel het cluster in Eerbeek en het cluster rondom Ede-stad in beeld als zones waar de SMR energetisch en ruimtelijk kan passen, hoewel ook hier de gecombineerde warmte- en elektriciteitsvraag net te klein is om te matchen met de huidige energievraag. Koppeling met overige afnemers in de buurt, of volledige elektrificatie, zou nodig zijn om de Gen IV reactor mogelijk te maken. Wel ontstaan hier mogelijkheden voor micro-SMR's, die na 2045 beschikbaar zijn.

5.5 Toepassing 4: SMR gekoppeld aan stedelijk warmtenet

Deze toepassing beschrijft de inzet van een SMR als warmtebron voor een stedelijk warmtenet. In deze configuratie wordt de SMR primair ingezet voor de levering van warmte, waarbij elektriciteitsproductie een secundaire rol kan spelen (bijvoorbeeld via warmtekrachtkoppeling). De geproduceerde warmte wordt via een warmtenet gedistribueerd naar woningen, utiliteitsbouw en eventueel nabijgelegen voorzieningen.

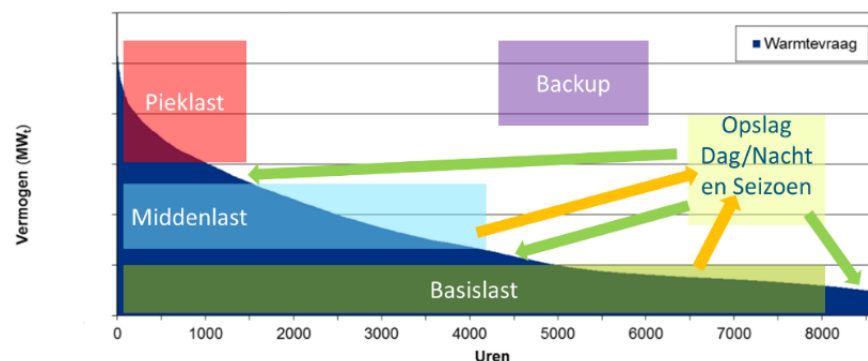
De inzet van een SMR in een warmtenet is daarbij afhankelijk van het temperatuurniveau van het net. De configuratie van het warmtenet moet aansluiten op de afgiftetemperatuur die de SMR kan leveren. Voor lage-temperatuurnetten kan restwarmte worden benut, terwijl voor midden- of hogetemperatuurnetten (MT/HT) stoom op een hoger temperatuurniveau nodig is. In die gevallen kan de SMR worden ingezet in een warmtekrachtkoppelingsconfiguratie (WKK), waarbij stoom uit de turbine wordt afgetakt voor warmtelevering.

Voor de provincie Gelderland is deze toepassing met name relevant in situaties waarin sprake is van een substantiële warmtevraag, terwijl lokaal beschikbare duurzame warmtebronnen beperkt of onvoldoende schaalbaar zijn. In

dergelijke gevallen kan een SMR theoretisch voorzien in stabiele basis- of midlastwarmte.

Een belangrijk aandachtspunt bij de koppeling van een SMR aan een stedelijk warmtenet is de seizoensmatige mismatch tussen warmtevraag en warmteproductie. De warmtevraag in stedelijke gebieden is sterk seizoensafhankelijk: hoog in de wintermaanden en laag in de zomer. Een SMR daarentegen is ontworpen voor een stabiele, continue productie van warmte (en elektriciteit) en is beperkt flexibel in het snel op- en afregelen van het thermisch vermogen. Dit betekent dat de warmteproductie niet vanzelfsprekend kan worden afgestemd op de fluctuerende warmtevraag. In de zomerperiode kan hierdoor sprake zijn van structurele overcapaciteit aan warmte, terwijl in koude winterperiodes juist aanvullende piekvoorzieningen nodig blijven. Om deze mismatch te voorkomen is het een optie de SMR te combineren met grootschalige seizoens- of dagopslag van warmte, bijvoorbeeld in de vorm van ondergrondse warmteopslag. Hiermee kan een deel van de in de zomer geproduceerde warmte worden opgeslagen en later in het stookseizoen worden benut. De toepasbaarheid hiervan is locatieafhankelijk en vraagt om aanzienlijke ruimte en investeringen.

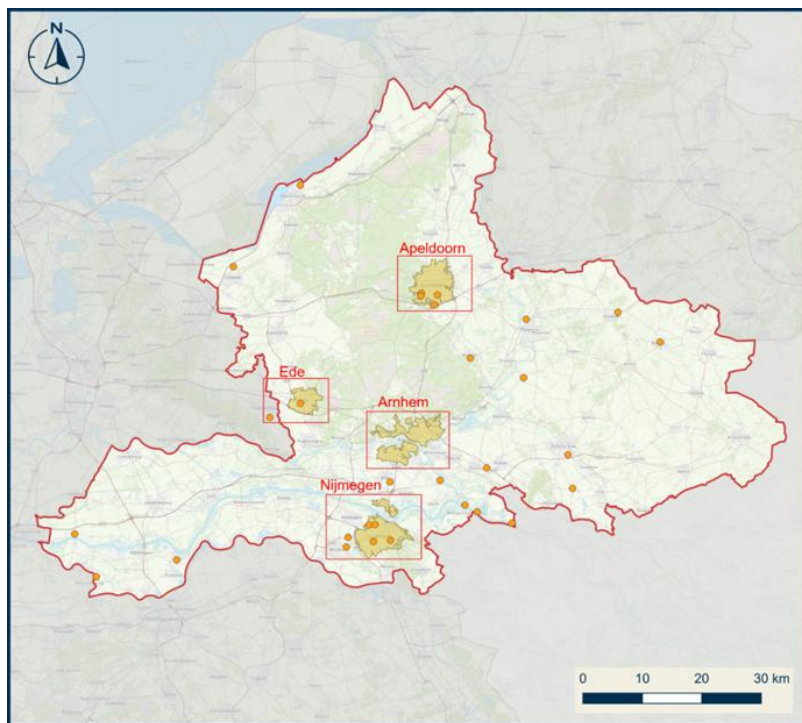
Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat SMR's economisch optimaal functioneren bij een hoge benuttingsgraad (aantal vollasturen). Structurele onderbenutting, bijvoorbeeld door lage warmtevraag in de zomer, kan de kosteneffectiviteit van de installatie negatief beïnvloeden en vraagt om aanvullende afzet of flexibiliteitsopties.



Figuur 28. Warmtevraag en opslag dag/ nacht en seizoenen

Gelderland kent 4 grote stedelijke gebieden: Nijmegen, Arnhem, Apeldoorn en Ede. Op deze locaties is nader ingezoomd in deze verkenning. Zie figuur 28. In Tabel 15 staat een overzicht van de warmtevraag van deze gebieden. Zoals in de tabel is weergegeven, ligt de warmtevraag in de stedelijke gebieden tussen de 47 tot 112 MWth. Een kleine Gen IV reactor zal rond de 150 MWth kunnen aanleveren, wat al te groot is voor deze woonkernen. Daarom wordt in onderstaande paragrafen specifiek ingegaan op woongebieden in combinatie met nabije industriële warmtevraag.

Figuur 29. Aanduiding van focusgebieden: clusters van stedelijke warmtevraag



Tabel 15. Overzicht warmtevraag steden Gelderland (analyse op basis van openbaar beschikbare data)

Stad	Aantal inwoners	Capaciteit warmte MWth (basis+midden last)
Nijmegen	189.000	112
Arnhem	171.000	101
Apeldoorn	169.000	100
Ede	79.500	47

5.5.1 Nijmegen

De stedelijke basis- en midlastwarmtevraag van Nijmegen bedraagt ongeveer 112 MWth. In en rondom het gebied West Kanaaldijk, Winkelsteeg en Bijsterhuizen is daarnaast sprake van een aanvullende industriële warmtevraag in het midden-temperatuurbereik (orde 15 tot 20 MWth), met een relatief continu profiel.

Gecombineerd resulteert dit in een potentiële structurele warmtevraag van ongeveer 125 tot 135 MWth. Dit benadert de orde van grootte van een kleinere Gen IV-reactor (ongeveer 150 MWth). Volledige benutting vereist echter dat zowel stedelijke als industriële afzet daadwerkelijk wordt gekoppeld en dat de warmtevraag voldoende constant is. Seizoensvariatie blijft bepalend voor de benuttingsgraad.

5.5.2 Arnhem

Arnhem kent een stedelijke basis- en midlastvraag van ongeveer 101 MWth. In de directe nabijheid bevindt zich beperkte industriële warmtevraag in het midden-temperatuurbereik. De steenfabrieken in de Rijnzone vragen voornamelijk hoge temperatuurwarmte (> 650°C), die niet geschikt is voor directe koppeling aan een conventioneel stedelijk warmtenet.

De gecombineerde vraag van stadskern en relevante industrie blijft daarmee in de orde van 110 tot 120 MWth. Dit ligt onder het thermisch vermogen van een kleine Gen IV-reactor. Zonder aanvullende afzet (bijvoorbeeld uitbreiding van het net) ontstaat structurele overcapaciteit.

5.5.3 Apeldoorn

Apeldoorn werkt aan de opbouw van wijkwarmtenetten en het onderling koppelen daarvan in een zogeheten “warmteronde”: een ringstructuur waarmee meerdere deelnetten (en bronnen) aan elkaar gekoppeld kunnen worden. Concreet is er een publiek warmtenet in ontwikkeling voor Kerschoten, met aquathermie als beoogde bron; hierover is een investeringsbesluit genomen en de uitrol is gekoppeld aan voldoende deelname.

In Apeldoorn is het meest logisch om een SMR te positioneren als additionele bron binnen een groeiend en gekoppeld net, niet als “eerste bron”.

5.5.4 Ede (inclusief Parenco in Renkum)

Ede kent een stedelijke basis- en midlastvraag van ongeveer 47 MWth. De industriële warmtevraag rond Parenco en omliggende terreinen is substantieel in het bereik 100 tot 300°C (orde 45 tot 50 MWth) en grotendeels continu.

De gecombineerde warmtevraag komt daarmee uit rond 90 tot 100 MWth structureel. De industriële basislast vormt hier een belangrijk stabiliserend element. De totale schaal blijft echter onder 150 MWth, waardoor volledige benutting van een grotere eenheid niet vanzelfsprekend is.

Ede onderscheidt zich doordat de industriële warmtevraag relatief groot is ten opzichte van de stedelijke vraag. Dit maakt een warmte gedreven configuratie technisch logisch, maar schaaloptimalisatie vereist nauwkeurige dimensionering.

²⁵ *Het warmtenet van Arnhem | Vattenfall*

²⁶ *Malburgen-Oost Arnhem - Nieuwe Warmte Nu*

5.5.5 Energetisch-ruimtelijke inzichten

Uit de analyse van stedelijke warmtevraag blijkt dat er grotendeels een mismatch bestaat tussen het vermogen dat een SMR (Gen III+ of Gen IV) kan leveren, en de warmtevraag in de provincie. Dit geldt ook als de stedelijke warmtevraag wordt gecombineerd met industriële warmtevraag. Bovendien speelt de seizoensvariatie een belangrijke rol. Deze twee factoren gecombineerd maken de inpassing van een SMR puur voor de voorziening van stedelijke warmtevraag niet optimaal.

