Ministerie van Klimaat en Groene Groei

Actieagenda Elektrificatie Industrie

September 2025

Samenvatting

De Nederlandse industrie is cruciaal voor de Nederlandse brede welvaart en vervult een grote rol in de energie- en klimaattransitie

De sector draagt voor 12% direct bij aan het Bruto Binnenlands Product (BBP) (2020) en biedt directe werkgelegenheid aan ruim 800.000 mensen. Nog eens honderdduizenden mensen werken in bedrijven die de industrie ondersteunen. De Nederlandse industrie is sterk geïntegreerd in internationale ketens en kent een financieel aandeel van 30% in onze totale export van goederen en diensten en voorziet in Nederlandse en Europese basisbehoeften. Aan de industrie is bovendien een compleet ecosysteem van Nederlandse bedrijven verbonden. Daarmee draagt de industrie bij aan de weerbaarheid en het verdienvermogen dat nodig is voor de transitie naar een duurzame en toekomstbestendige economie.

Met een energieverbruik van 616 PJ (171 TWh) – goed voor ongeveer een derde van het finale energieverbruik in Nederland – is de sector verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van de CO_2-uitstoot (circa 31% van de uitstoot vanaf Nederlands grondgebied[1]). Om de Nederlandse klimaatdoelen te realiseren, mag de industrie in 2030 nog 28,8 Mton aan 'restemissie' uitstoten (~66% CO_2-reductie in 2030 ten opzichte van 1990). In de herziening van de Europese Energy Efficiency Directive (EED) zijn de reductiedoelen vastgelegd waarbij de lidstaten hun gezamenlijk finaal en primair energieverbruik dienen te verminderen met 11,7% ten opzichte van de prognoses uit 2020 voor het energieverbruik in 2030. Voor Nederland resulteert dit doel in een maximaal 1609 PJ finaal verbruik en maximaal 1935 PJ primair verbruik.

Het grootste deel van het energieverbruik van de industrie is bestemd voor proceswarmte

Op dit moment betreft het overgrote deel (79%) van het energieverbruik van de industrie de inzet van aardgas en procesgassen voor proceswarmte. Circa 21% van de energievraag is elektrisch. Dit wordt voornamelijk ingezet voor elektrische aandrijvingen. Van proceswarmte betreft 36% van de energievraag lage temperatuur (<200 graden: ruimteverwarming, warm water, papier- en voedingsmiddelenindustrie); 23% midden temperatuur (200-500 graden: procesverwarming en (chemische) reacties); en 41% hoge temperatuur (>500 graden: chemie, raffinage, staal).

Elektrificatie van proceswarmte is een zeer (kosten)efficiënte verduurzamingsroute

De directe inzet van elektriciteit voor warmteproductie voorkomt conversieverliezen van omzet naar een andere energiedrager. Daarnaast biedt elektrificatie aanzienlijke energiebesparing en efficiëntie. Een warmtepomp kent een gemiddelde efficiëntie van 300%, ten opzichte van <100% voor verbrandingstechnologie. Daarmee is er minder energieproductie nodig voor dezelfde economische output. Verder kent de directe inzet van elektriciteit geen uitstoot van stikstofemissies. Ook bieden geëlektrificeerde processen een mogelijkheid om flexibel pieken en dalen op het elektriciteitsnet op te vangen. Door grotere hoeveelheden fluctuerende hernieuwbare elektriciteitsproductie van wind op zee te integreren, wordt bijgedragen aan een kosteneffectief energiesysteem: het benodigde piekvermogen wordt beperkt en netverzwaring kan deels worden voorkomen dankzij de mogelijkheid tot beter congestiemanagement.

De technische potentie voor elektrificatie van proceswarmte is aanzienlijk

Met bestaande technologieën kan nu al circa 62% van deze warmtevraag worden geëlektrificeerd. Vanaf 2030 komt daar naar verwachting nog eens 20% bij dankzij technologieën die nu in ontwikkeling zijn. De verwachting is dat in 2035 tot 90% van de industriële proceswarmte geëlektrificeerd kan worden. Dit komt overeen met een energievraag van circa 437 PJ (121,5 TWh). Deze technische potentie zal zich - naar verwachting - niet direct in zijn geheel vertalen naar de praktijk (bijvoorbeeld door economische, of inpassingsoverwegingen).

[1] CBS (2023)

Directe elektrificatie is daarom voor dit kabinet de voorkeursroute voor verduurzaming van lage- en midden-temperatuur proceswarmte

Door te focussen op de elektrificatie van lage- en midden-temperatuur-processen én tegelijkertijd te investeren in innovaties voor hoge-temperatuur-toepassingen, kan de Nederlandse industrie niet alleen haar klimaatdoelen tijdig en kostenefficiënt realiseren, maar ook bijdragen aan een betrouwbaar en toekomstbestendig energiesysteem. Aangezien niet altijd aan alle randvoorwaarden voor volledige elektrificatie wordt voldaan, wordt erkend dat hybride technieken een waardevolle tussenoplossing kunnen bieden.

Echter, door verschillende knelpunten vindt elektrificatie in de praktijk slechts zeer langzaam plaats

De elektriciteitsinfrastructuur is onvoldoende voorbereid op de snelgroeiende vraag, wat leidt tot netcongestie. Daarnaast ontstaat er bij elektrificatie afhankelijkheid van fluctuerende elektriciteitsopwek en -prijs, terwijl de industrie vooralsnog volcontinu opereert. Ook spelen er knelpunten met betrekking tot hoge kapitaalkosten (CAPEX), hoge toekomstige elektriciteitskosten (OPEX), benodigde kennis voor inpassing van de juiste technologie in productieprocessen en een gebrek aan duidelijkheid over de toekomstige energiemix, standaarden en vergunningen.

Onzekerheid over de vraagontwikkeling heeft een grote impact op de uitrol van windenergie op zee

Terwijl het aanbod van hernieuwbare elektriciteit snel toeneemt (door onder andere windenergie op zee), is er grote onzekerheid over de voortgang van elektrificatie en de ontwikkeling van de vraag. Dit maakt het lastiger voor windparkontwikkelaars om de geproduceerde elektriciteit via lange-termijn-contracten te verkopen en zijn prijsrisico's moeilijker af te dekken. Tegelijkertijd zijn de ontwikkelkosten sterk toegenomen door hogere materiaalprijzen, financieringskosten en andere macro-economische factoren. Hierdoor verslechteren de marktomstandigheden en neemt het risico op mislukte (subsidievrije) tenders toe, wat de realisatie van 23 GW wind op zee in 2033 onder druk zet. Deze situatie onderstreept de urgentie van gerichte stimulering van industriële vraag. Het kabinet komt rond Prinsjesdag met het *Actieplan windenergie op zee*, waarin de samenhang met de *Actieagenda Elektrificatie Industrie* expliciet wordt meegenomen om vraag en aanbod beter op elkaar af te stemmen en investeringszekerheid te vergroten.

Het kabinet zet daarom krachtig in op het realiseren van de juiste randvoorwaarden voor elektrificatie

Deze actieagenda geeft de acties van het kabinet vanuit verschillende programma's weer, die bijdragen aan elektrificatie en vult daarop aan voor een integrale aanpak. Daarnaast biedt de agenda vier pijlers voor huidige en toekomstige beleidsinterventies, aansluitend op de geïdentificeerde knelpunten.

1. **Consistente beleidskaders:** Om investeerdersvertrouwen te versterken en grootschalige elektrificatie te ondersteunen, zijn stabiele en voorspelbare beleidskaders essentieel. Elektrificatie wordt gepositioneerd als de voorkeursoptie voor lage- en midden-temperatuur-processen — boven indirecte elektrificatie. Dit wordt meegenomen bij beleidsvorming, zoals de herijking van het Nationaal Plan Energiesysteem (NPE) in 2026; en vertaalt zich momenteel al naar verschillende instrumenten als de SDE++ en de innovatieregelingen. Voor sectoren met een relatief grote warmtevraag binnen de lage- en midden-temperatuur warmtesegmenten, zoals de voedingsmiddelen-, textiel- en papierindustrie, worden gerichte elektrificatiestrategieën ontwikkeld.

2. **Financiële prikkels:** Om investeringen in elektrificatietechnologieën aantrekkelijker te maken, wordt ingezet op het verbeteren van de businesscase van elektrificatie. Zo heeft het kabinet een verkennend onderzoek uitgezet naar typen Contracts for Difference (CfD's) voor afnemers van elektriciteit en worden bestaande subsidieregelingen zoals de SDE++ jaarlijks verbreed en verdiept om beter aan te sluiten bij actuele ontwikkelingen en behoeften in de markt. Ook wordt verkend hoe EU-staatssteunkaders als het nieuwe CISAF (Clean Industry State Aid Framework) kunnen worden ingezet om de elektriciteitskosten te verlagen en worden de beleidsopties uit het Interdepartementaal Beleidsonderzoek (IBO) bekostiging elektriciteitsinfrastructuur verder uitgewerkt conform de kabinetsappreciatie. Daarnaast worden nieuwe financieringsmodellen ontwikkeld in samenwerking met financiële instellingen en nationale fondsen; zoals vergroten toegankelijkheid van corporate Power Purchase Agreements en blended finance modellen.

3. **Innovatie en kennisdeling:** Om elektrificatie op lange termijn te bevorderen, wordt R&D gestimuleerd voor hoge-temperatuur-technologieën boven 500°C. Er wordt geïnvesteerd in een programmatische aanpak om elektrificatietechnieken versneld door te ontwikkelen en op te schalen. Onderdeel hiervan is de ontwikkeling van een kennisplatform waarbij informatie centraal en doeltreffend wordt gepresenteerd zodat de industrie een helder beeld krijgt van de voordelen en mogelijkheden tot elektrificatie. Veder wordt ingezet op techno-economische analyses die kansen en belemmeringen identificeren en leiden tot sectorale archetypes voor effectieve transitiestrategieën.

4. **Flexibele elektrificatie:** Netcongestie belemmert de elektrificatie van de industrie doordat bedrijven niet tijdig kunnen worden aangesloten of uitgebreid, wat investeringen in elektrificatie technologieën vertraagt. Versnelling van netuitbreiding en beter benutten van bestaande capaciteit – onder meer via flexibiliteit en energiehubs – is daarom essentieel. Het kabinet stuurt hier actief op via het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN). Daarnaast zet het intermitterende karakter van hernieuwbare energie de leveringszekerheid onder druk en vergroot het de prijsonzekerheid. Om de impact van prijspieken en netcongestie te beperken en de leveringszekerheid te versterken, ontwikkelt het kabinet aanvullend beleid voor industriële flexibiliteit. Zo is begin dit jaar de Flex-e regeling gelanceerd. Tegelijkertijd wordt gewerkt aan een langetermijnperspectief met aandacht voor industriële vraagrespons en warmteopslag. In Q3 en Q4 2025 worden resultaten verwacht van lopende onderzoeken naar respectievelijk de potentie van vraagsturing en de bijdrage aan leveringszekerheid. Het kabinet zal nader uitwerken of aanvullende stimulering nodig is voor Industrial Demand Side Response. Flexibiliteit krijgt ook expliciet een plek bij de actualisatie van het NPE.

De vier pijlers van de Actieagenda Elektrificatie dienen tevens als verdere inzet op de Nederlandse positionering in Europese trajecten, waaronder de verdere uitwerking van de Clean Industrial Deal (CID), het Affordable Energy Action Plan (AEAP) en het in juni 2025 gepresenteerde CISAF-staatssteunkader.

Het kabinet formuleert geen afzonderlijke kwantitatieve elektrificatiedoelen voor de industrie. Het uiteindelijke doel is een duurzame en toekomstbestendige industrie, ongeacht de gebruikte energiedrager. Omdat de energiemix in de tijd kan verschuiven, is beleidsmatige flexibiliteit nodig om in te kunnen spelen op technologische en marktontwikkelingen. Tegelijkertijd zijn er instrumenten die wel degelijk richting geven. Zo verhoogt het Europese Emissions Trading System (EU ETS) stapsgewijs de CO_2-prijs en schaft gratis emissierechten af, waardoor fossiele alternatieven structureel duurder worden en de prikkel tot elektrificatie toeneemt. ETS2 breidt dit mechanisme vanaf 2027 uit naar sectoren zoals transport en de gebouwde omgeving, wat de elektrificatie ook daar stimuleert[2]. Om het gelijke speelveld binnen Europa te waarborgen, kiest het kabinet er vooralsnog voor om geen nationale elektrificatiedoelen bovenop de Europese verplichtingen te stellen. Wel zet het kabinet via gerichte beleidsinstrumenten en subsidies actief in op het vergroten van het aandeel elektrificatie in de industrie.

