

Onderzoeksrapport

Structuur en dynamiek van de sleuteltechnologie Energy materials in Gelderland

In opdracht van:

The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen

Ede, november 2025

S. van der Hoef BBA

Prof. dr. ir. H. Kievit

Drs. N. Lambers-Jukema

Inhoudsopgave

1.	Inleiding.....	3
1.1	Aanleiding.....	3
1.2	Probleemstelling.....	3
1.3	Doelstelling.....	3
1.4	Vraagstelling.....	3
1.5	Werkwijze.....	4
1.6	Scope onderzoek.....	4
1.7	Leeswijzer.....	5
2.	Economische positie en ontwikkeling Energy Cluster in Gelderland.....	6
2.1	Energie en Milieutechnologie.....	6
2.2	Energy materials.....	11
3.	Sleuteltechnologie Energy materials.....	14
3.1	Ambities rondom Energy materials.....	14
3.2	Nationale Agenda Materialen.....	14
3.3	Doelen Klimaatakkoord.....	15
3.4	Doelen circulaire economie.....	15
3.5	Benodigde energiematerialen voor energietransitie.....	16
3.6	Raakvlakken met andere sleuteltechnologieën.....	17
3.7	Smart Multi Commodity Grids (SMCG's).....	18
4.	SWOT-analyse sleuteltechnologie Energy materials in Nederland en Gelderland.....	19
4.1	SWOT-analyse Energy materials op nationaal niveau.....	19
4.1.1	Elektriciteit.....	19
4.1.2	Waterstof.....	19
4.1.3	Warmte.....	20
4.2	SWOT-analyse Energy materials in Gelderland.....	20
4.2.1	Elektriciteit.....	20
4.2.2	Waterstof.....	22
4.2.3	Warmte.....	24
5.	Conclusies en aanbevelingen.....	25
5.1	Conclusies.....	25
5.2	Aanbevelingen.....	26
	Literatuurlijst.....	28
	Bijlage 1 – Lijst van contactpersonen onderzoek.....	32
	Bijlage 2 – Afbakening aandachtssector Energie en Milieutechnologie.....	33

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Minister Adriaansens van Economische Zaken en Klimaat heeft op 19 januari 2024 met de Nationale Technologiestrategie (NTS) tien technologieën gepresenteerd, die cruciaal zijn voor de Nederlandse economie, maatschappij en veiligheid. In de NTS wordt Energy materials als één van de tien prioriteiten genoemd, omdat deze prioritaire sleuteltechnologie een sterke basis in Nederland heeft, veel bijdraagt aan ons huidig en toekomstig verdienvermogen, het oplossen van maatschappelijke uitdagingen en het versterken van onze nationale veiligheid. Energy materials spelen een cruciale rol in de energietransitie en toepassingen van Energy materials dienen met name een maatschappelijk belang. Maar wanneer deze technologieën worden ingezet voor militaire toepassingen, kunnen energy materials ook leiden tot risico's voor de nationale veiligheid (Ministerie van Economische Zaken en Klimaat [EZK], 2024).

Eén van de zorgpunten van Europa en Nederland is de afhankelijkheid van Europa van grondstoffen en verwerkte materialen uit niet-EU-landen en de kwetsbaarheid die dat mogelijk betekent voor onze nationale en digitale veiligheid en onze economie. Deze zorg heeft op nationaal niveau eind 2022 geleid tot het opstellen van de Nationale Grondstoffen Strategie (NGS). Complementair aan de NGS is de Europese Critical Raw Materials Act opgesteld, die sinds april 2024 van kracht is (Bastein et al., 2024). Daarin zijn verschillende kwantitatieve doelstellingen opgenomen om de leveringszekerheid van kritieke grondstoffen richting 2030 te verhogen.

Marc Leeuw, projectmanager Energy bij Oost NL, vertegenwoordigt Oost-Nederland in de NTS (R. Van Droffelaar, persoonlijke mededeling, 6 maart 2025). Het netwerk van Think East Netherlands representeert Oost-Nederland in het nationale technologie- en innovatiebeleid en zorgt voor aansluiting op de Europese agenda en financieringsmogelijkheden (Dijkhuizen et al., 2024). Think East Netherlands en het Landsdeel Oost (Gelderland, Overijssel) hebben The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen gevraagd om de precieze scope te bepalen van de sleuteltechnologie Energy materials in het Landsdeel Oost, te beginnen bij de provincie Gelderland (J. Van Dellen, persoonlijke mededeling, 6 december 2024).

1.2 Probleemstelling

Om het belang van het Energy Cluster in Gelderland vast te kunnen stellen, en de sleuteltechnologie Energy materials daarbinnen, is inzicht nodig in de samenstelling en economische betekenis van dit cluster voor Gelderland en de ontwikkelingen die daarin zijn waar te nemen. Dit omvat het identificeren van de bedrijven die deel uitmaken van het Energy Cluster en vervolgens het filteren van bedrijven die passen binnen de sleuteltechnologie Energy materials. Dat inzicht ontbreekt op dit moment bij de opdrachtgever van dit onderzoek: The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen.

1.3 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is een cijfermatige onderbouwing van het aantal bedrijven in Gelderland dat deel uitmaakt van het Energy Cluster en het bepalen van de economische betekenis van de sleuteltechnologie Energy materials daarbinnen. Ook wordt bepaald welke raakvlakken en samenhang er is tussen de sleuteltechnologie Energy materials en andere relevante sleuteltechnologieën. De SWOT-analyse heeft tot doel om de karakteristieken van het transitiepad richting Energy materials inzichtelijk te maken.

1.4 Vraagstelling

Centrale onderzoeksvragen zijn:

1. Wat verstaan we onder Energy materials?
2. Onder welke classificatie van SBI codes (Standaard Bedrijfsindeling van CBS) vallen economische activiteiten met betrekking tot Energy materials?
3. Wat zijn relevante bedrijven in Gelderland die zich bezighouden met Energy materials, als onderdeel van het Energy Cluster?
4. Wat is het economische belang van het Energy Cluster, en van Energy materials daarbinnen, voor de Gelderse economie en welke ontwikkelingen zijn er in de afgelopen 10 jaar?
5. Welke andere relevante sleuteltechnologieën zijn er die raakvlakken hebben met de sleuteltechnologie Energy materials?
6. Welke Sterktes, Zwaktes, Kansen en Bedreigingen (SWOT) zijn er te identificeren voor de sleuteltechnologie Energy materials in Gelderland?

1.5 Werkwijze

Het onderzoek is uitgevoerd in nauwe afstemming tussen de onderzoekers van het Lectoraat Dienstbaar Organiseren van de Christelijke Hogeschool Ede (Henk Kievit, Noen Lambers-Jukema en Sanne van der Hoef) en de opdrachtgever van dit onderzoek (Jan van Dellen van The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen). Gedurende het onderzoek heeft veelvuldig overleg plaatsgevonden om richting te geven aan het proces en de voortgang gezamenlijk te bewaken. De benodigde kwantitatieve gegevens zijn opgevraagd bij het Bureau Economisch Onderzoek van de Provincie Gelderland. Om te waarborgen dat individuele gegevens niet zichtbaar of herleidbaar zijn, worden alle cijfers in het rapport afgerond op tientallen. Om de ontwikkeling van de regionale economie in kaart te brengen, worden vergelijkingscijfers over de afgelopen tien jaar (2013-2023) meegenomen. De volgende werkwijze is toegepast in de afbakening van de sleuteltechnologie Energy materials:

1. Economisch belang Energy Cluster

Allereerst is het Energy Cluster in kaart gebracht op basis van de afbakening van de aandachtssector Energie en Milieutechnologie (EMT), zoals gedefinieerd in de Provinciale Werkgelegenheidsenquête van de Provincie Gelderland. De afbakening van de EMT-sector op basis van SBI-codes¹ is opgenomen in Bijlage 2.

2. Identificeren relevante bedrijven Energy materials

Binnen de EMT-sector zijn vervolgens bedrijven geïdentificeerd die actief zijn op het gebied van Energy materials, op basis van de NTS-definitie (zie Hoofdstuk 2). Dit betreft bedrijven die zich bezighouden met materialen voor het efficiënt opvangen, opslaan, transporteren of omzetten van energie naar een andere vorm of energiedrager (EZK, 2024, p. 76). Om deze bedrijven te identificeren, is een webcrawl uitgevoerd op een bedrijvenbestand uit de EMT-sector, aangeleverd door de Provincie Gelderland. Hierbij is gezocht naar specifieke sleutelwoorden op bedrijfswebsites, zoals: “Batteries, Heat batteries, Electrochemical cells, Fuel cells, Flywheel, Solar fuels, Hydrogen storage and transport, Power to Hydrogen, Power to Gas, Power to Heat, Power to Chemicals, Wind to electricity, gas or hydrogen, Molten salt, Electrolysis, Carbon Capture materials, magneto- and electro-caloric materials, Phase change materials” (Van Bree et al., 2024, p. 14).

3. Validatie en verfijning

Ter validatie is het resultaat van de webcrawl vergeleken met de lijsten van bekende bedrijven in Gelderland, zoals aangedragen door de opdrachtgever en weergegeven in relevante onderzoeksrapporten. Waar nodig zijn extra bedrijven toegevoegd om de afbakening van Energy materials verder te verfijnen.

Naast kwantitatief onderzoek heeft er kwalitatief onderzoek plaatsgevonden. Er zijn een aantal vertegenwoordigers van het Energy Cluster in Oost-Nederland benaderd voor hun medewerking aan het onderzoek, zie Bijlage 1. Daarnaast is deskresearch verricht om te komen tot een SWOT-analyse van de sleuteltechnologie Energy materials in Gelderland.

1.6 Scope onderzoek

Dit rapport heeft niet de ambitie, noch de reikwijdte om de gehele sleuteltechnologie Energy materials als onderdeel van het Energy Cluster in de provincie Gelderland volledig te beschrijven. Bij de afbakening van het onderzoek spelen de volgende aspecten een rol:

- Dit onderzoek biedt een eerste verkenning van bedrijven in Gelderland die actief zijn binnen de sleuteltechnologie Energy materials. Het is mogelijk dat er meer bedrijven actief zijn binnen dit domein, die in dit onderzoek buiten beeld zijn gebleven. Daarvoor kunnen verschillende redenen zijn:
 - Het betreft kleine bedrijven (<5 werkzame personen) waarvan de bedrijfsnaam – vanwege privacywetgeving – niet beschikbaar was in de aangeleverde bestanden;
 - Ze zijn geregistreerd onder een andere SBI-code dan die binnen de afbakening Energie en Milieutechnologie, en vielen daardoor buiten het kader van dit onderzoek;
 - Er is onvoldoende (online) informatie beschikbaar om hun betrokkenheid bij *Energy materials* automatisch te herkennen, bijvoorbeeld door beperkte webaanwezigheid.

¹ In het gebruik van SBI-codes zit ook een disclaimer. De hoofd-SBI-code geeft aan wat de hoofdactiviteit van een bedrijf is. Veel bedrijven hebben zich jaren geleden ingeschreven bij de Kamer van Koophandel met één hoofdactiviteit en maximaal twee nevenactiviteiten. Voor sommige bedrijven is deze registratie in het Handelsregister inmiddels niet meer actueel, bijvoorbeeld omdat een nevenactiviteit intussen de hoofdactiviteit is geworden. Deze wijziging is echter niet altijd doorgegeven aan het Handelsregister (Company Info, 2025).

- Er vindt een afbakening plaats in de toepassing van Energy materials voor de energietransitie. De energietransitie leidt tot een wereldwijde vraagverschuiving van fossiele grondstoffen zoals kolen, olie en gas, naar kritieke grondstoffen zoals lithium, kobalt en zeldzame aardmetalen (Den Haag Centrum voor Strategische Studies, 2022). Deze grondstoffen zijn essentieel voor de huidige gecommercialiseerde Energy materials, maar hun winning veroorzaakt problemen voor bijvoorbeeld lokale gemeenschappen, biodiversiteit en ecologieën. Ook zijn er strategische risico's, omdat sommige van deze materialen in een beperkt aantal landen worden verwerkt, waar Nederland veranderlijke diplomatieke betrekkingen mee heeft. Om deze redenen is er een grote noodzaak om alternatieven te ontwikkelen die duurzamer zijn en minder afhankelijk van kritieke grondstoffen (EZK, 2024).
- De provincies Gelderland en Overijssel vormen samen de regio Oost-Nederland. Er wordt in dit rapport veelal gesproken over de regio Oost-Nederland, maar de afbakening van bedrijven met betrekking tot de sleuteltechnologie Energy materials heeft, op verzoek van de opdrachtgever, betrekking op enkel de provincie Gelderland.

1.7 Leeswijzer

In dit rapport benoemen we allereerst in Hoofdstuk 2 de economische positie en ontwikkeling van het Energy Cluster in Gelderland, en de sleuteltechnologie Energy materials daarbinnen. Ook wordt in dit hoofdstuk een definiëring van de sleuteltechnologie Energy materials gegeven. Daarna zijn in Hoofdstuk 3 de ambities en het belang van deze sleuteltechnologie weergegeven en de verhouding tot andere relevante sleuteltechnologieën. In Hoofdstuk 4 worden de Sterktes, Zwaktes, Kansen en Bedreigingen (SWOT) geïdentificeerd voor de sleuteltechnologie Energy materials, zowel op nationaal niveau als voor de provincie Gelderland. Tenslotte zijn in Hoofdstuk 5 de conclusies van het onderzoek opgenomen, evenals aanbevelingen voor de praktijk en voor mogelijk vervolgonderzoek.

2. Economische positie en ontwikkeling Energy Cluster in Gelderland

In dit hoofdstuk wordt de economische positie en ontwikkeling van het Energy Cluster in de provincie Gelderland beschreven voor de periode 2013-2023, met speciale aandacht voor de sleuteltechnologie Energy materials. Het Energy Cluster kan op verschillende manieren worden afgebakend. In dit rapport wordt de indeling gebruikt van de aandachtssector Energie en Milieutechnologie, zoals gedefinieerd in de Provinciale Werkgelegenheidsenquête (PWE) van de Provincie Gelderland. Om het economisch belang van het Energy Cluster te duiden, worden verschillende indicatoren in kaart gebracht, waaronder het aantal banen, het aantal vestigingen, de grootteklasse en de toegevoegde waarde. Vervolgens wordt ingezoomd op bedrijven binnen het Energy Cluster die actief zijn in Energy materials, om zo de economische positie van deze sleuteltechnologie binnen de regionale economie te kunnen duiden.

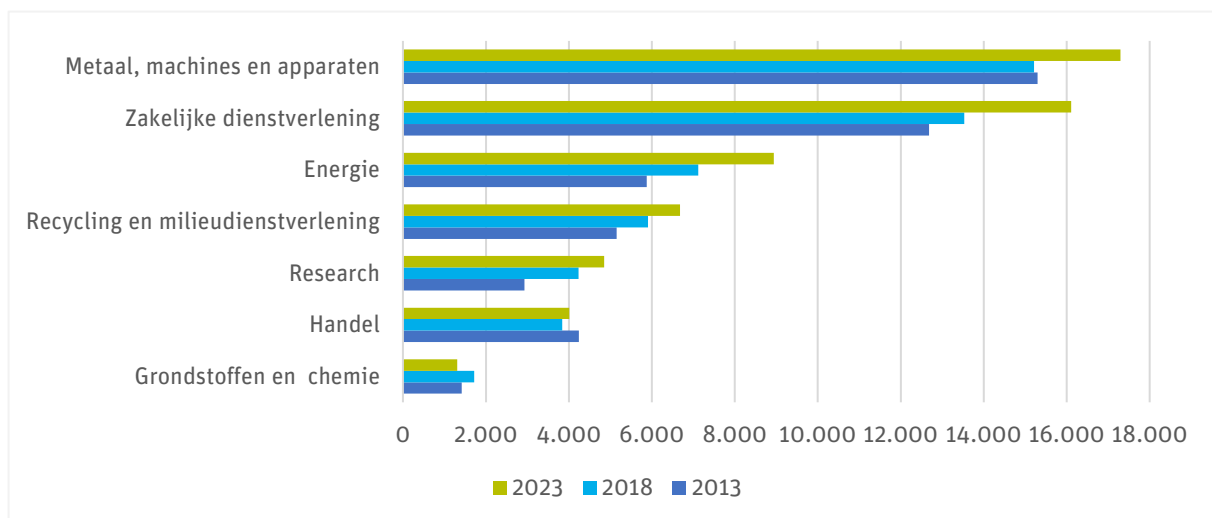
2.1 Energie en Milieutechnologie

In de Provinciale Werkgelegenheidsenquête (PWE)² van de Provincie Gelderland wordt, naast standaardsectoren zoals landbouw, industrie en gezondheidszorg, onderscheid gemaakt in aandachtssectoren. Dit zijn clusters van bedrijven die bestaan uit een combinatie van bedrijven in verschillende deelsectoren, waarvoor gegevens uit standaardstatistieken vaak niet toereikend zijn. Een van deze aandachtssectoren is Energie en Milieutechnologie (EMT)³. Deze sector bestaat uit een ketenoverstijgend cluster van bedrijven die actief zijn in de productie, distributie, toepassing en verwerking van energie- en milieutechnologische producten en diensten. Het betreft bedrijven die bijdragen aan de winning, productie, opslag, distributie en toepassing van energie; de vervaardiging van componenten, installaties en systemen voor energie- en milieutoepassingen; de verwerking en behandeling van afval- en reststromen; en de handel en advisering binnen deze keten(s). De EMT-sector bestaat uit zeven onderdelen:

1. **Grondstoffen en chemie** (bijv. productie van industriële gassen, petrochemische producten);
2. **Metaal, machines en apparaten** (bijv. productie van turbines, generatoren, batterijen, meetapparatuur);
3. **Energie** (bijv. elektriciteitsproductie uit fossiele of hernieuwbare bronnen, exploitatie van netwerken);
4. **Recycling en milieudienstverlening** (bijv. afvalinzameling, waterzuivering, recycling);
5. **Groothandel** (bijv. brandstoffen, elektronische apparatuur);
6. **Research** (bijv. technisch en biotechnologisch speur- en ontwikkelingswerk);
7. **Zakelijke dienstverlening** (bijv. ingenieursbureaus, technisch advies).