Warmtenet-ontwikkelingen (Arnhem, Nijmegen, Apeldoorn, Ede) en implicaties voor SMR-warmte

In Arnhem is al sprake van een regionaal warmtenet (Arnhem–Duiven–Westervoort) dat wordt gevoed door warmte uit een afvalenergiecentrale (AVR)²⁵, met aanvullende bronontwikkeling in onderzoek (o.a. aardwarmte). Daarnaast werkt Arnhem wijkgericht aan collectieve warmteoplossingen, waaronder projecten waar een warmtenet expliciet wordt verkend/ontwikkeld (bijv. Malburgen-Oost)²⁶. In Nijmegen is de bestaande stadswarmte in eerste instantie gekoppeld aan restwarmte uit de afvalenergiecentrale ARN (Weurt)²⁷, met de ambitie om op termijn extra duurzame bronnen (zoals geothermie en aquathermie) toe te voegen. Voor Apeldoorn wordt een publiek warmtenet ontwikkeld voor Kerschoten, met aquathermie als beoogde bron en besluitvorming over de verdere realisatie. In Ede wordt gewerkt aan een “Slim Groen Warmtenet”²⁸, met een (publiek gecommuniceerde) bronnensystematiek die start met bestaande duurzame bronnen en uitbreiding met aanvullende bronnen in de tijd.

Gezamenlijk schetsen deze plannen een kader waarin vraag en aanbod voor stedelijke warmte in toenemende mate al via warmtenetten en bronportfolio's worden gematcht. Daarmee wordt een SMR als primaire warmtebron voor stedelijke netten minder vanzelfsprekend. De toegevoegde waarde ligt eerder in een aanvullende rol (bijv. als extra basis-/midlastbron bij groei van het net, leveringszekerheid, of bij onvoldoende alternatieve bronnen).

Een mogelijke oplossingsrichting is het combineren van meerdere afzetkanalen voor de geproduceerde energie. In de zomer kan de SMR

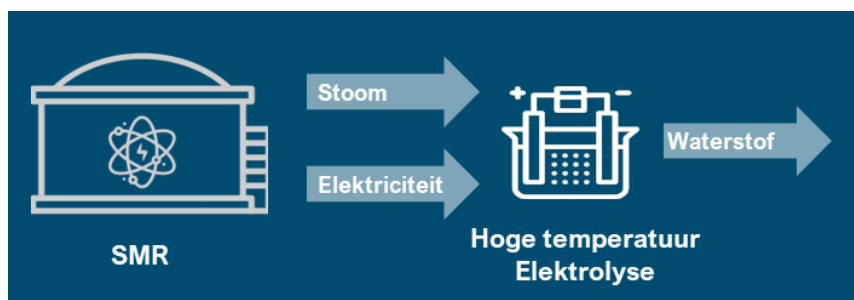
²⁷ <https://www.nijmegen.nl/over-de-gemeente/plannen/duurzame-warmtebronnen>

²⁸ <https://warmtebedrijfede.nl/>

bijvoorbeeld primair worden ingezet voor elektriciteitsproductie of voor andere toepassingen zoals industriële warmte of waterstofproductie, terwijl in de winter de focus verschuift naar warmtelevering aan het warmtenet. Dit vereist echter een geïntegreerd energiesysteem en voldoende alternatieve vraag in de nabijheid. Een andere mogelijkheid betreft de koppeling van de Gen III+ SMR voor grootschalige elektriciteitsproductie, beschreven in paragraaf 5.2, aan een stedelijk warmtenet. Hierbij zal de SMR in de winter zijn restwarmte leveren aan een warmtenet. Gezien de kansrijke zones voor deze toepassing komt hiermee alleen het gebied rondom Nijmegen, of eventueel Arnhem, in beeld.

5.6 Toepassing 5: SMR gekoppeld aan waterstof

Een potentiële toepassing van de SMR betreft koppeling met waterstofproductie. In deze configuratie wordt de door de SMR opgewekte elektriciteit, en in sommige configuraties ook stoom, ingezet voor de aandrijving van een elektrolyser. Via elektrolyse wordt waterstof geproduceerd, die kan worden ingezet als grondstof of energiedrager binnen de industrie, of kan worden afgezet buiten de directe omgeving. In Figuur 30 is de combinatie van een SMR met een elektrolyser schematisch weergegeven.



Figuur 30 Schematische weergave van waterstofproductie in combinatie met een SMR. Hier is gekozen voor de weergave van een configuratie met een Solid Oxide Electrolyser.

Voor deze toepassing is een directe koppeling tussen de SMR en een elektrolyser noodzakelijk. Naast conventionele alkalische en

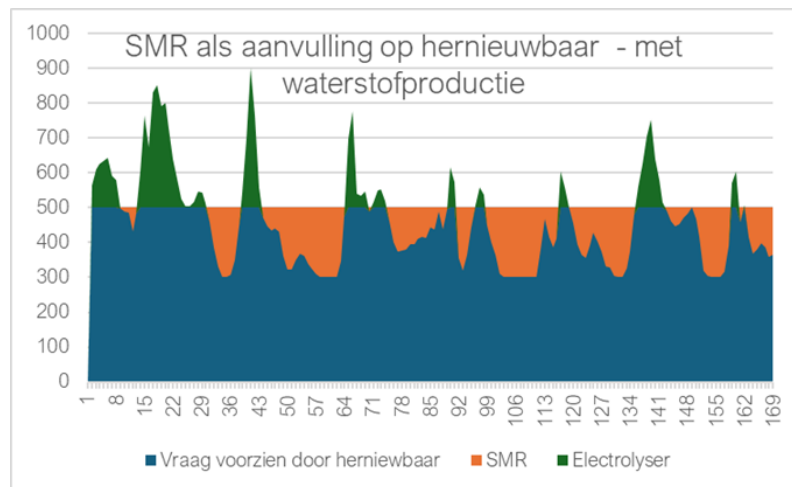
PEM²⁹-elektrolyzers is met name de Solid Oxide Electrolyser (SOEC) relevant in combinatie met kernenergie. SOEC-technologie maakt gebruik van stoom en hoge procestemperaturen, waardoor een hogere elektrische efficiëntie kan worden bereikt dan de conventionele typen gebruikmakend van elektriciteit alleen. Aangezien een SMR zowel elektriciteit als stoom kan leveren, ligt de combinatie van deze twee technieken voor de hand.

5.6.1 Elektrolyser als flexibele energievrager

Een elektrolyser kan als flexibele vrager van elektriciteit een systeemdienst vervullen door elektriciteit af te nemen op momenten van overschot uit wind en zon. In plaats van curtailment (het afschakelen van de productie van wind- en zonne-energie) of netcongestie wordt deze overtollige elektriciteit omgezet in waterstof. Hierbij gaat het in eerste plaats om lokaal geproduceerde wind en zon, om transport van deze pieken en dalen over het elektriciteitsnet te voorkomen en aanverwante netcongestie of investeringen in het net. Daarmee draagt de elektrolyser bij aan balancering van het elektriciteitssysteem, door elektriciteitsproductie en eindgebruik in tijd te ontkoppelen. De geproduceerde waterstof fungeert zoals energie- en flexibiliteitsbuffer voor het energiesysteem.

In onderstaand figuur is een indicatief voorbeeld weergegeven van een 500 MWe elektriciteitsvraag die op verschillende momenten door verschillende energieproducenten wordt bediend en waarin de elektrolyser een systeemdienst vervult. De SMR is hier verondersteld om volcontinue elektriciteit te leveren en de hernieuwbare bronnen variabel produceren, waardoor er op sommige momenten een overschot aan elektriciteit is en de elektrolyser waterstof produceert, in Figuur 31 aangeduid in het groen. Hierbij dient te worden opgemerkt dat de elektrolyser dus een ander productieprofiel laat zien dan de volcontinue bedreven SMR.

²⁹ Proton exchange membrane

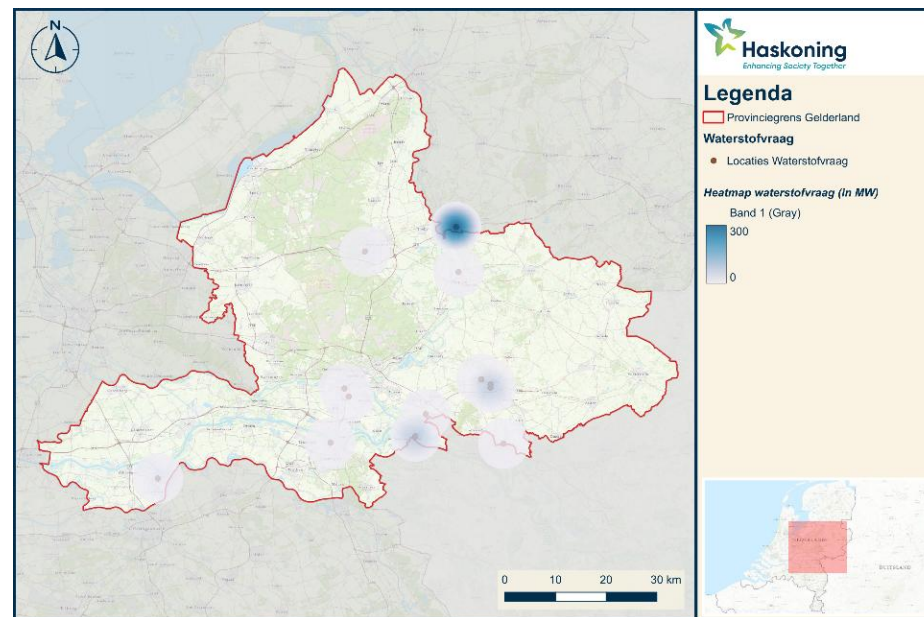


Figuur 31. Indicatief voorbeeld van de combinatie tussen een SMR, variabele hernieuwbare energieproductie en een elektrolyser, die als flexibele energievrager optreedt en daarmee een systeemdienst vervult.

5.6.2 Koppeling aan waterstofvraag- en infrastructuur in Gelderland

De verwachte lokale vraag naar waterstof rond 2030 in Gelderland is relatief beperkt en sterk verspreid, zoals weergegeven in Figuur 32. Directe koppeling met een individuele afnemer ligt dan ook in Gelderland niet voor de hand. De inschatting van volumes is gebaseerd op huidige, bestaande waterstofvraag en toekomstige plannen van waterstofinitiatieven in Gelderland. Andere potentiële waterstofvraag richting 2050 die nog ontwikkeld moet worden is niet meegenomen in de analyse, maar toekomstige initiatieven kunnen uiteraard de uiteindelijke waterstofvraag beïnvloeden wanneer een SMR en elektrolyser gerealiseerd zijn. Ook kunnen combinaties worden gerealiseerd, waarin een deel van de geproduceerde waterstof direct wordt ingezet en het surplus wordt ingevoerd op de waterstofbackbone. Het relatief grote vraagcluster rondom Deventer betreft het project GROHW, een groene waterstofhub in ontwikkeling.

Figuur 32. Geschatte Waterstofvraag in Gelderland rond 2030

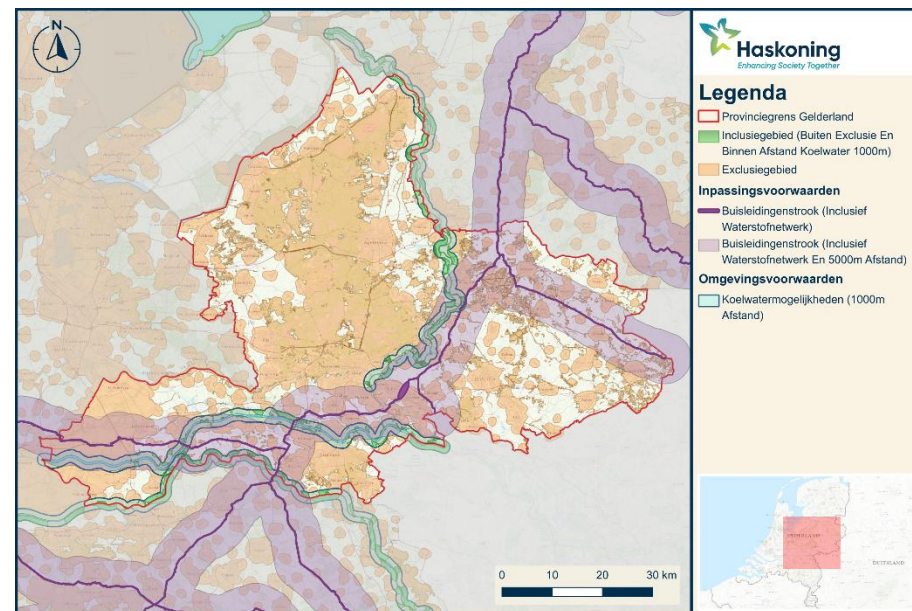


In tegenstelling tot warmte kan waterstof wel efficiënt over grotere afstanden worden getransporteerd. Hierdoor kan waterstofproductie plaatsvinden voor landelijke afname, bijvoorbeeld via aansluiting op de (toekomstige) nationale waterstofbackbone, in plaats van uitsluitend voor lokale gebruikers. Een belangrijke randvoorwaarde hierbij is wel dat de productielocatie nabij deze waterstofbackbone is gelegen. Als dit niet het geval is, moeten nieuwe waterstofleidingen worden aangelegd voor een individueel project, wat gepaard gaat met investeringskosten, ruimtelijke en vergunningstechnische complexiteit. Ter indicatie: aanleg van alleen een middelgrote pijpleiding (zonder compressiestation) van 5 km heeft een geschatte CAPEX van zo'n € 10 tot 14 miljoen³⁰.