Het kabinet zal de voortgang van de in deze actieagenda opgenomen beleidsacties regelmatig monitoren en hierover communiceren. Integrale voortgangsrapportages over de elektrificatie van de industrie worden opgenomen in de reguliere Kamerbrieven van de directie Verduurzaming Industrie (VI). Daarnaast wordt over specifieke beleidsmaatregelen gerapporteerd via de bijbehorende trajecten, zoals het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) en de Toekomst van de SDE++. De eerstvolgende voortgangsrapportage over de SDE++ wordt verwacht in het vierde kwartaal van 2025.

[2] EU ETS

Inhoud

Samenvatting 2

1. Inleiding 6

2. Huidige energievraag industrie 7
2.1 Opgave voor de industrie 7
2.2 Industriële energievraag 8

3. Belang van elektrificatie 10
3.1 Systeemefficiëntie 10

4. Toekomstige elektriciteitsvraag industrie 12
4.1 Elektrificatiepotentie 12
4.2 Toekomstige elektriciteitsvraag industrie 15

5. Knelpunten voor elektrificatie 16

6. Beleidsacties 19
6.1 Consistente beleidskaders 20
6.2 Financiële prikkels 21
6.3 Innovatie en kennisdeling 23
6.4 Flexibele elektrificatie 24

Literatuurlijst 25

Bijlagen
Bijlage 1: Definitie Nederlandse industrie 30
Bijlage 2: Indicatie aandeel warmte van totaal energieverbruik per sector 31
Bijlage 3: Toepassing elektrificatie-technieken 32

1. Inleiding

Voor u ligt de Actieagenda Elektrificatie Industrie 2025. Met deze agenda brengt het kabinet het potentieel, knelpunten en handelingsperspectief in kaart ten aanzien van elektrificatie van de energie-intensieve industrie in Nederland. De agenda komt voort uit de toezegging tot een bijgestelde routekaart voor elektrificatie in de industrie tijdens het commissiedebat RES en wind op zee op 29 januari 2025[3]. Daarnaast geeft de actieagenda invulling aan de Kameruitspraak om samenhang tussen vraag- en aanbodontwikkeling te versterken (moties-Thijsen)[4] en de motie ten aanzien van inzet verdere verlaging netkosten industrie (motie Flach en Grinwis)[5]

De agenda is opgesteld door het ministerie van Klimaat en Groene Groei; in nauwe samenwerking met RVO en met input van de Power-to-Industry-werkgroep. Hiermee wordt voortgebouwd op de kabinetsreactie[6] op de Routekaart Elektrificatie in de Industrie[7], gepubliceerd in 2021 en op verzoek van de werkgroep Power-to-Industry opgesteld door TKI Energie en Industrie, in samenwerking met TNO, DNV en MSG Sustainable Strategies. De routekaart onderstreepte de urgentie, het potentieel en de mogelijke routes voor elektrificatie binnen de industrie en riep op tot concrete acties om elektrificatie een centrale rol te geven in de industriële energietransitie. Volgend op de kabinetsappreciatie in 2022 zijn veel van de aanbevelingen uit de routekaart inmiddels deels of volledig uitgewerkt. Ondanks deze vooruitgang blijven er uitdagingen bestaan rondom de elektrificatie van de industrie. De actieagenda pakt deze aan.

Hoofdstuk 2 geeft een inventarisatie van het huidige energieverbruik in productieprocessen binnen de Nederlandse industrie; om vervolgens in hoofdstuk 3 het belang van elektrificatie te schetsen. Hoofdstuk 4 brengt het huidige en toekomstige elektrificatiepotentieel van verschillende processen en warmtesegmenten in kaart; waarna hoofdstuk 5 een overzicht geeft van knelpunten voor elektrificatie van deze processen. Hoofdstuk 6 schetst tot slot de ingezette acties vanuit het kabinet op deze knelpunten, om de juiste randvoorwaarden te realiseren voor versnelling.

Het is belangrijk om op te merken dat de thema's netcongestie, energiebelasting en nettarieven wel genoemd worden in de analyse voor deze actieagenda, maar in andere trajecten worden behandeld, zoals het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) en de opvolging van de kabinetsappreciatie van het Interdepartementaal Beleidsonderzoek (IBO) bekostiging elektriciteitsinfrastructuur. Zij vallen daarmee buiten de scope van deze actieagenda voor wat betreft de verschillende beleidsacties. Beleidsmaatregelen uit het LAN die relevant zijn voor elektrificatie op lange termijn worden wél meegenomen in het overzicht van lopende acties. Deze actieagenda vormt daarmee een aanvulling op de bestaande trajecten, met een specifieke focus op energieprijzen en de opschaling van industriële elektrificatie.

[3] Toezegging:TZ202502-006
[4] Motie nr. 220 (29826).
[5] Motie nr. 586 (29023
[6] Kamerstuk 32813-1089: Routekaart Elektrificatie Industrie
[7] Routekaart Elektrificatie in de Industrie (2021)

2. Huidige energievraag industrie

2.1 Opgave voor de industrie

De vijf industrieclusters zijn gezamenlijk goed voor circa 200.000 banen, waarvan 40% in industriële sectoren. Ook logistiek, op- en overslag en overige toeleverende en dienstverlenende activiteiten spelen hierin een belangrijke rol. Cluster 6 omvat circa 200 bedrijven en biedt werk aan ruim 50.000 mensen. De toegevoegde waarde van de industrieclusters voor de Nederlandse economie bedraagt meer dan €25 miljard. De clusters zijn essentieel voor de concurrentiekracht van Nederland, met sterke bijdragen vanuit sectoren zoals de chemische industrie, basismetaal en petrochemie. Daarnaast fungeren ze als knooppunten in wereldhandel en internationale waardeketens. De industrie draagt substantieel bij aan de Nederlandse export, met belangrijke bijdragen van onder meer machinebouw, chemie en voedingsmiddelenindustrie. Bovendien laten multipliereffecten zien dat de indirecte economische impact van de clusters aanzienlijk is[8].

Economisch is de energie-intensieve industrie dus belangrijk voor het huidige en toekomstig verdienvermogen van Nederland en voor werkgelegenheid in verschillende regio's.[9] Maar ook voor de brede welvaart, inclusief de transitie naar een duurzame economie, heeft Nederland voldoende verdiencapaciteit nodig. Met een sterke industrie is de economie bovendien meer gediversifieerd en schokbestendig dan een economie die zich alleen op diensten richt.[10] Bovendien is de industrie de launching customer voor het ontwikkelen en toepassen van veel sleuteltechnologieën die nodig zijn voor de grote transitie naar een duurzame samenleving.[11]

Tegelijkertijd is de industrie op dit moment verantwoordelijk voor circa een derde van het Nederlandse eindverbruik van energie en zo'n 31% van de broeikasgasuitstoot op Nederlands grondgebied. Voor een groot deel valt dit voor rekening van bedrijven in de zogeheten energie-intensieve sectoren: de chemie, de raffinagesector, de kunstmestindustrie en de staalindustrie. Deze zijn samen goed voor 77% van de energievraag en 55% van de emissies van de industrie.[12] [13]

Het verduurzamen van de energie-intensieve industrie speelt daarom een sleutelrol in het behalen van de Nederlandse klimaatdoelen Met een energieverbruik in het productieproces van 616 PJ (171 TWh) – goed voor ongeveer een derde van het finale energieverbruik in Nederland – is de sector verantwoordelijk voor een aanzienlijk deel van de CO_2-uitstoot. Om de Nederlandse klimaatdoelstellingen te realiseren, mag de industrie in 2030 nog 28,8 Mton aan 'restemissie' uitstoten (~66% CO_2-reductie in 2030 ten opzichte van 1990)[14].

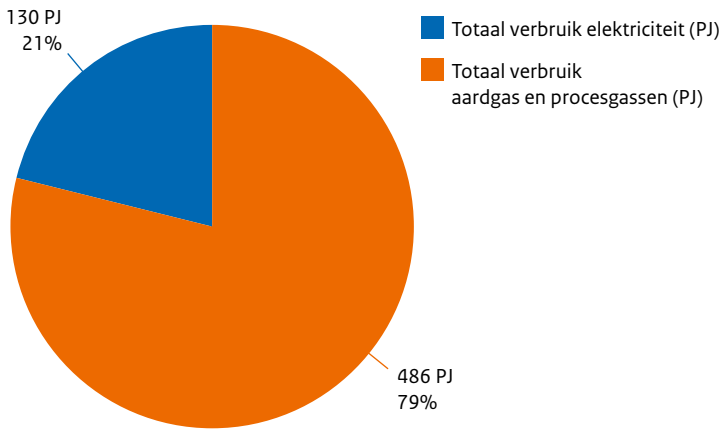
[8] Nationale prognose ruimtebehoefte industrieclusters.
[9] PwC Strategy& (2024). De sociaaleconomische impact van zes sectoren.
[10] Kamerstuk 29826, nr. 147, p. 3.
[11] Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 4
[12] Energierekeningen, op basis van netto energieverbruik: StatLine - Aanbod en gebruik energie; energiedragers, huishoudens en bedrijven (NR) (cbs.nl); Emissierekeningen, op basis van totaal bkg emissies: StatLine - Emissies naar lucht door de Nederlandse economie; nationale rekeningen (cbs.nl).
[13] Kamerstuk 29826, nr. 176, p. 9.
[14] CBS, 2022; Rijksoverheid, n.d.; Klimaatakkoord, 2019; Kamerstuk 29826, nr. 196

In het kader van de Europese Energie-Efficiëntierichtlijn (EED) moet Nederland het finale energieverbruik in 2030 beperken tot maximaal 1.609 PJ[15]. Ongeveer Circa 30% van deze opgave ligt bij de industrie, wat neerkomt op een besparingsdoel van circa 57 PJ; een besparingsopgave van circa 9% van het finale energieverbruik. Dit vereist gerichte inzet op elektrificatie, procesoptimalisatie en efficiëntere technologieën binnen industriële sectoren.

2.2 Industriële energievraag

De Nederlandse industrie verbruikt veel energie voor haar productieprocessen (zie bijlage 1 voor definitie industrie). In 2022 betrof dit 616 PJ energetisch verbruik. Op dit moment betreft het overgrote deel (79%) de inzet van aardgas voor proceswarmte. Dit gaat om verhittingsprocessen voor het smelten, kraken, bakken of drogen van grondstoffen en halffabricaten of het genereren van stoom. Circa 21% van de energievraag in de Nederlandse industrie is elektrisch. Dit wordt voornamelijk ingezet voor elektrische aandrijvingen (zie figuur 1). Hierbij geldt wel dat de verhouding tussen inzet van aardgas en procesgassen versus elektriciteit sterk verschilt per sector en per processtap (zie bijlage 2).

Figuur 1: *Energieverbruik productieprocessen Nederlandse industrie (2022)*[16]



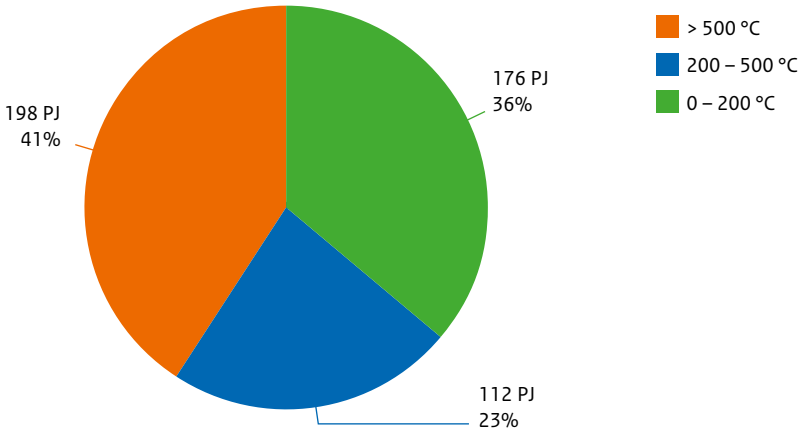
Om een goed beeld te krijgen van de industriële energievraag, is het belangrijk om bij proceswarmte onderscheid te maken tussen verschillende warmtesegmenten. Elk temperatuursegment kent namelijk specifieke toepassingen, procesvereisten en technische ontwikkelrichtingen. Dit inzicht is daarmee ondersteunend om verderop in deze actieagenda gerichte keuzes te kunnen maken voor de elektrificatie van industriële warmteprocessen.