2.1.1 Werkgelegenheid

In 2023 telde de provincie Gelderland in totaal 1.123.240 banen. De Energie en Milieutechnologiesector is een belangrijke sector voor de werkgelegenheid, met 59.270 banen en een aandeel van 5,3% in de totale werkgelegenheid. Bijna 30% van deze banen is te vinden in de deelsector metaal, machines en apparaten met 17.300 banen. Een groot deel van deze banen is toe te schrijven aan de vervaardiging van elektronische componenten, meet-, regel-, navigatie- en controleapparatuur en installaties van machines. Daarna volgt de zakelijke dienstverlening als belangrijke werkgever in de EMT-sector met ruim 16.000 banen bij ingenieurs- en technisch ontwerpbedrijven.

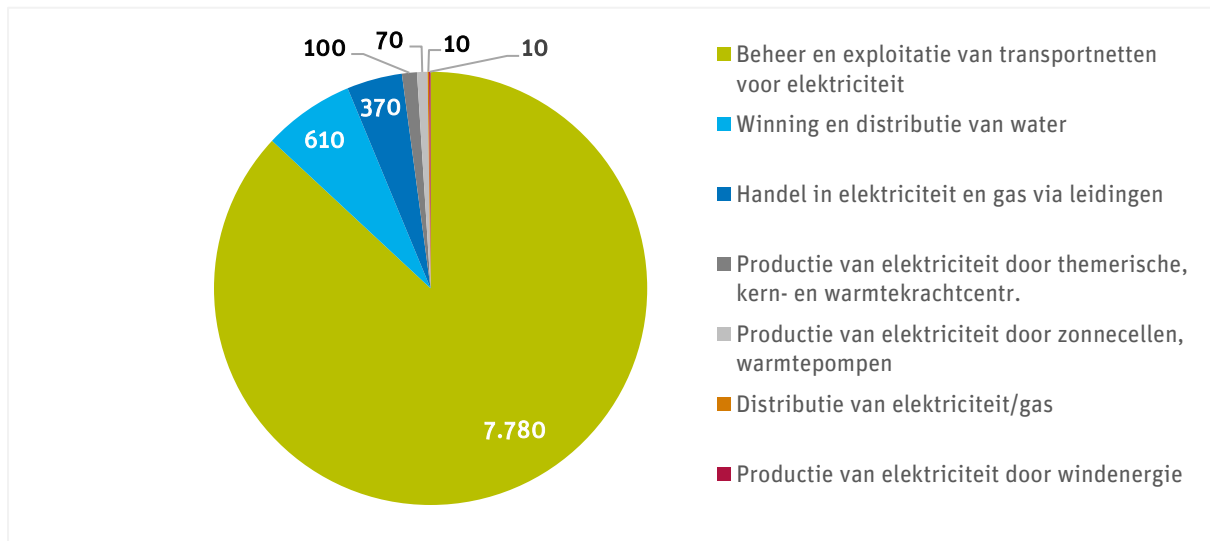


Figuur 1 Banen per deelsector Energie en Milieutechnologie Provincie Gelderland 2023 (Bron: PWE-Gelderland 2023)

² Het Provinciaal Werkgelegenheidsonderzoek (PWE) is een jaarlijks onderzoek naar de werkgelegenheid in Gelderland, uitgevoerd door de provincie in samenwerking met de gemeenten.

³ In Bijlage 2 is een overzicht opgenomen van de afbakening van de aandachtssector Energie en Milieutechnologie.

Op enige afstand volgt de deelsector energie, met 8.940 banen; hiervan bestaat 87% (7.780 banen) uit werkgelegenheid in het beheer en de exploitatie van transportnetten voor elektriciteit, en 7% (610 banen) uit winning en distributie van water. De deelsectoren recycling en milieudienstverlening, groothandel en research volgen met respectievelijk 6.680, 4.850 en 4.010 banen. De deelsector grondstoffen en chemie heeft met 1.310 banen een meer bescheiden aandeel binnen de EMT-sector van de provincie Gelderland.



Figuur 2 Verdeling banen deelsector Energie, Provincie Gelderland 2023 (Bron: PWE-Gelderland 2023)

Ontwikkeling 2013-2023

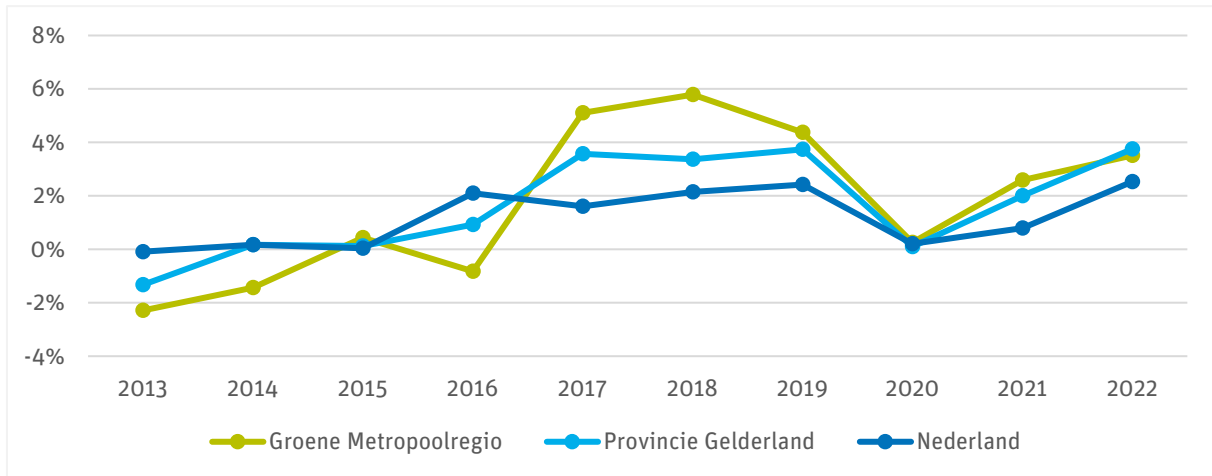
Tussen 2013 en 2023 is de werkgelegenheid in de Energie en Milieutechnologie toegenomen met 11.670 banen, een toename van 24,5%. Daarmee lag de banengroei in de EMT-sector hoger dan de gemiddelde banengroei in de provincie van 14,2%. Deze groei is voor een groot deel toe te schrijven aan de deelsectoren zakelijke dienstverlening en energie, met een absolute groei van respectievelijk 3.430 en 3.060 banen. Opvallend is dat het aantal banen in de deelsector energie harder groeide dan in metaal, machines en apparaten, terwijl deze deelsector een dubbel zo groot aandeel heeft in de werkgelegenheid van de provincie. De forse groei in de energiesector komt vooral door de toename van banen in het beheer en de exploitatie van transportnetten voor elektriciteit, en in bescheiden mate door de winning en distributie van water en de productie van elektriciteit door thermische, kern- en warmtekrachtcentrales. Aan de andere kant was er sprake van banenverlies in de distributie van elektriciteit en gas, de handel in elektriciteit en gas via leidingen, en de productie van elektriciteit door zonnecellen en warmtepompen.

De deelsectoren metaal, machines en apparaten en research volgen met respectievelijk 2.000 en 1.920 nieuwe banen tussen 2013 en 2023. Dit is opvallend, omdat de deelsector metaal, machines en apparaten een aanzienlijk groter aandeel heeft in omvang ten opzichte van research. De deelsector research kende dan ook met een groei van 65,5% de grootste relatieve groei binnen de EMT-sector, met name door een sterke toename van werkgelegenheid in speur- en ontwikkelingswerk. Door deze sterke groei is de deelsector research nu groter dan de groothandel, die in 2013 nog een groter aandeel in de werkgelegenheid had. Er zijn echter ook deelsectoren waar de werkgelegenheid is afgenomen. In de groothandel verdwenen de afgelopen tien jaar 230 banen en in grondstoffen en chemie 110 banen.

	Omvang 2013	Omvang 2023	Groei abs. 2013-2023	Groei in % 2013-2023	Aandeel sector 2023
Energie en Milieutechnologie	47.600	59.270	11.670	24,5%	5,3%
w.v. Grondstoffen en chemie	1.420	1.310	-110	-7,7%	2,2%
w.v. Metaal, machines en apparaten	15.300	17.300	2.000	13,1%	29,2%
w.v. Energie	5.880	8.940	3.060	52,0%	15,1%
w.v. Recycling en milieudienstverlening	5.150	6.680	1.530	29,7%	11,3%
w.v. Groothandel	4.240	4.010	-230	-5,4%	6,8%
w.v. Research	2.930	4.850	1.920	65,5%	8,2%
w.v. Zakelijke dienstverlening	12.680	16.110	3.430	27,1%	27,2%
T.o.v. totaal Provincie Gelderland	983.190	1.123.240	140.050	14,2%	100%

Tabel 1 Ontwikkeling werkgelegenheid EMT-sector 2013-2023 Provincie Gelderland (Bron: PWE-Gelderland 2023)

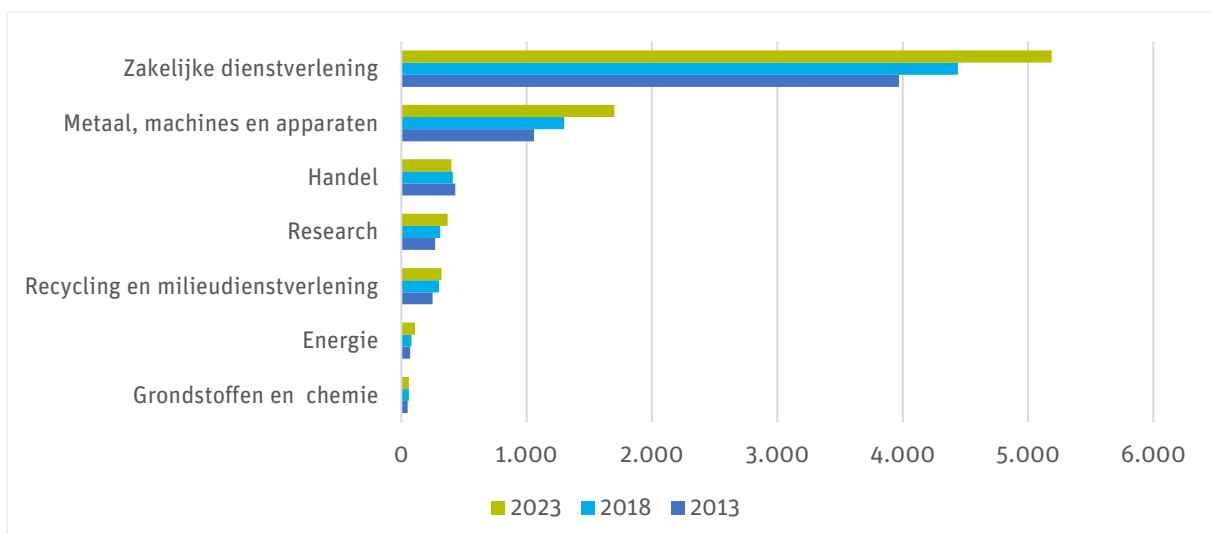
In de periode 2012–2015 werden de meeste regio's, als gevolg van de kredietcrisis, geconfronteerd met een fors banenverlies. Dit is ook zichtbaar in de ontwikkeling van de werkgelegenheid in de EMT-sector. Na een periode van trage groei en recessie stegen vanaf 2015 de investeringen van bedrijven, groeide de export, nam de consumptie van huishoudens toe en trok de woningmarkt sterk aan. In de jaren voor en na de coronapandemie was de banengroei in de EMT-sector in de provincie Gelderland en de Groene Metropoolregio bovendien hoger dan het landelijke gemiddelde.



Figuur 3 Groei aantal banen EMT-sector Groene Metropoolregio, Provincie Gelderland en Nederland t.o.v. voorgaande periode 2013-2022 (Bron: PWE-Gelderland 2023/LISA 2023)

2.1.2 Vestigingen

In 2023 telde de provincie Gelderland in totaal 224.920 vestigingen⁴, die gezamenlijk zorgen voor 1.123.240 banen. Daarbinnen is de aandachtssector Energie en Milieutechnologie goed voor 8.160 vestigingen, een aandeel van 3,6% van het totaal aantal vestigingen in de provincie. Ruim 60% van deze vestigingen is te vinden in de deelsector zakelijke dienstverlening, met 5.190 vestigingen. Dit betreft vooral ingenieurs- en overig technisch ontwerp- en adviesbedrijven. Daarna volgt de deelsector metaal, machines en apparaten als belangrijke speler, met 1.700 vestigingen. Veel bedrijven in deze deelsector zijn actief in de reparatie en het onderhoud van machines en de installatie van elektrische apparatuur. Op enige afstand volgen de deelsectoren groothandel, research en recycling en milieudienstverlening, met respectievelijk 400, 370 en 320 vestigingen. Hoewel de energiesector een belangrijke werkgever is binnen de EMT-sector, is deze deelsector met 110 vestigingen geen grote speler op het gebied van vestigingen in Gelderland. Dit wijst erop dat deze sector relatief veel banen per vestiging biedt. De deelsector grondstoffen en chemie heeft met 60 vestigingen het kleinste aandeel vestigingen binnen de EMT-sector van de provincie Gelderland. Dit beeld komt overeen met het bescheiden aandeel in de totale werkgelegenheid.



Figuur 4 Vestigingen per deelsector Energie en Milieutechnologie Provincie Gelderland 2023 (Bron: PWE-Gelderland 2023)

⁴ Een vestiging is elke locatie waar of van waaruit betaalde arbeid wordt verricht. Indien op een locatie meerdere activiteiten worden uitgevoerd van verschillende aard (andere SBI-code) kunnen meerdere vestigingen op 1 locatie worden opgenomen.

Ontwikkeling 2013-2023

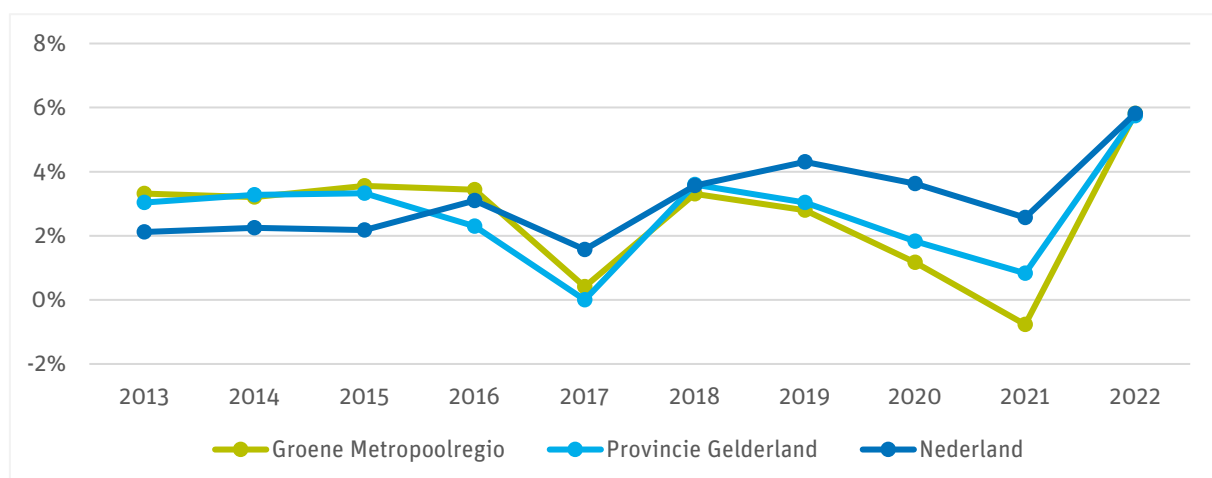
Tussen 2013 en 2023 is het aantal vestigingen in de Energie en Milieutechnologie toegenomen met 2.050, een groei van 33,6%. Daarmee bleef de groei van het aantal vestigingen in de EMT-sector achter bij de gemiddelde vestigingengroei in de provincie, die 40,4% bedroeg. Deze groei is voor een groot deel toe te schrijven aan de deelsector zakelijke dienstverlening, met een absolute toename van 1.220 vestigingen in ingenieurs- en technisch ontwerp- en adviesbedrijven. Ook de deelsector metaal, machines en apparaten heeft zich sterk ontwikkeld, met 640 nieuwe vestigingen en de sterkste relatieve groei van 60%. De deelsectoren research en recycling en milieudienstverlening volgen met respectievelijk 100 en 70 nieuwe vestigingen tussen 2013 en 2023. Hoewel de energiesector geen grote deelsector is voor vestigingen, kende deze deelsector een bovengemiddelde groei van 57%.