³⁰ [European Hydrogen Backbone](#)

De ruimtelijke inpassing van een SMR-elektrolyse combinatie is daarmee sterk afhankelijk van de ontwikkeling en ligging van waterstofinfrastructuur. De planning is dat de waterstofbackbone in 2033 klaar is voor gebruik³¹. Gezien de tijdlijnen van SMR's vanaf 2035, is de planning van de waterstofbackbone daarmee geen obstakel voor de realisatie van SMR's gekoppeld aan waterstofproductie.

Mogelijke inpassingsgebieden voor koppeling aan waterstof, al dan niet met flexibele inzet van de elektrolyser, worden bepaald door de relatieve afstand tot de toekomstige waterstofbackbone voor invoeding van waterstof in het landelijk net. Voor een Gen III+ SMR bestaat bovendien de bijkomende restrictie van nabijheid tot koelwatervoorzieningen. Op onderstaande kaart zijn beide factoren zichtbaar gemaakt. Een gunstige locatie voor een SMR met waterstofproductie is een locatie die valt binnen de contouren van het buisleidingennetwerk, en (in geval van Gen III+) binnen de contouren van koelwatermogelijkheid.



Figuur 33. Waterstofbackbone (paars) uitgelicht met exclusiezones en koelwaterbeschikbaarheid

5.6.3 Energetisch-ruimtelijke inzichten

Gezien de geschatte vraag naar waterstof in de provincie Gelderland lijkt een SMR in combinatie met waterstofproductie voor directe koppeling aan een afnemer niet voor de hand te liggen. Het succes van deze toepassing is daarmee volledig afhankelijk van de timing en de geografische ligging van de Gelderse waterstofinfrastructuur en de landelijke waterstofbackbone. Ook voor deze gebieden geldt dat koppeling aan toepassing 1, zoals beschreven in paragraaf 5.1, mogelijk is.

Naast energetisch-ruimtelijke inpassing, zijn er tal van andere aspecten voor deze toepassing van belang die de uiteindelijke haalbaarheid bepalen. Allereerst vereist waterstofproductie met een SMR de realisatie van twee afzonderlijke grootschalige en complexe systemen: een SMR en een

³¹ [Het Nederlands waterstofnetwerk niet in 2030 klaar maar uiterlijk in 2033 - Alles over Waterstof](#)

elektrolyser, elk met eigen veiligheids-, vergunning- en financieringstrajecten. Wanneer het succesvol realiseren van een SMR afhankelijk is van een nageschakelde elektrolyser, leidt dit tot grotere projectcomplexiteit, zowel technisch, organisatorisch als qua planning en risicoverdeling. Daarnaast is de toekomstige prijs van en de vraag naar koolstof-arme waterstof onbekend, dat maakt de financiële haalbaarheid van deze toepassing onzeker. Bovendien heeft waterstof geproduceerd met kernenergie op dit moment geen expliciete classificatie als 'groen' of hernieuwbaar, wat onzekerheid geeft over beleidskaders, subsidiëring en marktpositionering.

Gegeven deze overwegingen is de koppeling van een SMR met waterstofproductie technisch op termijn haalbaar, maar in sterke mate afhankelijk van infrastructuurontwikkeling en -ligging, beleidsmatige duidelijkheid en de waterstofmarkt. In vergelijking met andere toepassingen geldt dat schaal, locatie en timing hier in sterke mate bepalend zijn voor de uiteindelijke haalbaarheid.

5.7 Algemene inzichten

Inzichten uit de energetisch-ruimtelijke analyse zijn samengevat in Tabel 16 en op de kaart in figuur 33. De grootste en meest directe rol voor kernenergie in Gelderland ligt bij een op elektriciteit gerichte, relatief grote SMR ("E-SMR") die bijdraagt aan het waarborgen van de leveringszekerheid van elektriciteit in de provincie. Uit gesprekken met TenneT is daarbij gebleken dat de inzet van een SMR de meeste waarde heeft bij aansluiting op het 150 kV-net, nabij een 380 kV-station waar elektriciteit vanuit het landelijke net Gelderland binnenkomt. Hier heeft een SMR, mits gedimensioneerd naar de elektriciteitsvraag in het verzorgingsgebied en de beschikbare 150 kV capaciteit en zonodig flexibel ingezet, toegevoegde waarde voor de Gelderse elektriciteitsvoorziening. De E-SMR kan hier namelijk helpen om bij de invoeding op het regionale 150 kV net minder afhankelijkheid te creëren van de invoeding via het 380 kV koppelnet. Daarmee kan de E-SMR bijdragen aan het verminderen van congestie op een 380/150 kV knooppunt. Uitgaande van de inzet van een Gen III+ SMR met een vermogen tussen 250 en 500 MWe komen hiervoor locaties in beeld in de nabijheid van 380/150 kV hoogspanningsstations zoals Dodewaard, Wijchen

(gepland) en Doetinchem. In principe kunnen ook andere Gelderse 150 kV stations worden overwogen, zolang voldoende aansluitcapaciteit beschikbaar is te maken om het gehele vermogen van de SMR te kunnen dekken.

De inzet van een Gen III+ vereist dat koelwater in voldoende mate in de directe nabijheid beschikbaar moet zijn voor doorstroomkoeling of koeling met koeltorens. Deze combinatie maakt dat de inpasbaarheid van de E-SMR zich vooral concentreert rondom Dodewaard en Wijchen. TenneT geeft daarbij aan dat het hoogspanningsstation Wijchen vooral gaat bijdragen aan de elektriciteitsvoorziening in het oostelijk deel van Noord-Brabant, waarmee de relevantie voor de systeemfunctie in Gelderland kleiner is.

Optimalisatie van de inzet van een E-SMR is mogelijk door de elektriciteitsproductie te combineren met warmte- en/of waterstofproductie. Warmtekoppeling biedt aanvullende waarde i.c.m. nabijgelegen grote warmtevragers, zowel in de industrie als gebouwde omgeving (stadswarmte). Daarnaast kan op termijn ook koppeling met waterstofproductie mogelijk worden, afhankelijk van de ontwikkeling van de nationale waterstofbackbone en de mogelijkheden tot ruimtelijke inpassing van elektrolyzers. Haskoning beveelt aan de verdere verkenning van een SMR integraal te doen, waarbij meerdere markten kunnen worden bediend. Dit draagt bij aan optimalisatie van het systeem en vergroot mogelijk de meerwaarde en haalbaarheid.

Voor warmtetoepassingen geldt in het algemeen dat voor afzonderlijke industriële en stedelijke warmtevraagtoepassingen de benodigde capaciteit in Gelderland te klein is ten opzichte van het vermogen en/of warmte dat Gen III+ en Gen IV SMR's kunnen leveren. Hierdoor is sprake van een structurele mismatch tussen vraag en aanbod. Alleen in geïntegreerde, gecombineerde toepassingen — waar warmte, elektriciteit en bijvoorbeeld waterstofproductie samenkomen — kunnen Gen IV reactoren een rol spelen, bijvoorbeeld in gebieden als het papiercluster in Eerbeek en het cluster rond Ede-Renkum. Ook deze clusters zijn echter nog relatief klein voor de typisch gehanteerde grens van Gen IV concepten (vanaf 50 MWe of 150 MWth).

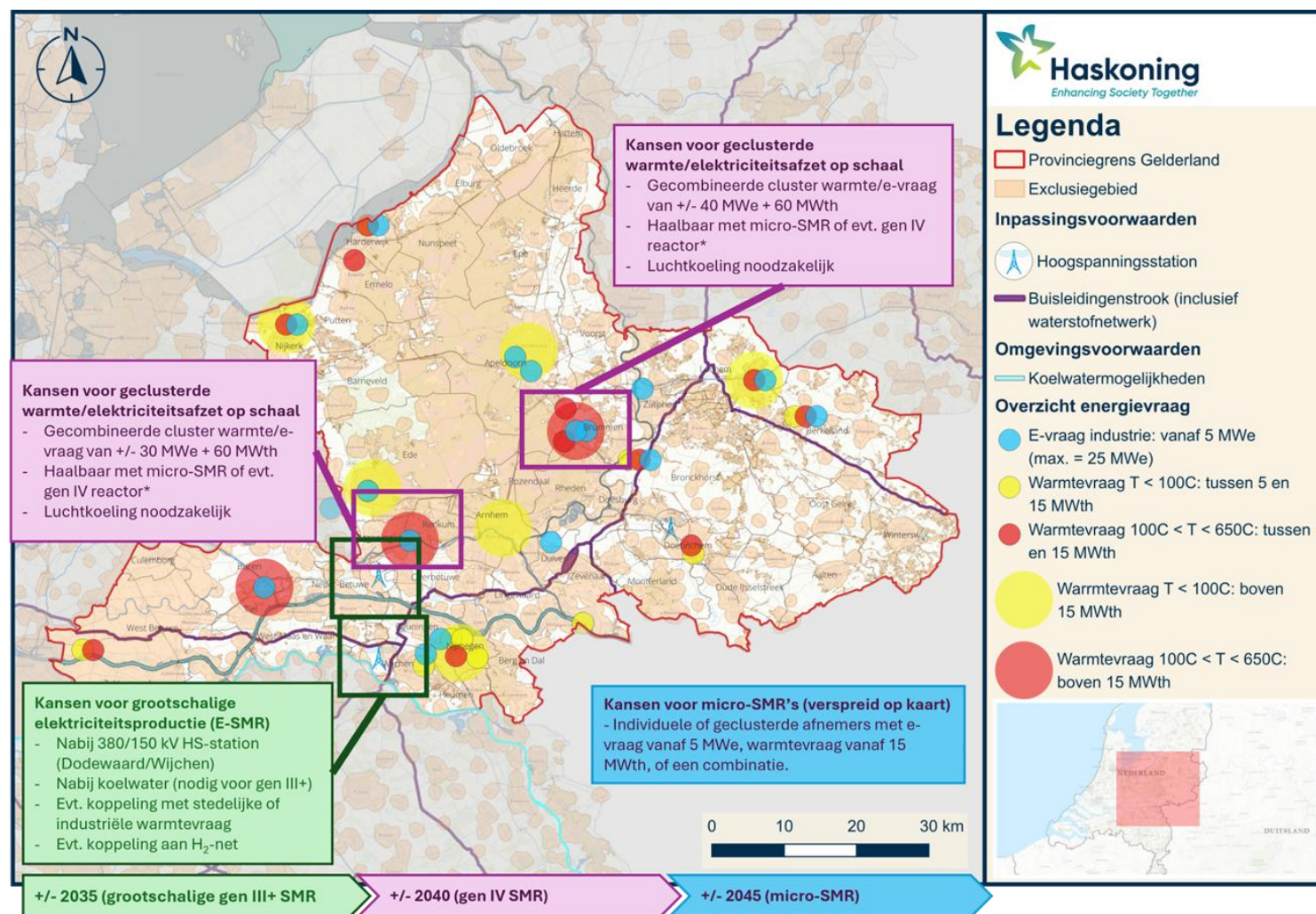
Voor de kleinere, individuele vraagtoepassingen worden micro-SMR's mogelijk relevant. Zij sluiten beter aan bij kleinere warmteprofielen die passen bij de gespreide vraag in Gelderland en kunnen mogelijk d.m.v. één-op-één aansluiting op individueel bedrijfsniveau uitkomst bieden maar hun commerciële beschikbaarheid is nog onzeker. Micro-SMR's worden veelal pas na 2045 verwacht. Micro-SMR's kunnen vooral relevant worden als warmtevraagtoepassing, of als kleinschalige vorm van elektriciteitsopwekking.