Op basis van diverse bronnen[17] is per warmtesegment een inschatting gemaakt van het industriële energieverbruik.

Hoewel de onderliggende data deels verouderd zijn – het meest recente overzicht van de Nederlandse verdeling industriële warmtevraag dateert uit 2017 – biedt de analyse een bruikbaar beeld. De onderstaande inschattingen zijn daarmee een benadering van de huidige situatie (zie Tabel 1 & Figuur 2)[18].

[15] EED (2023)
[16] CBS (2022)
[17] Hierbij is gebruikgemaakt van gegevens van onder andere CBS, TNO en internationale bronnen zoals de European Energy Research Alliance (EERA).
[18] CBS (2022); TNO (2025); RVO (2025); Agora (2024); EERA, Industrial Thermal Energy Storage (2022)

Figuur 2: *Energieverbruik Nederlandse industrie (2022)*[19]



Tabel 1: *Warmtesegmenten*

Warmtesegment	Temperatuur-bereik	Sectoren en Toepassingen	Belangrijkste techniek elektrificatie	Energie-verbruik (PJ)
Lage-temperatuur-proceswarmte	0–200°C	Lage-temperatuur-proceswarmte, ruimteverwarming en warm water. Met name toegepast in pulp- en papierindustrie, voedingsmiddelenproductie.	Warmtepomp	176
Middelhoge-temperatuur-proceswarmte	200–500°C	Procesverwarming en reacties, voornamelijk in de chemische sector.	Warmtepomp & e-boiler	112
Hoge-temperatuur-proceswarmte	>500°C	Chemische industrie, raffinage, metaalbewerking en niet-metaalachtige mineralen.	Hoge-temperatuur-technieken zoals elektrische boogovens	198

De tabel geeft indicatief aan welke industrieën afhankelijk zijn van welk temperatuursegment en geeft (vooruitlopend op het volgende hoofdstuk) een doorkijk naar potentiële verduurzamingsroutes. Dit vormt een cruciale basis voor gerichte technische oplossingen en effectieve beleidsmaatregelen. De indeling en analyse van de warmtesegmenten hielpen bij het strategisch prioriteren van knelpunten en bijbehorende acties.

[19] Noot: Vanwege het momenteel geringe aandeel van de industriële elektriciteitsvraag dat wordt ingezet voor power-to-heat-toepassingen, is dit onderdeel buiten beschouwing gelaten in deze analyse.

3. Belang van elektrificatie

Een van de verduurzamingsroutes voor de warmtevraag uit de voorgaande hoofdstukken is elektrificatie. Elektrificatie betreft de overstap van directe inzet van fossiele brandstoffen in (voornamelijk warmte-)installaties en processen naar inzet van elektriciteit voor deze installaties en processen. In veruit de meeste gevallen vergt dit vervanging van installaties en/of aanpassingen in de industriële productieprocessen. Hieronder worden een aantal belangrijke voordelen geschetst van deze verduurzamingsroute.

3.1 Systeemefficiëntie

Elektrificatie van industriële processen is een efficiënte en toekomstbestendige manier van verduurzaming. Voor de verduurzaming van de industrie biedt directe elektrificatie voordelen zoals hoge energie-efficiëntie, lagere omzetverliezen, minimale stikstofuitstoot, geen gebruik van schaarse duurzame koolstof(dragers) en doorgaans een betere businesscase in vergelijking met indirecte elektrificatieopties zoals groene waterstof, groen gas of biobrandstoffen. Ook de beleidsinzet van de Europese Commissie – waaronder de Clean Industrial Deal (CID) en het Affordable Energy Action Plan (AEAP) – onderstreept het strategisch belang van lokaal opgewekte elektriciteit als dé energiedrager van de toekomst. Zo is op 25 juni 2025 het Clean Industrial Deal State Aid Framework (CISAF) goedgekeurd, dat lidstaten tot eind 2030 de mogelijkheid biedt om energie-intensieve bedrijven te compenseren voor hoge elektriciteitskosten. De steun kan oplopen tot 50% van de gemiddelde groothandelsprijs voor maximaal 50% van het verbruik, mits minstens 50% van de ontvangen steun wordt geïnvesteerd in verduurzaming. Dit versterkt niet alleen de Europese concurrentiepositie, maar biedt ook mogelijkheden tot een versnelde elektrificatie van industriële processen en daarmee transitie naar een fossielvrije industrie[20].

Daarnaast fungeert elektrificatie van de industrie als vliegwiel voor de productie van hernieuwbare energie in Nederland. Meer elektriciteitsvraag leidt tot meer zekerheid en een sterkere businesscase voor windparken op zee, meer invoeding van hernieuwbare elektriciteit, lagere elektriciteitsprijzen en daardoor opnieuw een grotere elektriciteitsvraag. Dit draagt bij aan versnelde verduurzaming van de industrie- en elektriciteitssector, aan een grotere energie-onafhankelijkheid, aan een kostenefficiënte uitrol van wind op zee en aan versnelde verduurzaming van andere sectoren door voldoende beschikbaarheid van betaalbare hernieuwbare energie. Rond Prinsjesdag 2025 publiceert het kabinet het 'Actieplan Wind op Zee'. In dit actieplan wordt de samenloop van vraagontwikkeling en de uitrol van wind op zee nader beschouwd in het licht van achterblijvende elektrificatie (zie Hoofdstuk 5) en worden concrete maatregelen voorgesteld ten aanzien van aanbodontwikkeling, vraagontwikkeling en uitrol van wind op zee vanuit een maatschappelijke kosten-baten-afweging.

Energiebesparing & verlaging stikstof (NOx)-uitstoot

Elektrificatie kan aanzienlijke energiebesparingen opleveren, met name doordat elektrische technieken zoals warmtepompen veel efficiënter zijn dan conventionele verbrandingstechnologieën. Waar bij verbranding de maximale energetische efficiëntie vaak tussen de 80% en 90% ligt, kunnen warmtepompen – afhankelijk van de toepassing – een efficiëntie bereiken van 300% of meer. Dit komt doordat warmtepompen niet zelf warmte genereren, maar warmte verplaatsen. Bij een gemiddelde Coëfficiënt of Performance (COP) van 3 betekent dit dat voor elke kilowattuur (kWh) elektriciteit, ongeveer 3 kWh aan bruikbare warmte wordt geleverd[21]. Hierdoor kan elektrificatie een belangrijke bijdrage leveren aan het realiseren van de nationale energiebesparingsopgave in het kader van de EED. Daarnaast leidt elektrificatie vrijwel altijd tot een verlaging van de directe stikstofuitstoot (NO_x)

[20] CID; AEAP;CISAF; Mission Letter; Draghi rapport

[21] **COP (Coefficient of Performance)** geeft de efficiëntie van een systeem aan: het is de verhouding tussen nuttige energie en benodigde input. Hoe hoger de COP, hoe efficiënter het systeem.

bij energieverbruik. NO_x-emissies ontstaan met name bij de verbranding van fossiele brandstoffen en in mindere mate ook bij de verbranding van waterstof of waterstofdragers, vooral door de hoge verbrandingstemperaturen waarbij stikstof uit de lucht met zuurstof reageert. Elektrische technieken – zoals e-boilers of warmtepompen – werken zonder verbrandingsproces en voorkomen deze emissies volledig. Daarmee draagt elektrificatie niet alleen bij aan een efficiënter energiegebruik, maar ook aan de verbetering van de luchtkwaliteit en het terugdringen van stikstofdepositie in natuurgebieden.

Flexibiliteit

De snelle groei van weersafhankelijke hernieuwbare elektriciteitsbronnen, zoals zon en wind, stelt de elektriciteitsmarkt voor nieuwe uitdagingen. Fluctuerende opwekking leidt tot een minder stabiele balans tussen vraag en aanbod door de sterke weersafhankelijkheid. Waar gas- en kolencentrales flexibel kunnen worden bij- of afgeschaald, vraagt een energiesysteem met een hoog aandeel hernieuwbare bronnen om andere vormen van flexibiliteit. Bovendien sluit na 2030 naar verwachting een groot aantal conventionele centrales, mede vanwege de wet Verbod op kolen bij elektriciteitsproductie. Deze afname in conventionele en regelbare elektriciteitsproductie in combinatie met een stijgende elektriciteitsvraag — door onder meer elektrische auto's en elektrificatie — zorgt ervoor dat de leveringszekerheid van elektriciteit in de toekomst onder druk kan komen te staan.

De leveringszekerheid van elektriciteit is de mate waarin de verwachte productie, opslag en import van elektriciteit in staat zullen zijn om aan de elektriciteitsvraag te voldoen. De Monitor Leveringszekerheid (MLZ) van TenneT, waarin inzicht gegeven wordt in de verwachte ontwikkeling van de toekomstige leveringszekerheid van elektriciteit, voorspelt dat rond 2033 risico's kunnen ontstaan[22]. Volgens de monitor compenseert de groei in het vermogen van vraagrespons, opslag en duurzame opwek nog onvoldoende om te compenseren voor de afname in conventioneel vermogen en stijgende elektriciteitsvraag.

Industriële vraagrespons kan significant bijdragen aan een stabielere energievoorziening door de elektriciteitsvraag te verhogen bij overschotten en te verlagen bij tekorten. Hierbij kan zowel de leveringszekerheid worden verbeterd als kosten worden geoptimaliseerd. De piekbelasting van elektriciteit kan in Nederland met wel 17% verlaagd worden als het volledig potentieel van industriële vraagrespons, of Industrial Demand Side Response (iDSR), wordt benut[23]. Deze flexibiliteit heeft niet alleen voordelen voor het energiesysteem, maar creëert ook nieuwe economische kansen voor bedrijven. Door in te spelen op prijsprikkels kunnen zij kosten besparen, extra inkomsten genereren en bijdragen aan een efficiëntere energievoorziening[24].

Industrial Demand Side Response (iDSR) – het flexibel aanpassen van het elektriciteitsverbruik door bedrijven en instellingen – is eveneens van essentieel belang voor het beheersen van netcongestie. Nu het elektriciteitsnet steeds vaker overbelast raakt door de snelle groei van weersafhankelijke opwekking en toenemende vraag, biedt iDSR een directe en kosteneffectieve oplossing om het net efficiënter te benutten. Door het elektriciteitsverbruik tijdelijk te verlagen of te verschuiven kunnen bedrijven actief bijdragen aan congestiemanagement, zonder dat grootschalige netverzwaringen direct noodzakelijk zijn.

iDSR stelt bedrijven niet alleen in staat om te blijven groeien en verduurzamen, maar creëert ook ruimte op het net voor andere gebruikers. Bovendien biedt het economische kansen via deelname aan flexibiliteitsmarkten. Recent onderzoek (CE Delft & Merosch, 2024) laat zien dat het activeren van flexibiliteit maatschappelijk aanzienlijk kostenefficiënter is dan het laten voortbestaan van netcongestie.

[22] Rapport Monitoring Leveringszekerheid | TenneT
[23] Flexibele vraagsturing industrie | TenneT
[24] McKinsey, 2024; TKI Energie en Industrie, 2022; DNV, 2020

4. Toekomstige elektriciteitsvraag industrie

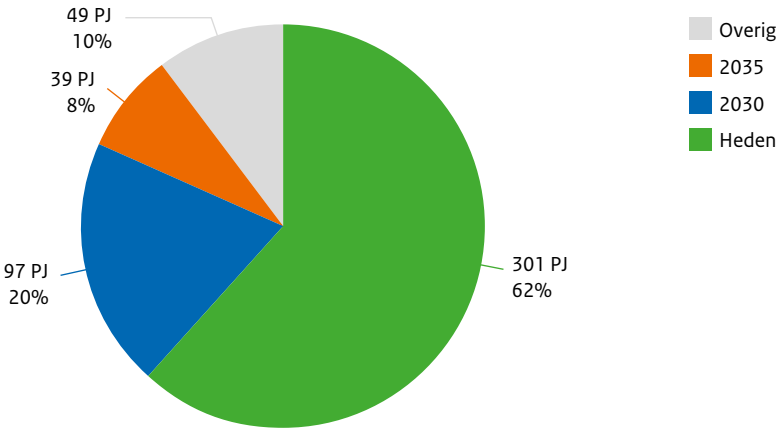
4.1 Elektrificatiepotentie

4.1.1 Elektrificatiepotentie nu en in de toekomst

Zoals beschreven in hoofdstuk 2.2 betreft momenteel 79% (486 PJ) van de industriële energievraag fossiele invulling van proceswarmte. Dit roept de vraag op in hoeverre elektrische technieken kunnen worden ingezet binnen de verschillende industriële warmteprocessen om dit grote aandeel terug te dringen (zie bijlage 3 voor nadere toelichting). In dit hoofdstuk wordt het technisch potentieel voor elektrificatie van deze warmteprocessen geïnventariseerd.