Ondanks dat de werkgelegenheid in grondstoffen en chemie tussen 2013 en 2023 afnam, bleef het aantal vestigingen stabiel, met een toename van 10 vestigingen. De groei in deze deelsector bleef echter wel achter bij de gemiddelde groei van de EMT-sector. In de groothandel verdwenen de afgelopen tien jaar 30 vestigingen, wat overeenkomt met de daling in werkgelegenheid. Dit verlies deed zich vooral voor bij bedrijven in handelsbemiddeling in brandstoffen, ertsen, metalen en dergelijke, en bij de groothandel in elektronische en telecommunicatieapparatuur.

	Omvang 2013	Omvang 2023	Groei abs. 2013-2023	Groei in % 2013-2023	Aandeel sector 2023
Energie en Milieutechnologie	6.110	8.160	2.050	33,6%	3,6%
w.v. Grondstoffen en chemie	50	60	10	20,0%	0,7%
w.v. Metaal, machines en apparaten	1.060	1.700	640	60,4%	20,9%
w.v. Energie	70	110	40	57,1%	1,3%
w.v. Recycling en milieudienstverlening	250	320	70	28,0%	3,9%
w.v. Groothandel	430	400	-30	-7,0%	4,9%
w.v. Research	270	370	100	37,0%	4,5%
w.v. Zakelijke dienstverlening	3.970	5.190	1.220	30,7%	63,7%
T.o.v. totaal Provincie Gelderland	160.190	224.920	64.730	40,4%	100%

Tabel 2 Ontwikkeling vestigingen EMT-sector 2013-2023 Provincie Gelderland (Bron: PWE-Gelderland 2023)

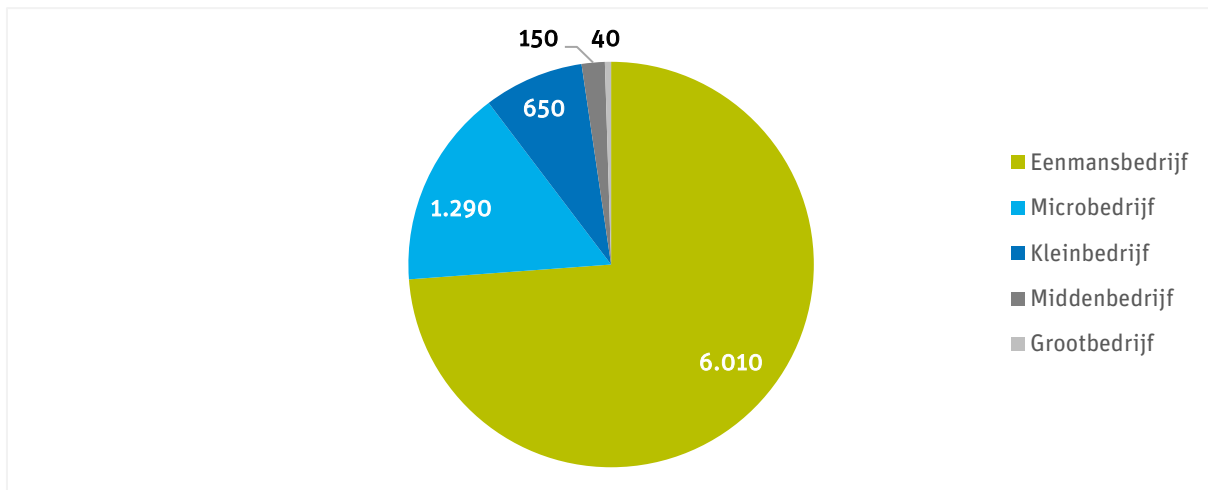
Tussen 2013 en 2015 groeide het aantal vestigingen in de EMT-sector in zowel de provincie Gelderland als in de Groene Metropoolregio harder dan landelijk. In de periode 2016–2017 was sprake van een duidelijke terugval, waarbij de groei tijdelijk tot stilstand kwam. Vanaf 2018 zette een krachtig herstel in en nam het aantal vestigingen weer toe. Sindsdien lag de groei van het aantal vestigingen in de EMT-sector landelijk hoger dan in Gelderland en de Groene Metropoolregio. Door de coronapandemie vertraagde de groei tussen 2020 en 2021. In de Groene Metropoolregio was er zelfs sprake van een daling van 0,8%, terwijl het aantal vestigingen in de EMT-sector landelijk juist groeide met 2,6%. In 2022 versnelde de groei opnieuw fors met een opvallend sterke toename van het aantal vestigingen.



Figuur 5 Groei aantal vestigingen EMT-sector Groene Metropoolregio, Provincie Gelderland en Nederland t.o.v. voorgaande periode 2013-2022 (Bron: PWE-Gelderland 2023/LISA 2023)

2.1.3 Grootteklasse

De vestigingen binnen de Gelderse EMT-sector kunnen op basis van hun grootte in verschillende categorieën worden ingedeeld⁵. Binnen het midden- en kleinbedrijf (mkb) wordt onderscheid gemaakt tussen zzp'ers (1 werkzaam persoon), microbedrijven (2-9 werkzame personen), kleinbedrijven (10-49 werkzame personen) en middenbedrijven (50-249 werkzame personen). Bedrijven met meer dan 250 werkzame personen behoren tot het grootbedrijf (Nederlands Comité voor Ondernemerschap, 2023)⁶. De grootteklasse wordt vastgesteld aan de hand van het aantal mensen dat 12 uur of meer per week werkzaam is⁷. De vestigingen in de Gelderse EMT-sector zijn als volgt te verdelen:



Figuur 6 Grootteklasse vestigingen met banen >12 uur EMT-sector provincie Gelderland 2023 (Bron: PWE-Gelderland 2023)

Het is belangrijk te vermelden dat er verschillende definities van het mkb bestaan. Vaak wordt het mkb gedefinieerd als alle vestigingen met minder dan 250 werknemers. Op basis van deze definitie behoort het overgrote deel van de vestigingen in de Gelderse EMT-sector (99,5%) tot het mkb. Deze vestigingen zijn goed voor 64% van de werkgelegenheid binnen de EMT-sector. Het mkb in de Gelderse EMT-sector bestaat uit ruim 6.000 eenmansbedrijven, gevolgd door 1.290 microbedrijven. Kleinbedrijven en middenbedrijven nemen met respectievelijk 650 en 150 vestigingen een kleiner aandeel binnen het mkb in. Slechts 40 vestigingen in de Gelderse EMT-sector vallen buiten het mkb en behoren tot het grootbedrijf. Het grootbedrijf omvat 34% van de werkgelegenheid in de EMT-sector. Ter vergelijking: gemiddeld in de provincie Gelderland bestaat het mkb uit 99,8% van alle bedrijven, goed voor 78,4% van de totale werkgelegenheid (Provincie Gelderland, 2023). Dit betekent dat het grootbedrijf in de EMT-sector relatief meer werkgelegenheid biedt dan gemiddeld in de provincie.

2.1.4 Toegevoegde waarde

De toegevoegde waarde (TGW) is een maatstaf voor het meten van de economische groei in een land, regio of gemeente. De TGW geeft de waarde weer die aan een product of dienst wordt toegevoegd tijdens de productie binnen een bepaald bedrijf. In 2022 omvatte de EMT-sector van de provincie Gelderland een bruto TGW van 5,25 miljard euro, wat 7,2% is van de totale bruto TGW van de provincie. De totale bruto TGW van de provincie Gelderland in 2022 was 72,65 miljard euro.

Binnen de Gelderse EMT-sector is de recycling- en milieudienstverlening de grootste deelsector, met een bruto TGW van 1,6 miljard euro in 2022. Dit vertegenwoordigt bijna een derde van de totale bruto TGW van de EMT-sector. Op een vergelijkbaar niveau volgt de deelsector metaal, machines en apparaten, met een bruto TGW van 1,57 miljard euro en een aandeel van 30% van de totale bruto TGW van de EMT-sector. Ook de energiesector is een belangrijke deelsector voor de toegevoegde waarde, met een TGW van 1,27 miljard euro (24,3%).

⁵ Als een onderneming meerdere vestigingen heeft, worden de werknemers over deze vestigingen verdeeld. Dit kan ertoe leiden dat de vestigingen in een kleinere grootteklasse vallen dan de totale onderneming.

⁶ De in dit rapport gepresenteerde gegevens over het mkb en grootbedrijf in de provincie Gelderland hanteren een grens van 200 werkzame personen, vanwege de afbakening van de grootteklassen in de Provinciale Werkgelegenheidsenquête (PWE). Normaliter wordt de grens tussen het mkb en grootbedrijf getrokken bij 250 werkzame personen.

⁷ Het kan daardoor voorkomen dat een bedrijf, waar veel meer mensen werken (minder dan 12 uur) toch in een lage grootteklasse valt.

Ondanks dat de deelsector grondstoffen en chemie klein is wat betreft werkgelegenheid en vestigingen, speelt deze een belangrijke rol in de toegevoegde waarde. In 2022 had deze deelsector een bruto TGW van 0,30 miljard euro, goed voor een aandeel van 5,7% van de totale TGW van de Gelderse EMT-sector. De groothandel volgt daarna met een bruto TGW van 0,27 miljard euro (5,2%), en research met een bruto TGW van 0,19 miljard euro (3,7%). Hoewel de zakelijke dienstverlening een belangrijke werkgever is binnen de EMT-sector, heeft deze een relatief klein aandeel in de toegevoegde waarde. Het is de kleinste deelsector qua toegevoegde waarde, met een TGW van 36,5 miljoen euro, wat 0,7% van de totale TGW van de EMT-sector in de provincie Gelderland vertegenwoordigt.

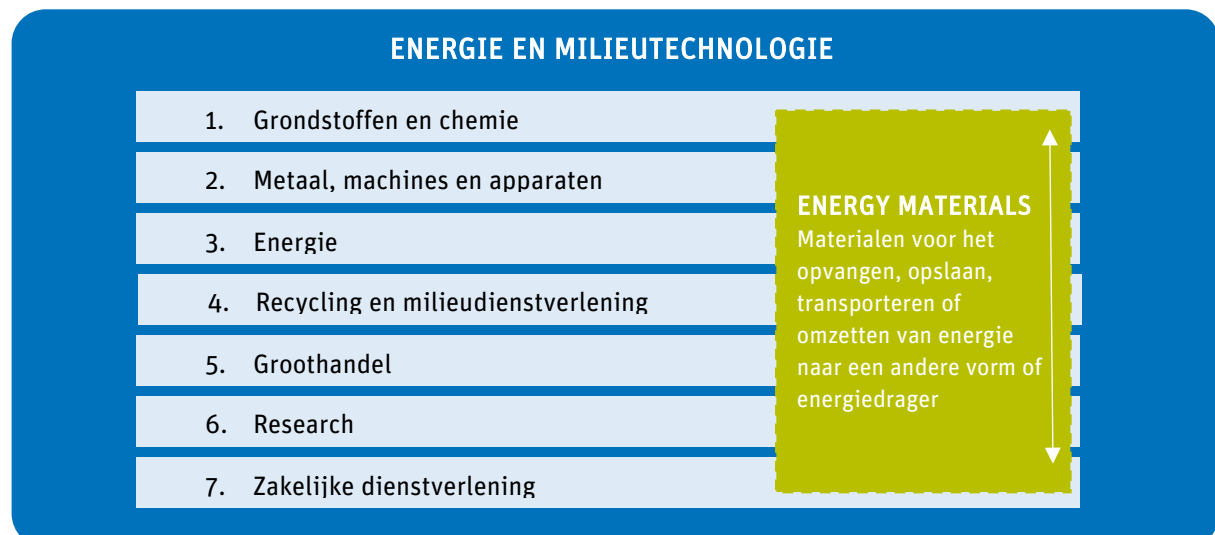
	Bruto TGW (x € miljoen)	% TGW EMT-sector	% TGW totale economie
Grondstoffen en chemie	301,1	5,7%	0,4%
Metaal, machines en apparaten	1.570,1	29,9%	2,2%
Energie	1.273,8	24,3%	1,8%
Recycling en milieudienstverlening	1.604,1	30,5%	2,2%
Groothandel	272,1	5,2%	0,4%
Research	194,2	3,7%	0,3%
Zakelijke dienstverlening	36,5	0,7%	0,1%
Totaal Energie en Milieutechnologie	5.251,9	100%	7,2%

Tabel 3 Bruto Toegevoegde Waarde EMT-sector 2022 constante prijs Provincie Gelderland (Bron: PWE-Gelderland 2023)

2.2 Energy materials

Binnen de aandachtssector Energie en Milieutechnologie kan worden ingezoomd op de sleuteltechnologie Energy materials. Voor de definitie van Energy materials wordt aangesloten bij de omschrijving uit de Nationale Technologiestrategie: “Energy materials betreft de materialen die het mogelijk maken om (duurzame) energie efficiënt op te vangen, op te slaan, te transporteren en om te zetten naar een andere vorm of energiedrager (EZK, 2024, pag. 76)”. Energy materials spelen een essentiële rol in opslag- en conversiesystemen en dragen daarmee bij aan de energie- en klimaattransitie, bijvoorbeeld in windmolens, batterijen en elektrolyzers. In de NTS worden drie ketens uit het Nationaal Plan Energiesysteem als uitgangspunt genomen: elektriciteit, waterstof en warmte⁸. De focus van de NTS ligt daarmee op de toepassing van Energy materials, vooral in het kader van de energietransitie.

In dit rapport vormen de SBI-codes van de EMT-sector het kader en het startpunt voor de afbakening van Energy materials. Niet alle bedrijven binnen de EMT-sector zijn echter actief in Energy materials. Omdat dit niet direct uit de SBI-codes valt af te leiden, is aanvullend onderzoek nodig om binnen de zeven subsectoren te bepalen welke bedrijven zich daadwerkelijk met Energy materials bezighouden.



Figuur 7 Schematische weergave Energie en Milieutechnologie en Energy materials zoals in dit rapport gehanteerd

⁸ De koolstofketen komt grotendeels al aan bod in de NTS agenda ‘Process technology including intensification’ en wordt daarom niet verder behandeld in de agenda van Energy materials (EZK, 2024).

2.2.1 Selectie relevante bedrijven Energy materials

Om bedrijven binnen de sleuteltechnologie Energy materials te identificeren, is een geautomatiseerde webanalyse uitgevoerd. Hiervoor is gebruikgemaakt van een bestand met vestigingen die op basis van hun SBI-code tot de EMT-sector behoren. Het bestand is opgevraagd bij het Bureau Economisch Onderzoek van de Provincie Gelderland en bevat gegevens van vestigingen die in 2023 ingeschreven waren. De analyse is uitgevoerd met behulp van een AI-ondersteunde webcrawl, waarbij gericht is gezocht naar specifieke zoekwoorden op bedrijfswebsites (Herrewijnen & Jutte, 2022). Onderzoekers van de Christelijke Hogeschool Ede (CHE) ontwikkelden hiervoor een zoekprompt, die zij toepasten met behulp van de AI-tool ChatGPT en Python-scripting. Op deze manier zijn ruim 1.200 bedrijfswebsites gestructureerd geanalyseerd op de aanwezigheid van termen die wijzen op betrokkenheid bij Energy materials. De gebruikte zoekwoorden – inclusief Nederlandse vertalingen en synoniemen – zijn gebaseerd op onderzoek van TNO en vormen een praktische vertaling van de eerdergenoemde definitie van Energy materials uit de Nationale Technologiestrategie (Van Bree et al., 2024). De gehanteerde termen zijn:

Batteries	Power to Hydrogen	Wind to electricity, gas or hydrogen
Heat batteries	Power to Gas	Molten salt
Electrochemical cells	Power to Heat	Electrolysis
Fuel cells	Power to Chemicals	Carbon Capture materials
Flywheel	Solar fuels	Magneto- and electro-caloric materials
Hydrogen storage and transport	Phase change materials	

Tabel 4 Overzicht zoekwoorden sleuteltechnologie Energy materials (Van Bree et al., 2024, p. 14).

Per bedrijf is vervolgens beoordeeld of er sprake is van aantoonbare betrokkenheid bij één of meerdere van deze thema's. Wanneer een zoekwoord-match werd gevonden, volgde een handmatige controle van de website op inhoudelijke relevantie. Alleen als de gevonden informatie wees op daadwerkelijke activiteiten binnen het domein van Energy materials, werd het label 'ja' toegekend. Daarnaast heeft de opdrachtgever aanvullend een aantal bedrijven aangedragen om de afbakening van Energy materials verder te verfijnen.

2.2.2 Kanttekeningen bij selectie

- De selectie is uitgevoerd op basis van een bestand met in totaal 8.140 vestigingen binnen de EMT-sector in de provincie Gelderland. Van deze vestigingen zijn er 1.240 geanalyseerd op betrokkenheid bij Energy materials. Dit betreft vestigingen met ten minste vijf werkzame personen. Bedrijven met minder dan vijf medewerkers zijn buiten beschouwing gelaten, omdat deze gegevens – vanwege privacywetgeving⁹ – niet zijn verstrekt. De selectie, zoals gehanteerd in dit rapport, vormt daarmee een eerste verkenning; het daadwerkelijke aantal vestigingen dat actief is in Energy materials kan hoger liggen.
- Daarnaast is het mogelijk dat er vestigingen actief zijn in deze sleuteltechnologie, maar ingeschreven staan onder SBI-codes die buiten de EMT-sector vallen. Daardoor vallen zij buiten de scope van dit onderzoek. Dit is deels ondervangen doordat de opdrachtgever een aantal vestigingen heeft aangedragen waarvan bekend is dat zij actief zijn in Energy materials, maar die op basis van hun SBI-code buiten de EMT-sector vallen.
- Verder kent de gebruikte selectiemethode beperkingen. De webcrawl is gebaseerd op publiekelijk beschikbare informatie op bedrijfswebsites. Wanneer een bedrijf wel actief is in Energy materials, maar dit niet expliciet online vermeldt, blijft het buiten beeld. Het werkelijke aantal betrokken bedrijven kan in werkelijkheid dus hoger liggen dan in deze selectie wordt weergegeven.