Deze algemene inzichten betreffen nadrukkelijk enkel energetisch-ruimtelijke inzichten. Uit een integrale afweging (de laatste stap uit het afwegingskader) moet blijken of de SMR in de genoemde toepassingen en gebieden daadwerkelijk wenselijk en haalbaar is. Daarbij gaat het onder andere om de afweging van de SMR ten opzichte van andere CO₂-vrije bronnen, de bijdrage aan leveringszekerheid en maatschappelijke factoren zoals acceptatie. Vervolgstappen vanuit de provincie en andere betrokken actoren moeten deze integrale afwegingen stapsgewijs duidelijk maken. In hoofdstuk 6 worden hiertoe vervolgactiviteiten en bijpassende beleidsinstrumenten aanbevolen.

Tabel 16. Mogelijkheden voor vijf specifieke SMR-toepassingen in Gelderland (energetisch-ruimtelijk)

Toepassing	Overwegingen t.a.v. inpassingsvoorwaarden (energetische afweging)	Overwegingen t.a.v. omgevingsvoorwaarden (ruimtelijke afweging)	Overwegingen t.a.v. timing
1. Grote SMR gericht op Gelderse elektriciteitsvoorziening (E-SMR)	Op basis van infrastructuurvoorwaarden komen voor de E-SMR drie kansrijke zones rondom 380/150 KV hoogspanningsknooppunten in beeld, waar een relatief grootschalige SMR kan passen in bestaande en geplande pockets: rondom Doetinchem, rondom Dodewaard en rondom Wijchen. Nabij deze knooppunten kan een SMR, mits juist gedimensioneerd en deels flexibel ingezet, bijdragen aan netstabiliteit, waarbij de locatie Wijchen voornamelijk ontwikkelingen in provincie Noord-Brabant faciliteert.	Kansrijke zones voor de E-SMR ontstaan binnen een straal van 6 km rondom Dodewaard en Wijchen en binnen een straal van 1 km van koelwatermogelijkheden, en buiten de ecologische- en bebouwings-exclusiegebieden (zie kaartmateriaal in Hoofdstuk 5). Rondom Doetinchem is met name de beschikbaarheid van koelwater onzeker. Inpassing nabij het hoogspanningsstation (HS-station) in Rivierenland is minder kansrijk vanwege UNESCO Werelderfgoed, ook is de wijze van netversterking door TenneT van dit station nog niet duidelijk.	Afhankelijk van ruimte op het HS-net en geplande verzwaringen TenneT (tussen 2035-2040).
2. SMR gekoppeld aan industriële warmtevraag	Individuele warmtevraag van industriële bedrijven is te klein om te matchen met de capaciteit van een Gen III+ of Gen IV-kernreactor. Warmtevraag is eventueel geschikt om te matchen met micro-SMR's, of geclusterd binnen een energy hub (toepassing 3). Om deze toepassing voor individuele gebruikers dichterbij te brengen, zouden er grote industriële partijen bij moeten komen, een veelvoud van de huidige grootste stoomgebruikers in Gelderland. Micro-SMR's zouden wel op deze schaal kunnen worden toegepast.	Niet nader onderzocht voor individuele toepassingen vanwege mismatch in schaalgrootte.	Eerst mogelijke beschikbaarheid na 2045 voor de micro-SMR.
3. SMR in energy hub verband	O.b.v. energievraag komen enkele bedrijventerreinen in beeld voor toepassing van SMR's, maar ook voor gecombineerde industriële warmtevraag is de omvang van cluster (warmte)vraag te klein voor Gen III+ en Gen IV SMR-concepten. Micro-SMR's zouden op deze locaties wél passend kunnen zijn, waarbij de clusters rondom Eerbeek en rondom Ede-Renkum groot genoeg kan zijn voor een (kleine) Gen IV reactor. Ook deze clusters zijn echter nog relatief klein voor de typisch gehanteerde grens van gen IV SMR's. Alleen de komst van relatief grote nieuwe afnemers, zoals bijvoorbeeld een datacenter, kan hierbij een uitzondering zijn en een Gen III+ als elektriciteitsproducent uitnuttten, waarbij ook restwarmte en/of waterstofproductie kan worden meegenomen in de integrale toepassing van een SMR.	Met name de clusters rond Eerbeek en Ede-Renkum (schaalgrootte van enkele tientallen MWth en MWe) komen in beeld als zones waar de Gen IV SMR energetisch en ruimtelijk kan passen, buiten de randen van stedelijk gebied waar energievraag van meerdere industriële partijen kan worden gecombineerd. Luchtkoeling is hier noodzakelijk vanwege afwezigheid van koelwatermogelijkheden.	Eerst mogelijke beschikbaarheid na 2040 voor de gen IV SMR en na 2045 voor de micro-SMR.
4. SMR gekoppeld aan een (stedelijk) warmtenet.	Voor de grootstedelijke gebieden met warmtevraag (Apeldoorn, Ede e.o., Nijmegen, Arnhem) bestaat grotendeels een mismatch tussen het vermogen dat een SMR (Gen III+ of Gen IV) kan leveren en de warmtevraag, ook wanneer gecombineerd met industriële warmtevraag. De SMR is hier met name denkbaar wanneer gekoppeld aan de SMR voor grootschalige elektriciteitsproductie (toepassing 1), waarbij een deel van de restwarmte wordt uitgekoppeld.	Zie toepassing 1. Op basis van omgevingsvoorwaarden van toepassing 1 komt met name regio Nijmegen, en in mindere mate regio Arnhem, in beeld voor koppeling met een stedelijk warmtenet. De relevantie voor de E-SMR is hierbij leidend, waarbij koppeling aan het warmtenet aanvullend is om zo de SMR-restwarmte te benutten.	Zie toepassing 1.
5. SMR in combinatie met waterstof-productie	Gezien de beperkte waterstofvraag van individuele bedrijven in de provincie Gelderland lijkt een SMR in combinatie met waterstofproductie voor directe koppeling aan een afnemer niet voor de hand te liggen, dit verandert wanneer er een grote, geconcentreerde waterstofvraag wordt ontwikkeld. Het succes van deze toepassing is daarmee afhankelijk van de landelijke waterstofbackbone die deels door Gelderland zal lopen. Geschikte zones hangen dan ook samen met de geografische ligging van de waterstofbackbone.	Ruimtelijk inpasbaar binnen een straal van 5 km rondom buisleidingen-netwerk. Waar de straal van 5 km raakt aan koelwatermogelijkheden ontstaan mogelijkheden voor Gen III+ reactoren. Daarbuiten kan de Gen IV SMR worden overwogen. In beide gevallen is koppeling met toepassing 1 mogelijk.	Afhankelijk van ontwikkeling waterstofnetwerk, - prijs en toekomstige - markt.

Figuur 34. Inzichten uit energetisch-ruimtelijke analyse in beeld. NB: Exclusiegebieden betreffen alle gebieden waarvoor in het afwegingskader een uitsluitingscriteria is gehanteerd. Dit betreft een combinatie van woonkernen, Natura 2000, UNESCO Werelderfgoed, Gelders Natuurnetwerk en waterwingebieden.



* Beide clusters vallen net buiten de typisch gehanteerde grens van 50 MWe van de gen IV reactor. Dit type reactor kan hier mogelijk van toepassing zijn ná volledige elektrificatie, of wanneer meerdere afnemers (buiten top-30 bedrijven) worden meegenomen. Nader locatie-specifiek onderzoek zou de haalbaarheid hiervan moeten verkennen.

6 Richting een beleidsagenda

In de voorgaande hoofdstukken zijn inzichten met betrekking tot de energetisch-ruimtelijke inpassing van SMR's verkend. Om tot een integrale afweging te komen over de rol van SMR's in het Gelderse energiesysteem (de laatste stap van het afwegingskader, zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4), zijn vervolgstappen nodig. Veel van deze vervolgstappen vragen om een consistente beleidsagenda waarin rollen, verantwoordelijkheden en activiteiten worden belegd. Dit hoofdstuk doet hiertoe een eerste aanzet.

6.1 Waarom een beleidsagenda?

Als uitwerking van het huidige coalitieakkoord van Gelderland helpt een langjarige provinciale beleidsagenda om de ontwikkeling van SMR's in Gelderland zorgvuldig en doelgericht vorm te geven. De technologie bevindt zich in een opkomende fase, met verschillende mogelijke betrokkenen, vergunningspaden en maatschappelijke belangen. Door het beleid rondom SMR's tijdig te verankeren voorkomt de provincie dat beslissingen versnipperd worden genomen en kan de samenhang tussen opgaven worden geborgd. Een beleidsagenda zorgt daarnaast voor bestuurlijke, beleidsmatige en juridische duidelijkheid: het legt vast waarom de provincie met SMR's aan de slag wil gaan, welke kaders en randvoorwaarden de provincie daarbij meegeeft en welke rol Gelderland zelf wil innemen in dit proces (bijvoorbeeld variërend van meer initiërend naar alleen faciliterend).

Daarnaast biedt een beleidsagenda de basis voor een consistente en transparante routekaart voor de komende jaren. De ontwikkeling van SMR's vraagt om een stapsgewijze aanpak, waarin technologische, juridische, ruimtelijke en maatschappelijke factoren worden geborgd. Door deze stappen expliciet te maken – van verkenning en locatiecriteria tot participatieprocessen, vergunningstrajecten en samenwerking met het Rijk en andere overheden – ontstaat een gedeeld kader voor bestuurders, kennispartners, marktpartijen en bewoners.

6.2 Overzicht van rollen en verantwoordelijkheden

Uit gesprekken met partijen komt naar voren dat er behoefte is aan meer duidelijkheid over de rol, ambitie en positionering van verschillende partijen in de verdere verkenning van SMR's, en hoe deze zich verhouden tot bredere ontwikkelingen in het energiesysteem. Daarbij bestaat behoefte aan helderheid over de onderlinge rolverdeling tussen provincie, regio's, het Rijk, marktpartijen en netbeheerders, onder meer in relatie tot het organiseren van toekomstige energievraag en het moment waarop bestuurlijke keuzes over vervolgstappen relevant worden.

De rolverdeling tussen overheden rond de ontwikkeling van een SMR in Nederland is nog niet vastgelegd. Het Rijk heeft in haar kamerbrief van 17 oktober 2025 aangegeven bevoegd gezag te zijn bij de eerste realisatie van een eerste SMR (FOAK). Voor SMR's groter dan 500 MW blijft het Rijk daarnaast altijd bevoegd gezag, ook voor *Nth of a Kind* (NOAK) installaties. Deze verdeling van bevoegd gezag is echter nog niet formeel vastgelegd.