Er is momenteel een groot technisch potentieel voor de elektrificatie van industriële proceswarmte die met fossiele brandstoffen wordt opgewekt. Met bestaande technologieën is het momenteel al technisch mogelijk circa 62% van deze warmtevraag te elektrificeren. Vanaf 2030 komt daar naar verwachting nog eens 20% bij dankzij technologieën die nu nog in ontwikkeling zijn, zoals elektrische boogovens, weerstandverwarming en inductieverwarming. De verwachting is dat in 2035 tot 90% van de industriële proceswarmte geëlektrificeerd kan worden met innovatie op technieken zoals plasmabranders en schokgolfverwarming. Dit komt overeen met een energievraag circa 437 PJ (121,5 TWh) (zie figuur 3)[25].

Figuur 3: *Technisch potentieel elektrificatie warmteprocessen Nederlandse industrie*[26]



[25] Hierbij gaan we uit van de huidige energievraag voor proceswarmte zoals gepresenteerd in hoofdstuk 2.1 waarbij geen rekening wordt gehouden met het energiebesparingspotentieel van elektrificatie. Verder houd dit scenario geen rekening met netcongestie en de economische uitdagingen gezien de energiekosten en noodzakelijke CAPEX investeringen.

[26] Agora (2024)

Kortom, het technisch potentieel voor elektrificatie van industriële warmteprocessen is aanzienlijk. Veel benodigde toepassingen hebben een hoog Technology Readiness Level (TRL), waarbij de meeste zich in een operationele omgeving bewezen hebben (TRL 7/8; werkende installatie in nagebootste of daadwerkelijke eindsituatie), of klaar zijn voor marktintroductie en opschaling (TRL 9). Daarmee is elektrificatie van industriële warmteprocessen grotendeels haalbaar met bestaande en opkomende technologieën. Een overzicht van beschikbare elektrificatietechnologieën is te vinden in Tabel 2, met een gedetailleerde beschrijving van hun toepassingen in Tabel 10 van Bijlage 3. Tenslotte, in tabel 3 staan de kenmerken per sector en in de laatste kolom per sector het elektrificatie potentieel.

Tabel 2: *Technische potentie warmtetechnieken*[27]

Techniek	Max (°C) 2025	Max (°C) 2035	Efficiëntie 2025 (%)	Efficiëntie 2035 (%)	Capaciteit 2025 (MW)	Capaciteit 2035 (MW)	TRL 2025
Warmtepomp[28]	300 - 400	400	150-600	150-600	Modulaire	Modulaire	8 - 9
Elektrische boilers	500	500	99	99	tot 75	tot 75	9
Weerstandverwarming	1850	2000	99	99	80 kW/m2	1 MW/m2	9
Inductieverwarming	3000	3000	90	90	42	>50	9
Plasmabranders	5000	5000	50-90	50-90	8	50	7 - 9
Elektrische boogovens	1800	1800	90-95	90-95	200	200	9
Schokgolfverwarming	1000	1500	90	90	5-20	50-100	6

Tabel 3: *Sectorale verschillen elektrificatie*[29]

Sector	Eigenschappen	Elektrificatie Potentieel
IJzer & staal	Zeer hoge temperatuur (>1500 °C), hoge energiebehoefte	Beperkt potentieel in primaire productie, Hoog potentieel in secundaire productie (EAFs)
Chemie & petrochemie	Lage tot hoge temperatuur (<200 °C - >1000 °C), diverse energiebehoeften	Groot potentieel in stoomgeneratie, beperkt in hoge temperatuurtoepassingen
Non-ferrometalen	Al een hoge elektriciteitsbehoefte aanwezig, diverse temperaturen	Hoog potentieel, grotendeels al geëlektrificeerd
Glas, cement en andere niet-metaalhoudende mineralen	Zeer hoge temperatuur (>1500 °C), hoge capaciteit ovens	Uitdagend door hoge temperaturen, Ontwikkeling elektrische ovens noodzakelijk
Voedingsmiddelen, dranken en tabak	Lage temperatuur (<200 °C), stoom als belangrijkste energievorm	Volledig elektrificeerbaar met bestaande technologieën
Papier, pulp & karton	Lage temperatuur (<200 °C), stoom als belangrijkste energievorm	Volledig elektrificeerbaar met bestaande technologieën
Overige sectoren (transport, machines, mijnbouw, hout, etc.)	Diverse temperaturen en energiebehoeften	Groot potentieel in lage-temperatuurtoepassingen, Verder onderzoek nodig

[27] Agora (2024)

[28] Hierbij is de mechanische damprecompressie-warmtepomp (MDR) meegenomen. MDR is een open warmtepomp die restdamp uit industriële processen comprimeert en hergebruikt als warmtebron. De techniek is geschikt voor temperaturen tot circa 400 °C en kent een hoge energie-efficiëntie. MDR is met name toepasbaar in sectoren als voeding, papier en chemie.

[29] Agora (2024)

4.1.2 Inzet hybride technieken

Hoewel elektrificatie grote potentie en urgentie heeft, is volledige overstap op elektriciteit voor veel bedrijven op korte termijn niet haalbaar. In sommige situaties is een tussenstap noodzakelijk, bijvoorbeeld bij de vervanging van bestaande fossiele installaties terwijl de netcapaciteit ontoereikend is, of wanneer geschikte elektrische alternatieven voor specifieke productieprocessen – zoals hoge-temperatuurtoepassingen – (nog) niet beschikbaar zijn. In dergelijke gevallen is het vanuit duurzaamheidsperspectief belangrijk om nieuwe investeringen in volledig fossiele installaties te voorkomen.

Hybride technologieën kunnen dan een realistisch en zinvol tussenstation zijn. Ze maken het mogelijk om de CO_2-uitstoot al aanzienlijk te reduceren en ETS-kosten te vermijden, zonder direct volledige elektrificatie te vereisen. Voorbeelden zijn:

- **De hybride glasoven**, die elektrische verwarming combineert met (nu nog voornamelijk) fossiele brandstoffen;
- **De e-boiler**, eventueel in combinatie met warmteopslag;
- **De warmtepomp**, als aanvulling op bestaande fossiele warmteopwekking.

Een flexibele overheidsaanpak waarin ook ruimte is voor hybride oplossingen vergroot het handelingsperspectief voor bedrijven. Hiermee kan ondanks technische en infrastructurele knelpunten al substantiële verduurzaming worden gerealiseerd en wordt voorkomen dat waardevolle vraag naar hernieuwbare elektriciteit onbenut blijft. Tegelijk blijft directe elektrificatie het voorkeursscenario, vanwege de maximale energie-efficiëntie en systeemvoordelen die daarmee gepaard gaan zoals geschetst in hoofdstuk 3. Hybride technologieën dienen dan ook alleen te worden ingezet wanneer volledige elektrificatie aantoonbaar (nog) niet haalbaar is.

4.1.3 Inzet niet-thermische elektrificatie in de industrie

Bij de elektrificatie van de industrie ligt de nadruk vaak op het vervangen van fossiele warmtebronnen door elektrische alternatieven, zoals e-boilers of warmtepompen. Minder bekend, maar minstens zo relevant, is een andere categorie: niet-thermische elektrificatietechnieken. Hierbij worden traditionele thermische processtappen vervangen door processen die direct op elektriciteit draaien, zónder tussenkomst van warmte.

Voorbeelden zijn elektrochemische processen, elektrische scheidingstechnieken (zoals membranen of elektroforese) en mechanische alternatieven zoals elektrische persen of drogers. Deze technieken bieden niet alleen CO_2-reductie, maar ook kansen voor hogere energie-efficiëntie, verbeterde productkwaliteit, precisie en soms zelfs geheel nieuwe productieroutes.

Niet-thermische elektrificatie vormt daarmee een waardevolle aanvulling op de bestaande elektrificatiestrategieën. Door processen niet alleen te verduurzamen, maar ook te optimaliseren of herontwerpen, kunnen deze technologieën bijdragen aan een snellere en meer geïntegreerde transitie naar een CO_2-neutrale en toekomstbestendige industrie. Hieronder enkele voorbeelden:

Power-to-Power: de potentie van elektromotoren in de industrie

Power-to-Power verwijst naar de vervanging van conventionele aandrijvingen, zoals stoomturbines of verbrandingsmotoren, door elektrische aandrijvingen – met name elektromotoren. Deze technologie biedt grote voordelen op het gebied van energie-efficiëntie, emissiereductie en procescontrole. Moderne elektromotoren zijn tot wel veel efficiënter dan (verouderde) stoomturbines of verbrandingsmotoren. Dankzij hun directe elektrische aandrijving en regelbaarheid (bijvoorbeeld via frequentieregelaars) maken ze het mogelijk om industriële processen te elektrificeren, optimaliseren en verduurzamen[30].

De grootste uitdaging ligt vaak niet in de techniek zelf, maar in de integratie in bestaande processen, bijvoorbeeld vanwege gevolgen voor stoombalansen. Met de juiste beleidsprikkels en investeringszekerheid kan Power-to-Power een sleutelrol spelen in de industriële energietransitie.

[30] Elektrische aandrijvingen in de industrie | RVO

Membraantechnologie als efficiënte scheidingstechniek

Membraantechnologie omvat verschillende scheidingsprocessen waarbij een fysiek membraan deeltjes tot ca. 1 µm afscheidt. In de procesindustrie zijn vooral drukgedreven technieken gangbaar, zoals microfiltratie (MF), ultrafiltratie (UF), nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO)[31]. Deze technieken zijn vaak energie-efficiënt en eenvoudig te bedienen en vormen een mogelijk alternatief voor energie-intensieve thermische scheiding (zoals indamping of destillatie). Membraanscheiding wordt niet alleen toegepast vanwege energiereductie, maar ook vanwege betere scheidingskwaliteit, hogere opbrengsten en milieuvriendelijkere oplosmiddelen. Toepassingsgebieden zijn:

- Plantaardige olieverwerking (MVO)
- Vervanging van destillatie of indamping
- Afvalwaterzuivering
- Zuivelindustrie (indikken van melk of wei)
- Zetmeelindustrie

Venturial-technologie

Venturial-technologie combineert drogen, malen en steriliseren in één fysisch proces. Materialen worden versneld tot boven de geluidsbarrière en onderworpen aan akoestische schokgolven. De techniek wordt momenteel getest in sectoren zoals zuivel, veevoer en recycling, met grote potentie voor reststroomverwaarding en energiebesparing.[32]

Sterilisatie en pasteurisatie zonder hitte

Ook niet-thermische sterilisatie- en pasteurisatietechnieken, zoals uv-licht, hoge druk (HPP) of elektrische ontlading, hebben potentie. Ze kunnen vooral worden toegepast in de voedingsmiddelen- en watersector en maken het mogelijk om microbiële veiligheid te waarborgen zonder thermische belasting, wat kan leiden tot energiebesparing en behoud van productkwaliteit. Kortom, niet-thermische elektrificatie biedt aanzienlijke mogelijkheden om zowel de energie-efficiëntie als de verduurzaming van industriële processen te versnellen.

4.2 Toekomstige elektriciteitsvraag industrie

Verwacht wordt dat in 2050 het totale Nederlandse elektriciteitsverbruik tot vier maal hoger ligt dan nu[33]. Volgens de Klimaat- en Energieverkenning 2024 (KEV) zal naar verwachting in 2030 circa 75% van de elektriciteit hernieuwbaar zijn, voornamelijk afkomstig uit windenergie op zee (WOZ) en zonne-energie[34].

Het grote potentieel voor elektrificatie binnen de industrie komt ook duidelijk naar voren in diverse scenariostudies ten aanzien van het toekomstige energiesysteem. Hoewel het aandeel elektriciteit in de industriële energiemix momenteel relatief beperkt is (circa 130 PJ, oftewel 21% van het totaal), voorzien verschillende prognoses een sterke toename richting 2050. Afhankelijk van het scenario loopt het elektrificatie-aandeel op tot circa 50-80%, wanneer we cijfers vergelijken met het huidige industriële energieverbruik (circa 616 PJ),zoals weergegeven in Tabel 4. De meest ambitieuze schattingen, zoals uit de CES 3.0, liggen hier aanzienlijk boven.