2.2.3 Vestigingen

Op basis van een webcrawl zijn 120 vestigingen geïdentificeerd in de provincie Gelderland waarin een duidelijke zoekwoordmatch werd gevonden met activiteiten binnen de sleuteltechnologie Energy materials. Daarnaast heeft de opdrachtgever 30 relevante vestigingen toegevoegd die als actief binnen dit domein worden beschouwd. In totaal zijn daarmee 150 vestigingen geïdentificeerd die betrokken zijn bij de sleuteltechnologie Energy materials.

Technologische focusgebieden

De analyse van deze vestigingen toont een breed palet aan technologische focusgebieden en toepassingsrichtingen. Veruit de meeste vestigingen houden zich bezig met batterijtechnologie – het meest dominante thema binnen de dataset. Deze activiteiten variëren van de ontwikkeling en het testen van nieuwe batterijoplossingen, tot de productie van batterijcomponenten en systemen, en de integratie van batterijopslag in bredere energie-infrastructuren. Dit wijst op een goed vertegenwoordigd en diverse waardeketen voor batterijopslag binnen de provincie.

⁹ In bedrijfsnamen van kleinere ondernemingen kunnen persoonsnamen voorkomen.

Daarnaast zijn waterstoftechnologieën stevig vertegenwoordigd, met toepassingen gericht op zowel opslag en transport van waterstof als elektrolyse – de omzetting van duurzame elektriciteit in waterstof. Meerdere vestigingen richten zich op toepassingen binnen power-to-hydrogen, vaak in combinatie met hernieuwbare bronnen zoals wind en zon. Dit bevestigt het belang van waterstof als strategische energiedrager in het ecosysteem.

Ook conversietechnologieën zijn zichtbaar in de dataset. Het gaat hierbij om technologieën als power-to-heat, power-to-gas en power-to-chemicals, die verschillende energiedragers en sectoren met elkaar verbinden. Deze koppelingen zijn cruciaal voor de flexibilisering van het energiesysteem en het benutten van overschotten uit hernieuwbare energieopwekking. Daarnaast is er een relevante groep bedrijven die zich richt op geavanceerde materialen en elektrochemische processen, zoals brandstofcellen, elektrochemische cellen en faseveranderingsmaterialen. Deze specialisaties wijzen op een verdere verdieping van het ecosysteem richting materiaalkennis, systeeminnovatie en hoogwaardige niche-toepassingen. Tot slot zijn enkele bedrijven gesignaleerd die zich focussen op innovatieve of alternatieve opslagvormen, zoals vliegwielt technologie en thermische opslag (bijvoorbeeld via heat batteries). Hoewel minder frequent, kunnen dit belangrijke bouwstenen zijn voor specifieke systeemdiensten of marktniches.

Actoren in de keten

De diversiteit aan technologische toepassingen in de dataset gaat gepaard met een even diverse groep betrokken bedrijven. De geselecteerde vestigingen beslaan een breed spectrum van actoren binnen de keten: van technologieontwikkelaars en gespecialiseerde toeleveranciers tot adviesbureaus, systeemintegratoren en netbeheerders. Waar kleine en middelgrote bedrijven vaak een rol spelen in de ontwikkeling, engineering en het testen van innovatieve oplossingen, zijn grotere partijen betrokken bij de implementatie en opschaling van systemen in de praktijk. Dit betreft onder meer netbeheerders die niet alleen verantwoordelijk zijn voor infrastructuur en uitvoering, maar ook actief bijdragen aan technologische vernieuwing – bijvoorbeeld via pilotprojecten rond waterstof, elektrolyse en energieopslag.

Ook adviesorganisaties met expertise in onder meer waterstofinfrastructuur en batterijopslag maken onderdeel uit van het ecosysteem. Daarnaast zijn er gespecialiseerde organisaties, zoals test- en keuringsinstituten, die zich richten op het opstellen van testprotocollen, het uitvoeren van systeem- en nettesten, en het gebruik van meetopstellingen voor de validatie van elektrische componenten en laadinfrastructuur. Zulke activiteiten zijn essentieel voor de betrouwbaarheid, veiligheid en markttoelating van nieuwe technologieën. Deze brede mix aan rollen en schaalgroottes wijst op een ecosysteem dat niet alleen technologisch goed ontwikkeld is, maar ook organisatorisch in staat lijkt om door te groeien richting verdere systeemintegratie en samenwerking.

2.2.4 Werkgelegenheid

Voor het bepalen van de werkgelegenheid bij de geïdentificeerde vestigingen is gebruikgemaakt van gegevens over het aantal banen per vestiging, afkomstig van het Bureau Economisch Onderzoek van de Provincie Gelderland. Vervolgens heeft de opdrachtgever, The Economic Board Arnhem Nijmegen, aanvullende informatie verzameld door organisaties na te bellen en te vragen hoeveel medewerkers zij daadwerkelijk in Gelderland hebben werken. Niet bij elke vestiging zijn alle medewerkers direct betrokken bij activiteiten rondom Energy materials. Daarom is bij een deel van de organisaties nagevraagd welk percentage van het personeel zich bezighoudt met intellectueel eigendom, producten en diensten binnen dit domein. Op basis van deze aanpak wordt geschat dat momenteel circa 6.700 medewerkers in Gelderland werkzaam zijn in het domein van Energy materials. Volgens een inschatting van The Economic Board zullen er in de komende zes tot tien jaar circa 2.100 extra medewerkers nodig zijn binnen dit domein. Daarmee komt het totaal aantal werknemers in Energy materials in Gelderland naar verwachting uit op circa 8.800 medewerkers (Bron: The Economic Board Arnhem Nijmegen).

2.2.5 Toegevoegde waarde

De toegevoegde waarde per medewerker in de sleuteltechnologie Energy Materials bedraagt circa €293.000 per jaar. Op basis van het huidige geschatte aantal van 6.700 medewerkers in Gelderland komt de totale jaarlijkse toegevoegde waarde daarmee uit op ongeveer €1,96 miljard voor de regionale economie. Deze cijfers onderstrepen het economische belang van de sleuteltechnologie Energy materials voor Gelderland, zowel in termen van werkgelegenheid als van bredere economische impact. Deze schatting is gebaseerd op gegevens van The Economic Board, het ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS).

3. Sleuteltechnologie Energy materials

De Nationale Technologiestrategie is in 2024 opgesteld en geeft de bouwstenen voor een strategisch technologiebeleid door sleuteltechnologieën te identificeren waar het Nederlandse kennisveld en het Nederlandse bedrijfsleven een positieve impact mee kan maken en waar een unieke Nederlandse positie op mogelijk is. Sleuteltechnologieën zijn essentieel bij het oplossen van maatschappelijke uitdagingen en leveren een bijdrage aan onze economie. Eén van de tien prioritaire sleuteltechnologieën van de Nationale Technologiestrategie is Energy materials (EZK, 2024). Mogelijk kan Gelderland profiteren van haar sterke positie in de materiaaltechnologie, bijvoorbeeld op het gebied van kunststoffen, textiel, composieten en nanotechnologie. Dit kan kansen bieden voor de ontwikkeling en toepassing van energiematerialen. Daarvoor is het nodig om meer inzicht in deze sleuteltechnologie te krijgen en wordt deze sleuteltechnologie in dit hoofdstuk nader uitgewerkt.

3.1 Ambities rondom Energy materials

Nederland wil in 2035 deel uitmaken van de kopgroep in de ontwikkeling van de volgende generatie energy materials, waarbij in het ontwerpproces rekening is gehouden met circulariteit, duurzaamheid en het verminderen van de afhankelijkheid van kritieke grondstoffen. Deze energy materials worden gebruikt om op grote schaal batterijsystemen, elektrolyzers en warmte opslagsystemen te produceren. Nederland wil inzetten op de grootschalige binnenlandse opschaling van deze productie én streven ernaar om internationale partners te ondersteunen bij het integreren van deze Energy materials in hun productiesystemen (EZK, 2024).

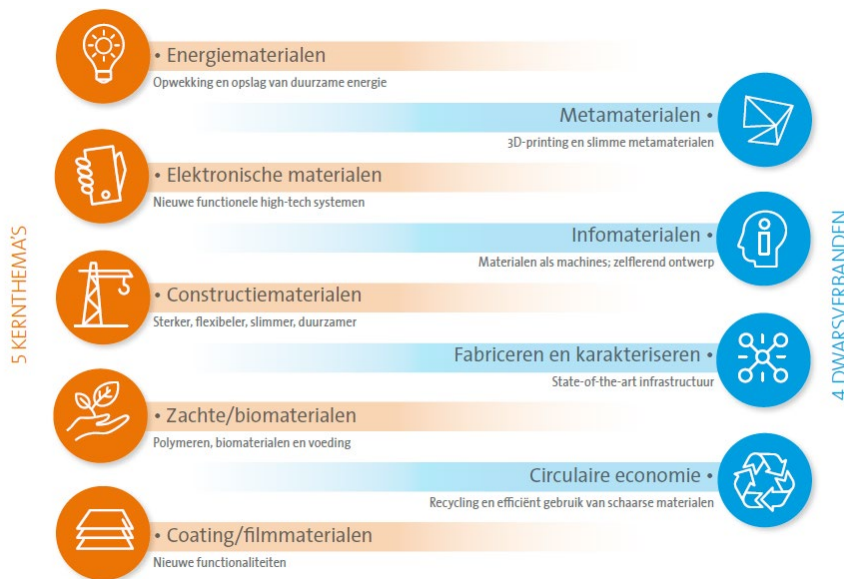
In de ambitie om in 2035 Nederland deel uit te laten maken van de kopgroep in de ontwikkeling van de volgende generatie Energy materials is het ontwerpproces ook belangrijk, door rekening te houden met o.a. circulariteit. Daarbij is het wensbeeld dat je bij een echte circulaire economie geen enkele nieuwe mijn meer hoeft te openen, omdat alle benodigde materialen uit de samenleving terug te winnen zijn. Bij circulair grondstofgebruik is een beter ontwerp van producten van belang, zodat het eenvoudiger is om ze uit elkaar te halen en de materialen te hergebruiken (Leiden-Delft-Erasmus Centre for Sustainability Circular Industries Hub, 2023).

Bij 'duurzaam gebruik van grondstoffen' denken veel mensen aan recycling. Volgens Arnold Tukker, hoogleraar Industriële ecologie bij het Centrum voor Milieuwetenschappen aan de Universiteit Leiden, is een radicalere insteek nodig. Tukker vindt dat we totaal anders moeten gaan nadenken over vraag en aanbod, over productie en consumptie, over voorraden en afval. Materialen zouden minder complex gemaakt moeten worden en componenten moeten kunnen worden hergebruikt. Verschillende universiteiten zijn bezig met een grondstoffendatabase met materialen die nodig zijn voor het produceren van duurzame energie. Windmolens kunnen ook gemaakt worden zonder schaarse metalen erin, weliswaar iets minder efficiënt, maar als energiebron wel toekomstbestendiger. Dergelijke overwegingen kunnen alleen gemaakt worden als er goed zicht is op die materiaalstromen. Daarvoor dient de database (Tukker, z.d.).

Volgens Oost NL beschikt TNO over cijfers van energiematerialen, omdat zij bezig zijn met een databank van kritische materialen waaronder ook Energy materials (L. Van der Veen, persoonlijke mededeling, 19 februari 2025). Inzicht in deze cijfers biedt kansen om o.a. betere afwegingen te maken voor investeringen in Energy materials.

3.2 Nationale Agenda Materialen

De Nationale Agenda Materialen is in 2020 samengesteld in opdracht van het MaterialenNL Platform dat in 2019 is opgericht door o.a. de Topsector Energie. Doel van het platform is om de onderzoekers van universiteiten, NWO-Instituten, organisaties voor toegepaste technologie, hogescholen, bedrijven en andere materiaalorganisaties aan elkaar te verbinden en technologieoverdracht op het gebied van materialen verder te versterken. Materialen vormen, volgens de Nationale Agenda Materialen, het hart van de oplossing van uitdagingen binnen o.a. de energietransitie en duurzaamheid. De Agenda maakt keuzes binnen vijf kernthema's, waaronder energiematerialen, met vier dwarsverbanden waarin Nederland uitblinkt en waarbij we daadkrachtig voortbouwen op ons sterke materialen-ecosysteem van onderzoek en industrie, zie Figuur 8 (MaterialenNL Platform, z.d.).



Figuur 8: Sterke materialen-ecosysteem van onderzoek en industrie in Nederland (Bron: MaterialenNL Platform)

3.3 Doelen Klimaatakkoord

In de Nationale Agenda Materialen wordt het belang van energiematerialen gekoppeld aan de doelen van het Klimaatakkoord, wat stelt dat we in 2030 de uitstoot van broeikasgassen terugdringen met 49% ten opzichte van het niveau van 1990; in 2050 willen we een terugdringing van 95% realiseren (MaterialenNL Platform, z.d.). Er zijn nieuwe materialen nodig om de energietransitie te kunnen maken.

De energietransitie is in essentie de overgang van een energiesysteem dat gebaseerd is op fossiele energiebronnen naar een energiesysteem dat gebaseerd is op duurzame en CO₂-neutrale energiebronnen. Ofwel, de overgang van het gebruik van kolen, olie en gas naar gebruik van zon, wind en water als bron van energie (Indusa, z.d.). Om de energietransitie te realiseren met de snelheid die van belang is om gestelde doelen te behalen, zijn er een aantal essentiële vraagstukken en daaraan gekoppelde uitdagingen die moeten worden uitgewerkt. Hierbij valt te denken aan ruimtelijke uitdagingen (waar moeten we onze windmolens en zonnepanelen plaatsen?), operationele uitdagingen (hebben we genoeg technici voor installatie en onderhoud?) en financiële uitdagingen (wie gaat deze duurzame energievoorziening financieren?).

Het vraagstuk dat in dit onderzoek aan de orde komt, en dat vaak te weinig aandacht krijgt, is het materialenvraagstuk: waar halen we de materialen vandaan die nodig zijn om de energietransitie te kunnen maken? De transitie naar een duurzaam energiesysteem heeft meer nodig dan alleen duurzame elektriciteitsproductie. Een energiesysteem dat is gebouwd op fluctuerende productie, zoals zon en wind, heeft een flinke opslagcapaciteit nodig. De materiaalvraag van deze opslagcapaciteit is essentieel. Wereldwijd is er een groeiende afhankelijkheid van specifieke en kritische metalen en grondstoffen, die nodig zijn voor veel duurzame technologieën: van neodmium in windmolens tot tellurium in zonnepanelen en platinum in waterstofcellen (Van Exter et al, z.d.).

3.4 Doelen circulaire economie

Naast de doelen van het Klimaatakkoord heeft Nederland te maken met doelstellingen op het gebied van circulaire economie. Nederland wil 100% circulair zijn in 2050, en ons primair grondstofverbruik in 2030 met 50% hebben teruggebracht. De groeiende afhankelijkheid van schaarse grondstoffen was daar één van de redenen voor, naast de snelle groei in grondstofverbruik in meer algemene zin (Van Exter et al, z.d.). Europese landen, inclusief Nederland, zijn sterk afhankelijk van derde landen voor de import van veel grondstoffen. Dat brengt risico's met zich mee voor de leveringszekerheid en maakt Nederland kwetsbaar voor prijsstijgingen en voor geopolitieke beïnvloeding (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023).

Kritieke grondstoffen zijn natuurlijke metalen en mineralen die belangrijk zijn voor onze economie en maatschappij, maar waarvan we niet zeker weten of ze ook in de toekomst voldoende beschikbaar zijn (Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, 2025). De vraag naar kritieke grondstoffen groeit explosief en zal ook de komende jaren flink toenemen door de energietransitie. Naast een lijst van 34 kritieke grondstoffen, is er ook een lijst opgesteld met strategische grondstoffen: materialen waarvan verwacht wordt dat de vraag ernaar exponentieel zal toenemen, met een complex

productieproces en een groter risico op leveringsproblemen (Europese Raad, 2025). Kritieke en strategische grondstoffen zijn nodig voor onder andere zonnepanelen, batterijen, windturbines en elektrolyzers om waterstof te produceren, en voor technologieën in de zorg en in defensiematerieel. Met name nu de nieuwe energie-infrastructuur in opbouw is, zijn hier grote hoeveelheden van nodig (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, 2023). Zo bestaan zonnepanelen grotendeels uit siliciummetaal en wordt boor vaak gebruikt om het glas te versterken. Koper wordt gebruikt als geleider en er is kobalt, nikkel en lithium nodig voor de accu's en batterijen waar de energie in wordt opgeslagen. In windmolens wordt veel neodymium, boor of praseodymium gebruikt voor de magneten (Ministerie van Buitenlandse Zaken, 2023).

Dit onderzoek richt zich op Energy materials, dat is een smallere scope dan kritieke en strategische grondstoffen. Kritieke en strategische grondstoffen zijn onmisbare inputs voor een breder scala aan strategische sectoren dan alleen hernieuwbare energie, namelijk ook voor de digitale industrie, de ruimtevaart- en defensiesector en de gezondheidssector (Ministerie van Buitenlandse Zaken, 2024).