In een werksessie met stakeholders van verschillende overheden is getracht inzicht te krijgen in de perspectieven op de rolverdeling in de route richting de mogelijke inpassing van een SMR in de provincie Gelderland. In deze werksessie zijn stakeholders gevraagd naar de bijdragen die ze hieraan willen leveren en naar de verwachtingen die ze hebben over de bijdragen van elkaar. Het resultaat hiervan is weergegeven in figuur 34. Dit kan een eerste basis zijn voor actoren om hun rol in de komende tijd te gaan bepalen. Het is belangrijk te vermelden dat dit overzicht niet volledig is en voortkomt uit een eerste werksessie met de partijen die daarbij aanwezig waren. Het is aan te raden om ook de rol van andere partijen, zoals veiligheidsregio's en netbeheerders, te verduidelijken in het vervolgproces.

Uit figuur 34 blijkt dat de voorlopige verwachtingen van stakeholders over hun eigen rol en die van anderen op meerdere punten nog uiteenlopen. Dit kan op korte termijn leiden tot onduidelijkheden over verantwoordelijkheden in de ontwikkeling en mogelijke inpassing van SMR's. Voor het **Rijk** verwachten andere partijen bijvoorbeeld dat het duidelijke kaders stelt, richting geeft aan

een nationale visie en helderheid verschaft over vergunningverlening. Daarnaast ziet men het Rijk als verantwoordelijke voor maatschappelijke legitimatie en informatievoorziening. De eigen rolopvatting van het Rijk is echter meer ondersteunend: het richt zich op het faciliteren van medeoverheden en marktpartijen, het uitvoeren van kennis- en beleidsonderzoeken en het afstemmen van het energiesysteem op nationaal niveau.

Ook over de mogelijke rol van een **provincie** bestaan nog verschillen in verwachtingsbeelden. Andere partijen verwachten dat zij participatie en communicatie met stakeholders organiseren en initiatiefnemers begeleiden, naast het ontwikkelen van provinciaal omgevingsbeleid en een visie op SMR's. De provincie ziet haar eigen rol vooral in het sturen op provinciale belangen, vergunningverlening en in het afwegen van ruimtelijke impact voor de regio.

Gemeenten geven aan dat zij primair verantwoordelijk zijn voor communicatie met bewoners. Andere partijen verwachten dat gemeenten ook een duidelijk inhoudelijk standpunt ontwikkelen over SMR's en richting geven aan lokale besluitvorming. Bij de **regio's** liggen de eigen verwachtingen en die van anderen grotendeels in elkaars verlengde. Een belangrijk verschil is dat andere partijen verwachten dat regio's expliciete expertise ontwikkelen rondom SMR's, zodat zij gemeenten kunnen ondersteunen. Die rol benoemen regio's zelf niet.

Het **IPO** en de **VNG** worden door andere stakeholders gezien als mogelijk escalatieniveau bij samenwerkingsproblemen tussen gemeenten, provincies en het Rijk. Deze rol komt in mindere mate terug in hun eigen rolopvatting, die vooral gericht is op afstemming, kennisuitwisseling en belangenbehartiging. Tot slot wordt van de **ANVS** verwacht dat zij niet alleen vergunningen beoordeelt, maar ook handhaaft en richting initiatiefnemers duidelijk communiceert over de kaders van vergunningverlening.

Uit de verzamelde verwachtingen komt een aantal patronen naar voren:

- **Het ontwikkelen van een visie op SMR's** wordt door anderen verwacht van zowel het Rijk, provincies als gemeenten, terwijl geen van deze partijen dit duidelijk als eigen verantwoordelijkheid benoemt;
- **De rolverdeling rond het stellen van kaders**, vergunningverlening en ruimtelijke afwegingen is nog niet overal scherp gedefinieerd;
- **Communicatie met bewoners en maatschappij** wordt door veel partijen bij elkaar neergelegd. Hierdoor is nog onduidelijk wie hierin het voortouw moet nemen.

Deze verschillen in rol- en verwachtingsbeelden vragen om verdere uitwerking in de ontwikkeling van de routekaart voor de mogelijke inpassing van SMR's. Gezien de fase waarin het denken en doen over SMR's in Gelderland zich nog bevindt, is dit eerste beeld van elkaars bijdragen en verwachtingen ook niet vreemd. Het betekent wel dat het nodig is hierin meer helderheid te krijgen.

6.3 Bepaling van geschikte rol

In 2025 heeft het Rijk onderzoek gedaan naar het proces in de aanloop naar de ontwikkeling van SMR's in Nederland. In het rapport 'Small Modular Reactors in Nederland, bevindingen uit de SMR-simulaties'³² zijn vier strategieën of rollen gedefinieerd die het Rijk kan aannemen in het mogelijk maken van SMR's, variërend van proactief tot terughoudend, te weten: 'Proactief', 'Actieve industriepolitiek', 'Aan de markt', 'Terughoudend'. De houding die het Rijk hierin aanneemt bepaalt tegelijkertijd haar rol in het ruimtelijk spoor, de taken als bevoegd gezag en het stimuleren van financiering.

Voor de provincie Gelderland is een vergelijkbare rolbepaling en -invulling relevant om te maken, waarbij er in feite twee hoofdstrategieën te onderscheiden zijn: de proactieve/actieve industriepolitiek strategie en de terughoudende/ aan de markt overlatende strategie. Voor de provincie betekenen deze strategieën het volgende:

³² Ministerie van Klimaat en Groene Groei (2025). *Small Modular Reactors in Nederland: bevindingen uit de SMR simulaties*.

- **Proactief/Actieve industriepolitiek.** In deze strategie is de provincie actieve aanjager van SMR's in de provincie. Dit doet zij onder andere door middel van het vaststellen van een eigen visie en kaders, het integreren van de SMR in de omgevingsvisie en het vastleggen van belangrijke infrastructuurbenodigdheden in de pMIEK. Ook gaat de provincie in deze rol proactief aan de slag met het verkennen van geschikte locaties, het versterken van de kennisketen in Gelderland, het verkennen van financieringsopties en het opstarten van een brede informatiecampagne. Daarnaast kan de provincie ook proactief voorsorteren op de ontwikkeling van de (maak-)industrie, om de economische ontwikkeling te versterken. Ten slotte zoekt de provincie actief samenwerkingsopties met de markt om tot een gezamenlijke intentieverklaring met private partijen en gemeenten te kunnen komen voor de inpassing en ontwikkeling van de SMR;
- **Terughoudend/Aan de markt.** Een andere strategie is een meer terughoudende rol vanuit de provincie. In deze strategie laat de provincie de markt aan zet om initiatieven te nemen en zorgt het er alleen voor dat duidelijk is wat, waar wel en niet kan als initiatiefnemers zich melden. In dit geval zal de provincie meer regulerend en afwachtend optreden richting de mogelijke rol van SMR's in het energiesysteem. In deze strategie is het nog steeds belangrijk dat de provincie via beleidskaders randvoorwaarden opstelt, zodat plannen van initiatiefnemers, Rijk of gemeenten daaraan kunnen worden getoetst. Ook past het opstellen van provinciale richtlijnen in veiligheid en toezicht en lange termijn beleid ten behoeve van de eindberging bij deze rol.

Het Rijk	Provincie	Gemeenten	Waterschap	Regio's	IPO/VNG	ANVS
Eigen bijdrage - Afstemming - nationaal energiesysteem - Kennis en beleids-onderzoeken - Faciliteren van de markt en - Initiatieven van medeoverheden	Eigen bijdrage - Sturend en faciliterend op boven-regionaal belang en afstemming met Rijk - Bevoegd gezag afhankelijk van type en grootte - Ruimtelijke sturing en kaders stellen in vergunningen - Maken van maatschappelijke afwegingen voor de regio	Eigen bijdrage - Informerend en betrekken van college en raad - Afstemming met gemeentelijk beleid en lokale belangen - Ruimtelijke afstemmen in omgevingsplan - In kaart brengen lokale gevolgen rondom veiligheid, leefbaarheid, werkgelegenheid - Communicatie met bewoners	Eigen bijdrage - Beheer waterkwaliteit - Beheer van waterkeringen (waterveiligheid) - Vergunning-verlening - Bestuurlijk/ ambtelijke afstemming over mogelijke inpassing SMR - Beheer vanuit water-bodem sturend	Eigen bijdrage - Coördinatie en afstemming tussen gemeenten en met provincie of Rijk - Kennisdeling en doorvertaling naar gemeenten - Regionaal energiesysteem perspectief inbrengen - Positionering van SMR binnen RES/RPE	Eigen bijdrage - Faciliteren van kennisdeling en uitwisseling tussen provincies en gemeenten - Bevorderen van samenwerking met andere overheden - Afstemmen van provinciale/ gemeentelijke standpunten	Eigen bijdrage - Onafhankelijk expert, inhoudelijk en ruimtelijke inpassing van SMR's - Vergunningverlening (KEW)
Verwachtingen van anderen - Strategie en richting in nationale visie - Stellen van heldere kaders en duidelijkheid over vergunningen - Faciliteren financiële instrumenten - Interbestuurlijke regie - Maatschappelijke legitimatie creëren - draagvlak en informatievoorziening	Verwachtingen van anderen - Ontwikkelen van provinciaal omgevingsbeleid op SMR's - Actieve samenwerking met Rijk en gemeenten - Communicatie en participatie bewoners - Vergunning-verlening (naast ANVS) - Begeleiding initiatiefnemers	Verwachtingen van anderen - Heldere positie innemen in beleid t.o.v. SMR's - Bewonersbelangen beschermen - Stellen van randvoorwaarden in veiligheid, ruimtelijke inpassing en maatschappelijke acceptatie - Aan tafel bij besluiten/in gesprek met provincie en Rijk.	Verwachtingen van anderen Niet opgehaald tijdens dit onderzoek	Verwachtingen van anderen - Verbindingen leggen en anticiperen op behoeften - Onderlinge verhoudingen tussen gemeenten - Kennisontwikkeling en opbouwen van expertise - Vertegenwoordiging en advisering ten opzichte van het Rijk/Provincie	Verwachtingen van anderen - Voorkomen van versnippering van kennis en ervaring - Afstemming nationale kaders en energiesysteem - Gezamenlijk provinciaal/ gemeentelijk perspectief bepalen - Escalationiveau voor samenwerking tussen gemeenten/ provincies en met het Rijk	Verwachtingen van anderen - Toeziende handhaven veiligheidsnormen - Kaderstellende autoriteit - Helder, transparant en navolgbaar vergunningsproces - Toezicht en handhaving - Communicatie naar initiatiefnemers - Advisering vergunning

Figuur 35. Rolopvatting stakeholders - eigen verwachting en die van anderen

6.4 Aanzet tot routekaart, benodigde instrumenten en aandachtspunten voor vervolg

Voor de ontwikkeling van SMR's, zowel op nationaal als provinciaal niveau, is nog weinig in beleid vastgelegd over bevoegdheden en benodigde vervolgstappen om te komen tot eventuele realisatie. Daarnaast is nog niet vastgesteld of en in welke mate de SMR toegevoegde waarde levert in het Gelders energiesysteem. Het voorgestelde afwegingskader uit deze verkenning is een eerste inhoudelijke stap in die richting.