Tabel 4: Prognoses elektrificatie industrie[35]

Jaar	2022	2030		2040		2050	
	Statline (CBS)	Routekaart Elektrificatie	KM scenario's 2025	Routekaart Elektrificatie	KM scenario's 2025	Routekaart Elektrificatie	KM scenario's 2025
Elektriciteits-vraag industrie (PJ)	130	108-288	206	nvt	323	288-468	271-497

[31] RVO: Best Practice Membraantechnology
[32] Venturial technologie
[33] NPE, 2023; PBL, 2024; Agora, 2024
[34] KEV, 2024;
[35] NBNL (2025); CBS (2022); Routekaart Elektrificatie in de Industrie (2021); PBL (2024)

5. Knelpunten voor elektrificatie

In de voorgaande hoofdstukken is de huidige status en het technisch potentieel van industriële elektrificatie in kaart gebracht. Echter, ondanks dit potentieel neemt het aandeel elektriciteit in het Nederlandse industriële energieverbruik slechts zeer langzaam toe. Belangrijke oorzaken hiervoor zijn onder andere netcongestie, hoge kapitaalkosten (CAPEX), hoge en onzekere elektriciteitskosten (OPEX) en kennishiaten ten aanzien van industriële elektrificatie. Binnen Europa zien we een vergelijkbaar beeld: sinds 2013 blijft het gemiddelde aandeel elektrificatie in de industrie in Europa steken op 33%. Slechts 4% van de proceswarmtevraag op Europees niveau is geëlektrificeerd[36].

Daarmee dreigt een mismatch te ontstaan. Het aanbod van hernieuwbare elektriciteit groeit snel, tegelijkertijd is er grote onzekerheid over de voortgang van elektrificatie en de ontwikkeling van de vraag vanuit de industrie. Deze mogelijke mismatch tussen vraag en aanbod, gekoppeld aan een hoge toename van de ontwikkelkosten voor windparken op zee door prijsstijgingen voor o.a. materiaal, financiering en macro-economische ontwikkelingen, resulteert daarmee in verslechterde markomstandigheden waarin windparkontwikkelaars minder bereid zijn tot het aangaan van nieuwe investeringen in windenergie op zee in Nederland. Hierdoor neemt de kans op het mislukken van toekomstige subsidievrije tenders voor nieuwe windparken op zee sterk toe. Het gevolg hiervan is dat de realisatie van windparken op zee vertraagd en de haalbaarheid van de huidige inzet op 23 GW windenergie op zee in 2033 onder druk staat. Deze ontwikkelingen onderstrepen de urgentie van gerichte stimulering van industriële vraag naar duurzame elektriciteit. Rond Prinsjesdag publiceert het kabinet het Actieplan Wind op Zee. In dit actieplan wordt de samenloop van vraagontwikkeling en de uitrol van wind op zee nader beschouwd in het licht van achterblijvende elektrificatie en worden concrete maatregelen voorgesteld ten aanzien van aanbodontwikkeling, vraagontwikkeling en uitrol van wind op zee vanuit een maatschappelijke kosten-baten afweging.

Dit hoofdstuk richt zich op de belangrijkste knelpunten die de benutting van het elektrificatiepotentieel in de industrie belemmeren. Op basis van analyses, Europese databronnen en onderzoeken; gesprekken met universiteiten, brancheverenigingen, dossierhouders en accounthouders binnen de directies van KGG en RVO zijn de voornaamste barrières voor de elektrificatie van industriële warmte in Nederland in kaart gebracht[37]. Deze paragraaf geeft een overzicht van deze knelpunten, die vervolgens worden gekoppeld aan de beleidsacties in hoofdstuk 6. Zo wordt inzichtelijk welke maatregel bijdraagt aan het oplossen van welk knelpunt. Uit deze analyse kwamen onderstaande knelpunten naar voren. In Tabel 5 worden per categorie de belangrijkste knelpunten toegelicht, samen met mogelijke oplossingsrichtingen.

We hebben alle knelpunten t.a.v. elektrificatie in kaart gebracht. Maatregelen t.a.v. deze knelpunten die reeds genomen worden, staan in het overzicht in hoofdstuk 7. Vervolgstappen ná lopende acties vanuit deze bestaande trajecten op bijvoorbeeld netcongestie, heffingen en nettarieven (LAN en de opvolging van de kabinetsappreciatie van het IBO) worden via die beleidstrajecten opgepakt. Vervolgstappen op overige maatregelen worden in het licht van deze agenda bij VJB 2026 voorgesteld. Daarmee borgt deze agenda aanvullingen vanuit een integrale benadering zonder verantwoordelijkheden dubbel te beleggen. Hiermee ontstaat een natuurlijke focus vanuit de actieagenda op aanvullingen ten aanzien van verlaging van de marktprijs voor elektriciteit en het wegnemen van onzekerheden (prijspieken, flexibiliteit, heterogeniteit, duidelijkheid beleidskaders en regelgeving).

[36] Power Barometer, 2024; Eurostat, 2024

[37] Agora (2024); E-Bridge (2024); Kamerstuk 31239, nr. 403; McKinsey (2024); Power Barometer (2024); PwC (2021); RAP (2024); RVO (2025); SystemIQ (2024); TKI (2021); TKI (2024); WEF (2024)

De knelpunten zijn geclusterd in vijf hoofdcategorieën:

1. **Netcongestie**
2. **Consistente beleidskaders**
3. **Financiële prikkels**
4. **Innovatie en kennisdeling**
5. **Flexibele elektrificatie**

Tabel 5: *Knelpunten elektrificatie industrie*

Nr	Knelpunt	Categorie	Uitdaging
KP1	Netcongestie	Netcongestie	Netcongestie vormt een serieuze belemmering voor industriële elektrificatie. Door beperkte transportcapaciteit kunnen bedrijven niet altijd tijdig worden aangesloten of hun aansluiting uitbreiden, wat investeringen in bijvoorbeeld e-boilers en warmtepompen vertraagt. Versnelling van netuitbreiding en beter benutten van bestaande capaciteit – via flexibiliteit of energiehubs – is daarom cruciaal. Deze acties worden opgepakt binnen het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN), waarop het kabinet actief stuurt vanwege het belang voor de industriële transitie.
KP2	Hoge kapitaalkosten (CAPEX) t.o.v. fossiel alternatief	Financiële prikkels	De implementatie van elektrificatietechnologieën, zoals warmtepompen en e-boilers, gaat vaak gepaard met hoge initiële investeringen. Deze kapitaalkosten vormen een belangrijke belemmering voor bedrijven, zeker wanneer terugverdientijden onzeker zijn, de toegang tot extern kapitaal beperkt is, of bedrijven onvoldoende eigen middelen hebben. Dit geldt in het bijzonder voor het mkb. Belangrijke drempels hierbij zijn: • Hoge financieringskosten vanwege het risico van nieuwe of innovatieve installaties; • Lange terugverdientijden ten opzichte van fossiele alternatieven; • Versnelde afschrijving van bestaande (fossiele) installaties bij vroege vervanging; • Onvoldoende liquiditeit voor grote investeringen, met name bij kleinere bedrijven.
KP3	Hoge en onzekere elektriciteitskosten remmen elektrificatie	Financiële prikkels	Hoge energiebelastingen en stijgende nettarieven zetten de businesscase voor elektrificatie onder druk en vergroten het risico op een ongelijk speelveld. Nederlandse bedrijven betalen tot 66% meer energiebelasting dan in buurlanden[38], terwijl netwerkkosten fors stijgen door investeringen van €195 miljard richting 2040[39]. De combinatie van hoge marktprijzen, netwerkkosten en belastingen maakt elektriciteit relatief duur, waardoor de OPEX van elektrische alternatieven vaak hoger ligt dan die van fossiele technieken. Toenemende prijsvolatiliteit door variabele hernieuwbare opwek vergroot de onzekerheid over toekomstige elektriciteitskosten en verhoogt het investeringsrisico voor de industrie.
KP4	Beperkte beschikbaarheid van (hoge-temperatuur)technologie elektrificatie	Innovatie en kennisdeling	Elektrische alternatieven voor hoge-temperatuurprocessen zijn vaak nog in ontwikkeling of slechts beperkt commercieel beschikbaar. Daarnaast is de toeleveringsketen voor laagtemperatuurtechnologieën, zoals warmtepompen, nog niet volledig opgeschaald of geoptimaliseerd, wat leidt tot langere levertijden en hogere kosten.

[38] E-Bridge (2024)

[39] IBO Bekostiging Elektriciteitsinfrastructuur

Nr	Knelpunt	Categorie	Uitdaging
KP5	Onvoldoende kennis en expertise remt toepassing van elektrificatie	Innovatie en kennisdeling	Gebrek aan kennis, praktijkervaring en standaardoplossingen maakt bedrijven terughoudend in het toepassen van elektrificatietechnologieën. De grote variatie in processen en ontwikkelfases van technieken vraagt vaak om maatwerk, wat het maken van keuzes bemoeilijkt. Belangrijke aspecten zijn: • Onvoldoende kennis over werking, prestaties en kosten ten opzichte van fossiele alternatieven; • Grote variatie in elektrificatieopties en hun mate van marktrijpheid; • Heterogeniteit van industriële processen maakt standaardisatie lastig (geen one-size-fits-all).
KP6	Onrealistische verwachtingen over alternatieven	Innovatie en kennisdeling	Veel bedrijven rekenen op goedkope groene waterstof of biobrandstoffen, wat elektrificatie vertraagt.
KP7	Leveringszekerheid en integratie van flexibiliteit	Flexibele elektrificatie	Volledige elektrificatie vergroot de afhankelijkheid van een stabiele elektriciteitsvoorziening, terwijl hernieuwbare opwek fluctueert en industriële processen vaak een constante baseload-vraag hebben. Dit stelt hoge eisen aan leveringszekerheid en netstabiliteit. Flexibiliteit, zoals industriële Demand Side Response (iDSR), is noodzakelijk om vraag en aanbod te balanceren, maar is nog lastig te integreren in industriële processen door complexiteit en gebrek aan afstemming met netbeheerders.
KP8	Onduidelijkheid beleidskaders en regelgeving	Consistente beleidskaders	Trage besluitvorming en onduidelijke regelgeving zorgen voor onzekerheid bij bedrijven en investeerders, met risico op vertraging of uitstel van elektrificatieprojecten. Onduidelijkheid over aansluitingen, vergunningen en normering belemmert tijdige opschaling en tast het vertrouwen in het langetermijnbeleid aan. Belangrijke aspecten zijn: • Onduidelijkheid over beleid en kostenontwikkeling van de toekomstige energiemix leidt tot uitgestelde investeringsafwegingen; • Onduidelijkheid over benodigde vergunningen voor nieuwe typen elektrische installaties; • Gebrek aan duidelijke normen en standaarden voor elektrificatietechnologieën bemoeilijkt ontwerp en implementatie.

6. Beleidsacties

Elektrificatie wordt sinds een aantal jaar indirect gestimuleerd via het ETS, de Energie-investeringsaftrek (EIA), Milieu-investeringsaftrek (MIA), willekeurige afschrijving milieu-investeringen (VAMIL) en/of via maatwerkafspraken met grote industriële uitstoters. Directe stimulering vindt plaats via de SDE++, investeringssubsidies zoals VEKI en NIKI, innovatieregelingen als EKOO, MOOI en DEI+ en het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN). Om de juiste randvoorwaarden voor industriële elektrificatie te creëren, zijn – op basis van de geïdentificeerde knelpunten en in overleg met interne en externe partijen – vier hoofdthema's voor additionele beleidsacties geïdentificeerd:

1. **Consistente beleidskaders;**
2. **Financiële prikkels;**
3. **Innovatie en kennisdeling;**
4. **Flexibele elektrificatie.**

Daarnaast borgt het kabinet de inzet op deze pijlers op het Europese vlak, om, waar nodig, Europese belemmeringen weg te nemen en een Europees level playing field te realiseren. Zo verschijnt er het kader van de Clean Industrial Deal (CID)[40] naar verwachting begin 2026 het Electrification Action Plan (EAP)[41]. Deze actieagenda levert handvatten voor een passende Nederlandse inbreng en draagt bij aan het creëren van de randvoorwaarden, om de kansen die het Europese beleid biedt, optimaal te benutten.