De twee transities, energie en circulaire economie, zijn nauw met elkaar verbonden: beiden zijn nodig voor een duurzame en welvarende wereld op de lange termijn. Daarbij zijn ze ook randvoorwaardelijk voor elkaars welslagen: duurzaam materiaalgebruik is nodig om te kunnen voorzien in de materiaalvraag van de energietransitie, en duurzame energie is nodig om producten en materialen echt duurzaam te kunnen hergebruiken. Circulaire economie kan een bijdrage leveren aan de klimaatopgave, onder meer vanuit het verminderen van materiaalgebruik en bijbehorende productieprocessen (Van Exter et al, z.d.).

3.5 Benodigde energiematerialen voor energietransitie

Onderdeel energietransitie	Vereiste nieuwe energiematerialen
Een CO2-vrij elektriciteitssysteem op weg naar 2050 (MaterialenNL Platform, z.d.). Bestaande fossiele bronnen van elektriciteit worden vervangen door hernieuwbare bronnen. Dat vereist een veel effectievere inzet van zonne-energie en windenergie.	Nieuwe materialen om het omzettingsrendement van zonnepanelen verder te verbeteren (MaterialenNL Platform, z.d.). Meer dan 90 procent van de zonnepanelen werkt op silicium-fotovoltaïsche (pv)cellen. Om het rendement van de panelen te verhogen en zo de kosten te verlagen, richt TNO zich vooral op de flinterdunne functionele coatings. Deze brengen ze met speciale technieken op de cellen aan (TNO, z.d.).
	Nieuwe materialen om zonnepanelen onzichtbaar in te passen in de gebouwde omgeving (MaterialenNL Platform, z.d.). De King Abdullah University of Science and Technology heeft semi-transparante organische fotovoltaïsche cellen (niet-fullereen acceptoren) opgeleverd met een efficiëntie van bijna 20%. Hierbij kan zonne-energie opgenomen worden in alledaagse oppervlakken, van ramen tot kassen, zonder het natuurlijke licht te belemmeren (Brainport Eindhoven, 2024).
	Grotere windturbines vereisen nieuwe vezelversterkte composietmaterialen die licht, sterk en vermoeiingsbestendig zijn (MaterialenNL Platform, z.d.).
	Nieuwe corrosiebestendige materialen verlengen de levensduur en verminderen het onderhoud van windturbines op zee (MaterialenNL Platform, z.d.).
Na 2030 komt een groot deel van onze energie uit wind op zee, zoveel zelfs dat we meer elektriciteit opwekken dan gebruiken (TNO, z.d.). Nieuwe systemen voor grootschalige energieopslag moeten tegen die tijd klaar zijn en zorgen voor: - efficiënte omzetting energie uit zon en wind in chemische energie in de vorm vloeibare brandstoffen of waterstof - verhogen opslagcapaciteit van batterijen - beperken gebruik van niet-schaarse materialen (MaterialenNL Platform, z.d.).	Het is de vraag welke materialen nieuwe systemen voor energieopslag kunnen maken. Supercondensatoren en energieopslag in de vorm van samengeperste of vloeibare lucht of warmte bieden kansen, maar hebben volstrekt nieuwe materialen nodig om praktische toepassing mogelijk te maken (MaterialenNL Platform, z.d.).
In 2050 wil Nederland beschikken over een emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen.	Emissieloze mobiliteit voor mensen en goederen vereist voor elektrisch vervoer de ontwikkeling van batterijen

	met grotere capaciteit en sneller oplaadvermogen, en daarnaast een lager gewicht en fabricage uit niet-schaarse materialen. Voor alle mobiliteitstoepassingen geldt dat lichtere metalen en composietmaterialen essentieel zijn om energieverbruik terug te dringen (MaterialenNL Platform, z.d.).
De wereld is volop bezig met elektrolyse om waterstof te produceren door splitsing van water. CO2 elektrolyse is een veelbelovende elektrochemische techniek om dit broeikasgas om te zetten in hoogwaardige duurzame chemicaliën (TNO, 2023). Een speciale uitdaging is om CO2 uit de atmosfeer halen en om te zetten in nuttige koolwaterstoffen via elektrochemische conversie (MaterialenNL Platform, z.d.). Met CO2 elektrolyse haal je die koolstof uit CO2 reststromen in plaats van uit aardolie of aardgas. Waar waterstof van belang is voor de energietransitie kan deze ontwikkeling een grote impuls geven aan de materialentransitie (TNO, 2023).	Dat vereist de ontwikkeling van hoogselectieve katalysatoren in elektrochemische cellen (MaterialenNL Platform, z.d.).
Om materialen en producten op een duurzamere manier te produceren zal de keten grondstoffen-componenten-producten op een effectievere manier moeten worden ingericht. Beter gebruik van duurzame energie bij productie, het gebruikmaken van niet-schaarse materialen en duurzamere productiemethodes (smart industry) zijn daarbij essentieel (MaterialenNL Platform, z.d.).	In een duurzaam gedreven, volledig circulaire economie bestaat het concept 'afval' niet meer: afgedankte eindproducten worden omgezet in grondstoffen voor nieuwe producten (MaterialenNL Platform, z.d.).
We willen in Nederland in 2030 50% minder primaire grondstoffen (mineraal, fossiel en metalen) gebruiken. Circulair ontwerp, hergebruik en recycling zijn dan essentieel om leveringszekerheid van materialen te garanderen. Het sluiten van materialenkringlopen vereist slimme innovaties in ontwerp en (her)gebruik van (bouw)materialen (MaterialenNL Platform, z.d.).	Nieuwe zelfherstellende materialen gaan langer mee en vergen minder onderhoud en functionele coatings verbeteren de duurzaamheid van materialen (MaterialenNL Platform, z.d.).

3.6 Raakvlakken met andere sleuteltechnologieën

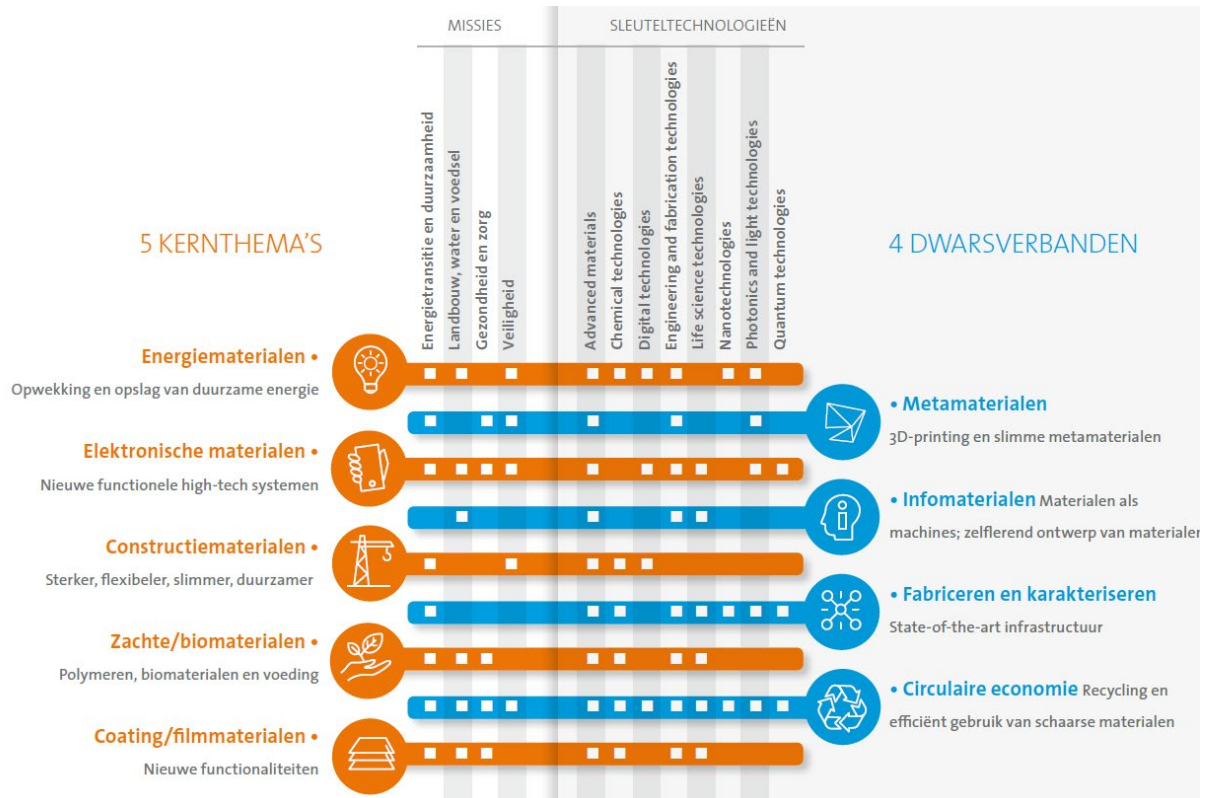
De Nationale Technologiestrategie prioriteert in 2024 een lijst van 10 sleuteltechnologieën, namelijk:

1. Optical systems and integrated photonics
2. Quantum technologies
3. Process technology, including process intensification
4. Biomolecular and cell technologies
5. Imaging technologies
6. Mechatronics and optomechanics
7. Artificial intelligence and data science
8. Energy materials
9. Semiconductor technologies
10. Cybersecurity technologies

Per sleuteltechnologie of prioriteit is één agenda geformuleerd met ambities: stippen op de horizon om Nederland goed te positioneren in 2035 en wat ervoor nodig is om dit te bereiken. Begin 2023 is de basislijst van sleuteltechnologieën uit 2018 herijkt op basis van de actuele ontwikkelingen in de maatschappij én in de wetenschap en technologie wereldwijd. Deze herijkte lijst bestond uit 8 categorieën met in totaal 44 individuele technologieën. Daarbij is Energy materials als één van de acht sleuteltechnologieën bepaald in het cluster Advanced materials. Dit cluster Advanced materials heeft raakvlakken met de volgende andere sleuteltechnologieën:

- Chemical technologies
- Engineering & Fabrication technologies
- Nanotechnology
- Life Science and Biotechnologies
- Quantum technologies (quantum materials)
- Digital technologies (o.a. AI en geavanceerde computing t.b.v. 'materials by design')
- Photonics and optical technologies (o.a. Optical systems and integrated photonics, Photovoltaics).

Er werd onder andere benadrukt dat de oplossing voor maatschappelijke opgaven schuilt in de koppeling van verschillende sleuteltechnologieën (Van Bree et al., 2024). In figuur x is aangegeven met welke sleuteltechnologieën Energiematerialen raakvlakken heeft. Dit zijn niet de meest recente sleuteltechnologieën zoals geformuleerd in de Nationale Technologiestrategie, maar er is geen recenter onderzoek gevonden waarin wordt weergegeven welke raakvlakken er zijn tussen Energy materials en de meest recente sleuteltechnologieën.



Figuur 9: Raakvlakken sleuteltechnologieën Energiematerialen met andere sleuteltechnologieën (Bron: **MaterialenNL Platform**)

3.7 Smart Multi Commodity Grids (SMCG's)

Smart Multi Commodity Grids (SMCG's) zijn intelligente en geïntegreerde energiesystemen die verschillende energiedragers, zoals elektriciteit, warmte en waterstof, en verschillende energietechnologieën met elkaar verbinden om vraag en aanbod continu op elkaar af te stemmen. Ze zijn belangrijk voor de energietransitie en het oplossen van netcongestie. Dit is een issue wat speelt in alle waardeketens. SMCG is een opkomende waardeketen die nodig is voor het succes van verschillende NTS-technologieën, zoals Energy materials. Een coalitie van zes ROM's, onder leiding van Oost NL, stimuleert met het Regionaal Versterkingsplan-NTS3 de ontwikkeling van SMCG's. Verschillende partijen, die variëren van technologieleveranciers tot netbeheerders, werken samen aan het versnellen van de opschaling van SMCG's. De ROM's nemen hierin het voortouw door bestaande innovaties en best practices te koppelen aan nieuwe initiatieven (J. van Dellen, persoonlijke mededeling, 27 augustus 2025).

4. SWOT-analyse sleuteltechnologie Energy materials in Nederland en Gelderland

In dit hoofdstuk worden de Sterktes, Zwaktes, Kansen en Bedreigingen (SWOT), die zijn geïdentificeerd voor de sleuteltechnologie Energy materials in Nederland en specifiek voor Gelderland, weergegeven. Omdat nationale ontwikkelingen ook van toepassing zijn op provincie Gelderland zijn deze ook meegenomen.

4.1 SWOT-analyse Energy materials op nationaal niveau

In de Nationale Technologiestrategie is een overzicht gegeven van de sterktes, zwaktes, kansen en bedreigingen die er gezien worden voor Energy materials voor de ketens Elektriciteit, Waterstof en Warmte (EZK, 2024). In deze paragraaf is de SWOT grotendeels vanuit de NTS overgenomen, waarbij bepaalde onderdelen nader zijn uitgewerkt.

4.1.1 Elektriciteit

Sterkte • Veel kennis en expertise aanwezig bij bedrijven die in Nederland gevestigd zijn over fabricage van machines die cruciaal zijn voor de productie van batterijen en over het celontwerp (EZK, 2024). • Er zijn drie belangrijke onderdelen die bijdragen aan het succes en de potentie van Nederland als leverancier van next-gen batterijcomponenten en productieapparatuur in Europa, namelijk een sterk fundamenteel onderzoek (met onderzoeksinstituten zoals TNO en het Holst Centre), een bewezen track record in hightech industrialisatie en nationale innovatieprogramma's met programma's zoals NXTGEN Hightech en BatteryNL (High Tech NL, z.d.).	Zwakte • Nederland kent een beperkte productiecapaciteit voor batterijen in Nederland in vergelijking met het buitenland (EZK, 2024). De batterijopslagcapaciteit vertegenwoordigt in Nederland slechts 1,7 procent van de Europese capaciteit (Solar 365, z.d.). • Eén van de grootste belemmeringen voor Battery Energy Storage Systems in Nederland is de beperkte netcapaciteit. Het Nederlandse elektriciteitsnet kampt met behoorlijke congestieproblemen, wat het moeilijk maakt om nieuwe opslagprojecten aan te sluiten (Energy Storage NL, 2025). • Geen celproducent in NL. Er is een celproducent nodig die zich richt op high-performance niche applicaties als Heavy duty, Aviation en Defence (A. Schilt, persoonlijke communicatie, 19-2-2025).
Kans • IP en machine ontwikkeling voor batterij productie, wat exportkansen biedt (EZK, 2024). • Zeker op de kortere termijn lijkt de markt voor batterijcellen verwerken tot module- en pakketproductie eenvoudiger te bereiken dan andere markten. Er liggen daar mogelijkheden voor niche-toepassingen met zware belasting, zoals schepen, trucks en bussen (EZK, 2024).	Bedreiging • Schaarste kritieke grondstoffen die nodig zijn voor de productie van batterijen (EZK, 2024). • Het buitenland (zoals V.S. en China) ontplooit zich sterk op IP ontwikkeling (EZK, 2024).

4.1.2 Waterstof

Sterkte • Met elektrolyse wordt in Nederland gewerkt aan het optimaliseren en goedkoper maken van de productie van groene waterstof, waarbij over de hele waardeketen knowhow aanwezig is (EZK, 2024).	Zwakte • De capaciteit van de elektrolyzers is klein (EZK, 2024). Om Nederland van CO₂-vrije waterstof te voorzien moeten we toe naar elektrolyzers op gigawattniveau: dat is een opschaling met een factor duizend (TNO, z.d.).
Kans • In Nederland IP opbouwen en dit te exporteren naar landen die een grotere elektrolyser productiecapaciteit hebben (EZK, 2024). • Versnellen van de opschaling van de productie van groene waterstof en de fabrieksmatige productie van apparaten om groene waterstof te maken (EZK, 2024).	Bedreiging • Schaarste kritieke grondstoffen die nodig zijn voor de productie van batterijen (EZK, 2024). • Het buitenland (zoals V.S. en China) ontplooit zich sterk op IP ontwikkeling (EZK, 2024).

Waterstof is een alternatief voor aardgas in de warmtetransitie en voor elektriciteit voor congestie, flexibiliteit en opslag (Huijzer, 2020). Daarbij moet gekeken worden naar het ontwikkelen van producten en materialen die gebruikt kunnen worden in een industrie met waterstof toepassingen (Uiterwijk, z.d.).	
---	--

4.1.3 Warmte

Sterkte - Nederland heeft de meeste open warmte- en/of koudeopslag (WKO), ofwel aquifer, installaties ter wereld, waardoor er veel knowhow is opgebouwd (EZK, 2024). - Nederland speelt goed mee in de internationale R&D van tank warmteopslag (EZK, 2024). - De bodem in Nederland is uitermate geschikt voor WKO-systemen, omdat er vrijwel overal bruikbare waterhoudende bodemlagen aanwezig zijn. De Nederlandse overheid stimuleert gebruik van WKO-systemen en marktpartijen zijn actief betrokken (Deltares, z.d.).	Zwakte WKO-systemen zijn afhankelijk van de aanwezigheid van een watervoerende bodemlaag in de ondergrond. Dit beperkt het uitrol- en exportpotentieel. Voor elk land zijn daar diverse argumenten voor, variërend van belemmeringen in verband met wet- en regelgeving tot onvoldoende kennis over het systeem én onkunde over de lokale bodems (Deltares, z.d.).
Kans - Ontwikkelen van IP en productiecapaciteit van tank warmteopslag, wat op veel plekken kan worden ingezet, ook waar geen watervoerende bodemlaag aanwezig is (EZK, 2024). - Het wetsvoorstel collectieve warmte (Wcw) vervangt de huidige Warmtewet. De Wcw treedt naar verwachting 1 januari 2026 in werking met als doel om de ontwikkeling van nieuwe warmtenetten te versimpelen en zo de energietransitie te bevorderen. Op dit moment zijn de kosten voor warmtelevering gekoppeld aan de gasprijzen. Met de Wcw wordt deze koppeling stapsgewijs losgelaten en toegewerkt naar een op kosten gebaseerd tarief (Monster, 2025).	Bedreiging - Een WKO heeft ruimte in de ondergrond nodig en kan niet zomaar gecombineerd worden met andere functies zoals drinkwaterproductie of een andere WKO. Het toenemend gebruik van de ondergrond vraagt steeds vaker om regulering bij decentrale overheden (Bonte et al., 2010). - Er is weinig bekend over de langetermijneffecten van het verwarmen en afkoelen van de bodem wat mogelijk in de toekomst een risico vormt en uitrol kan belemmeren (Informatiepunt Leefomgeving, z.d.).