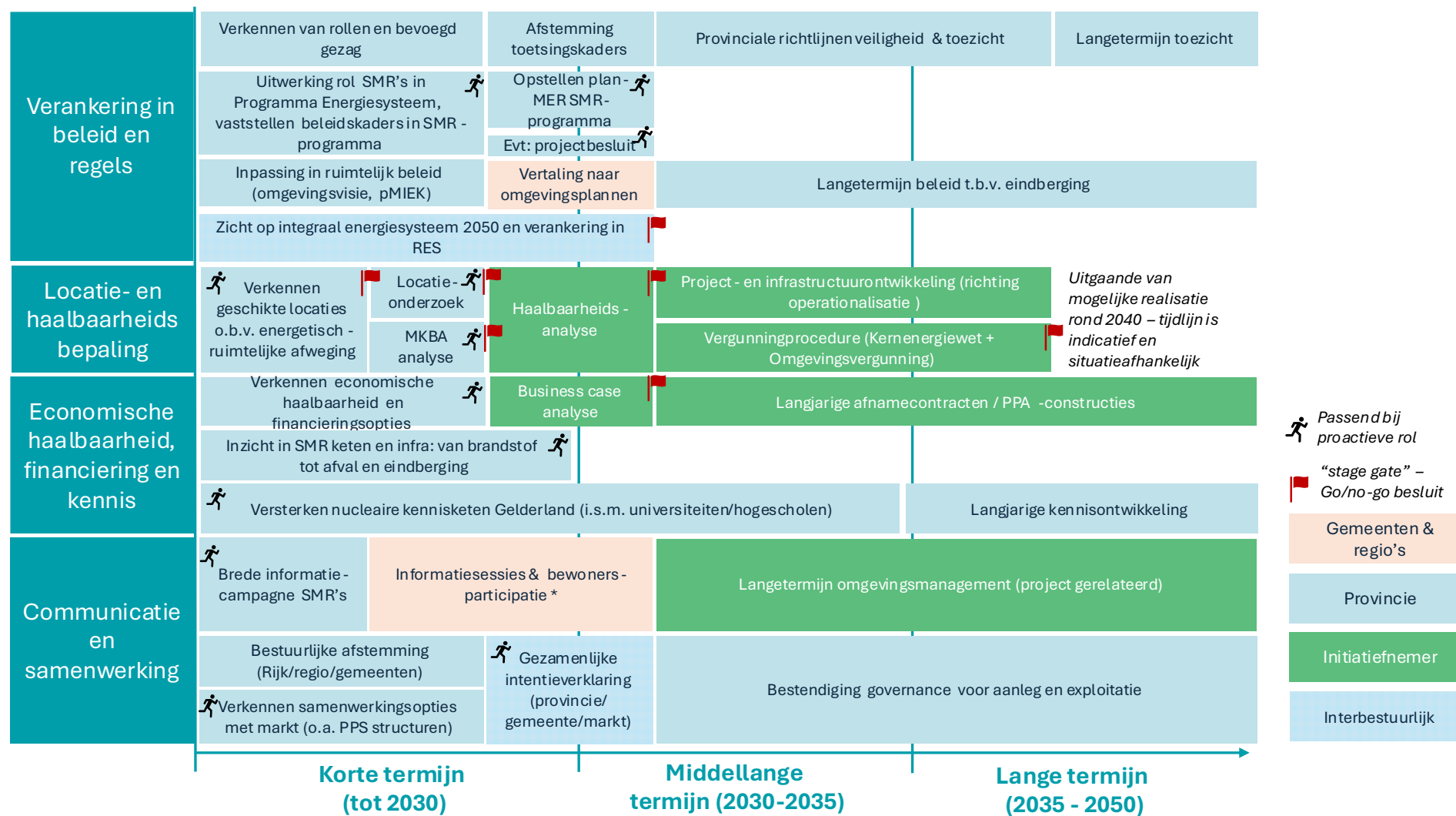
Samen met stakeholders is nagedacht over een mogelijke routekaart voor de ontwikkeling van SMR's in Gelderland. Deze routekaart schetst de fasering en randvoorwaarden voor de mogelijke realisatie, met aandacht voor beleidsmatige voorbereiding en verankering en de afstemming tussen verschillende bestuurslagen. De routekaart is in eerste instantie bedoeld om houvast te bieden aan de provincie en toont de aanbevolen vervolgstappen in de ontwikkeling van SMR's, als deze ontwikkeling op provinciaal niveau wordt doorgezet.

De routekaart is weergegeven in figuur 35. Deze toont voor de korte, middellange en lange termijn aanbevolen vervolgstappen in vier hoofdcategorieën:

- Verankering in provinciaal beleid en regels;
- Locatie- en haalbaarheidsbepaling voor kansrijke projecten;
- Economische haalbaarheid, financiering en kennisontwikkeling;
- Communicatie, participatie en governance.

In de getoonde vervolgstappen staan actiepunten voor de provincie centraal, maar er wordt waar mogelijk ook al aangegeven waar acties logischerwijs meer bij regio's, gemeenten, of initiatiefnemers liggen. Vervolgstappen vanuit het perspectief van het Rijk zijn hierin niet meegenomen, net als activiteiten die onder het bevoegd gezag van een vergunningverlener (bijvoorbeeld waterschap of ANVS) vallen. Bij een aantal van de genoemde activiteiten, met name gericht op locatie- en haalbaarheidsbepaling, volgt een beslismoment waarop de ontwikkeling van de SMR in de provincie wel of niet wordt doorgezet

op basis van opgedane kennis en informatie. Deze momenten zijn in de figuur aangeduid als "go/no-go besluit". De activiteiten zijn per categorie onderaan de figuur nader toegelicht.



* Afhankelijk van een projectbesluit van de provincie ligt deze rol bij de provincie of gemeente

Figuur 36. Routekaart besluitvorming SMR's op provinciaal niveau

6.4.1 Verankering in beleid en regels

Een belangrijk element in de plan- en besluitvorming rond SMR's is de verankering in beleid en regels, waarvoor al op korte termijn stappen kunnen worden gezet. Provinciaal zullen eerst keuzes gemaakt moeten worden over de rollen die de provincie kan en wil innemen in de ontwikkeling van de SMR en waar het bevoegd gezag ten aanzien van ruimtelijke inpassing van de SMR ligt, in bestuurlijke afstemming met het Rijk. Met betrekking tot bevoegd gezag ligt met name de vraag voor of provincie of Rijk bevoegd gezag is voor ruimtelijk beleid onder de Omgevingswet. Het bevoegd gezag voor vergunningverlening op grond van de Kernenergiewet ligt altijd bij ANVS. In de simulatie-uitkomsten van het Ministerie van KGG wordt onderscheid gemaakt tussen verschillende capaciteitsgrootten: tot 100 MWe is provincie logischerwijs bevoegd gezag, tussen 100 en 500 MWe is dit de provincie óf het Rijk, boven de 500 MWe standaard het Rijk. Deze verdeling is echter indicatief en niet vastgelegd. Daarnaast kan de provincie verschillende strategieën toepassen bij de ontwikkeling van SMR's, zoals beschreven in paragraaf 6.3. De rol die de provincie inneemt kan afhangen van uitkomsten van vervolgonderzoek, bijvoorbeeld de verkenning van betaalbaarheid en financieringsopties, of de uitkomsten van MKBA-onderzoek (beschreven in onderstaande paragrafen).

Meerdere partijen gaven tijdens dit onderzoek aan behoefte te hebben aan duiding ten aanzien van de rol en toegevoegde waarde van de SMR in relatie tot het bredere energiesysteem. Het is dan ook aan te bevelen om de rol van de SMR en samenhang en vergelijking met alternatieven breder en in meer detail vast te leggen in de volgende uitwerking van het Programma Energiesysteem. Hetzelfde geldt voor de uitwerking van de rol van de SMR in de Regionale Energie Strategieën (RES-en).

Tegelijkertijd kan de provincie werken aan de inpassing van SMR-ontwikkeling in het ruimtelijk beleid, door in de omgevingsvisie de mogelijke rol van SMR's te duiden en een vertaling te maken naar programmering en prioritering in het pMIEK. In de omgevingsvisie wordt op hoofdlijnen vastgelegd waar en onder welke voorwaarden SMR's in het toekomstig energiesysteem van Gelderland zouden kunnen passen. Het pMIEK moet de bijbehorende uitvoeringsvolgorde

en benodigde stappen op het gebied van energie- en netinfrastructuur concretiseren. Om dit beleidsmatig te borgen kan de provincie daarnaast beleidskaders vaststellen in de vorm van een SMR-programma. Zo'n programma geeft duidelijkheid over de provinciale doelen, randvoorwaarden en beoordelingscriteria, bijvoorbeeld zoals voorgesteld in het afwegingskader in dit rapport. Omdat een programma kaders stelt voor een mogelijk MER-plichtig project, kan de provincie onder dit programma een plan-MER opstellen. De uitkomsten daarvan kunnen gemeenten houvast bieden om binnen hun omgevingsplannen ruimtelijke voorwaarden voor SMR-ontwikkeling vast te leggen.

Waar dat doelmatig is, kan de provincie aanvullend gebruikmaken van een projectbesluit. Dit instrument kan vooral worden ingezet voor ondersteunende of aanpalende ruimtelijke projecten die onder de Omgevingswet vallen, zoals aanpassingen in infrastructuur, wateraanvoer of netaansluitingen. Het projectbesluit kan helpen om de besluitvorming over meerdere benodigde vergunningen en toestemmingen te coördineren, maar vervangt niet de vergunningplicht onder de Kernenergiewet voor de SMR zelf.

Op de middellange en lange termijn ligt het voor de hand dat de provincie werkt aan provinciale richtlijnen voor veiligheid en toezicht binnen haar eigen bevoegdheden, en dat zij haar toetsingskaders afstemt met de veiligheidsregio's en de ANVS. Ook de lange termijnbenadering van eindberging werd door stakeholders genoemd als aandachtspunt. De verantwoordelijkheid voor eindberging ligt bij het Rijk, maar de provincie kan hierover wel beleidsmatige uitgangspunten formuleren en aangeven in welke mate zij aanvullende randvoorwaarden wenselijk acht om publieke waarden te borgen.

6.4.2 Locatie- en haalbaarheidsbepaling

Een belangrijke voorwaarde voor succesvolle realisatie van een SMR in de provincie betreft de locatie- en haalbaarheidsbepaling. Dit rapport biedt een eerste aanzet en onderbouwing van kansrijke zones die kan helpen bij de verkenning van kansrijke locaties. Met het oog op haar ambitie zal de provincie

in aanloop naar 2027 verschillende gebieden moeten beoordelen op geschiktheid, bijvoorbeeld aan de hand van de criteria zoals voorgesteld in het afwegingskader van dit rapport. Een logische vervolgstap daarbij is een gedetailleerd locatieonderzoek waarin logistieke, technische, en milieu gerelateerde factoren nader worden onderzocht. Dit locatieonderzoek kan op initiatief van de provincie, of in samenwerking met de betreffende gemeenten, worden opgezet voor een selectie van eventueel kansrijke locaties. Ook een MKBA kan deel uitmaken van dergelijk onderzoek. Deze analyse vergelijkt de inzet van SMR's met alternatieve energieopties richting 2050, zoals wind- en zonne-energie, grootschalige opslag, waterstofimport of de verdere elektrificatie van industriële processen. Hiermee ontstaat een samenhangend beeld van de meerwaarde en de systeemimpact van SMR's binnen Gelderland.

Het is aannemelijk dat ook vanuit de initiatiefnemer, wanneer deze zich aandient, een haalbaarheids- en business caseanalyse uitgevoerd zal worden om inzicht te krijgen in de economische en operationele randvoorwaarden van de SMR. Deze analyses volgen logischerwijs op de resultaten van het locatieonderzoek van de provincie, maar dit is niet noodzakelijk. Beide vervolgstappen zullen in elk geval leiden tot beslismomenten over de geschiktheid van specifieke locaties voor verdere ontwikkeling van een SMR. Wanneer de SMR ook naar aanleiding van deze analyses kansrijk lijkt, kan op middellange termijn worden gestart met project- en infrastructuurontwikkeling en bijbehorende vergunningenprocedures.