Onder de pijler 'financiële prikkels' lopen verkenningen naar verschillende typen instrumenten om de vraagkant te stimuleren. Hierbij wordt de beleidsinzet van de Europese Commissie meegenomen, zoals het onlangs gepubliceerde CISAF-kader42, waarin een verbreding van de staatsteunkaders wordt voorgesteld voor de subsidiering van elektriciteitskosten voor de energie-intensieve industrie. Daarbij wordt opgemerkt dat in de verkenningen tevens wordt gekeken naar doeltreffendheid, doelmatigheid en rechtmatigheid en in het bijzonder de samenloop met andere instrumenten die ingrijpen op de elektriciteitsprijs (bestaand, en/of verkend in het licht van deze agenda), om additionaliteit te borgen en overlap te voorkomen.

In tabellen 6, 7, 8 en 9 worden de beleidsacties op deze thema's weergegeven die recent door het kabinet in gang zijn gezet, met de vervolgstappen die worden voorzien. Zoals gesteld in hoofdstuk 5 lopen op een aantal van de knelpunten bestaande beleidstrajecten, zoals bijvoorbeeld het Landelijk Actieprogramma Netcongestie (LAN) voor het mitigeren van netcongestie of beleidstrajecten ingezet naar aanleiding van de appreciatie van het kabinet van het Interdepartementaal Beleidsonderzoek Netkosten (IBO) Bekostiging elektriciteitsinfrastructuur. Beleidsacties worden vermeld met een verwijzing naar deze trajecten. Eventuele vervolgstappen worden ook via deze beleidstrajecten bepaald en opgepakt. Eventuele vervolgstappen op overige maatregelen worden in het licht van deze agenda nader uitgewerkt. Daarmee borgt het kabinet met deze agenda aanvullingen vanuit een integrale benadering zonder verantwoordelijkheden dubbel te beleggen. Hiermee ontstaat een natuurlijke focus vanuit de actieagenda op aanvullingen ten aanzien van verlaging van de marktprijs voor elektriciteit en het wegnemen van onzekerheden (prijspieken, flexibiliteit, heterogeniteit, duidelijkheid beleidskaders en regelgeving).

De Actieagenda Elektrificatie Industrie richt zich daarnaast primair op het creëren van de juiste randvoorwaarden om elektrificatie in de industrie te versnellen. Er is bewust voor gekozen om geen specifieke kwantitatieve doelstellingen voor industriële elektrificatie vast te stellen. Elektrificatie wordt gestimuleerd via het ETS, terwijl het kabinet inzet op verduurzaming via Europees beleid en gerichte (aanvullende) nationale instrumenten, met behoud van beleidsmatige flexibiliteit en een gelijk

[40] The Clean Industrial Deal | Europese Commissie
[41] Mission Letter | Europese Commissie
[42] CISAF

speelveld binnen de EU. Hierbij wordt gekeken naar een gebalanceerd pakket van normeren, beprijzen en subsidiëren. Wel valt daarbij op te merken dat deze balans zich vooral over de tijd heen zal vestigen. Momenteel verkeren veel beleidsacties in een verkennend stadium.

Deze actieagenda heeft primair tot doel om oplossingsrichtingen te agenderen, een theoretische kennisbasis op te bouwen en zo de condities te scheppen voor opschaling van industriële elektrificatie. Voor de uitwerking van beleidsacties zoals het versterken van kennisdeling en innovatie en het stimuleren van industriële vraag naar duurzame elektriciteit worden op dit moment geen aanvullende middelen gevraagd.

Voor enkele trajecten – zoals de verkenning van Contracts for Difference (CfD) aan de vraagzijde en een mogelijk garantiefonds voor corporate PPA's – kan in de toekomst aanvullende financiering nodig zijn. Omdat deze trajecten zich nog in een verkennende fase bevinden, is op dit moment geen besluit over extra middelen aan de orde.

In de volgende secties worden de beleidsacties vanuit de vier hoofdthema's gepresenteerd.

6.1 Consistente beleidskaders

Tabel 6: *Consistente beleidskaders*

Beleidsactie	Omschrijving en vervolgstappen	Knelpunt	Prioriteit	Planning status-update
Elektrificatie positioneren als voorkeursroute voor de verduurzaming van industriële lage- en midden-temperatuur-warmte	Het ministerie van KGG neemt bij relevante beleidsvorming en instrumentering in de overwegingen mee dat directe elektrificatie de voorkeursroute is voor verduurzaming van het lage- en midden-warmtesegment bij de industrie, boven alternatieven zoals indirecte elektrificatie zoals groene waterstof.	KP6, KP8	Hoog	Q2 2026
Integratie van nationale belangen in de Europese beleidsinzet voor elektrificatie van de industrie	Borg de Nederlandse belangen binnen de Europese beleidskaders voor de industrie, zoals de Clean Industrial Deal (CID), het Action Plan for Affordable Energy (AEAP), het Clean Industrial State Aid Framework (CISAF) en het Electrification Action Plan (EAP); verwacht in het eerste kwartaal van 2026. Zorg voor een consistente nationale inpassing en afstemming van beleidsmaatregelen op deze Europese ontwikkelingen.	KP2, KP3, KP7, KP8	Hoog	Q2 2026

6.2 Financiële prikkels

Tabel 7: *Financiële prikkels*

Beleidsactie	Omschrijving en vervolgstappen	Knelpunt	Prioriteit	Planning status-update
Inventarisatie subsidie-instrumenten voor industriële elektrificatie (binnen of buiten de SDE++)	De SDE++ ondersteunt sinds 2020 de elektrificatie van industriële processen en wordt jaarlijks aangepast op basis van PBL-advies en marktconsultatie. In vervolg op de Kamerbrief *Toekomst van de SDE++*[43] en de doorontwikkeling van de regeling wordt momenteel verkend of aanvullende of beter passende ondersteuning van warmtetechnieken mogelijk is, met aandacht voor voor- en nadelen van aanpassingen. Hiervoor is een onderzoek uitgezet dat in het einde van 2025 met een begeleidende kamerbrief wordt gepubliceerd.	KP2, KP3	Hoog	Q4 2025
Verkennen Contract for Difference (CfD) modellen voor de elektriciteitsvraag van de industrie	Het ministerie van KGG heeft in vervolg op de kamerbrief *Toekomst van de SDE++*[44] een onderzoek uitgezet naar verschillende typen Contract for Difference (CfD)-mechanismen voor de elektriciteitsprijs voor industriële afnemers. Dit geeft inzicht in effecten van deze mechanismen op prijszekerheid bij industriële elektrificatie en (afhankelijk van vormgeving) effecten van inzet voor verlaging van de elektriciteitsprijs voor industriële afnemers. Een dergelijk mechanisme kan financiële risico's beperken en de businesscase versterken door voorspelbaardere operationele kosten (OPEX). Onderzoeksresultaten zijn opgeleverd in Q3 2025. In het najaar volgt een appreciatie van de resultaten en - afhankelijk van deze resultaten - een eventuele schets van vervolgstappen. Hierbij zal tevens een koppeling worden gemaakt met de nieuwe CISAF staatssteunkaders zoals gepresenteerd door de Europese Commissie eind juni 2025.	KP3	Hoog	Q1 2026
Verkennen van een garantiefonds voor corporate Power Purchase Agreements (cPPA's)	De ontwikkeling van een cPPA-garantiefonds wordt momenteel verkend door InvestNL, in samenwerking met het ministerie van KGG en private financiers. Een dergelijk garantiefonds vergroot de toegankelijkheid van cPPA's voor bedrijven met onvoldoende kredietwaardigheid. Dit verbetert de financierbaarheid van duurzame PPA contracten en stimuleert daarmee de vraag naar groene elektriciteit. De eerste resultaten worden begin 2026 verwacht. Op basis daarvan wordt beoordeeld of het fonds definitief wordt ontwikkeld en of publieke garanties noodzakelijk zijn voor de opzet. Een publieke garantie fungeert daarbij als hefboom en vergroot de investeringsbereidheid van marktpartijen.	KP3, KP7	Hoog	Q1 2026

[43] Kamerstuk 31239, nr. 403
[44] Kamerstuk 31239, nr. 403

Beleidsactie	Omschrijving en vervolgstappen	Knelpunt	Prioriteit	Planning status-update
EU-inzet voor verruiming staats-teunkaders voor gepaste steun flexibele en hybride technieken binnen de SDE++	Als vervolg op de kamerbrief *Toekomst van de SDE++*[45] bepleit het ministerie van KGG bij de Europese Commissie het verhogen of schrappen van draaiurenlimieten binnen de SDE++. Dit maakt gerichte steun mogelijk aan technieken als e-boilers en hybride technieken, en versterkt de businesscase voor flexibele industriële elektrificatie. Het huidige draaiurenlimiet vloeit voort uit een nauwe interpretatie van staatssteunregels, waarbij uitsluitend directe CO_2-reductie meetelt op basis van het aandeel hernieuwbare elektriciteit op het net. Deze benadering miskent de bredere systeembijdrage van elektrificatie: een groeiende industriële vraag ondersteunt immers de uitrol van hernieuwbare opwek, versnelt de transitie naar een CO_2-vrij energiesysteem en levert daarmee ook indirecte CO_2-reductie op. Die winst blijft nu buiten beeld. Eventuele uitkomsten worden mogelijk meegenomen in de overwegingen omtrent de nieuwe openstellingsronde van de SDE++.	KP3	Middel	Q2 2026
Stimuleren en waar mogelijk ontwikkelen van blended-finance modellen ter ondersteuning van industriële elektrificatie	InvestNL onderzoekt, in samenwerking met het ministerie van KGG, de ontwikkeling van blended-finance modellen om duurzame industriële projecten voor flexibele elektrificatie op te schalen. Het doel is om private financiële partijen – waaronder banken, verzekeraars en pensioenfondsen – te mobiliseren voor de industriële verduurzaming. In dit kader wordt verkend hoe nationale garanties en subsidies kunnen bijdragen aan een robuust financieringskader dat grootschalige private investeringen mogelijk maakt. Op dit moment loopt er vanuit InvestNL een onderzoek naar de potentie van een private-debt fonds voor flexibele elektrificatie van de industrie. De eerste resultaten worden begin 2026 verwacht, waarna wordt bepaald of en hoe een vervolgtraject wordt ingericht.	KP2	Middel	Q1 2026
Verkennen van de behoefte aan een subsidie-instrument voor hoge-temperatuur elektrificatie-technologieën	Het ministerie van KGG onderzoekt de marktbehoefte en mogelijkheden voor de ontwikkeling en opschaling van hoge-temperatuur elektrificatie-technologieën, zoals elektrische boogovens. Eventuele uitkomsten van het onderzoek worden meegenomen in de jaarlijkse overwegingen omtrent de SDE++, DEI+ en NIKI regelingen.	KP4	Laag	Q4 2026

[45] Kamerstuk 31239, nr. 403

6.3 Innovatie en kennisdeling

Tabel 8: *Innovatie en kennisdeling*

Beleidsactie	Omschrijving en vervolgstappen	Knelpunt	Prioriteit	Planning status-update
Inrichting kennisfunctie elektrificatie industrie	Het ministerie van KGG richt een kennisfunctie in voor industriële elektrificatie. Dit betreft een centraal loket waar kennis bijeen wordt gebracht en actief bij bedrijven onder de aandacht wordt gebracht. Hiermee wordt de sector actief geïnformeerd over toepassingsmogelijkheden, voordelen, instrumenten en randvoorwaarden omtrent elektrificatie. Hierbij wordt de nadruk gelegd op succesvolle praktijkvoorbeelden en lopende innovatietrajecten. Ondernemers kunnen hiervoor op dit moment al terecht bij RVO en Topconsortia voor Kennis en Innovatie Energie en Industrie. Het ministerie benut deze bestaande en ingerichte kennisfuncties om actieve communicatie te intensiveren.	KP5, KP6	Hoog	Q1 2026
Sectorale aanpak elektrificatie industrie	Het ministerie van KGG ontwikkelt een sectorale elektrificatieaanpak voor het lage- en middentemperatuursegment, met prioriteit voor sectoren zoals voeding, dranken, textiel, tabak en papier. Het ministerie voert een verdiepende techno-economische analyse uit naar de toepasbaarheid van technologieën zoals elektrische boilers, geïntegreerde warmtepompen, warmteopslag, vraagsturing en batterijen. Deze inzichten worden gebruikt om per sector oplossingsgerichte archetypes te ontwikkelen die dienen als basis voor standaardtoepassingen, gerichte beleidsinterventies en gerichte kennisdeling. De output wordt meegenomen in de kennisfunctie. Kabinet wordt op de hoogte gehouden via de kamerbrief VI.	KP5, KP6	Hoog	Q2 2026
Stimulering van onderzoek en ontwikkeling van industriële elektrificatietechnologieën met een lage Technology Readiness Level (TRL)	Het ministerie van KGG stimuleert onderzoek naar en ontwikkeling van elektrificatietoepassingen met een lage TRL-score, zodat veelbelovende en opkomende technieken versneld richting marktintroductie kunnen worden gebracht. Het ministerie neemt elektrificatie mee in overwegingen in de jaarlijkse vormgeving van de MOOI- en EKOO-regeling en stimuleert opname in de vraag gestuurde programma's van TNO.	KP4, KP5	Laag	Q3 2026

6.4 Flexibele elektrificatie

Dit zijn geen nieuwe beleidsacties. Dit is een overzicht van de meest relevante acties uit andere programma's zoals het LAN, die van belang zijn voor deze actieagenda.