4.2 SWOT-analyse Energy materials in Gelderland

Op basis van deskresearch en input van personen die in het kader van dit onderzoek zijn benaderd is een SWOT-analyse opgesteld voor Energy materials in Gelderland. Daarbij is, net als de SWOT-analyse die op nationaal niveau voor Energy materials is opgesteld, gekozen voor de ketens Elektriciteit, Waterstof en Warmte. Vanuit Think East Netherlands is een themawerkgroep Smart Energy actief (Think East Netherlands, z.d.). Zij hebben o.a. op 1-2-204 en 19-6-2024 overleg gehad en de notulen hiervan zijn input geweest voor deze SWOT-analyse.

4.2.1 Elektriciteit

Sterkte De provincies Gelderland en Overijssel en Oost NL zijn de initiatiefnemers van het versnellingsprogramma Smart Energy Hubs (SEH). Zij ondersteunen 10 startende SEH's, waarvan 6 in Gelderland, en delen de opgedane kennis (C. Lorist, persoonlijke mededeling, 19 februari 2025). Deze hubs kunnen een belangrijke rol spelen in een	Zwakte Bedrijven in Gelderland kunnen geen stroomaansluiting meer krijgen en zij kunnen ook hun zonne-energie niet langer terug leveren aan het net. Als een bedrijf geen stroomaansluiting meer krijgt dan kan het niet meer groeien. Hetzelfde geldt voor bedrijventerreinen, die niet meer kunnen uitbreiden (Schreiber, 2023). Netcongestie
---	--

efficiënte balans tussen vraag en aanbod en de decentrale energievoorziening en ze kunnen de netcongestie verminderen (Oost NL, z.d.). Energy hubs leggen slimme verbindingen tussen de productie, de opslag en het gebruik van lokale duurzame energie en hier zijn specifieke energiematerialen voor nodig. • Connectr opende in 2023 het Energy Demo Field: een terrein ingericht als proeftuin voor technologische innovatie op het gebied van energieopslag op het Industriepark Kleefse Waard. Hier kunnen partijen rond o.a. batterijtechnologie hun innovatie testen en demonstreren met de fabrikant, gebruiker, omgevingsdienst en brandweer (Barend, 2024). • Er worden tal van energie-bijeenkomsten in Gelderland georganiseerd, bijvoorbeeld over praktische oplossingen en inzichten over energie, nieuwe ontwikkelingen en subsidies. Zo werd op 21 maart jl. de Energie(ke) Markt 2025 georganiseerd door Liander, VNO-NCW Midden en Connectr – Energy innovation. Uit dit soort bijeenkomsten kunnen nieuwe samenwerkingen ontstaan, ook op het gebied van Energy materials (C. Lorist, persoonlijke mededeling, 19 februari 2025). • In Nederland zijn in totaal 60 bedrijven actief op het gebied batterijsystemen voor netondersteuning, met name in Gelderland (Holland High Tech, 2022). • In Nederland zijn in totaal 108 bedrijven actief op het gebied batterijsystemen voor mobiliteit, met name in Noord-Brabant en in mindere mate in Gelderland (Holland High Tech, 2022). • In Nederland zijn in totaal 35 bedrijven actief op het gebied van materialen en celontwerp, met name in Gelderland, Noord-Holland, Zuid-Holland, Brabant en Overijssel (Holland High Tech, 2022). • In Nederland zijn in totaal 24 bedrijven actief op het gebied data, veiligheid en testen, met name in Gelderland en Zuid-Holland (Holland High Tech, 2022). • In Nederland zijn in totaal 27 bedrijven actief op het gebied van hergebruik, tweede gebruik en recycling, met name in Noord-Brabant en ook in Gelderland, Zuid-Holland en Noord-Holland (Holland High Tech, 2022).	zorgt voor bredere economische implicaties en kost de Gelderse economie veel geld.
Kans • Subsidies waarmee innovaties op het gebied van energy materials kunnen worden gestimuleerd. Denk aan bijvoorbeeld de Subsidie Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie (MOOI). Deze regeling is met name interessant voor nieuwe innovaties die nu nog niet klaar zijn voor commerciële marktintroductie, maar die wel binnen 5 à 10 jaar kunnen leiden tot een eerste toepassing/demonstratie in een praktijkomgeving. De MOOI-subsidie kan oplopen tot maximaal 4 miljoen euro per	Bedreiging • Tennet geeft aan dat ze geen profielwijzigingen accepteren op het FGU-netwerk (Flevoland, Gelderland & Utrecht). Gevolg is dat Alliander niks meer kan doen in Gelderland. Dit heeft consequenties voor het Smart Energy Hub-programma, alsook de bredere verduurzaming van bedrijventerreinen in Gelderland. De GO TORC-regelgeving speelt mogelijk een rol in de kwestie bij TenneT (L. Van der Veen, persoonlijke mededeling, 19 februari 2025).

project en is voor projecten o.a. op het gebied van elektriciteit (Ondernemersplein, z.d.). In zulke subsidies zouden nieuwe innovaties op het gebied van Energy materials kunnen worden getest. • Provinciale Staten van Gelderland willen dat er een zogeheten Nationaal Kennis- en Innovatiecentrum Netcongestie in de regio Arnhem komt. De basis voor het kenniscentrum ligt al in de hoofdstuk van de provincie Gelderland. In Arnhem huist namelijk het samenwerkingsverband Connectr, waarbinnen meerdere kennisinstituten onderzoek doen naar innovaties voor de energietransitie (Gerritsen, 2024). In dit Nationaal Kennis- en Innovatiecentrum Netcongestie zou ook expertise opgebouwd kunnen worden op het gebied van Energy materials.	
--	--

4.2.2 Waterstof

Sterkte • Waterstof is als energiedrager één van de grote beloftes van een succesvolle energietransitie en van de Nederlandse economie. Waterstoftechnologie heeft de potentie om het belangrijkste exportproduct van Nederland te worden. Zichtbaar is dat er twee grotere clusters aanwezig zijn met bedrijven die zich al met waterstof bezighouden: in Zuid-Holland rondom Rotterdam en in Gelderland rondom Arnhem. Er zijn 47 Gelderse bedrijven gevonden die op de waterstofbedrijvenlijst staan (Reijerkerk & Van Rhee, 2019). • In december 2024 is het H2 Experience Center geopend in Kootwijkerbroek. In het centrum wordt een bijzondere elektrolyser gedemonstreerd van het Nederlandse XINTC. Dit bedrijf ontwikkelde een volledige plastic gasmodule zonder kritische metalen, membranen en afdichtingen (Schröder, 2024). Met deze demonstratiefaciliteit kan Gelderland zichzelf richting belangrijke stakeholders op de kaart zetten wat betreft Energy materials. • Er zijn 2 Icoon demo projecten in Oost-Nederland, te weten P2P / P2X (lees Power to Power, Power to Gas) en GROHW (Van der Sluis, 2020). De waterstofinstallatie van P2P/P2X maakt gebruik van duurzame energiebronnen om hiermee waterstof te produceren (HAN, 2021). GROHW (Green Oxygen, Hydrogen and Wasteheat production) is een collectief van regionale ondernemers, onderzoeksinstituten en lokale overheid in de regio van Deventer, geïnitieerd door Witteveen+Bos (Witteveen+Bos, z.d.). • Om een deel van het Europese wagenpark op waterstof te laten rijden is het nodig dat er een netwerk van waterstoftankstations geplaatst gaan worden. Het eerste publiek toegankelijke waterstoftankstation in	Zwakte • H2 prijs is een issue en dan gaat het om de langere termijn belofte om een concurrerende prijs voor H2 aan te bieden. Er is een lastige entry voor nieuwe generatie Electrolyzers die nog laag in productie leercurve zitten, maar essentieel zijn voor grootschalige transitie (A. Schilt, persoonlijke communicatie, 19-2-2025).
--	---

Nederland is geopend in Arnhem op 3 December 2010 (Huijts et al., 2011). Rodruza, Essent, HyMove en branchekoepel KNB ondertekenden donderdag 6 oktober 2022 een samenwerkingsovereenkomst. Hiermee komt waterstof als energiebron in de steenindustrie een stap dichterbij. Voor de productie van groene waterstof laat Essent een elektrolyser bouwen op een locatie nabij Ochten aan de Waal (Alles over waterstof, z.d.).	
Kans - Groene Ammoniak groeit steeds meer uit tot een cruciale schakel in de energietransitie. Groene ammoniak is veruit de beste optie als waterstofdrager. Met ammoniak transport wordt de duurzaam opgewekte groene waterstof over grote afstanden getransporteerd en geïmporteerd (Antea Group, z.d.). In de overgang van fossiele naar hernieuwbare en koolstofarme brandstoffen en grondstoffen moet Gelderland zich voorbereiden op de opkomst van groene ammoniak als 'gamechanger' in de energievoorziening van de toekomst. Groene ammoniak zal in zeer grote hoeveelheden naar de provincie komen. Daarvoor is extra opslagcapaciteit, extra infrastructuur en zorgvuldige regelgeving nodig (Institute for Sustainable Process Technology, 2024). - Groene waterstof, geproduceerd uit duurzame energie, heeft volgens experts veel perspectief en krijgt een voorname rol toegedicht in de energietransitie. In Nederland zijn al een aantal regio's die de Hydrogen Valley-status hebben, zoals Noord-Holland verkregen. Het betreft een Europese toekenning voor regio's die zich op een onderscheidende manier inzetten voor het ontwikkelen van een energiesysteem op basis van duurzame waterstof (New Energy Coalition, 2023). In heel Europa hebben 60 regio's en projecten de status van Hydrogen Valley. In Nederland gaat het om Noord-Nederland, de Rotterdamse haven en Noord-Holland (New Energy Coalition, 2023). Oost-Nederland heeft ook plannen voor een Hydrogen Valley aanvraag om daarmee een Hydrogen Valley-status te verkrijgen (Think East Netherlands, 2024). - Waterstof is geen energiebron, maar kan een energiedrager zijn: een stof waarin energie is opgeslagen, die bij verbranding weer vrijkomt. Onderzoekers van de Universiteit Twente ontwikkelden een nieuw materiaal dat mogelijk gebruikt kan gaan worden voor een efficiënte waterstofproductie zonder zeldzame en kostbare metalen zoals platina (Alles over Waterstof, z.d.). Dit soort ontdekkingen kunnen bij een toekenning van de de Hydrogen Valley-status aan Regio Stedendriehoek verder ontwikkeld worden en verduurzaming van de regio in versnelling brengen.	Bedreiging Binnen gemeenten, bij bedrijven en in samenwerkingen zijn er veel initiatieven gaande rondom groene waterstof. Gasunie werkt in Nederland aan een waterstofbackbone: bestaande gasleidingen worden geschikt gemaakt voor waterstoftransport (TenneT, z.d.). Voor het grootschalig en het binnen de geografische regio beschikbaar maken van waterstof, het 'aansluiten op de backbone', is een (boven)regionale aanpak vereist. Om die reden heeft de Regio Stedendriehoek dit al in een vroeg stadium op de agenda gezet en in samenwerking met regionale partners Witteveen+Bos, Kiwa en Saxion een strategie ontwikkeld (Regio Stedendriehoek, 2023). Oost-Nederland lijkt pas over 15 jaar aan de beurt te zijn voor een aansluiting op de waterstofbackbone. Als Oost-Nederland wil zorgen dat haar industrie blijft en kan verduurzamen dan zullen de krachten van de regio gebundeld moeten worden en de vraag en distributie van waterstof samen georganiseerd moeten worden (L. Van der Veen, persoonlijke mededeling, 19 februari 2025).

4.2.3 Warmte

Sterkte - De Proeftuin Aardgasvrije Wijken is gericht op de uitvoering: in deze wijken worden woningen verduurzaamd en gaat de gaskraan dicht. Hierbij worden ook bodemenergiesysteem (warmte-koude opslag) ingezet. Gelderland is in 2018 en 2019 begonnen met 2 landelijke en 2 provinciale proeftuinen. In de tweede ronde van de landelijke proeftuin zijn er 5 wijken bijgekomen en in de tweede ronde van de Gelderse Proeftuin volgen er nog 2. Samen met het project Aardgasvrije Jerusalembuurt in Nijmegen zijn 12 Aardgasvrije Wijken in uitvoering (Programma Aardgasvrije Wijken, z.d.). - Bodemenergie is het gebruik van warmte en koude uit de ondergrond tot 500 meter onder het maaiveld. De bodem in Arnhem is hier geschikt voor, er wordt dan ook veel gebruik van gemaakt (Overheid.nl, z.d.). - Het Expertteam helpt Gelderse gemeenten in de warmtetransitie met praktische ondersteuning en kennis. Met het Gelders warmte infrabedrijf (GWIB) wordt de aanleg van warmtenetten in bestaande woonwijken versneld. In Gelderland zijn andere, duurzame, warmtebronnen bijvoorbeeld uit oppervlakte-, of rioolwater, de zon of diep uit de bodem. Provincie Gelderland ondersteunt de zoektocht naar alternatieven en werkt mee aan onderzoeken en innovatie. Zo biedt de provincie het ontwikkelprogramma geothermie Gelderland aan (Provincie Gelderland, z.d.).	Zwakte - De ondergrond moet in het bestemmingsplan geregeld worden volgens gemeente Arnhem. De vraag is of bescherming beekdalen/voedende lemlagen nog een bedreiging vormen voor WKO/bodemenergie (Van der Burght, 2012). - Registratie van WKO-systemen kan verbeterd worden. De gemeente Doesburg houdt rekening met ligging van drinkwatergebieden voor het gebruik van geothermie en bodemlussen (GBES), dus niet OBES (open bodemenergiesystemen) volgens een onderzoek van Tauw. Alleen stelt de gemeente dat er in Doesburg geen (beschermde) grondwaterwingebied is. Waterschap Vallei Veluwe en Vitens zijn betrokken en roepen op tot terughoudendheid bij boringen in het algemeen, eerst andere bronnen te verkennen die geen boringen behoeven en om de registratie van (bestaande) boringen en wko-systemen te verbeteren, met aandacht voor vergunningverlening, toezicht en handhaving (Naus, 2022).
Kans Gemeenten moeten meer sturen in het realiseren van WKO-systemen. Daarvoor is een specialist binnen de gemeente nodig, die kennis en ervaring heeft en mandaat. Het is een multidisciplinair vraagstuk omdat er meerdere specialisten bij komen kijken (GOO, 2021). Wellicht zou er een kennisplatform op provinciaal niveau opgericht kunnen worden dat dient als een vraagbaak, waar belangstellenden terecht kunnen voor informatie, kennis en advies.	Bedreiging Rehydro heeft recentelijk een koude bron in de Betuwestraat in Arnhem vervangen, onderdeel van het Warmte- en Koude Opslagsysteem (WKO). Het systeem levert duurzame verwarming en koeling aan verschillende gebouwen in het centrum van de stad (Rehydro, z.d.). Sinds 2019 is één van de koude bronnen verstopt geraakt. De andere bronnen hebben de koelingsvraag tot nu toe kunnen opvangen, maar om ook in de toekomst aan de vraag te blijven voldoen, heeft Rehydro besloten de verstopte bron te vervangen.

5. Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden conclusies weergegeven van het onderzoek en aanbevelingen voor de praktijk en mogelijk vervolgonderzoek.

5.1 Conclusies

Dit rapport geeft een cijfermatige onderbouwing van het aantal bedrijven in Gelderland dat deel uitmaakt van het Energy Cluster en brengt de economische betekenis van de sleuteltechnologie Energy materials binnen dit cluster in beeld. De analyse is gebaseerd op recente werkgelegenheids- en vestigingsdata en aangevuld met een gerichte selectie en analyse van relevante bedrijven binnen de sleuteltechnologie Energy materials.