6.4.3 Economische haalbaarheid, financiering en kennisontwikkeling

Een belangrijke open vraag ten aanzien van de haalbaarheid en verdere ontwikkeling van de SMR betreft de economische haalbaarheid en mogelijke financieringsopties. Dit begint met een verkenning van de integrale kosten van de SMR, ook in relatie tot andere duurzame energiebronnen. Hoewel de kosten van SMR-ontwikkeling nog relatief onbekend zijn, is het waarschijnlijk dat de ontwikkeling van een SMR tot in de miljarden euro's zal lopen, met een relatief

groot financieel risico.³³ Zoals ook uit de bevindingen uit de SMR-simulaties van het Ministerie van KGG naar voren komt lijkt het onwaarschijnlijk dat deze kosten volledig door de Nederlandse markt worden gedragen, met name voor relatief nieuwe FOAK-technologie. Op korte termijn wordt aangeraden de kosten voor ontwikkeling van een SMR te verkennen en of financieringsopties vanuit de provincie, in aanvulling op eventuele financieringsopties vanuit het Rijk, wenselijk zijn.

Het ligt voor de hand dat vanuit de initiatiefnemer zelf, wanneer deze zich aandient, een uitvoerige business case analyse en onderzoek tot afnamebereidheid wordt gedaan. Op langere termijn zal de initiatiefnemer daarbij toewerken naar het opstellen van langjarige contractvormen (bijvoorbeeld via PPA-constructies). Ook deze analyse zal leiden tot een "go/no-go" beslismoment.

Nederland is voor nucleaire expertise momenteel nog gedeeltelijk afhankelijk van het buitenland (o.a. Frankrijk en Finland). Voor succesvolle realisatie van SMR's is versterking van de kennisinfrastructuur een noodzakelijke randvoorwaarde, ook op provinciaal niveau. Gelderland zal deze kennisontwikkeling moeten organiseren binnen een samenwerkingsverband van regionale kennisinstellingen, netbeheerders, relevante bedrijven en landelijke expertorganisaties. Dit betreft zowel technische kennis gericht op de bouw van een SMR, als fundamentele kennisontwikkeling gericht op exploitatie van een SMR, met aandacht voor het beschikbaar hebben van voldoende gekwalificeerd personeel op middellange termijn. Deze behoefte sluit aan op de nationale strategie voor het versterken van een nucleair ecosysteem in Nederland. Ook binnen Gelderland zal in alle fasen van SMR-ontwikkeling voldoende gekwalificeerd personeel nodig zijn dat bereid is zich (tijdelijk) in de provincie te vestigen. Het ligt daarom voor de hand om ook op provinciaal niveau, in samenwerking met regionale onderwijsinstellingen, in te zetten op de juiste onderwijscurricula en human capital. Ook kennisontwikkeling over juridische en procedurele kaders (vergunningen, milieueffecten, veiligheid en toezicht) is daarbij relevant.

³³ Momenteel zijn alleen de kosten voor het SMR-project in Canada bekend. Dit betreft € 13,3 miljard voor vier reactoren van 300 MW.

Tot slot kwam tijdens deze verkenning naar voren dat behoefte bestaat aan meer inzicht in de volledige keten en benodigde infrastructuur van de SMR, van brandstof tot afval en eindberging. Momenteel is nog onduidelijk hoe deze keten eruitziet en wat dit betekent voor de regionale supply chain in Gelderland. Inzichten uit een dergelijk onderzoek kunnen helpen om locatievoorwaarden en bredere economische randvoorwaarden, zoals versterking van de logistieke keten, te bepalen.

6.4.4 Communicatie en samenwerking

Omdat de ontwikkeling van SMR's zich in het algemeen nog in de beginfase bevindt en meerdere overheidslagen raakt, is een vroegtijdige verkenning van samenwerkingsvormen en communicatie met betrokkenen essentieel. Dit geldt in het bijzonder voor de communicatie en participatie richting inwoners, om verwachtingen, vragen en zorgen tijdig op te halen en om het proces zorgvuldig en transparant te doorlopen. Dit is met name relevant wanneer specifieke locatiehaalbaarheidsstudies worden gedaan of afzonderlijke projecten in beeld komen. Daarnaast vraagt de fase waarin Gelderland zich bevindt om vroege samenwerking met veiligheidsregio's en marktpartijen, zodat inzichten over veiligheid, haalbaarheid, financieringsstructuren en uitvoerbaarheid kunnen worden gedeeld en benut. Ook het in kaart brengen en aanhaken van de regionale supply chain (o.a. maakindustrie) is hierbij van belang.

Wat betreft communicatie richting inwoners zijn meerdere vervolgstappen denkbaar. Op nationaal niveau wordt al geïnvesteerd in informatievoorziening en kennisdeling rond SMR's, onder andere door het informeren van mede-overheden en het in kaart brengen van burgerperspectieven in de aanloop naar nationale besluitvorming. De provincie, eventueel in samenwerking met gemeenten en veiligheidsregio's, kan hierop voortbouwen door het ontwikkelen van een bredere, informatie en participatie aanpak over SMR's, gericht op kennisdeling en het actief luisteren naar zorgen en perspectieven uit de samenleving. Deze campagne hoeft niet locatiegericht te zijn; ze kan zich richten op algemene vragen over technologie, veiligheid, regelgeving en het proces.

Wanneer mogelijke locaties concreter in beeld komen, ligt het voor de hand om meer gerichte, locatie-specifieke informatie en participatie voor en met omwonenden en belanghebbenden te organiseren. Afhankelijk van de gekozen beleidsroute — bijvoorbeeld of de provincie een projectbesluit inzet — kan deze taak bij de provincie liggen, of bij de betreffende gemeenten wanneer het gaat om de ruimtelijke doorwerking in het omgevingsplan. Naarmate de locatievoorkeur verder wordt geconcretiseerd, ligt het bovendien voor de hand om participatietrajecten te organiseren waarin inwoners en andere belanghebbenden in een vroeg stadium kunnen reageren op plannen en uitgangspunten. In de middellange en lange termijn, wanneer een initiatiefnemer overgaat tot projectrealisatie en vergunningprocedures onder zowel de Omgevingswet als de Kernenergiewet worden gestart, wordt een structurele vorm van omgevingsmanagement noodzakelijk. Dit omgevingsmanagement ligt primair bij de initiatiefnemer, die verantwoordelijk is voor de participatie en informatievoorziening in het kader van zijn aanvraag. De provincie en gemeenten blijven daarbij wel belangrijke partners voor bestuurlijke afstemming en gebiedsgerichte communicatie.

Met het oog op governance wordt aangeraden dat de provincie op korte termijn bestuurlijke afstemming organiseert met het Rijk, regio's en gemeenten. Deze afstemming is nodig om helderheid te creëren over taken, verantwoordelijkheden en rolverdeling, en om tot een gezamenlijke aanpak te komen voor locatie-onderzoek. Ook kan de provincie initiatief nemen om samenwerkingsconstructies voor de ontwikkeling van de SMR, bijvoorbeeld in de vorm van publiek-private samenwerking met initiatiefnemers, te onderzoeken.

Wanneer het locatieonderzoek en andere analyses tot positieve uitkomsten leiden, kan een gezamenlijke intentieverklaring tussen betrokken bestuurslagen en marktpartijen worden opgesteld. Een dergelijke intentieverklaring is geen besluit tot realisatie, maar legt vast dat partijen gezamenlijk vervolgstappen willen zetten, informatie willen delen en procesafspraken willen vastleggen. De verklaring kan dienen als instrument om afspraken te maken over rolverdeling en inzet van capaciteit, en een

gezamenlijke basis te leggen voor vervolgstappen. De intentieverklaring kan ook bijdragen aan het borgen van governance op de lange termijn.

A1 Bijlage 1: Verantwoording proces

Onderzoeksproces

In deze verkenning is gekozen voor een iteratieve aanpak waarin een technische verkenning en een beleidsmatige verkenning parallel aan elkaar zijn uitgevoerd en elkaar gedurende het traject hebben versterkt. De technische verkenning richtte zich op de mogelijke rol van SMR's in het Gelders energiesysteem. Daarbij zijn onder meer de energievraag, ruimtelijke criteria, infrastructuur, systeemimpact en netinpassing onderzocht. Deze inzichten vormden een belangrijke inhoudelijke basis voor het gesprek met stakeholders.

Parallel daaraan vond een beleidsmatige verkenning plaats, gericht op het ophalen van perspectieven en randvoorwaarden bij relevante partijen in Gelderland. Dit gebeurde via een uitgebreide stakeholderdialoog, bestaande uit 1-op-1-gesprekken met onder andere gemeenten, provincie, waterschappen, projectontwikkelaars, netbeheerders en vertegenwoordigers van het Rijk, zie tabel hieronder. Met andere relevante partijen, zoals Rijkswaterstaat, ANVS en verschillende industriepartijen is contact gelegd voor een 1-op-1 gesprek, maar deze partijen waren alleen beschikbaar voor deelname aan en van de werksessies. In de 1-op-1 gesprekken zijn kansen, zorgen en verwachtingen besproken, en is expliciet gekeken hoe stakeholders aankijken tegen de criteria en randvoorwaarden die worden gebruikt voor de beoordeling van SMR-inpassing.

Tabel 17. Gesproken partijen 1-op-1 gesprekken

Categorie	Gesproken partijen (1-op-1 gesprekken)
Netbeheerders	- Liander - TenneT
RES-regio/gemeenten	- RES- coördinatoren Provincie Gelderland - Regio Arnhem/Nijmegen - Regio Stedendriehoek - Regio Foodvalley - Regio Rivierenland - Regio Achterhoek - Regio Noord-Veluwe - Gemeente Neder-Betuwe (bestuurlijk) - Gemeente Zutphen (bestuurlijk)
Projectontwikkelaars	- ULC - Thorizon - EPZ
Waterschappen	- Waterschap Rijn en IJssel - Waterschap Rivierenland - Waterschap Vallei en Veluwe
Landelijk	- Ministerie van Klimaat en Groene Groei
Onderzoekers van parallelle/afgeronde studies	- OostNL - NRG PALLAS

Daarnaast zijn vier thematische werksessies georganiseerd met een brede groep stakeholders. In deze sessies is verdieping gezocht op kansen, beperkingen en randvoorwaarden voor de mogelijke inzet van SMR's in Gelderland. De bijeenkomsten dienden zowel om stakeholders te informeren over de huidige stand van kennis, aannames en onzekerheden rondom SMR-technologie, als om gezamenlijk aanvullende inzichten op te halen die het afwegingskader konden verrijken:

- In de sessie over ruimtelijke randvoorwaarden is verdiepend gekeken naar ruimtelijke inpassing, koelwaterbehoefte en overige fysieke voorwaarden, samen met enkele ruimtelijke ordenaars van de provincie, waterschappen, omgevingsdiensten en kennisinstellingen.
- In de sessie over maatschappelijke kansen en uitdagingen is verkend welke rol SMR's kunnen spelen in de Gelderse economie en hoe maatschappelijke organisaties kijken naar de fysieke, maatschappelijke en sociale randvoorwaarden.
- In de sessie over bestuurlijk draagvlak is met vertegenwoordigers van Rijk, provincie en gemeenten gesproken over bestuurlijke randvoorwaarden, besluitvormingskaders en de mogelijke bijdrage van SMR's aan provinciale doelen.
- In de sessie over afnamebereidheid van industrie is met bedrijven en industriële partijen verkend welke energiebehoeften bestaan en in hoeverre SMR's hierin kunnen voorzien. Deze sessie vond plaats binnen een bestaand overlegstructuur van het Gelders Energie Akkoord (GEA).

Door deze parallelle aanpak ontstond een iteratief proces: technische inzichten konden worden getoetst en verrijkt tijdens de gesprekken en werksessies, terwijl input uit de stakeholderdialoog direct is meegenomen om de technische beoordelingscriteria verder aan te scherpen. Deze wisselwerking zorgde voor een beter onderbouwd en breder gedragen afwegingskader.

De technische verkenning wordt verder toegelicht in Bijlage 2: Verantwoording technische verkenning.