Tabel 9: *Flexibele elektrificatie*

Beleidsactie	Omschrijving en vervolgstappen	Knelpunt	Prioriteit	Planning status-update
Sectorale aanpak voor opschaling van flexibiliteit bij bedrijven & instellingen	Binnen het Landelijk Actieplan Netcongestie (LAN) werkt het ministerie van KGG aan een sectorale aanpak, waarbij gefaseerd per sector strategieën worden ontwikkeld voor de opschaling van flexibele energieoplossingen. Daarbij wordt onderzocht welke opties per sector het meest relevant, efficiënt en kosteneffectief zijn. De eerste resultaten worden verwacht in het eerste kwartaal van 2026. De Kamer wordt over de voortgang geïnformeerd via de reguliere LAN-voortgangs-brieven.	KP1, KP5, KP7	Hoog	Q2 2026
Openstelling Flex-e subsidie	Op 1 april 2025 is de Flex-e subsidie open gegaan. Met de Flex-e regeling wordt subsidie verleend voor flexibiliteitsscans of en hoe een bedrijf flexibel kan opereren, het ontwerp voor procesflexibiliteit en investeringskosten voor het realiseren van de flexibiliteit. Het kabinet zal nader uitwerken of aanvullende stimulering nodig is voor Industrial Demand Side Response.	KP1, KP2, KP5, KP7	Hoog	Q3 2026
Bepalen rol industriële vraagrespons (iDSR) in het flexibiliteits-portfolio van het toekomstig energiesysteem	In de doorontwikkeling van het NPE (te publiceren in 2026) zal gekeken worden naar de rol van flexibiliteit in het toekomstige energiesysteem; waaronder de optie tot industriële vraagrespons (iDSR). Op dit moment loopt er een onderzoek naar de potentie van iDSR, waarvan Q3 2025 de resultaten worden verwacht. Daarnaast loopt er een onderzoek naar vraagrespons voor leverings-zekerheid, welke naar verwachting in Q4 2025 wordt afgerond. Inzichten hieruit worden meegenomen in de overwegingen bij toekomstige beleidsinzet omtrent de inzet van vraagrespons ter ondersteuning van leveringszekerheid.	KP5, KP7	Hoog	Q2 2026
Stimulering opschaling en toepassing van industriële warmteopslag	Het ministerie van KGG voert onderzoek uit naar technische en economische kansen en knelpunten rond industriële warmteopslag, met specifieke aandacht voor hoge-temperatuurtoepassingen. De uitkomsten dienen als basis voor gerichte beleidsmaatregelen om de opschaling van warmteopslag in de industrie te versnellen. Het kabinet wordt op de hoogte gehouden via de kamerbrief VI.	KP5, KP7	Middel	Q4 2026

Literatuurlijst

Agora Industry. (2024, juni). *Direct electrification of industrial process heat*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://www.agora-industry.org/publications/direct-electrification-of-industrial-process-heat

CE Delft & Merosch. (2024, mei). *Oplossingen voor netcongestie bij bedrijven. Praktijkvoorbeelden met toekomstig potentieel en kosten per oplossing*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://www.rvo.nl/sites/default/files/2024-06/Rapport-RVO-CEDelft-Merosch-oplossingen-netcongestie-bedrijven-WCAG.pdf

DNV-GL. (2020, oktober). *De mogelijke bijdrage van industriële vraagrespons aan leveringszekerheid*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://www.dnv.nl/publicaties/de-mogelijke-bijdrage-van-industriele-vraagrespons-aan-leveringszekerheid-190655/

Energy Efficiency Directive (EED). (2023). *Energy Efficiency Directive.* Geraadpleegd op 10 mei 2025. Opgehaald van https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive_en

E-Bridge. (2024). *Electricity cost assessment for large industry in the Netherlands, Belgium, Germany and France.* Geraadpleegd op 20 december 2024. Opgehaald van https://open.overheid.nl/documenten/17f8a8ea-2069-40ea-b4ce-c0138cd2fb71/file

ENTSO-E. (2023). *European Resource Adequacy Assessment*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://www.entsoe.eu/outlooks/eraa/2023/

ENTSO-E. (2024, november). *Public Consultation on Flexibility Needs Assessment Methodology*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://consultations.entsoe.eu/system-development/public-consultation-on-flexibility-needs-assessmen/

EU-MORE. (2025). *Boosting energy savings in industry and the service sector by accelerating replacement of old and inefficient electric motors*. Geraadpleegd op 30 april 2025. Opgehaald van https://eu-more.eu/wp-content/uploads/2025/03/EU-MORE-Final-Event_report_final.pdf

EU ETS. (2025). *EU Emissions Trading System.* Geraadpleegd op 30 april 2025. Opgehaald van https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en

Europese Commissie. (2025). *Clean Industrial Deal.* Geraadpleegd op 10 april 2025. Opgehaald van https://commission.europa.eu/topics/eu-competitiveness/clean-industrial-deal_en

Europese Commissie. (2025). *Affordable Energy Action Plan.* Geraadpleegd op 10 april 2025. Opgehaald van https://energy.ec.europa.eu/strategy/affordable-energy_en#related-links

Europese Commissie. (2025). *Clean Industrial Deal State aid Framework (CISAF)*. Geraadpleegd op 8 juli 2025. Opgehaald van https://competition-policy.ec.europa.eu/document/download/93776e25-7c9c-4e19-aa9e-76ca80cbf5e4_en?filename=CISAF%20-%20Overview%20aid%20intensities%20_amounts%20.pdf

Europese Commissie. (2024). *Draghi Report.* Geraadpleegd op 10 april 2025. Opgehaald van https://commission.europa.eu/document/download/97e481fd-2dc3-412d-be4c-f152a8232961_en?filename=The%20future%20of%20European%20competitiveness%20_%20A%20competitiveness%20strategy%20for%20Europe.pdf

Europese Commissie. (2024). *Mission Letter*. Geraadpleegd op 10 april 2025. Opgehaald van https://commission.europa.eu/document/download/1c203799-0137-482e-bd18-4f6813535986_en?filename=Mission%20letter%20-%20JORGENSEN.pdf

Eurostat. (2024, december). *Final energy consumption in industry*. Geraadpleegd op 10 december 2024. Opgehaald van https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Final_energy_consumption_in_industry_-_detailed_statistics

IBO. (2025). *Schakelen naar de toekomst: Bekostiging Elektriciteitsinfrastructuur*. Geraadpleegd op 1 april 2025. Opgehaald van https://open.overheid.nl/documenten/e914cc94-ffcd-42dd-9989-bf7c3fdd44f9/file

Jacobson, M. Z., Sambor, D. J., Fan, Y. F., & Mühlbauer, A. (2024). *Effects of firebricks for industrial process heat on the cost of matching all-sector energy demand with 100% wind–water–solar supply in 149 countries*. Geraadpleegd op 10 juli 2024. Opgehaald van https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgae274

Kalavasta. (2021). *Klimaatneutrale energiescenario's 2050*. Geraadpleegd op 10 juli 2024. Opgehaald van https://kalavasta.com/reports/Rapport_Klimaatneutrale_energiescenario's_2050.pdf

Kamerbrief over leveringszekerheid. (2024). Geraadpleegd op 10 december 2024. Opgehaald van https://open.overheid.nl/documenten/bb1ce862-ac04-4469-a6aa-2d3996c90646/file

Kamerbrief toekomst van de SDE++. (2024). Geraadpleegd op 10 januari 2025. Opgehaald van Kamerstuk 31239, nr. 403

KEV. (2024). *Klimaat- en Energieverkenning 2024*. Geraadpleegd op 15 januari 2025. Opgehaald van https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-01/pbl-2024-klimaat-en-energieverkenning-2024-5490.pdf

Klimaatakkoord. (2019). *Klimaatakkoord*. Geraadpleegd op 16 augustus 2024. Opgehaald van https://open.overheid.nl/documenten/ronl-7f383713-bf88-451d-a652-fbd0b1254c06/pdf

LAN. (2025). *Tweede Voortgangsrapportage*. Geraadpleegd op 1 april 2025. Opgehaald van https://open.overheid.nl/documenten/35bdde9b-671a-4a3a-9f3e-161e0cbe84c6/file

McKinsey. (2024). *Demand-based pricing stabilizes the electricity market of the future*. Geraadpleegd op 16 augustus 2024. Opgehaald van https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/demand-based-pricing-stabilizes-the-electricity-market-of-the-future

McKinsey. (2024). *Tackling heat electrification to decarbonize industry*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://www.mckinsey.com/industries/industrials-and-electronics/our-insights/tackling-heat-electrification-to-decarbonize-industry

Nationaal Programma Verduurzaming Industrie. (2024, september). *Cluster Energie Strategieën (CES)*. Geraadpleegd op 10 september 2024. Opgehaald van https://www.verduurzamingindustrie.nl/energie-infra/ces/default.aspx

Nationale prognose ruimtebehoefte industrieclusters. (2025, april). Geraadpleegd op 2 mei 2025. Opgehaald van https://open.overheid.nl/documenten/8b5516c0-1e28-411a-a63f-258b3c537e49/file

Netbeheer Nederland. (2023, april). *Het energiesysteem van de toekomst: de II3050-scenario's*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://www.netbeheernederland.nl

Netbeheer Nederland. (2024). *Capaciteitskaart*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://www.netbeheernederland.nl/netcapaciteit-en-flexibiliteit/capaciteitskaart

Netbeheer Nederland. (2025). *Netbeheer Nederland Scenario's Editie 2025*. Geraadpleegd op 5 juli 2025. Opgehaald van https://www.netbeheernederland.nl/publicatie/netbeheer-nederland-scenarios-editie-2025?_gl=1*1rona1*_up*MQ..*_ga*MzM5Mjg5ODc2LjE3NTIxNTIoMzY.*_ga_C4KC7RL1SC*czE3NTIxNTIoMzYkbzEkZzAkdDE3NTIxNTIoMzYkajYwJGwwJGgw

NPE. (2023). *Nationaal Plan Energiesysteem*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://open.overheid.nl/documenten/2f5cbb52-0631-4aad-b3dd-5088fab859c5/file

NWGD. (2016). *Drying in the feed industry*. Geraadpleegd op 12 mei 2025. Opgehaald van https://nwgd.nl/kennisbank/drying-in-the-feed-industry/

Overheid. (2024, november). *Wetsvoorstel ter implementatie van het EU Electricity Market Design-pakket*. Geraadpleegd op 10 november 2024. Opgehaald van https://www.internetconsultatie.nl/emdimplementatie/b1

PBL. (2024). *Trajectverkenning Klimaatneutraal 2050*. Geraadpleegd op 10 april 2024. Opgehaald van https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-04/pbl-2024-trajectverkenning-klimaatneutraal-2050-5093.pdf

PBL. (2024, oktober). *Klimaat- en Energieverkenning 2024*. Geraadpleegd op 15 oktober 2024. Opgehaald van https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2024

PBL. (2024). *Reflectie op Cluster Energiestrategieën 2024 (CES 3.0)*. Geraadpleegd op 15 januari 2025. Opgehaald van https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-12/pbl-2024-reflectie-op-cluster-energiestrategieen-2024-ces30-5312.pdf

Power Barometer. (2024). *Power Barometer 2024*. Geraadpleegd op 10 oktober 2024. Opgehaald van https://powerbarometer.eurelectric.org/wp-content/uploads/2024/10/Power-Barometer-2024_Full_report.pdf

PwC. (2021, juli). *Unlocking Industrial Demand Side Response*. Geraadpleegd op 10 december 2024. Opgehaald van https://netztransparenz.tennet.eu/fileadmin/user_upload/Company/News/Dutch/2021/Unlocking_industrial_Demand_Side_Response.pdf

Rijksoverheid. (2024). *Kamerstuk 29826 nr 196*. Geraadpleegd op 16 augustus 2024. Opgehaald van https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29826-196.html