Energy Cluster

- Voor de afbakening van het Energy Cluster is in dit rapport aangesloten bij de aandachtssector Energie en Milieutechnologie (EMT), zoals gedefinieerd in de Provinciale Werkgelegenheidsenquête (PWE) van de Provincie Gelderland.
- In 2023 telde de provincie Gelderland 1.123.240 banen, waarvan 59.270 (5,3%) in de EMT-sector. De EMT-sector is daarmee een relevante werkgever in de provincie.
- Binnen de EMT-sector telt de deelsector energie 8.940 banen; hiervan bestaat 87% (7.780 banen) uit werkgelegenheid in het beheer en de exploitatie van transportnetten voor elektriciteit, en 7% (610 banen) uit winning en distributie van water.
- De werkgelegenheid in de EMT-sector groeide tussen 2013 en 2023 met 11.670 banen (+24,5%), wat aanzienlijk hoger is dan de provinciale gemiddelde banengroei van 14,2%.
- De grootste banengroei vond plaats in de deelsectoren zakelijke dienstverlening (+3.430 banen) en energie (+3.060 banen), waarbij met name het beheer en de exploitatie van transportnetten voor elektriciteit sterk toenam.
- In termen van vestigingen had Gelderland in 2023 224.920 vestigingen, waarvan 8.160 (3,6%) in de EMT-sector.
- Hoewel de energiesector een belangrijke werkgever is binnen de EMT-sector, is deze deelsector met 110 vestigingen geen grote speler op het gebied van vestigingen in Gelderland. Dit wijst erop dat deze sector relatief veel banen per vestiging biedt.
- De EMT-sector groeide in vestigingen met 33,6% tussen 2013 en 2023, iets achterblijvend bij de provinciale gemiddelde groei van 40,4%.
- De EMT-sector bestaat voor 99,5% uit mkb-vestigingen (minder dan 250 medewerkers). Deze zijn goed voor 64% van de werkgelegenheid binnen de EMT-sector. Slechts 40 vestigingen behoren tot het grootbedrijf, maar leveren wel 34% van de werkgelegenheid.
- In 2022 bedroeg de bruto toegevoegde waarde (TGW) van de EMT-sector €5,25 miljard, wat 7,2% is van de totale economie in Gelderland. De deelsector energie had hierin een aandeel van €1,27 miljard (24,3%).

Energy materials

- Binnen de EMT-sector is ingezoomd op de sleuteltechnologie Energy materials, gedefinieerd als materialen die duurzame energieopwekking, -opslag, -transport en -conversie mogelijk maken.
- Voor het identificeren van relevante bedrijven is een webcrawl uitgevoerd op basis van 1.240 EMT-vestigingen met ten minste vijf medewerkers. Hieruit zijn 120 vestigingen geselecteerd op basis van zoekwoordmatches, aangevuld met 30 bedrijven aangedragen door de opdrachtgever.
- In totaal zijn 150 vestigingen in Gelderland geïdentificeerd die activiteiten ontplooiën binnen het domein van Energy materials.
- De technologische focus van de geïdentificeerde vestigingen ligt op drie hoofdrichtingen:
 - **Batterijtechnologie** – veruit het meest dominante thema – gericht op ontwikkeling, testen, productie en integratie van batterijoplossingen;
 - **Waterstoftechnologie**, met toepassingen zoals elektrolyse, opslag en transport van waterstof;
 - **Conversietechnologieën**, zoals power-to-heat, power-to-gas en power-to-chemicals, die verschillende energiedragers en sectoren met elkaar verbinden.
- Daarnaast is er een relevante groep bedrijven die zich richt op geavanceerde materialen en elektrochemische processen, zoals brandstofcellen, elektrochemische cellen en faseveranderingsmaterialen.
- De bedrijven beslaan een breed spectrum van actoren in de keten: technologieontwikkelaars, toeleveranciers, systeemintegratoren, netbeheerders, adviesbureaus en testinstituten.

- Dit wijst op een ecosysteem dat zowel technologisch als organisatorisch goed ontwikkeld is en de potentie heeft om door te groeien naar systeemintegratie en samenwerking op schaal.
- In totaal zijn circa 6.700 medewerkers werkzaam binnen Energy materials in Gelderland. De verwachting is dat dit aantal in de komende 6 tot 10 jaar zal groeien naar circa 8.800 medewerkers.
- De jaarlijkse toegevoegde waarde van het domein Energy materials wordt geschat op €1,96 miljard, gebaseerd op een gemiddelde van €293.000 per medewerker.

Strategische positionering

Voor 'energiematerialen' is op nationaal niveau een concrete ambitie geformuleerd. In 2035 moet Nederland deel gaan uitmaken van de kopgroep in de ontwikkeling van de volgende generatie Energy materials, waarbij in het ontwerpproces rekening is gehouden met circulariteit, duurzaamheid en het verminderen van de afhankelijkheid van kritieke grondstoffen (EZK, 2024). Deze materialen zijn essentieel voor de energie- en klimaattransitie, omdat ze (duurzame) energie efficiënt kunnen opvangen, opslaan, transporteren en omzetten. Het versterken van dit cluster levert een belangrijke bijdrage aan de nationale transitie naar een duurzame energievoorziening.

Gelderland is goed gepositioneerd om een sterk innovatiecluster rondom Energy materials te ontwikkelen. Wat betreft materiaaltechnologie en celontwerp is Oost-Nederland een sterke speler, bijvoorbeeld op het gebied van kunststoffen, textiel, composieten en nanotechnologie. Deze sterkte biedt ook kansen voor de ontwikkeling en toepassing van energiematerialen voor energie-opwek, -transport en -opslag (Van Barneveld-Biesma et al., 2020). In de regio Arnhem-Nijmegen werken bedrijven, overheid, onderwijs en onderzoek samen om met energie-innovaties de transitie te versnellen en op te schalen naar een hoger niveau van toepassing. Energy hotspot Arnhem kent een uniek ecosysteem met koplopers zoals TenneT, Alliander, DNV, Dekra en KEMA. Deze bedrijven krijgen kansen om deel te nemen in living labs, gestimuleerd door Stichting Connectr, en in nauwe samenwerking met innovatieve mkb-bedrijven uit het energiecluster (Technopolis, 2023). De regio vormt daarmee een broedplaats voor nieuwe technologieën en duurzame energieoplossingen. Energy is een speerpuntcluster en regio Arnhem-Nijmegen ambieert een toonaangevend Europese energiehotspot te zijn in 2025 (The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen [TEB], 2024).

5.2 Aanbevelingen

De volgende aanbevelingen worden gegeven voor de praktijk en mogelijk vervolgonderzoek:

1. Dit rapport geeft een zogenaamde 'nulmeting' die gericht is op de structuur en dynamiek van de sleuteltechnologie Energy materials in Gelderland. Daarbij worden cijfers van het jaar 2023 vergeleken met 10 jaar daarvoor (2013). Een periodieke herhaalmeting iedere 5 jaar wordt aanbevolen om de economische vooruitgang en veranderende concurrentiepositie van Gelderland op de sleuteltechnologie Energy materials zichtbaar te maken.
2. Er is een webcrawl uitgevoerd om de omvang van de sleuteltechnologie Energy materials in Gelderland te bepalen, omdat uit de huidige SBI-codes niet af te leiden is of een bedrijf actief is in deze sector. Uit overleg met de opdrachtgever blijkt dat bij het in kaart brengen van de *semicon*-sector (de chipindustrie) een vergelijkbare aanpak is gevolgd. In dat onderzoek is aanbevolen om een eigen, specifieke SBI-code te ontwikkelen (N. Hogenkamp, persoonlijke mededeling, 3 april 2025). Een vergelijkbare aanbeveling kan worden gedaan voor Energy materials, als opkomende sleuteltechnologie, zodat toekomstige analyses beter mogelijk worden.
3. Nu uit het onderzoek duidelijk is geworden dat Energy materials een belangrijke sector is voor de provincie Gelderland, kan deze sector als strategisch belangrijk worden beschouwd omdat ze bijdraagt aan economische groei, innovatie en duurzaamheid in de regio. Een sterke sectorale vertegenwoordiging in een regio geeft toegang tot het aanvragen van (Europese) subsidies (J. van Dellen, persoonlijke mededeling, 27 mei 2025). Energy materials leveren een belangrijke bijdrage aan de nationale transitie naar een duurzame energievoorziening. Voor regionale opgaven kunnen Europese subsidies worden ingezet. Door het aanvragen van Europese subsidies kan de provincie financiële steun ontvangen en wordt samenwerking binnen Europa gestimuleerd. Dit levert vaak interessante samenwerkingsverbanden en kennis op (VNG, 2025).
4. Voor het 'Battery Competence Cluster' is een keten opgesteld waarin voor elk bedrijf de positie in de waardeketen is aangegeven (L. van der Veen, persoonlijke mededeling, 19 februari 2025). Op basis van de in dit onderzoek geïdentificeerde bedrijven zou ook voor 'Energy Materials' een vergelijkbare keten opgesteld kunnen worden.

5. De Lifeport-kaart¹⁰ biedt een waardevol overzicht van bedrijven, kennisinstellingen en netwerken in de regio Arnhem-Nijmegen binnen diverse thema's, waaronder energy. Naar aanleiding van dit onderzoek zou het waardevol zijn om de bedrijvenlijst binnen de categorie 'energy' aan te vullen met vestigingen die zich specifiek bezighouden met Energy materials. Dit draagt bij aan een vollediger beeld van het regionale ecosysteem en versterkt de zichtbaarheid van deze groeiende sleuteltechnologie. Met deze kaart kan een belangrijke stap worden gezet in het ondersteunen van Energy materials-bedrijven in de regio, en het is tevens een mooie etalage om te laten zien hoeveel partijen er in de regio actief zijn en waar zij gevestigd zijn.
6. Op basis van de SWOT-analyse uit Hoofdstuk 4 ontstaat een beschrijving van de huidige sterktes en zwaktes en de toekomstige kansen en bedreigingen. Deze kan door The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen worden gebruikt om strategieën te formuleren die bijdragen aan het versterken van de positie van Gelderland binnen deze sleuteltechnologie en het realiseren van groeipotentieel.

¹⁰ <https://lifeport.nl/ontdek-lifeport/>

Literatuurlijst

- Alles over Waterstof. (z.d.). *Pilot bij Gelderse steenfabriek met Liquid Organic Hydrogen Carrier*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://allesoverwaterstof.nl/pilot-bij-gelderse-steenfabriek-met-liquid-organic-hydrogen-carier/>
- Alles over Waterstof. (z.d.). *Nieuw materiaal om groene waterstof te creëren*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://allesoverwaterstof.nl/nieuw-materiaal-om-groene-waterstof-te-creeren/>
- Antea Group. (z.d.). *Expertisecentrum Ammoniak & Waterstof*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://anteagroup.nl/diensten/expertisecentrum-ammoniak-waterstof>
- Bonte, M. (KWR), Van Wezel, A. (KWR), De Gier, A.A.J. (UU), Van Wijswick, H.F.M.W. (UU), Schueler, B.J. (UU). *Ordering van de ondergrond: Een fysiek en juridisch afwegingskader*. Geraadpleegd op 14 april 2025 van https://iplo.nl/publish/pages/228890/handreiking_ordering_ondergrond_hoofdrapport_24_331569.pdf
- Barend. (2024, 9 april). *Werkbezoek aan Connectr Energy Demo Field zet aan tot nieuwe ideeën tegen netcongestie*. Iwell. Geraadpleegd op 14 april 2025 van <https://iwell.nl/nieuws/werkbezoek-aan-connectr-energy-demo-field-zet-aan-tot-nieuwe-ideeen-tegen-netcongestie/>
- Bastein, T., Rietveld, E., Ellen, F. & Voskens, W. (2024). *Methode-ontwikkeling aan de hand van drie case studies: De Leveringsketens van kritieke grondstoffen*. TNO. Geraadpleegd op 7 april 2025, van <https://publications.tno.nl/publication/34643142/jPlvLi5n/TNO-2024-R11107.pdf>
- Brainport Eindhoven. (2024). *Transparante zonnepanelen maken zonne-energie overal bereikbaar*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://brainporteindhoven.com/nl/nieuws/transparante-zonnepanelen-maken-zonne-energie-overal-bereikbaar>
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2018). *Monitor topsectoren 2018, Methodebeschrijving en tabellenset*. Geraadpleegd op 7 april 2025, van https://www.cbs.nl/-/media/_pdf/2018/40/181008-monitor-topsectoren-2018.pdf
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2024). *Productieproces; bedrijfstak en regio, nationale rekeningen* [Dataset]. Geraadpleegd op 8 juli 2025, van <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/85925NED/table?dl=C3241>
- Company Info. (2025). *Bedrijven lopen vergoeding mis dankzij verkeerde SBI-registratie*. Geraadpleegd op 7 april 2025, van <https://companyinfo.nl/bedrijven-lopen-vergoeding-mis-dankzij-verkeerde-sbi-registratie/>
- Deltares. (z.d.). *Bodemenergie: WKO voorbij de Nederlandse grenzen*. Geraadpleegd op 10 april 2025, van <https://www.deltares.nl/expertise/projecten/bodemenergie-wko-voorbij-de-nederlandse-grenzen>
- Den Haag Centrum voor Strategische Studies. (2022). *Grondstoffen voor de grote transities*. Geraadpleegd op 7 april 2025, van <https://hcss.nl/wp-content/uploads/2023/01/NL-Nationale-Grondstoffenstrategie-dec-2022.pdf>
- Dijkhuizen, C., Doets, B., Karnebeek, S. & Kuijper, J. (2024). *Nota Regionale Economie 2024-2027: Toekomstbestendig ondernemen in Overijssel*. Provincie Overijssel. Geraadpleegd op 15 april 2025 van https://www.skbn.nu/upload/files/Overijssel_-_Nota_Regionale_Economie_2024-2027.pdf
- Ede Ondernemers. (2025, 27 maart). *Nieuwe landelijke subsidie voor netcongestie bij bedrijven vanaf 1 april beschikbaar*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://ondernemen.ede.nl/nieuws/nieuwe-landelijke-subsidie-voor-netcongestie-bij-bedrijven-vanaf-1-april-beschikbaar>
- Energy Storage NL. (2025). *Internationale studie batterijenmarkt Rabobank*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://www.energystoragenl.nl/2025/02/26/compliment-van-de-maand-internationale-studie-batterijenmarkt-rabobank/>
- Europese Raad. (2025). *Een verordening kritieke grondstoffen voor de toekomst van de Europese toeleveringsketens*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://www.consilium.europa.eu/nl/infographics/critical-raw-materials/>
- Gerritsen, E. (2024, 10 april). *Gelderland wil nationaal kenniscentrum over problemen stroomnet*. Omroep Gld. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://www.gld.nl/nieuws/8130277/gelderland-wil-nationaal-kenniscentrum-over-problemen-stroomnet>

- GOO. (2021, 13 oktober). *Verslag en Q&A GOO kennispecial 'warmte-opslag in de bodem'*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van https://www.gelderseomgevingsdiensten.nl/wp-content/uploads/2021/11/Verslag-en-QA-GOO-kennispecial-warmte-opslag-in-de-bodem_13102021.pdf
- HAN. (2021, 16 december). *Energietransitie door middel van waterstof*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://blog3.han.nl/energizer/energietransitie-door-middel-van-waterstof/>
- Herrewijnen, E. & Jutte, J.B. (2022). *Meting circulaire bedrijvigheid 2022*. Royal HaskoningDHV. Geraadpleegd op 8 april 2025 van https://www.pbl.nl/uploads/default/downloads/eindrapport_meting_circulaire_bedrijvigheid_2022.pdf
- High Tech NL. (z.d.). *Nederland als batterijland: ontdek onze belangrijkste kwaliteiten*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://www.hightechnl.nl/energy/nieuws/nederland-als-batterijland-ontdek-onze-belangrijkste-kwaliteiten/>
- Hoiting, K. & Lindhout, R. (2023). *Grondstoffen, geld en geopolitiek, naar een duurzame en sociale energie-transitie in Europa*. Leiden-Delft-Erasmus Centre for Sustainability Circular Industries Hub. Geraadpleegd op 8 april 2025 van <https://www.leiden-delft-erasmus.nl/uploads/default/attachments/LDE%20Whitepaper%20Kritieke%20Materialen.pdf>
- Holland High Tech. (2022). *Actieagenda batterijsystemen*. Geraadpleegd op 14 april 2025 van https://www.kia-st.nl/_asset/_public/Nieuws-en-Agenda/Nieuws/2022/HHT-ACTIEAGENDA-BATTERIJSYSTEMEN-DEF_LOS.pdf
- Huijts, N. M. A., Molin, E. J. E., & Van Wee, B. (2011). *De mening van burgers over het waterstoftankstation in Arnhem: Excellent of onbekend?* TU Eindhoven. In Colloquium Vervoersplanologisch Speurwerk. Geraadpleegd op 15 april 2025 van https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/92757940/cvs11_006.pdf
- Huijzer, E. (2020). *Distributie van waterstof*. Allianer. Geraadpleegd op 10 april 2025, van https://kivi.nl/_Resources/Persistent/3/0/b/f/30bffb1a28a88892ad4f6933afae8258f14b3a5/Presentatie%20Elb%20Huijzer.pdf
- Indusa. (z.d.). *Energietransitie*. Geraadpleegd op 8 april 2025 van <https://www.indusa-infra.nl/kennis/duurzaamheidsthemas/energietransitie/default.aspx#:~:text=De%20energietransitie%20is%20%2Din%20zijn,water%20als%20bron%20van%20energie.>
- Informatiepunt Leefomgeving. (z.d.). *Bodemambities voor warmte-koudeopslag in de bodem*. Geraadpleegd op 14 april 2025 van <https://iplo.nl/thema/bodem/bodembeleid/bodemambities/warmte-koudeopslag-bodem/>
- Institute for Sustainable Process Technology. (2024, 12 februari). *Gouden kansen voor groene ammoniak*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://ispt.eu/news/gouden-kansen-voor-groene-ammoniak/>
- Technopolis. (2023). *Regio Arnhem Nijmegen Europese Hotspot: Advies The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen*. Geraadpleegd op 7 april 2025, van https://media.gelderland.nl/OP_Oost_RIS_3_Oost_Nederland_versie_1_O_DEF_5409280cbd.pdf
- Ministerie van Buitenlandse Zaken. (2023). *Wat zijn kritieke grondstoffen? Buitenlandse Zaken in begrijpelijke taal*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://www.rijksoverheid.nl/ministeries/ministerie-van-buitenlandse-zaken/het-werk-van-bz-in-de-praktijk/weblogs/2023/wat-zijn-kritieke-grondstoffen-buitenlandse-zaken-in-begrijpelijke-taal>
- Ministerie van Buitenlandse Zaken. (2024). *Definitief vastgestelde EU-regels moeten veilige en duurzame voorziening van kritieke grondstoffen waarborgen*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://ecer.minbuza.nl/-/definitief-vastgestelde-eu-regels-moeten-veilige-en-duurzame-voorziening-van-kritieke-grondstoffen-waarborgen>
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat. (2024). *De Nationale Technologiestrategie: Bouwstenen voor strategisch technologiebeleid*. Geraadpleegd op 7 april 2025, van <https://open.overheid.nl/documenten/21220633-4dcf-4334-8f7c-c390eda7d29a/file>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (2023). *Nationaal Programma Circulaire Economie: 2023-2030*. Geraadpleegd op 8 april 2025 van <https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/beleidsnotas/2023/02/03/nationaal-programma-circulaire-economie-2023-2030/Nationaal+Programma+Circulaire+Economie+2023-2030.pdf>