Feedback op conceptrapportage

Het conceptrapport is in maart 2026 gedeeld voor een feedbackronde met belanghebbenden uit de provincie, netbeheerders, veiligheidsregio's, waterschappen, het Ministerie van KGG, OostNL, Rijkswaterstaat, ANVS en regiocoördinatoren. Regiocoördinatoren hebben op hun beurt het conceptrapport gedeeld met gemeenten en feedback vanuit verschillende gemeenten gebundeld. Verschillende partijen hebben op deze oproep gereageerd en hun feedback op het conceptrapport met Haskoning gedeeld.

De belangrijkste thema's uit deze feedbackronde zijn hieronder samengevat. Een deel van de feedback richt zich op benodigde vervolgstappen en is daarmee buiten scope van het huidige onderzoek. Andere feedback heeft Haskoning naar eigen inzicht verwerkt in het eindrapport.

Doel, scope en positionering van het rapport

Allereerst hebben stakeholders opmerkingen geplaatst over het doel en de reikwijdte van het rapport. Daarbij is aandacht gevraagd voor het explicieter benoemen van de doelstelling en uitgangspunten van de verkenning, ook in relatie tot verdere besluitvorming.

Inpassing in het toekomstige energiesysteem

Verschillende partijen hebben gereflecteerd op de positie van SMR's binnen het toekomstige energiesysteem. Daarbij zijn aandachtspunten genoemd over de verhouding tussen centrale en decentrale opwek, de gewenste mate van flexibiliteit in het energiesysteem en hoe SMR's zich verhouden tot andere ontwikkelingen binnen de energietransitie. Meerdere stakeholders noemen nadrukkelijk behoefte te hebben aan helderheid over de maatschappelijke rol van de SMR in relatie tot alternatieve duurzame energiebronnen. Daarbij wordt opgemerkt dat deze integrale afweging noodzakelijk is voordat besluiten over de SMR kunnen worden genomen. Ook is gevraagd om onzekerheden rondom de ontwikkeling van SMR's in meer samenhang te beschrijven.

Economische haalbaarheid en businesscase

Stakeholders gaven aan dat inzicht in de business case, kostenstructuur en randvoorwaarden voor financiering noodzakelijk is voor het duiden van de mogelijke rol van SMR's. Daarbij zijn opmerkingen gemaakt over het belang van afnamezekerheid, mogelijke typen afnemers en het moment waarop economische aspecten in de verkenning worden betrokken. Stakeholders gaven aan deze verdieping te missen in het conceptrapport.

Toekomstige energievraag en nieuwe bedrijvigheid

Meerdere stakeholders hebben aangegeven dat de analyse grotendeels uitgaat van de huidige energievraag en bestaande bedrijvigheid. Daarbij is nadrukkelijk aandacht gevraagd voor mogelijke toekomstige ontwikkelingen,

zoals nieuwe energie-intensieve bedrijvigheid, waterstofproductie, laadinfrastructuur voor zwaar transport en vestigingseffecten rond potentiële SMR-locaties. Ook is gesuggereerd om in de analyse meer doorkijk te bieden naar de periode richting 2030 en 2050.

Netinpassing en infrastructuur

In de feedback is ingegaan op de relatie tussen SMR's en de bestaande en toekomstige energie-infrastructuur. Stakeholders hebben aandacht gevraagd voor het netniveau waarop een SMR wordt aangesloten, de relatie met nabijgelegen afnemers en de mogelijke effecten op het elektriciteitsnet. Daarbij is gewezen op het belang van een duidelijke beschrijving van infrastructuurkundige randvoorwaarden bij locatiekeuze.

Afwegingskader en locatiecriteria

Ten aanzien van het afwegingskader hebben stakeholders opmerkingen gemaakt over de gehanteerde criteria en de volgordelijkheid van keuzes. Daarbij is gevraagd om meer duidelijkheid over welke factoren wanneer worden meegewogen, waaronder ruimtelijke aspecten, beschikbare ruimte voor bedrijvigheid en technologische kenmerken. Ook is gesuggereerd om bepaalde criteria explicieter toe te lichten.

Veiligheid, water en milieu

Veiligheids- en watergerelateerde feedback richt zich op de effecten van SMR's op het watersysteem en de leefomgeving. Stakeholders hebben onder andere nuances aangedragen over koelwatergebruik, verschillen tussen SMR-typen en het onderscheid tussen watergebruik en waterverbruik. Daarnaast is aandacht gevraagd voor het meenemen van milieu- en wateraspecten in de ruimtelijke afweging.

Governance, rolverdeling en proces

In de feedback is aandacht gevraagd voor de verdeling van rollen en verantwoordelijkheden tussen verschillende overheden en andere betrokken partijen. Stakeholders hebben opmerkingen gemaakt over bevoegd gezag, procesinrichting en de betrokkenheid van partijen zoals de veiligheidsregio's en netbeheerders in vervolgstappen. Ook is gewezen op het belang van

helderheid over governance-afspraken en het besluitvormingsproces in de verdere verkenning. In de feedback hebben verschillende gemeenten nadrukkelijk aangegeven dat kernenergie geen onderdeel is van lokaal beleid.

Opmaak, consistentie en leesbaarheid

Tot slot zijn er praktische opmerkingen gemaakt over de leesbaarheid en consistentie van het rapport. Deze hadden betrekking op onder meer verwijzingen naar figuren en tabellen, terminologie, definities en tekstuele of redactionele aandachtspunten.

A2 Bijlage 2: Verantwoording technische verkenning

Bepaling industriële energievraag

Als uitgangspunt in de analyse van industriële energievraag is het jaar 2022 gehanteerd. Voor de analyse van energieverbruik is een interne projectdatabase gebruikt, samengesteld uit onder andere openbare documentatie van CE Delft³⁴, publicaties van TNO³⁵ en het MIDDEN initiatief van PBL en TNO.³⁶ Bij het analyseren van de dataset zijn bedrijven die inmiddels gesloten zijn expliciet verwijderd (zoals steenfabriek De Vliet in Winterswijk). Daarmee is voorkomen dat historisch energiegebruik onterecht wordt meegenomen in de analyse. De referentiesituatie 2022 is gekozen omdat de toekomstige elektriciteits- en warmtevraag van de industrie sterk afhankelijk is van de mate van elektrificatie van industriële processen, veranderingen in productievolume, het sluiten of vestigen van industriële bedrijven. Door 2022 als uitgangspunt te nemen, ontstaat een robuuste basis waarop scenario's voor toekomstige ontwikkeling kunnen worden geprojecteerd.

De Gelderse industrie is in het onderzoek gecategoriseerd naar locatie, sector en energievraag. Voor elk geïdentificeerd bedrijf zijn het aardgas- en elektriciteitsverbruik bepaald. De gebruikte database dekt meer dan 75% van het industriële aardgasverbruik dat in 2019 is opgenomen in de modelomgeving die ten grondslag lag aan het *Programma Energiesysteem*. Het verschil tussen beide datasets is te verklaren door het verschil in referentiejaar (2019 versus 2022), waarbij in de tussenliggende periode bedrijven zijn gesloten, productie is afgenomen of aardgasgebruik is gereduceerd; het meer geaggregeerde karakter van de modelomgeving van het Ontwerp Programma Energiesysteem, waarin ook gasverbruik is opgenomen onder categorieën zoals 'overig (o.a. industrie)'; het mogelijke ontbreken van individuele industriële partijen in de database.

Bedrijven zijn onderverdeeld in de sectoren met ieder een aangenomen aantal vollasturen per jaar: voedingsmiddelenindustrie (zoals Friesland Campina),

keramische industrie (zoals steenfabrieken op Brick Valley), Papierindustrie (zoals Smurfit Kappa Parenco), Asphaltbedrijven (zoals Asphalt Productie Tiel) en bedrijventerreinen, dit betreffen alle gecombineerde aansluitingen, onder andere kantoorgebouwen of kleinere maakindustrie. Zoals te zien in Figuur 37 zijn ook vollasturen per sector ingeschat, waarbij asphaltproductie typisch projectmatig wordt ingezet, en dus een zeer beperkt aantal vollasturen. Deze vollasturen zijn ook gebruikt om het benodigde thermische en elektrische vermogen af te leiden vanuit het jaarlijks energiegebruik.

	T < 100 °C	100 °C < T T < 300 °C	300 °C < T T < 650 °C	T > 650 °C
Elektrisch vermogen t.o.v. thermisch vermogen	33%	40%	100%	100%
<i>Percentage van warmtevraag:</i>				
Voedingsmiddelenindustrie (8000 vollasturen)	85%	15%	0%	0%
Keramische industrie (8000 vollasturen)	40%	0%	0%	60%
Papierindustrie (8000 vollasturen)	0%	100%	0%	0%
Asfaltproductie (1000 vollasturen)	0%	0%	100%	0%
Bedrijventerreinen (8000 vollasturen)	90%	10%	0%	0%

Figuur 37. Verdeling van warmtevraag naar temperatuur per sector

Elektrificatie van industriële warmtevraag

Naast de warmtevraag is ook de elektriciteitsvraag van industriële bedrijven in kaart gebracht. De elektriciteitsvraag in 2022 is bepaald op basis van dezelfde databronnen als de industriële warmtevraag. Voor de toekomstige situatie is de elektriciteitsvraag na volledige elektrificatie van industriële processen geschat met behulp van; de MIDDEN-rapporten van TNO en PBL. Hierbij is

³⁴ *CE Delft Typing en Verduurzaming Bedrijventerreinen*

³⁵ *Potentie energiebesparing bedrijventerreinen*

³⁶ *MIDDEN: Manufacturing Industry Decarbonisation Data Exchange Network | PBL Netherlands Environmental Assessment Agency*

rekening gehouden met de verwachte efficiëntie van elektrificatietechnieken, zoals warmtepompen en elektrische boilers (E-boilers).

De elektriciteitsvraag in 2022 fungeert in het onderzoek als **ondergrens**, terwijl de situatie na volledige elektrificatie wordt beschouwd als **bovengrens** voor de elektriciteitsvraag van de industrie richting 2050. 2050 is als richtjaar genomen, vanwege het lange termijn karakter van een SMR, de beschikbaarheid van prognoses en data van energiegebruik en de Gelderse ambitie om dan klimaatneutraal te zijn. Er is hierbij gebruik gemaakt van het Programma Energiesysteem, gepubliceerd door de Provincie Gelderland op 24 februari 2026.

Voor de analyse is per temperatuurniveau ingeschat hoeveel elektrisch vermogen benodigd is om thermisch vermogen te elektrificeren (zie Figuur 5 in het hoofdrapport). Daarbij is aangenomen dat in 2050 warmte op alle relevante temperatuurniveaus technisch kan worden geëlektrificeerd.

De volgende aannames zijn gehanteerd:

- **Lage temperatuurniveaus (< 100°C).** Elektrificatie vindt plaats met warmtepompen met een typische Coefficient of Performance (COP) van 3. Dit resulteert in een benodigd elektrisch vermogen van ongeveer 33% van het thermisch vermogen.
- **Middelhoge temperatuurniveaus (100°C tot 300°C).** In deze temperatuurrange wordt uitgegaan van een combinatie van warmtepompen (met een lagere COP dan bij lage temperaturen) en E-boilers. Hiervoor is gerekend met een gemiddelde COP van 2,5, wat overeenkomt met een benodigd elektrisch vermogen van ongeveer 40% van het thermisch vermogen.
- **Hoge temperatuurniveaus (300°C tot 650°C).** Voor de hoogste temperatuurniveaus wordt uitgegaan van warmtevoorziening via E-boilers (COP = 1) of directe elektrificatie zonder tussenkomst van een warmte dragend medium zoals water of stoom. Dit temperatuurniveau wordt in het onderzoek niet relevant geacht voor de toepassing van SMR's.