Rijksoverheid. (2024). *Verduurzaming Industrie*. Geraadpleegd op 16 augustus 2024. Opgehaald van https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-economie/verduurzaming-industrie

Routekaart Wind op Zee. (2024). *Routekaart Wind op Zee 2024*. Geraadpleegd op 10 juni 2024. Opgehaald van https://www.noordzeeloket.nl/functies-gebruik/windenergie/

RVO. (2015). *Best Practice Membraantechnologie*. Geraadpleegd op 12 mei 2025. Opgehaald van https://www.rvo.nl/files/file/2019/04/Best%20Practice%20Membraantechnologie.pdf

RVO. (2023). *Elektrische aandrijvingen in de industrie*. Geraadpleegd op 12 mei 2025. Opgehaald van https://www.rvo.nl/onderwerpen/energie-besparen-de-industrie/elektrische-aandrijvingen

RVO. (2025). *Flexibilisering van elektriciteitsverbruik voor bedrijven en instellingen*. Geraadpleegd op 1 april 2025. Opgehaald van https://www.rvo.nl/sites/default/files/2025-03/Rapportage%20Flexibilisering%20Bedrijven%20en%20Instellingen%20Definitief%202.pdf

RVO. (z.d.). *Droogtechniek in de industrie.* Geraadpleegd op 12 mei 2025. Opgehaald van https://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/energie-besparen/kennisbank-technieken/droogtechniek-industrie

SystemIQ. (2024). *Decarbonisation of Industrial Heat: Assessment of Technology Options and Grid Constraints, Including Netherlands Deep Dive*. Geraadpleegd op 10 februari 2024. Opgehaald van https://www.systemiq.earth/wp-content/uploads/2024/02/Global-ETES-Opportunity.pdf

TenneT. (2021). *Unlocking Industrial Demand Side Response*. Geraadpleegd op 10 december 2024. Opgehaald van https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2022-06/15-07-2021_Unlocking_industrial_Demand_Side_Response_0.pdf

TenneT. (2022). *Flexibele vraagsturing industrie.* Geraadpleegd op 10 december 2024. Opgehaald van https://www.tennet.eu/nl/nieuws/wegnemen-belemmeringen-stelt-enorm-potentieel-flexibele-vraagsturing-industrie-beschikbaar

TenneT. (2024). *Monitor Leveringszekerheid 2024.* Geraadpleegd op 15 mei 2024. Opgehaald van https://tennet-drupal.s3.eu-central-1.amazonaws.com/default/2024-05/20240514%20Monitor%20Leveringszekerheid%202024_0.pdf

TKI. (2021). *Routekaart Elektrificatie in de Industrie*. Geraadpleegd op 16 augustus 2024. Opgehaald van https://www.rijksoverheid.nl/documenten/rapporten/2022/09/19/routekaart-elektrificatie-in-de-industrie

TKI. (2022). *Industriële flexibiliteit: De complexe opgave van de flex.* Geraadpleegd op 16 augustus 2024. Opgehaald van https://topsectorenergie.nl/documents/33/TKI_Energie__Industrie_-Whitepaper_industriele_flexibiliteit-_221201.pdf

TNO. (2025). *Overzicht industriële warmteopslagtechnologie en toepassing*. Geraadpleegd op 15 april 2025. Opgehaald van https://publications.tno.nl/publication/34643912/51dkidSY/TNO-2025-R10406.pdf

Tweede Kamer der Staten-Generaal. (2025). *Toezegging: TZ202502-006: RES en wind op zee*. Den Haag: Tweede Kamer. https://www.tweedekamer.nl (zoek op TZ202502-006)

Tweede Kamer der Staten-Generaal. (2024). *Motie van het lid Thijssen c.s. over het verminderen van risico's voor ontwikkelaars van windparken en industriële elektrificatie* (Kamerstuk 29826, nr. 220). Den Haag: Tweede Kamer. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29826-220.html

Tweede Kamer der Staten-Generaal. (2025). *Motie van leden Flack en Grinwis* (Kamerstuk 29023, nr. 586). Den Haag: Tweede Kamer. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29023-586.html

Tweede Kamer der Staten-Generaal. (2022). *Routekaart Elektrificatie Industrie* (Kamerstuk 32813, nr. 1089). Den Haag: Tweede Kamer. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-32813-1089.html

Tweede Kamer der Staten-Generaal. (2022). *Industriebeleid* (Kamerstuk 29826, nr. 147). Den Haag: Tweede Kamer. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29826-147.html

Tweede Kamer der Staten-Generaal. (2023). *Industriebeleid* (Kamerstuk 29826, nr. 176). Den Haag: Tweede Kamer. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29826-176.html

Tweede Kamer der Staten-Generaal. (2023). *Industriebeleid*(Kamerstuk 29826, nr. 196). Den Haag: Tweede Kamer. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-29826-196.html

Tweede Kamer der Staten-Generaal. (2024). *Toekomst van de SDE* (Kamerstuk 31239, nr. 403). Den Haag: Tweede Kamer. https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-31239-403.html

Venturial. (z.d.). *Innovatieve droog-, maal- en sterilisatietechnologie*. Geraadpleegd op 12 mei 2025. Opgehaald van https://www.venturial.eu

WEF. (2024). *Industrial Electrification: Strategies and Policies for Europe*. Geraadpleegd op 19 december 2024. Opgehaald van https://reports.weforum.org/docs/WEF_Industrial_Electrification_2024.pdf

Bijlage 1: Definitie Nederlandse industrie

Deze bijlage bevat de gehanteerde definitie van de industrie waarmee het energieverbruik voor proceswarmte per sector is berekend, op basis van CBS-cijfers uit 2022.

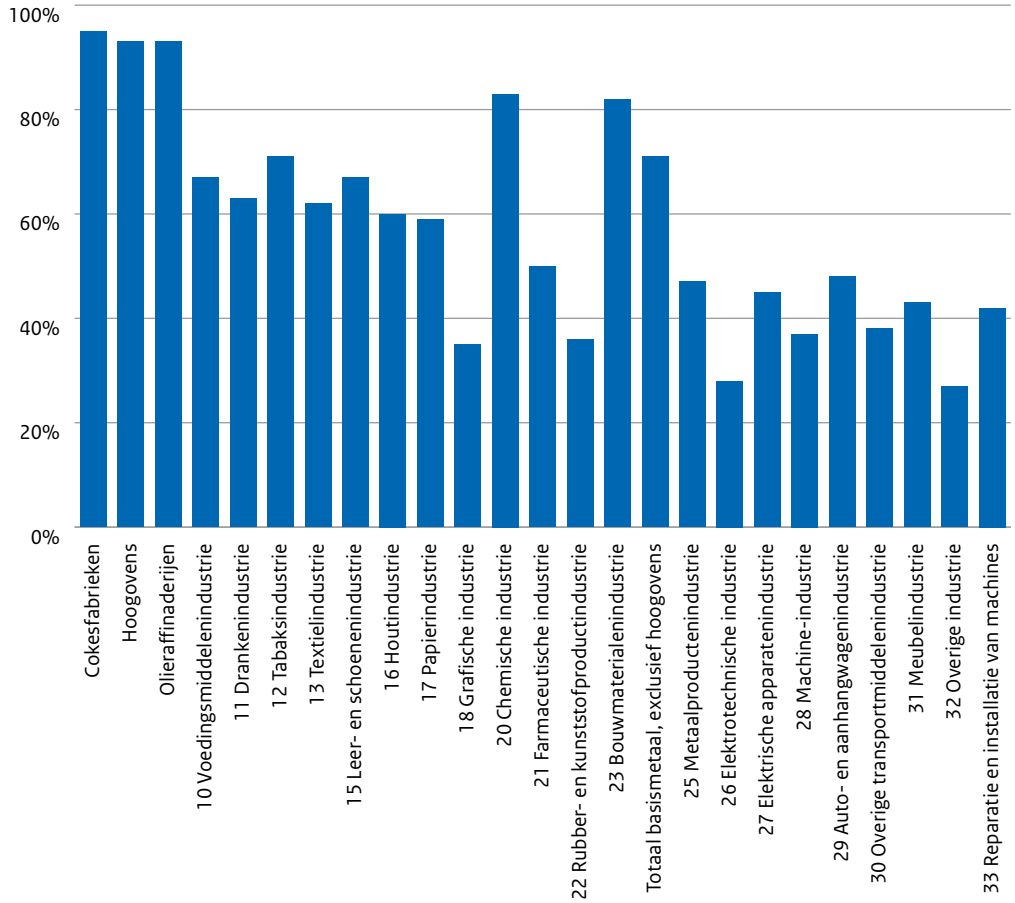
Definitie industrie

De industrie omvat alle sectoren die zich bezighouden met de productie, verwerking en bewerking van fysieke goederen, met uitzondering van de primaire energieproductie (olie- en gaswinning) en activiteiten op het gebied van waterbedrijven, afvalbeheer en -verbranding. Hiertoe behoren:

- Voedingsmiddelen-, dranken- en tabaksindustrie (inclusief subcategorieën zoals slachterijen, zuivel- en meelindustrie, enz.)
- Textiel-, kleding- en leer- en schoenenindustrie
- Hout-, papier- en grafische industrie
- Chemische en farmaceutische industrie (inclusief basischemie en gespecialiseerde chemische segmenten)
- Olieraffinaderijen
- Rubber- en kunststofproductindustrie
- Bouwmaterialenindustrie
- Basismetaal (waaronder hoogovens) en metaalproductenindustrie
- Elektrotechnische industrie, elektrische apparatenindustrie, machine-industrie
- Auto-, aanhangwagen- en overige transportmiddelenindustrie
- Meubelindustrie en overige industrie
- Reparatie en installatie van machines.

Bijlage 2: Indicatie aandeel warmte van totaal energieverbruik per sector

Figuur 4: *Indicatie % energieverbruik voor warmte per sector*



Bijlage 3: Toepassing elektrificatie-technieken

Tabel 10: *Toepassing elektrificatie-technieken*[46]

Techniek	Beschrijving	Relevante industrieën en processen
Warmtepomp	Opwaardering van (rest)warmte; sterke procesintegratie, tenzij bij inzet als utiliteit. Efficiëntie neemt af bij toenemende temperatuurverhoging. Bestaande operationele ervaring in relevante toepassingen. Hogere investeringskosten dan elektrische stoomketels, complexere installatie-integratie.	Stoomproductie in papierproductie, voedingsindustrie en chemische industrie, warm water en indirect verwarmen van gasstromen; e.g. in drogers.
Elektrische boilers	In vergelijking met warmtepomp: hogere bereikbare temperaturen, gemakkelijker te integreren in bestaande systemen en lagere investeringskosten, bestaande operationele ervaring in relevante toepassingen.	Stoomproductie in papierproductie, voedingsindustrie en chemische industrie.
Weerstand-verwarming	Veelzijdig, en veel controle over de gewenste temperatuur, kan snel opwarmen en wordt al veel toegepast. Temperaturen tot 2000°C.	Onder andere aluminiumverwerking, glasbewerking, warmteopslag.
Inductie-verwarming	Hoge temperaturen mogelijk; bewezen inzet in relevante toepassingen. Toepassing beperkt tot geleidende materialen en geometrieën die geschikt zijn voor efficiënte warmteoverdracht, met name in vergelijking met weerstandverwarming.	Metaalverwerking, bijv. smelten, vasthouden
Plasma-technologie	Veelbelovend voor zeer hoge temperaturen (tot 5000°C), precisie verwarming. Nog in sterk in ontwikkeling, technologie is niet breed beschikbaar. Korte levensduur installatie; relatief hoge afschrijving.	Hoge temperaturen (bijv. sinteren van cementklinker).
Elektrische boogovens	Hoge temperaturen. Volwassen technologie (wordt al veel gebruikt in de staalindustrie). Proces-gerelateerde emissies door verbruik van grafietelektroden.	Secundaire staalproductie, metaal smelten.
Schokgolf-verwarming	Nieuwe technologie met potentie voor hoge temperatuurtoepassingen. Technologie is nog in ontwikkeling en (nog) niet breed beschikbaar.	Hoge temperaturen (bijv. sinteren van cementklinker, elektrische kraker).
Toekomstige technologieën	Niet alle beschikbare nieuwe technologieën tussen 2030 en 2035 voor verdere elektrificatie zijn hier meegenomen, denk ander andere aan: diëlektrische verwarming en PEF-techniek.	Hoge temperaturen.

[46] Agora (2024)

Dit is een uitgave van:
Ministerie van Klimaat en Groene Groei

September 2025