- Monster, B. (2025, 5 april). *Enthousiasme voor warmtenet bekoeld*. Reformatorisch Dagblad. Geraadpleegd op 14 april 2025 van <https://www.rd.nl/artikel/1102366-enthousiasme-voor-warmtenet-is-bekoeld>
- Naus, M. (2022). *Aanwijzing drinkwaterreserveringsgebieden Gelderland: Botsproef energie uit bodem*. Tauw. Geraadpleegd op 15 april 2025 van https://media.gelderland.nl/Toets_samenhang_transitievisies_warmte_en_drinkwaterreserveringsgebieden_50aba195e4.PDF
- New Energy Coalition. (2023, 23 november). *Hydrogen Hub Noord-Holland in de prijzen*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://www.newenergycoalition.org/noord-holland-european-hydrogen-valley-of-the-year-2023/#:~:text=De%20Hydrogen%20Valley-status%20is,regio's%20een%20Hydrogen%20Valley-status.>
- New Energy Coalition. (2023, 11 mei). *Hydrogen Valley voor Noord-Holland*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://www.newenergycoalition.org/hydrogen-valley-status-voor-noord-holland/#:~:text=In%20Nederland%20gaat%20het%20om,van%20energie%20van%20buiten%20Europa.>
- Ondernemersplein. (z.d.). *Subsidie Missiegedreven Onderzoek, Ontwikkeling en Innovatie (MOOI)*. Geraadpleegd op 15 april 2025, van <https://ondernemersplein.overheid.nl/mooi/>
- Oost NL. (z.d.). *Programma Smart Energy Hubs Oost-Nederland*. Geraadpleegd op 14 april 2025 van <https://oostnl.nl/producten/programma-smart-energy-hubs-oost-nederland>
- Overheid.nl, (z.d.). *Bodemenergieplan Arnhem Binnenstad eo*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR678647>
- Polman, A. (NWO-Instituut AMOLF). (z.d.) *Nationale Agenda Materialen Accelerating Materials Technologies*. MaterialenNL Platform. Geraadpleegd op 8 april 2025 van <https://materialennl-platform.nl/wp-content/uploads/2020/12/Nationale-Agenda-Materialen-Advancing-Materials-Technologies-1.pdf>
- Programma Aardgasvrije Wijken (PAW). (z.d.). *Proeftuinen aardgasvrije wijken derde ronde*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van https://www.ipo.nl/media/jhkonprj/paw_tabel-kenmerken-3e-ronde.pdf
- Provincie Gelderland. (z.d.). *Lokale warmtetransitie*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://www.gelderland.nl/themas/duurzaamheid/energietransitie/warmtetransitie>
- Provincie Gelderland. (2023). *Werkgelegenheidsenquête*. Geraadpleegd op 26 juni 2025 van https://media.gelderland.nl/Rapportage_PWE_2023_b7e2f6be3f.pdf
- Regio Stedendriehoek. (2023, 30 oktober). *Regio Stedendriehoek maakt zich hard voor aansluiting op waterstofbackbone*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://regiostedendriehoek.nl/regio-stedendriehoek-maakt-zich-hard-voor-aansluiting-op-waterstofbackbone/>
- Rehydro. (z.d.). *Rehydro vervangt koude bron WKO-systeem in Arnhem*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://rehydro.nl/nieuws/rehydro-vervangt-koude-bron-wko-systeem-in-arnhem/>
- Reijerkerk, J. (Ekinetix) & Van Rhee, G. (Stratelligence). (2019). *Waterstof: kansen voor de Nederlandse industrie*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van https://topsectorenergie.nl/documents/75/TKI_Nieuw_Gas-Waterstof_Kansen_voor_de_Nederlandse_industrie_HR_-_191001.pdf
- Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. (2025). *Kennisplein kritieke grondstoffen*. Geraadpleegd op 8 april 2025 van <https://www.rvo.nl/onderwerpen/kennisplein-kritieke-grondstoffen>
- Schreiber, W. (2023, november). *Smart energy hubs: kans én uitdaging voor Oost-Nederland*. Driesteden Business nr4/5 2023. Geraadpleegd op 14 april 2025 van <https://www.driestedenbusiness.nl/magazine/artikel/1700/36532/smart+energy+hubs:+kans+eacute;n+uitdaging+voor+oost-nederland#>
- Schröder, T. (2024, 10 december). *Geen schaarse metalen, maar plastic: eerste elektrolyser met kunststof stacks te bewonderen in Kootwijkerbroek*. Change Inc. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://www.change.inc/energie/geen-schaarse-metalen-maar-plastic-eerste-elektrolyser-met-kunststof-stacks-te-bewonderen-in-kootwijkerbroek-41394>

- Smart Energy Hubs Oost-Nederland. *Oost-Nederland living lab voor Smart Energy Hubs*. Geraadpleegd op 14 april 2025 van <https://www.smartenergyhubs.eu/>
- Solar 365. (z.d.). *De groei van batterijopslag is een wereldwijd fenomeen*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://www.solar365.nl/nieuws/de-groei-van-batterijopslag-is-een-wereldwijd-fenomeen-66A8B2AD.html>
- TenneT. (z.d.). *Groene waterstof*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://www.tennet.eu/nl/groene-waterstof>
- The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen. (2024). *Jaarverslag en jaarrekening 2023 The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen*. Geraadpleegd op 7 april 2025, van <https://theeconomicboard.com/wp-content/uploads/20240329-Jaarverslag-en-Jaarrekening-2023-niet-gewaarmerkt.pdf>
- Think East Netherlands. (z.d.). *Smart Energy*. Geraadpleegd op 14 april 2025 van <https://thinkeast.nl/themes/smart-energy-1>
- Think East Netherlands. (2023, 17 april). *Hy East NL stimuleert waterstofontwikkeling in Oost-Nederland*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://thinkeast.nl/news/hy-east-nl-stimuleert-waterstofontwikkeling-in-oost-nederland>
- TNO. (z.d.). *Zonnetechnologie: kansen en uitdagingen*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://www.tno.nl/nl/duurzaam/energievoorziening/zonne-energie-technologie/kansen-uitdagingen/#:~:text=Nieuwe%20ontwikkelingen%20siliciumcellen,technieken%20op%20de%20cellen%20aan>
- TNO. (z.d.). *Energy storage platform: werken aan energieopslag na 2030*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://www.tno.nl/nl/technologie-wetenschap/laboratoria/energy-storage-platform/>
- TNO. (z.d.). *Productie waterstof optimaliseren met elektrolyse*. Geraadpleegd op 10 april 2025 van <https://www.tno.nl/nl/technologie-wetenschap/technologieen/elektrolyse/>
- Tukker, A. (z.d.). *Slimmer omgaan met energie en materialen*. Leiden-Delft-Erasmus Centre for Sustainability Circular Industries Hub. Geraadpleegd op 8 april 2025 van <https://www.universiteitleiden.nl/wetenschapsdossiers/duurzame-energie/slimmer-omgaan-met-energie-en-materialen>
- Uiterwijk, E. (z.d.). *H2-ready: ontwikkelen van materialen geschikt voor waterstof*. Eriks. Geraadpleegd op 10 april 2025, van <https://eriks.nl/nl/know-how-hub/blogs/H2-ready-materialen/>
- Van Barneveld-Biesma, Saes, L., Scholten, C. Van der Veen, G. & Zegel, S. (2020). *Slimme specialisatiestrategie (RIS3) Oost-Nederland 2021-2027 Technopolis B.V.* Technopolis Group. Geraadpleegd op 7 april 2025 van https://media.gelderland.nl/OP_Oost_RIS_3_Oost_Nederland_versie_1_O_DEF_5409280cbd.pdf
- Van Bree, T (TNO), Gijsbers, G. (TNO), Otto, D. (TNO), Janssen, V. (NWO-TNO), Winkels, E. (NWO), Goes, M. (NWO), Gielgens, L. (NWO) & Van der Horst, T. (TNO), *Herijking sleuteltechnologieën 2023*. TNO en NWO. 2024. Geraadpleegd op 8 april 2025 van https://www.tno.nl/publish/pages/8843/tno_herijking_sleuteltechnologie_2023_v4.pdf
- Van der Burght, M. (2012, 14 februari). *Bodemenergie in de gemeente Arnhem*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van https://iplo.nl/publish/pages/92429/bodemenergie_in_de_gemeente_arnhem_20120214.pdf
- Van der Sluis, R. (2020). *Waterstof voor de energievoorziening, Power2Power: Energy management systems for local grids*. MTSA Technopower. Geraadpleegd op 15 april 2025 van https://kivi.nl/_Resources/Persistent/f/3/f/a/f3fa448826bbe76b718f3f5bbcc9187dca0aa559/Presentatie%20Rob%20van%20der%20Sluis.pdf
- Van Exter, P. (Metabolic), Bosch, S. (Copper8), Schipper, B. (Metabolic), Sprecher, B. (CML) & Kleijn, R. (CML). (z.d.). *Metaalvraag van de Nederlandse energietransitie: Navigeren in een complexe keten. Metabolic, CML en Copper8*. Geraadpleegd op 8 april 2025 van <https://www.copper8.com/wp-content/uploads/2018/12/Metaalvraag-van-de-Nederlandse-Energietransitie.pdf>
- Witteveen+Bos. (z.d.). *GROHW - een initiatief van Witteveen+Bos: Hoe we de energietransitie met groene waterstof versnellen*. Geraadpleegd op 15 april 2025 van <https://www.witteveenbos.com/nl/projects/grohw-an-initiative-of-witteveen-bos>

Bijlage 1 – Lijst van contactpersonen onderzoek

Naam contactpersoon	Organisatie	Functie
Jan van Dellen	The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen	Algemeen Directeur
Robert-Niels van Droffelaar	Oost NL	Senior projectmanager Energy
Gerjan Heijkoop	Provincie Gelderland	Economisch onderzoeker
Nicky Hogenkamp	The Economic Board Regio Arnhem Nijmegen)	Programmamanager
Chris Lorist	VNO NCW Midden	Manager projecten
André Schilt	Battery Competence Cluster – NL	Themaleider voor de pijler Duurzame batterijcomponenten en productieprocessen
Liane van der Veen	Oost NL	Directeur Innoveren

Bijlage 2 – Afbakening aandachtssector Energie en Milieutechnologie

SBI-code	Omschrijving	Deelsector
0610	Winning van aardolie	Grondstoffen en chemie
0620	Winning van aardgas	Grondstoffen en chemie
0910	Dienstverlening voor de winning van aardolie en aardgas	Grondstoffen en chemie
16102	Verduurzamen van hout	Grondstoffen en chemie
1910	Vervaardiging van cokesovenproducten	Grondstoffen en chemie
19201	Aardolieraffinage	Grondstoffen en chemie
2011	Vervaardiging van industriële gassen	Grondstoffen en chemie
2013	Vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën	Grondstoffen en chemie
20141	Vervaardiging van petrochemische producten	Grondstoffen en chemie
20149	Vervaardiging van overige organische basischemicaliën	Grondstoffen en chemie
2120	Vervaardiging van farmaceutische producten	Grondstoffen en chemie
2446	Smelten en raffineren van uranium	Grondstoffen en chemie
2521	Vervaardiging v. ketels, radiatoren voor centrale verwarming	Metaal, machines en apparaten
2529	Vervaardiging van metalen tanks en reservoirs	Metaal, machines en apparaten
2530	Vervaardiging van stoomketels (niet voor c.v.)	Metaal, machines en apparaten
2611	Vervaardiging van elektronische componenten	Metaal, machines en apparaten
2612	Vervaardiging van elektronische printplaten	Metaal, machines en apparaten
2630	Vervaardiging van communicatieapparatuur	Metaal, machines en apparaten
2651	Vervaardiging van meet-, regel-, navigatie- en controleapp.	Metaal, machines en apparaten
2670	Vervaardiging van optische instrumenten en apparatuur	Metaal, machines en apparaten
2711	Vervaardiging van elektromotoren, elektrische generatoren	Metaal, machines en apparaten
2712	Vervaardiging van schakel- en verdeelinrichtingen	Metaal, machines en apparaten
2720	Vervaardiging van batterijen en accumulatoren	Metaal, machines en apparaten
2731	Vervaardiging van kabels van optische vezels	Metaal, machines en apparaten
2732	Vervaardiging van overige elektrische, elektronische kabels	Metaal, machines en apparaten
2733	Vervaardiging van schakelaars, stekkers, stopcontacten e.d.	Metaal, machines en apparaten
2740	Vervaardiging van elektrische lampen, verlichtingsapparaten	Metaal, machines en apparaten
2790	Vervaardiging van overige elektrische apparatuur	Metaal, machines en apparaten
2811	Vervaardiging van motoren, turbines (niet voor vliegtuigen)	Metaal, machines en apparaten
2812	Vervaardiging van hydraulische apparatuur	Metaal, machines en apparaten
2813	Vervaardiging van niet-hydraulische pompen en compressoren	Metaal, machines en apparaten
2814	Vervaardiging van appendages	Metaal, machines en apparaten
2815	Vervaardiging van tandwielen, lagers e.d.	Metaal, machines en apparaten
2821	Vervaardiging van industriële ovens en branders	Metaal, machines en apparaten
2825	Vervaardiging v. machines, app. voor industriële koeling	Metaal, machines en apparaten
2892	Vervaardiging v. machines voor de bouw en winning v. delfst.	Metaal, machines en apparaten
2931	Vervaardiging van elektrische en elektronische onderdelen	Metaal, machines en apparaten
3311	Reparatie van producten van metaal	Metaal, machines en apparaten
33121	Reparatie en onderhoud van machines voor algemeen gebruik	Metaal, machines en apparaten
33123	Reparatie en onderhoud van machines (specifieke bedrijfstak)	Metaal, machines en apparaten
3313	Reparatie van elektronische en optische apparatuur	Metaal, machines en apparaten
3314	Reparatie van elektrische apparatuur	Metaal, machines en apparaten
3321	Installatie van ketels en tanks	Metaal, machines en apparaten
33221	Installatie van machines voor algemeen gebruik	Metaal, machines en apparaten
33223	Installatie van machines voor een specifieke bedrijfstak	Metaal, machines en apparaten
3323	Installatie van elektronische en optische apparatuur	Metaal, machines en apparaten
3324	Installatie van elektrische apparatuur	Metaal, machines en apparaten
35111	Prod. van elektr. door thermische, kern- en warmtekrachtcentr.	Energie
35112	Productie van elektriciteit door windenergie	Energie

35113	Productie van elektriciteit door zonnecellen, warmtepompen	Energie
3512	Beheer en exploitatie van transportnetten voor elektriciteit	Energie
3513	Distributie van elektriciteit en gasvormige brandstoffen	Energie
3514	Handel in elektriciteit en in gas via leidingen	Energie
3600	Winning en distributie van water	Energie
19202	Aardolieverwerking (geen -raffinage)	Recycling en milieudienstverlening
3700	Afvalwaterinzameling en –behandeling	Recycling en milieudienstverlening
3811	Inzameling van onschadelijk afval	Recycling en milieudienstverlening
3812	Inzameling van schadelijk afval	Recycling en milieudienstverlening
3821	Behandeling van onschadelijk afval	Recycling en milieudienstverlening
3822	Behandeling van schadelijk afval	Recycling en milieudienstverlening
3831	Sloop van schepen, witgoed, computers e.d.	Recycling en milieudienstverlening
3832	Gesorteerd materiaal voorbereiden tot recycling	Recycling en milieudienstverlening
3900	Sanering en overig afvalbeheer	Recycling en milieudienstverlening
4612	Handelsbemiddeling in brandstoffen, ertsen, metalen e.d.	Handel
4652	Groothandel in elektronische en telecommunicatieapparatuur	Handel
46711	Groothandel in vaste brandstoffen	Handel
46712	Groothandel in vloeibare en gasvormige brandstoffen	Handel
46713	Groothandel in minerale olieproducten (geen brandstoffen)	Handel
72111	Biotechnologisch speur- en ontwikkelingswerk	Research
72113	Biotechnologisch speur- en ontwikkelingswerk overig	Research
72191	Speur- en ontwikkelingswerk, landbouw en visserij	Research
72192	Technisch speur- en ontwikkelingswerk	Research
72199	Overig natuurwetenschappelijk speur- en ontwikkelingswerk	Research
7112	Ingenieurs en overig technisch ontwerp en advies	Zakelijke dienstverlening

